



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009 n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Puglia

Comune di Celle di San Vito (FG)



Regione



Ing. Tiziana Bisantino (R.U.P.)



Soggetto realizzatore
ASSET Regione Puglia:



AGENZIA REGIONALE STRATEGICA PER LO
SVILUPPO ECOSOSTENIBILE DEL TERRITORIO

Tecnici:

(Ingegneri): M. Luisi (R.U.P.);
G. Vessia (C.T.S.);
D. Bruno; D. Milella

(Geologi): D. Attolico; N.G. Florio;
L. Grosso; T. Scolamacchia;
A. Valerio

Data/Versione

19 - 10 - 2022 / RI_001



Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica



Sommario

INTRODUZIONE.....	3
1.1 FINALITÀ DEGLI STUDI.....	3
1.2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA COMUNALE.....	4
1.3 DEFINIZIONE DEI DOCUMENTI DI BASE UTILIZZATI NELLO STUDIO	6
1.4 AREE DA SOTTOPORRE AGLI STUDI DI MS.....	8
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO.....	9
2.1 SISMICITÀ STORICA DELL'AREA DI STUDIO	9
2.2 SISMICITÀ RECENTE DELL'AREA DI STUDIO.....	27
2.3 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	29
3.ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	32
3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	32
3.1.1 <i>Evoluzione geologica dell'area di indagine.....</i>	<i>34</i>
3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	37
3.3 SUCCESSIONE STRATIGRAFICA DI LETTERATURA	41
FIGURA 33. SCHEMA DELLA SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA DELLA UT DELLA DAUNIA IN AREA ESTERNA DI CATENA, CON RELATIVE ETÀ DI RIFERIMENTO DA DATI DI LETTERATURA.....	42
3.4 AGGIORNAMENTO STRATIGRAFICO MEDIANTE RILEVAMENTO GEOLOGICO DI SUPERFICIE.....	43
3.4.1 <i>Substrato geologico.....</i>	<i>45</i>
3.4.2 <i>Terreni di copertura.....</i>	<i>60</i>
3.4.3 <i>Descrizione della nuova carta geologica.....</i>	<i>64</i>
3.4.4 <i>Nuove sezioni geologiche.....</i>	<i>66</i>
3.4.5 <i>Condizioni idrogeologiche locali.....</i>	<i>71</i>
3.5 ELEMENTI TETTONICI.....	73
3.6 CONSIDERAZIONI FINALI SULL'ARCHITETTURA STRATIGRAFICA E SULL'ASSETTO MORFOLOGICO E STRUTTURALE	76
4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	78
4.1 DATI GEOTECNICI PREGRESSI.....	78
4.2 DATI GEOFISICI PREGRESSI.....	79
4.3 INDAGINI GEOFISICHE DI NUOVA ESECUZIONE	87
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS	90
5.1 UNITÀ GEOLOGICO-TECNICHE: DEFINIZIONE E PARAMETRIZZAZIONE	90
5.1.2 <i>Considerazioni sulla suscettibilità alla liquefazione delle unità litotecniche</i>	<i>95</i>

5.2 SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE	96
6. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE	99
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	101
7.1 INQUADRAMENTO AI FENOMENI DELLE FRANE SISMO-INDOTTE	101
7.2 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLE PROVE HVSR.....	112
8.ELABORATI CARTOGRAFICI	117
8.1 CARTA DELLE INDAGINI.....	117
8.2 CARTA GEOLOGICO-TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA	119
8.3 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (CARTA DELLE MOPS).....	121
9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI	126
BIBLIOGRAFIA	128

ALLEGATO 1 - CARTA DELLE INDAGINI (SCALA 1:5 000)

ALLEGATO 2 - CARTA GEOLOGICO – TECNICA (SCALA 1:5 000)

ALLEGATO 3 - SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE (1:1000)

ALLEGATO 4 - CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA “MOPS” (1:5 000)

INTRODUZIONE

1.1 Finalità degli studi

A seguito dell'evento sismico del 06.04.2009 la Presidenza del Consiglio dei Ministri, in attuazione dell'*art.11 del D.L. del 28/04/2009 n°39* (conosciuto come *Decreto Abruzzo*) ha emanato l'Ordinanza n° 3907 del 13.11.2010 (O.P.C.M. 3907/2010), con la quale si è avviato un programma pluriennale (2010-2016) in materia di prevenzione del rischio sismico.

Ai sensi dell'articolo 11 del suddetto D.L. 39/2009, la Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento di Protezione Civile, ha provveduto all'emanazione e alla pubblicazione dell'O.P.C.M. n. 3907/2010 (per il 2010), O.P.C.M. n. 4007/2012 (per il 2011), O.C.D.P.C. n. 52/2013 (per il 2012), O.C.D.P.C. n. 171/2014 (per il 2013), O.C.D.P.C. n. 293/2015 (per il 2014), O.C.D.P.C. n. 344/2016 (per il 2015) e O.C.D.P.C. n. 532/2018 (per il 2016), e con successivi decreti del Capo Dipartimento sono state trasferite le risorse economiche alle Regioni.

Tra le attività promosse e finanziate dall'O.P.C.M. 4007/2012, rientrano gli *studi di Microzonazione Sismica (MZS)* da effettuarsi sul territorio regionale secondo procedure e modalità stabilite dalla citata Ordinanza e dalla Regione Puglia nonché dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (I.C.M.S.) (Gruppo di lavoro, 2008).

La Regione Puglia ha individuato, con deliberazioni di Giunta n. 2407/2011 e n. 1728/2012, l'ex Autorità di Bacino della Puglia quale soggetto attuatore delle attività relative alle O.P.C.M. 3907/2010 e 4007/2012. In seguito, con deliberazione di Giunta n. 1331/2019 si è stabilito che le attività funzionali al completamento e/o alla definizione dei su citati studi dovevano essere realizzate a cura e sotto la responsabilità della competente struttura di Protezione Civile regionale, con il coinvolgimento delle amministrazioni comunali e il supporto dei centri di competenza pubblici quali università e/o centri di ricerca.

La Protezione Civile della Regione Puglia, nel quadro degli indirizzi espressi dalla Giunta Regionale con D.G.R. 1331/2019, ha avviato gli studi di Microzonazione Sismica in collaborazione con l'Agenzia Regionale Strategica per lo Sviluppo Ecosostenibile del Territorio **ASSET**, **il coinvolgimento scientifico di UniBa e CNR/Irpi, l'ANCI Puglia e gli Ordini professionali**. Sono state quindi stipulate delle convenzioni per assicurare il più ampio coordinamento delle attività di Microzonazione Sismica e l'analisi delle condizioni limite dell'emergenza, nel quadro delle rispettive competenze. Lavori per i quali l'ASSET ha assunto tecnici esperti, geologi e ingegneri, un'addetta alla comunicazione del progetto e una figura esperta in gestione amministrativa.

L'ASSET, quindi, si è impegnata ad eseguire gli studi di Microzonazione Sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza a supporto tecnico-ingegneristico dei comuni al di sotto dei 2500 abitanti.

Al fine di giungere alla redazione della *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica di livello 1*, "MOPS", così come previsto al punto 1.6.3.1 degli I.C.M.S., sono stati raccolti i dati disponibili presso i comuni, e frutto di studi pregressi condotti dal CNR-IRPI, dall'UniBa e dal Politecnico di Bari, di tipo geologico, geomorfologico, idrogeologico e pianificatorio, che hanno consentito di avere un quadro conoscitivo generale del territorio comunale di Celle di San Vito (FG). Lo studio di MZS, redatto secondo i criteri stabiliti nel testo "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica - Parti I, II e III" (a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri-Dipartimento della Protezione Civile) e utilizzando gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica in versione 4.2, ha come finalità quella di razionalizzare la conoscenza sulle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie, restituendo informazioni utili per il governo, la progettazione e la pianificazione del territorio urbanizzato.

1.2 Descrizione generale dell'area comunale

Il comune di Celle di San Vito si trova in provincia di Foggia (FG), nella parte Nord occidentale della regione Puglia (Figura 1).



Figura 1. Inquadramento regionale del Comune oggetto di studio (evidenziata in giallo).

Esso confina con i comuni di Orsara di Puglia, Troia, Castelluccio Valmaggiore, Biccari e Faeto, afferenti alla regione Puglia (Figura 2).

Celle di San Vito ha 152 abitanti (ISTAT, 2020) e occupa una superficie di circa 18 km². Situato a Nord-Ovest del capoluogo di provincia, dista da esso circa 34 km.

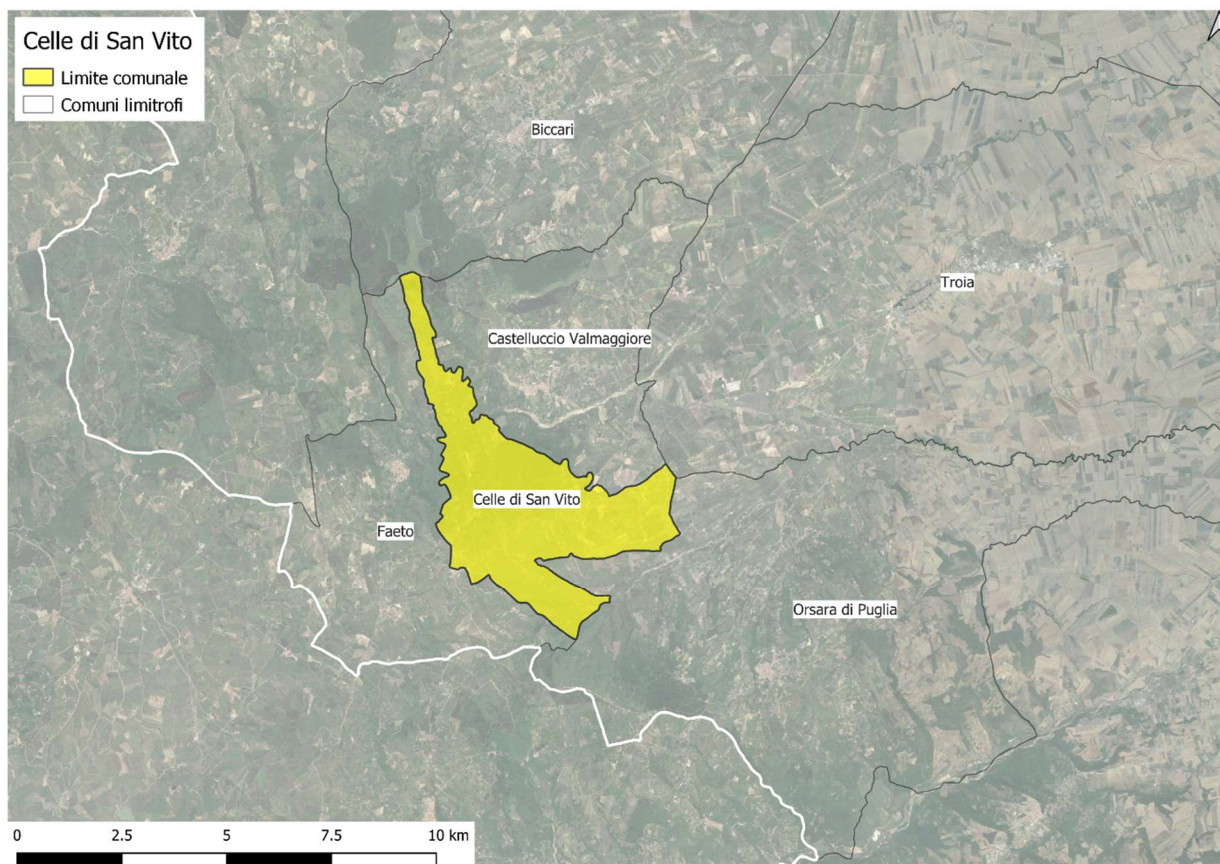


Figura 2. Inquadramento comunale dell'area oggetto di studio (evidenziata in giallo).

Dal punto di vista paesaggistico (cfr. PPTR Regione Puglia), il territorio comunale ricade nell'Ambito Paesaggistico dei Monti Dauni, delimitato a Nord dalla costa, ad Ovest dal limite regionale, a Sud dalla viabilità lungo l'Ofanto, e ad Est dalla viabilità secondaria che si sviluppa lungo il versante appenninico alla quota di 400 m s.l.m. All'interno di questo territorio, il centro abitato di Celle di San Vito ricade nella struttura territoriale tipica della media valle del fiume Fortore e della diga di Occhito. L'elemento più connotante è da rintracciarsi nella natura rurale e boschiva, con un assetto dei centri e dell'organizzazione del territorio aperto che si può definire tradizionale. Sono ampie le macchie boscate, in un mosaico fitto con il seminativo. Questo è presente anche in luoghi a forte acclività. Il centro urbano di Celle di San Vito è di ridotte dimensioni ed è posto alto sui crinali, collegato agli altri centri urbani da strade tortuose che si snodano lungo percorsi di notevole suggestione paesaggistica.

Il Comune di Celle di San Vito è identificato univocamente nell'ambito del territorio nazionale con il codice 71-019 (cod. Provincia-cod. Comune). Secondo il 15esimo Censimento generale della popolazione e delle abitazioni redatto dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT), pubblicato nel 2012 con dati del 2011, la quasi totalità degli abitanti risiede all'interno del centro abitato (Figura 3), occupante una porzione modesta dell'intero territorio comunale.

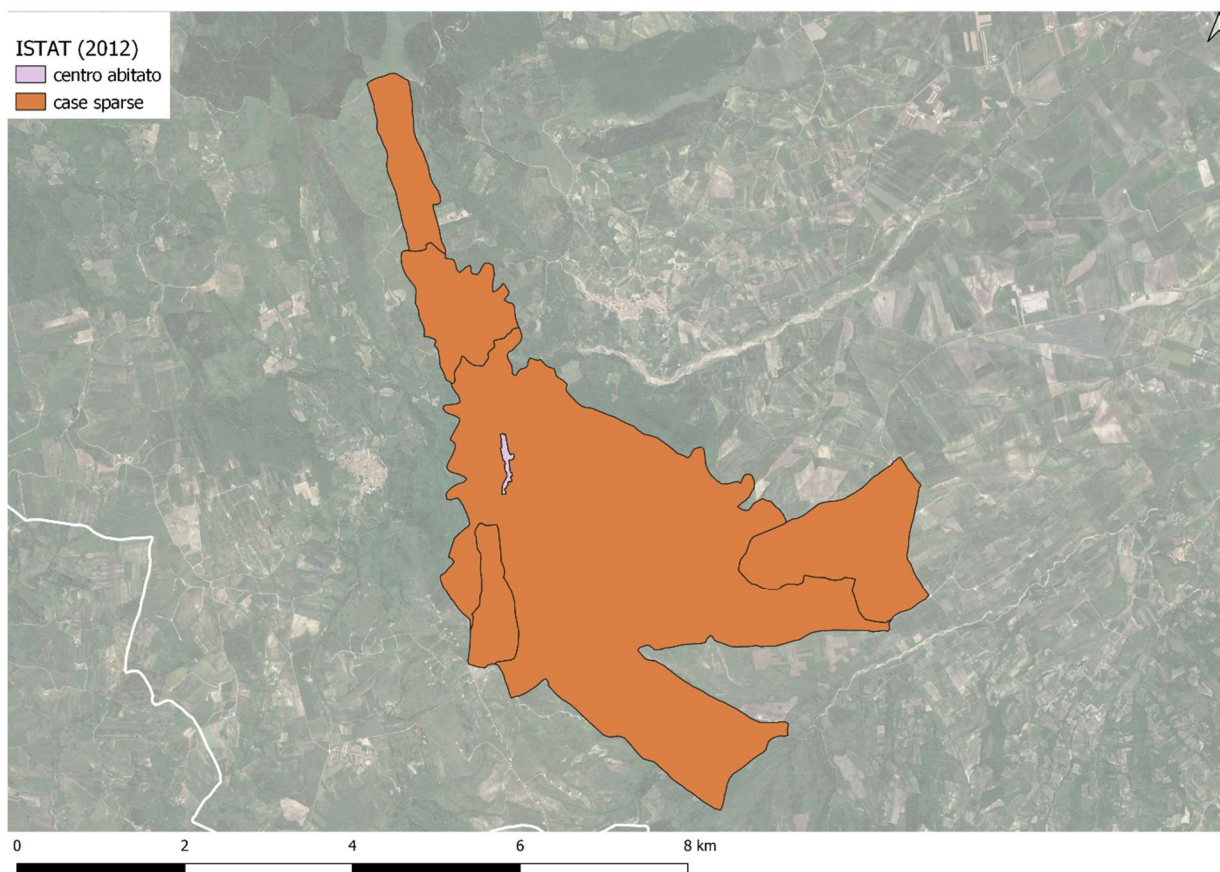


Figura 3. Distribuzione della popolazione residente, all'interno del comune oggetto di studio (ISTAT, 2012).

L'abitato è collegato con il capoluogo di provincia e i comuni limitrofi per mezzo di una rete viaria rappresentata dalle seguenti arterie stradali e ferroviarie:

- 1) per Troia: SP126 – SP123 (15,1 km);
- 2) per Lucera: SP126 – SP123 – SP109 (34,3 km);
- 3) Per Foggia: SP126 – SP123 – SP115 (38,3 km).

1.3 Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio

Il presente studio raccoglie ed analizza dati pregressi acquisiti di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, lito-stratigrafico, sismico relativi all'area da studiare ai fini della

Microzonazione Sismica, ricadenti nel territorio comunale di Celle di San Vito. Le informazioni raccolte all'interno dell'area di studio sono state verificate ed integrate con informazioni di nuova acquisizione che, per la fase di Microzonazione Sismica di I livello, derivano da un rilevamento geologico di superficie condotto sull'area di interesse, e da indagini di rumore ambientale (HVSr) finalizzate alla definizione delle frequenze di sito.

In merito ai dati pregressi, ricerche cartografiche e bibliografiche preliminari hanno consentito di recuperare numerosi studi tecnici, disponibili presso archivi pubblici e privati, in parte anche consultabili on-line su siti web istituzionali. Ci si è avvalsi della collaborazione dell'Ufficio Tecnico del Comune di Celle di San Vito e di vari Enti o istituzioni provinciali, regionali e nazionali.

A tal proposito, è da notare che non è stato possibile reperire tutto il materiale pregresso prodotto di cui si è avuta conoscenza, il più delle volte a causa di una non precisa archiviazione e completezza della documentazione richiesta. Quanto reperito è stato copiato o digitalizzato per il successivo lavoro di lettura critica ed estrazione di informazioni utili agli scopi della Microzonazione Sismica (indagini geognostiche dirette ed indirette, prove e certificati di laboratorio, ricostruzioni stratigrafiche, ecc.).

Si è scelto di non considerare quelle informazioni che non garantivano sufficiente affidabilità per mancanza di certificazione, parzialità dell'informazione (mancanza di ubicazione, assenza di documentazione grafica o fotografica, scarsa leggibilità del dato, carenza del grado di dettaglio necessario).

Il punto di partenza per la redazione delle cartografie tematiche richieste dagli studi di Microzonazione Sismica è stata la cartografia geologica disponibile sia in prodotti cartografici ufficiali a carattere regionale (stralcio del Foglio n. 163 "Lucera" e del Foglio n.174 "Ariano Irpino" della Carta Geologica d'Italia, scala 1: 100.000) che in studi tecnici a carattere più locale. In alcuni casi, gli studi raccolti interessano aree limitrofe a quella specifica da studiare o persino territori comunali confinanti: anche se non inseriti nel database di riferimento, essi sono comunque tornati utili per le ricostruzioni del modello geologico, geomorfologico, geologico-tecnico e delle MOPS del territorio in studio.

La documentazione reperita e consultata è dettagliatamente riportata in specifico paragrafo (par. 4.1 e par. 4.2), come anche i link e i riferimenti agli Enti, Istituzioni e siti web consultati (cfr. Bibliografia).

1.4 Aree da sottoporre agli studi di MS

All'interno del limite comunale, l'area oggetto di studio finalizzata alla redazione di cartografie geologiche di dettaglio (1:5.000), è stata definita in collaborazione con la Sezione Protezione Civile della Regione Puglia, a sua volta supportata dal CNR-Irpi di Bari ed il Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali dell'Università di Bari (UniBa). L'estensione di detta area, risultata pari a 1.7 km² (Figura 4), ha tenuto conto delle caratteristiche peculiari del territorio dal punto di vista urbanistico, topografico e geomorfologico, in ottemperanza alle Linee Guida Nazionali (2020). Il centro abitato, posto ad una quota altimetrica mediamente pari a 735 m, è situato nella porzione centro-settentrionale dell'area di studio.

I rilievi geologici sono stati svolti dai tecnici rilevatori di ASSET Regione Puglia, da Luglio 2022 a Agosto 2022, mentre la nuova campagna di indagine geofisica si è svolta nel mese di Settembre 2022. Entrambe le attività sono state coadiuvate dal supporto tecnico-scientifico di CNR/IRPI e UniBa. Come si dirà più specificatamente nel par. 3.2, ciò ha permesso di comprendere, nella loro estensione massima, i diversi cinatismi di instabilità di versante che coinvolgono il centro abitato e le principali vie di accessibilità al Comune. Sulla base di tale cartografia, e data la ridotta estensione dell'area, la superficie oggetto di studio di I livello per la Microzonazione Sismica è stata scelta coincidente con l'area studiata, comprendendo tutti i sondaggi e le prove geofisiche acquisite, utili alla caratterizzazione geomeccanica dei litotipi, considerando inoltre l'ubicazione degli edifici e delle aree strategiche ai fini della gestione post-sisma del territorio, desunte dal Piano di Emergenza Comunale approvato più recente.

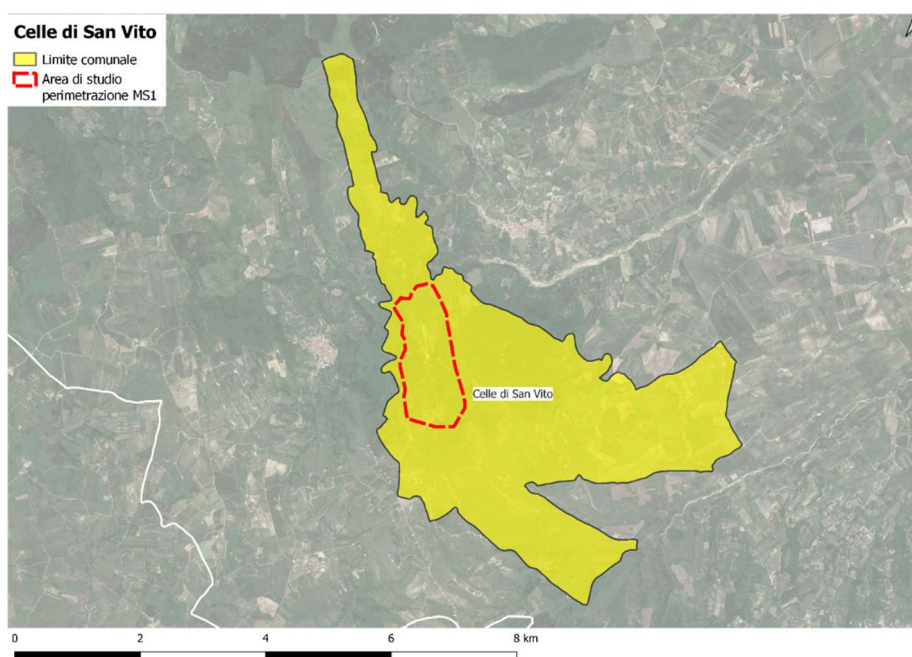


Figura 4. Perimetrazione area di studio per la Microzonazione Sismica di livello 1.

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO

Come evidente dagli studi degli ultimi 30 anni sulla geodinamica dell'area mediterranea, le sorgenti sismogenetiche che possono generare eventi risentiti nel comune di Celle di San Vito, sono di diverso tipo, tutte capaci di generare in epoca storica e recente sismi con magnitudo momento $M_w > 5.5$. Essi appartengono a grandi sistemi di faglie che caratterizzano l'Appennino Meridionale, l'antistante zona d'avanfossa (fossa Bradanica) e la piattaforma carbonatica che costituisce l'Avampaese Apulo-Adriatico.

È importante notare che i registri storici della maggiorparte dei terremoti italiani sono ridotti rispetto al loro tempo di ricorrenza. La datazione dei terremoti del passato, specialmente quelli antecedenti l'anno 1000 è spesso incerta (Piccardi, 1998 e referenze incluse; Valensise et al., 2004 e referenze incluse) ed i cataloghi sono generalmente più completi man mano che ci si avvicina al tempo presente in particolar modo per quanto riguarda eventi di intensità o magnitudo modeste (Galli et al., 2003). Inoltre, ricerche paleosismologiche hanno evidenziato che la riattivazione di faglie individuali, responsabili di alcuni terremoti fra i più distruttivi della penisola, può avvenire a distanza di 1000, 3000 o 5000 anni (Valensise e Pantosti 2001 a-b; Fracassi e Valensise, 2006). Il database delle faglie sismogenetiche compilato nell'ambito del progetto EU SHARE (Task 3.2) (<http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>) include le faglie capaci di generare terremoti di magnitudo uguale o superiori a $M_w 5.5$ ed è stato creato per assicurare un'omogeneità per la stima dello scuotimento al suolo e una quantificazione dell'hazard nell'area mediterranea europea. Per tutte le sorgenti evidenziate in questo database, maggiori dettagli sono stati ottenuti dal Database delle Individual Seismogenic Source (DISS) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (DISS Working Group, 2022).

2.1 Sismicità storica dell'area di studio

Considerando l'assetto geodinamico dell'area, le sorgenti sismogenetiche composite o singole che hanno influenzato la sismicità storica del comune di Celle di San Vito e potrebbero influenzarla in un futuro, sono varie (Figura 5), come evidente dalla sismicità risentita storicamente nel comune (Figura 6), ottenuta consultando il Database Macrosismico Italiano DBMI15 v. 4.0 (Locati et al., 2022). È importante notare che l'attribuzione dei vari eventi sismici ad una o altra sorgente sismica, è spesso incerta considerando la loro complessità ed il loro verificarsi in epoche nelle quali non esistevano registri strumentali.

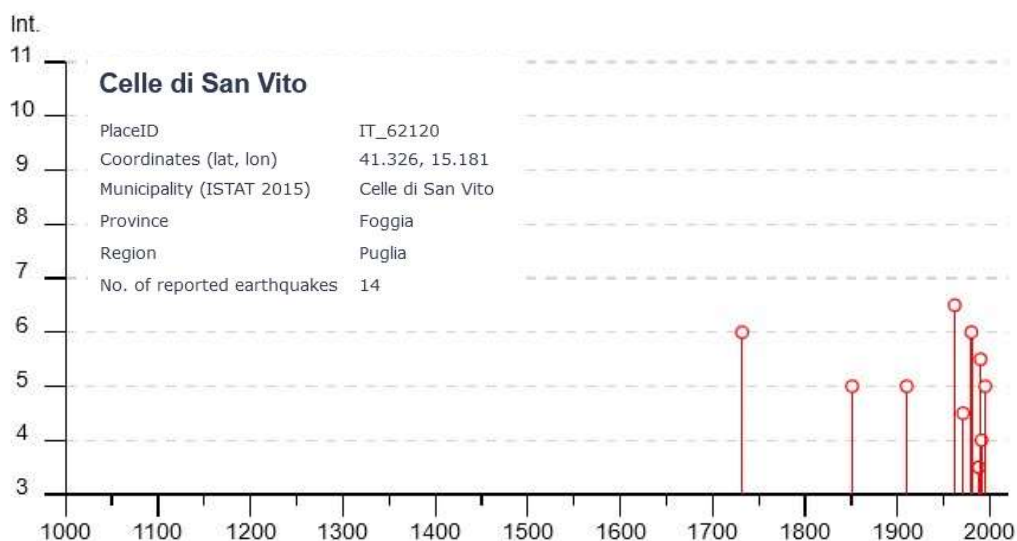


Figura 5. Vista generale dei maggiori sistemi di faglia (modificato da DISS- INGV) e localizzazione dell'abitato di Celle di San Vito (punto rosso).

La sismicità storica, ottenuta consultando il Database Macrosismico Italiano DBMI15 v. v. 4.0 (Locati et al., 2022) riporta come primo sisma fra quelli storicamente risentiti l'evento del 29 novembre 1732 (Figura 6).

La sorgente considerata responsabile di questo primo evento basandosi in osservazioni geologiche e geomorfologiche della valle dell'Ufita e circostanti, è quella individuale di **valle dell'Ufita (ITIS006)** (Figura 5 DISS Working Group 2022).

La geometria di questa faglia immergente a nord con una cinematica normale ed un movimento laterale destro, è stata determinata e sulla re-interpretazione del terremoto irpino del 1732, ed è parte del sistema composito **Mirabella- Eclano- Monteverde (ITCS084 strike/dip 275/64)** descritto successivamente. Insieme ad altre sorgenti localizzate ad est, responsabili del terremoto del 14 agosto 1851 (Figura 6) riportato come secondo evento risentito nell'area in studio, appartiene ad un lineamento tettonico orientato ONO-ESE che interrompe la continuità della cintura sismogenetica estensiva che corre lungo la cresta dell'Appennino meridionale.











Effects	Reported earthquakes					
Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw	
6	1732 11 29 07 40	Irpinia	183	10-11	6.75	
5	1851 08 14 13 20	Vulture	103	10	6.52	
5	1910 06 07 02 04	Irpinia-Basilicata	376	8	5.76	
6-7	1962 08 21 18 19	Irpinia	562	9	6.15	
4-5	1971 05 06 03 45 0	Irpinia	68	6	4.83	
6	1980 11 23 18 34 5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81	
5-6	1990 05 05 07 21 2	Potentino	1375		5.77	
5	1995 09 30 10 14 3	Gargano	145	6	5.15	

Figura 6. Sismi risentiti nel comune di Celle di San Vito nel quale sono evidenziati quelli con intensità $MCS \geq 5$, e quelli che anche se con magnitudo inferiore vengono discussi nel testo, riportati in forma tabellare e grafica (tratto da https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

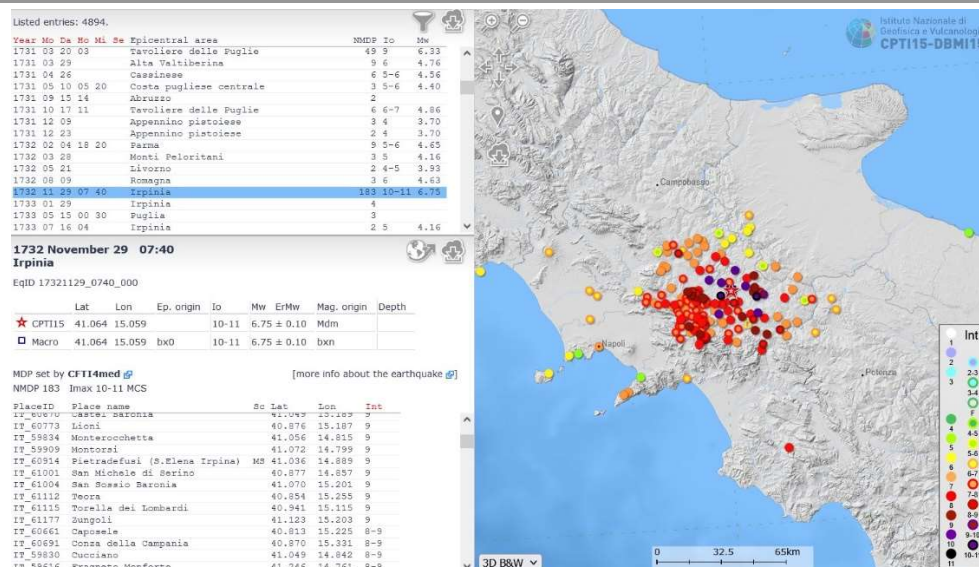


Figura 7. Mappa di scuotimento per l'evento del 29 novembre 1732 in area irpina (tratto da https://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/query_eq/eq/1198)

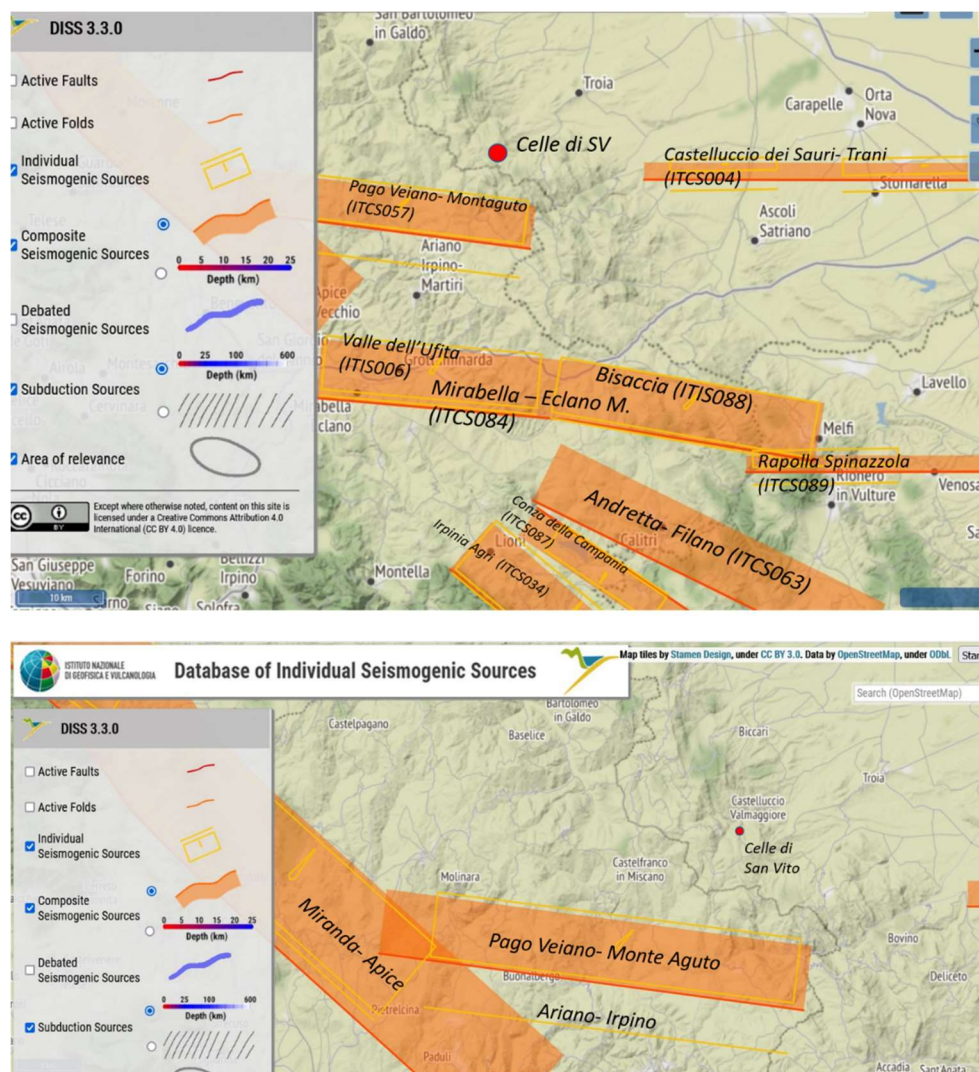


Figura 8. Dall'alto in basso. Vista di dettaglio a diversa scala dei sistemi di faglie composti e delle faglie singole in prossimità dell'abitato di Celle di San Vito (Modificato da <https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>).

L'evento del 14 agosto 1851, conosciuto anche come terremoto del Vulture (M_w 6.52), riportato come secondo fra gli eventi risentiti a Celle di San Vito (Figura 9, Figura 10), ricade in un'area poco conosciuta dal punto di vista sismotettonico ma conosciuta per la presenza del vulcano estinto Vulture. Solo uno studio descrive nello specifico questo evento (Alessio et al. 1995) come costituito da due scosse distruttive avvenute a distanza di un'ora e mezza l'una dall'altra, la prima delle quali (13.24 GMT) di durata di 30 sec molto violenta, mentre la seconda (alle 14.50 GMT) breve e di minore intensità (Figura 9; Figura 10

Figura 10. Mappa delle intensità MCS per l'evento del 1851 tratto da CFTI5 med (<http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/quake.php?07534EN>).

). Il terremoto distrusse quasi completamente i paesi di Barile e Melfi. Distruzioni estese si verificarono anche a Rapolla e Rionero in Vulture. Le maggiori intensità dei campi macrosismici si concentrano ad E-NE dall'epicentro. Danni rilevanti furono registrati a nord (Capitanata settentrionale) ed est (in direzione valle dell'Ofanto), meno a sud e ad ovest (<http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/quake.php?07534EN>). La sorgente considerata responsabile di tale evento è quella individuale di **Melfi (ITIS081)** parte del **sistema di Rapolla– Spinazzola (ITCS089)** (Figura 5). Il terremoto del 14 agosto del 1851 sembra non essere irrilevante in una prospettiva di deformazione crostale attiva, considerando l'allineamento del Vulture lungo una zona caratterizzata da anomalie geochimiche fino ai Campi Flegrei ad ovest. La distribuzione delle intensità di questo terremoto (Figura 9,

Figura 10. Mappa delle intensità MCS per l'evento del 1851 tratto da CFTI5 med (<http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/quake.php?07534EN>).

localizzate più a E-NE dall'epicentro, hanno fatto ipotizzare la presenza di una faglia profonda, cieca, che potrebbe essere riattivata dagli sforzi documentati in zona di avampaese come quelli della sequenza del 31 ottobre-1 novembre 2002 in Molise ed anteriormente quella del 5 maggio 1990- 26 maggio 1991 nel potentino, entrambi risentiti nel comune di Celle di San Vito con IMCS=5- 6 e IMCS=4 rispettivamente, descritti successivamente nel testo.

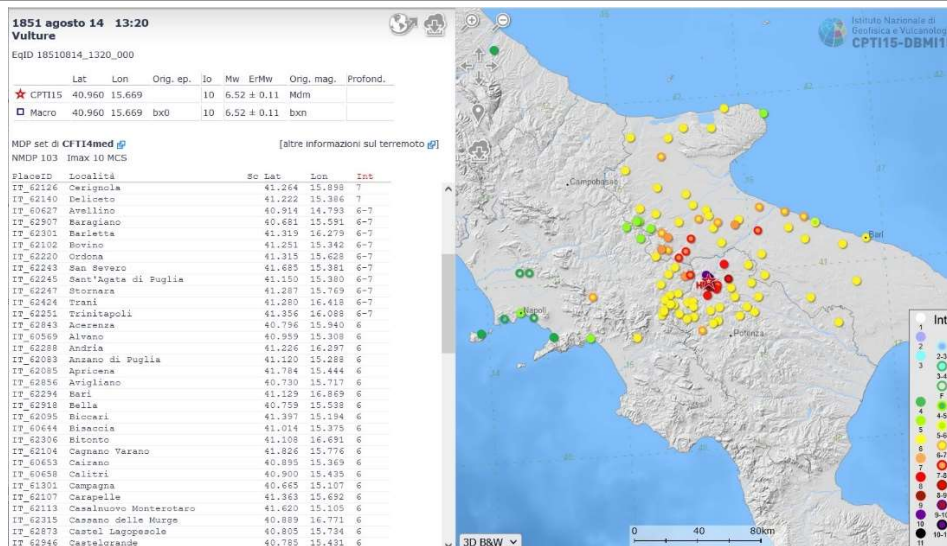


Figura 9. Mappa di scuotimento da dati macrosismici per l'evento del 14 agosto 1851 (Fonte https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/) risentito a Faeto con IMCS=5. Dettagli nel testo.

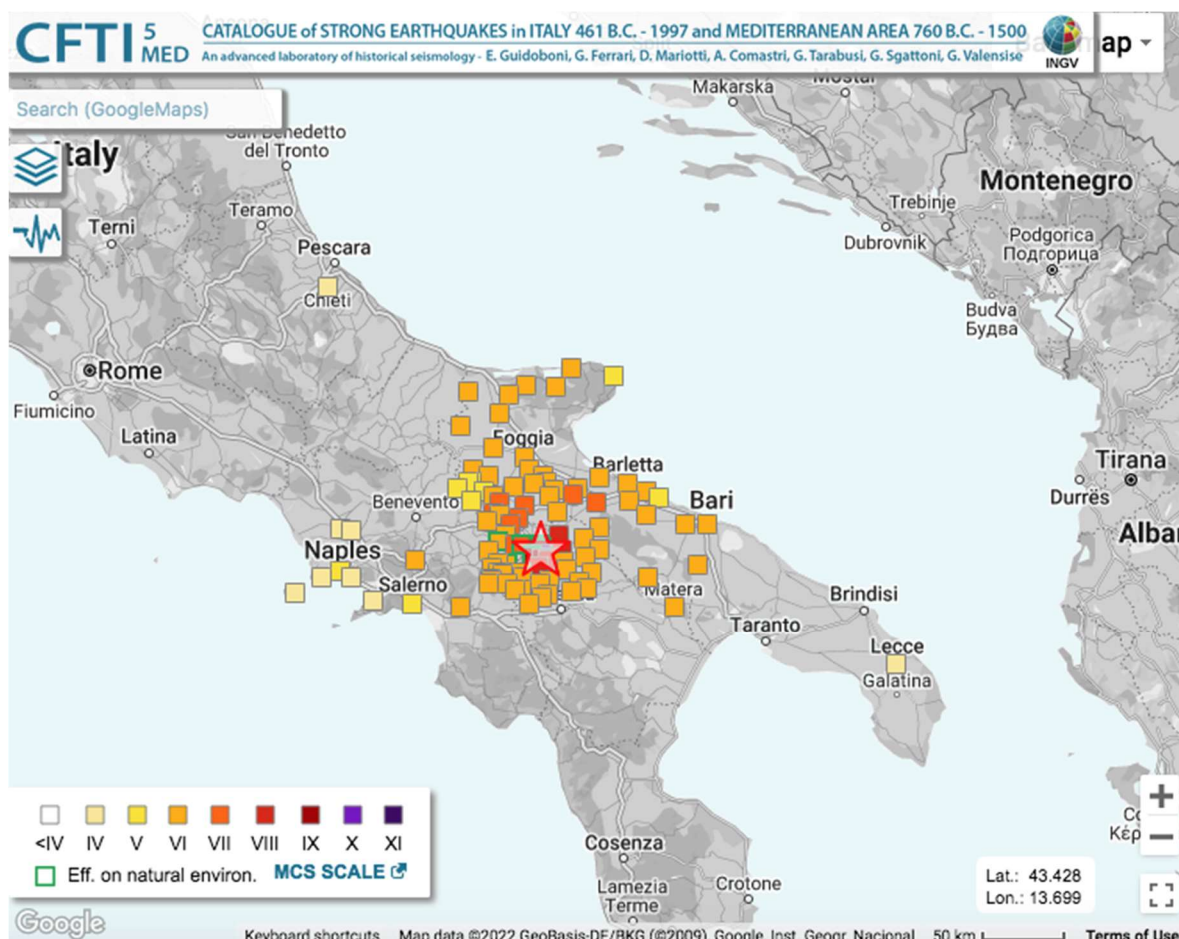


Figura 10. Mappa delle intensità MCS per l'evento del 1851 tratto da CFTI5 med (<http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/quake.php?07534EN>).

Il terzo evento riportato come risentito (IMCS = 5) nel comune di Celle di San Vito, è quello del 7 giugno 1910 (Figura 11), uno degli eventi con epicentro lungo l'asse appenninico in Irpinia - Basilicata.

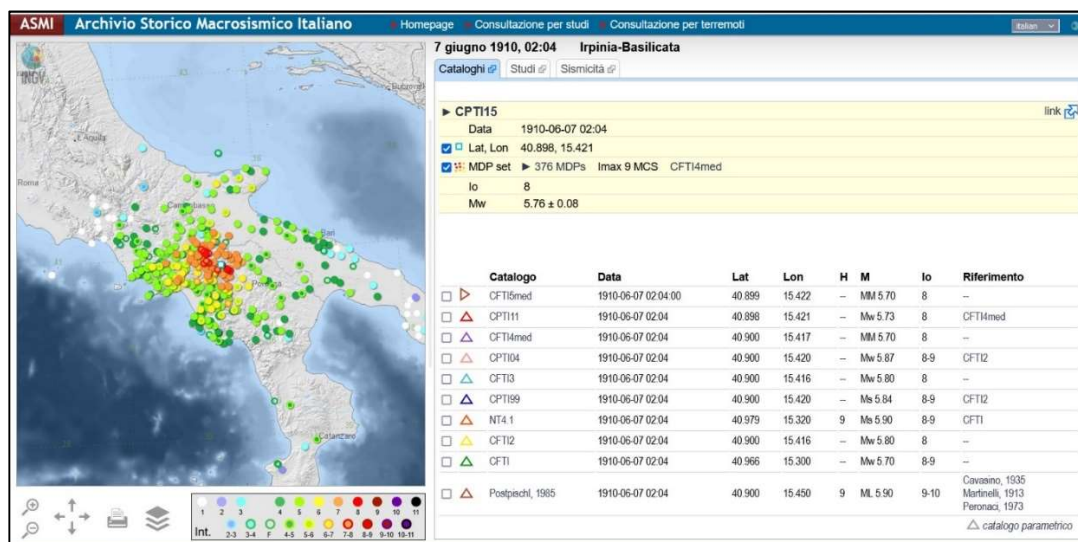


Figura 11. Mappa di scuotimento per l'evento del 7 giugno 1910 (Fonte https://emidius.mi.ingv.it/ASMI/event/19100607_0204_000).

È uno degli eventi attribuiti ad uno dei maggiori sistemi composti di faglie, il sistema **Mirabella-Eclano-Monteverde (ITCS084)**, esteso da Benevento ad ovest, fino al fianco settentrionale del vulcano Vulture ad est (Figura 5); appartiene al sistema di faglie da obliquo a trascorrente destro che coinvolge l'avampaese Adriatico centro-meridionale. È una faglia quasi verticale immergente a nord (strike 270-290; dip 55-75 <https://diss.ingv.it/diss330/sources.php?ITCS084>) che delimita l'asse estensivo dell'Appennino Meridionale. E' un sistema di faglie cieche con direzione ONO-ESE, parte di un meccanismo che sembra caratterizzare tutto il dominio sismogenetico a est dell'ossatura dell'Appennino Meridionale, e possibilmente anche di quello centrale. Cataloghi storici e strumentali (p.es. Boschi et al., 2000; Gruppo di lavoro CPTI, 2004, Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007), hanno evidenziato una concentrazione di terremoti catastrofici in quest'area.

Il settore occidentale di questa sorgente (valle dell'Ufita **ITIS006**) include la sorgente responsabile del terremoto del 1732, citato anteriormente (DISS Working Group 2022). A questa sorgente composita, che include nella porzione ad ovest la sorgente individuale **Bisaccia (ITIS088)**, di lunghezza 31 km, è attribuita la sequenza del 23 Luglio 1930 (I_0 = XI MCS, M_w = 6.7 Galli et al., 2002; Pino et al. 2008), non riportata come risentita nel comune oggetto di studio, anche se risentito nel comune prossimo, Faeto, con IMCS=7, e quella del 21 agosto 1962 (M_w = 6.2) riportata come risentita a Celle di San Vito con IMCS= 6-7 (Figura 6). Il sistema composito

Mirabella Eclano–Monteverde è parte di un meccanismo che sembra caratterizzare tutto il dominio sismogenetico ad est dell'ossatura dell'Appennino Meridionale, e possibilmente anche di quello centrale. L'evento del 1930, è uno fra gli eventi maggiori avvenuti in Appennino Meridionale (Beneventano-Alta Irpinia) tra l'asse della catena e il fronte sepolto della stessa, responsabile di aver causato 1400 morti ed un elevato danneggiamento allungato in direzione E-O (Pino et al., 2008). Il pattern di intensità macrosismica è simile a quello di altri terremoti storici per i quali è stato proposto in letteratura un meccanismo di faglia normale lungo piani ONO-ESE come causa. Una differenza sostanziale è rappresentata dalla direzione del campo macrosismico, intermedio tra quello delle faglie normali dell'Appennino orientate NO-SE e quelli con faglie orientate ca. E-O per i terremoti che avvengono nella zona di Avampaese. L'analisi delle forme d'onda storiche per chiarificare la geometria di faglia evidenzia per l'evento del 1930 un ipocentro ad una profondità di 14.6 ± 3 km che avrebbe rotto un piano immergente a nord con direzione N100E e movimento obliquo. La faglia si sarebbe propagata 32 km vs est a velocità di circa 2 km /sec. Il limite orientale della faglia è stato localizzato in prossimità del vulcano Vulture. In maniera simile al terremoto avvenuto il 5 maggio 1990 nel potentino risentito a Celle di San Vito con IMCS=5-6, l'ipocentro del terremoto è stato individuato nella serie carbonatica mesozoica dell'avanfossa Appula con una rottura sviluppata lungo una faglia cieca.

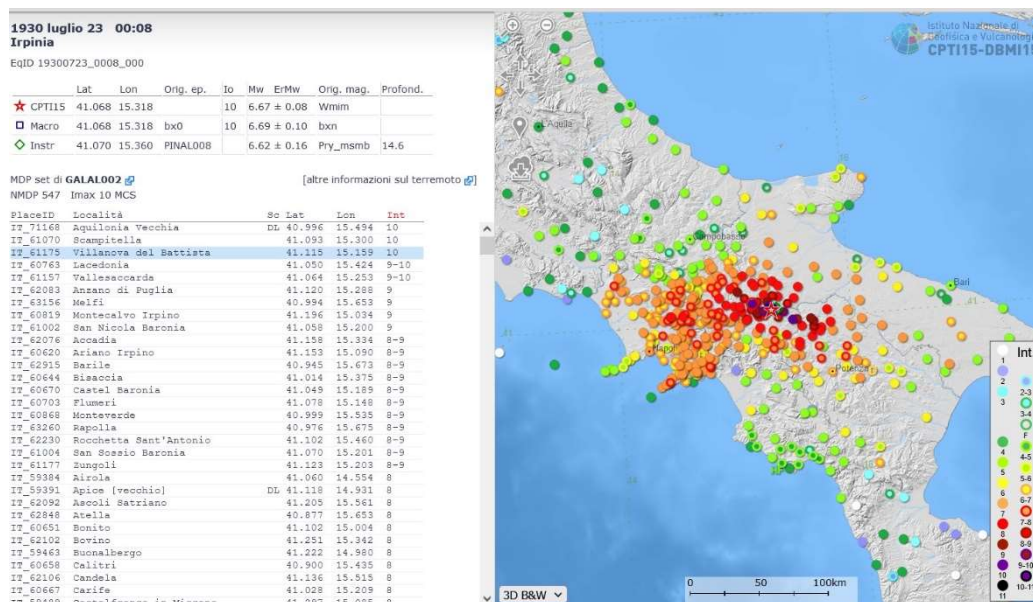


Figura 12. Mappa di scuotimento per l'evento del 23 luglio 1930 (tratto da https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/event/19300723_0008_000).

La stessa sorgente composita si considera una fra le sorgenti probabili della sequenza sismica avvenuta nel 1456 uno degli eventi più catastrofici avvenuti in Italia meridionale (Archivio ASMI

https://emidius.mi.ingv.it/ASMI/event/14561205_0000_000), e uno dei più forti nell'intera storia della penisola (Fracassi e Valensise 2007; Vannoli et al., 2016 e referenze incluse; Guidoboni et al 2018; Guidoboni et al., 2019) che coinvolse un'area estesa dall'Abruzzo centrale alla Puglia e dall'Adriatico al Tirreno (Baratta, 1901).

Sebbene anche questa sequenza non sia riportata fra gli eventi risentiti a Celle di San Vito anteriormente al 1732, è verosimile che la stessa sia stata risentita considerando le aree macrosismiche involucrate ed anche la prossimità della faglia di Pago Veiano- Monteaguto una delle sorgenti considerate più probabili per la sequenza del 1456 (Figura 8). Per questa sequenza sismica il 6% dell'intero territorio italiano risentì effetti di IMCS>VIII. La scarsità e la bassa qualità dei dati presenti considerando l'epoca storica in cui l'evento è avvenuto hanno reso difficile l'identificazione delle sorgenti responsabili di tale sequenza, considerando il pattern di danneggiamento molto diffuso (Figura 13; Magri e Molin, 1983; Meletti et al., 1988).

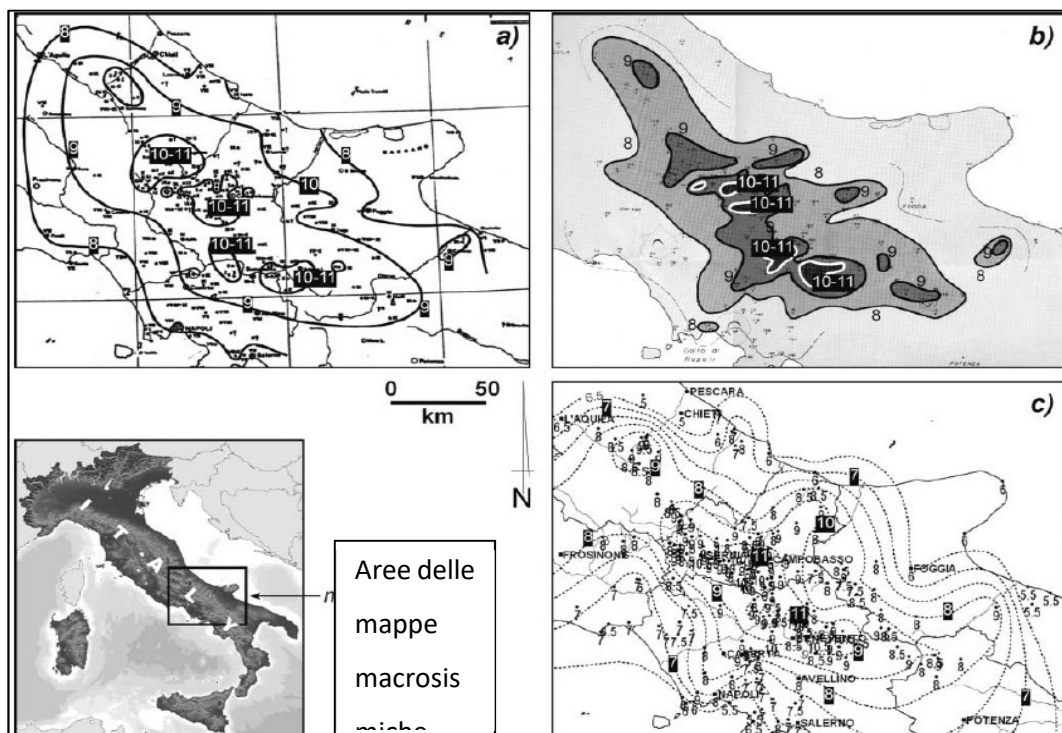


Figura 13. Mappe di intensità macrosismiche per la sequenza del 1456 da varie fonti a) Magri e Molin (1983); b) Meletti et al., (1988); c) Boschi et al. (2000). Modificato da Fracassi e Valensise (2007).

L'estensione dell'area danneggiata (Figura 13; ca. 18000 km²) e le testimonianze storiche, indicano il verificarsi di almeno due shock principali il 5 dicembre (Figura 14) ed il 30 dicembre 1456, di cui il primo e maggiore sembra essere avvenuto tra il 5 e il 10 dicembre 1456 (Magri e

Molin, 1983; Meletti et al., 1988; Guidoboni e Comastri, 2005). Repliche sarebbero avvenute durante tutto il resto del mese fino al secondo shock principale, avvenuto il 30 dicembre del 1456.

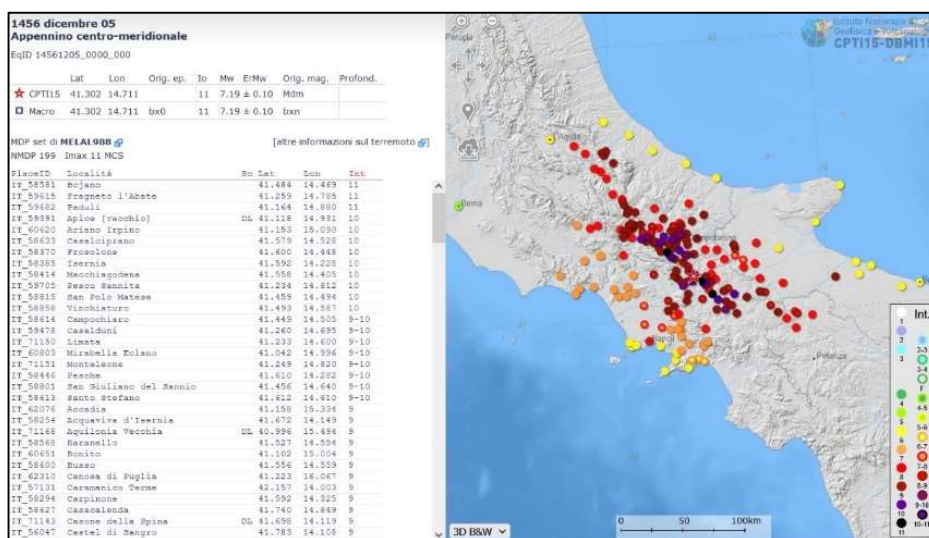


Figura 14. Mappa di scuotimento , basata in dati macrosismici, per l'evento del 5 dicembre 1456 (tratto da https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/querly_eq/).

La distribuzione dell'intensità del danneggiamento, ha suggerito il verificarsi di tre eventi separati, uno dei quali intermedio fra quelli principali, sarebbe avvenuto tra il 21 e il 22 dicembre (Fracassi e Valensise, 2007 e referenze incluse). La complessità del danno, è stata attribuita ad una combinazione di a) di una molteplicità di sorgenti (ad es. l'effetto di scuotimento causato da molte faglie parallele orientate E-O), b) della profondità delle sorgenti sismogenetiche (maggiore a 15 km e quindi capace di una forte propagazione regionale, che avrebbe accentuato il ruolo di anomalie locali), e c) di una relazione dinamica con grandi unità tettoniche dell'Appennino Meridionale. Considerando le aree descritte (Figura 5), le sorgenti responsabili degli eventi verificatisi tra il 5 ed il 30 dicembre si ipotizza siano state localizzate lungo vari sistemi di faglia quali: il sistema composito **Pago-Veiano Monteaguto (ITCS057)** poco a sud di Celle di San Vito (Figura 5; Figura 8), che rappresenta la più occidentale delle faglie trascorrenti orientate E-O a nord delle Murge. La sorgente singola **ITIS092_ Ariano Irpino** (Figura 5; Figura 8) e, nella porzione settentrionale in prossimità dell' intersezione tra il sistema di faglie di **Carpino Le Piane (ITIS089)/ Bacino Boiano (ITCS024)**, e la sorgente composita di **Pescolanciano- Montagano (ITCS 077)**, nella parte più interna del Molise, a NE di Isernia. Quest'ultima appartiene al sistema laterale obliquo che coinvolge l'Avampaese Apulo/Adriatico centrale e meridionale, ed è una faglia approssimativamente verticale, immergente a N, ad est del principale asse estensivo

dell'Appennino Meridionale, che comprende la sorgente sismica individuale di **Frosolone (ITIS095)** (Figura 5), a N di Campobasso, di lunghezza 36 km ed ampiezza 14 km, individuata con base in dati di macrosimicITÀ e dati geofisici (Fracassi e Valensise, 2007 e referenze incluse).

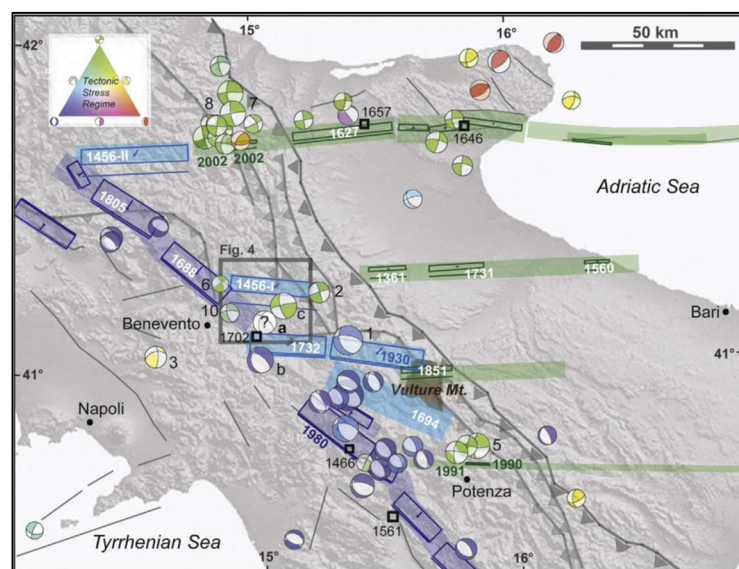


Figura 15. Mappa sismotettonica per l'area del Sannio Irpinia e zone adiacenti, nella quale sono evidenziate le maggiori strutture sismogenetiche d'accordo alla loro cinematica (diagramma di Froehlich, in alto) e l'ubicazione di alcuni degli eventi storici verificatisi, molti dei quali risentiti a Sant'Agata di Puglia, descritti nel testo. Si noti come molti eventi ricadono in posizione intermedia fra l'asse appenninico e zone di avampaese (da Vannoli et al 2016).

La concentrazione di tanti terremoti catastrofici nell'area, ha evidenziato la complessità della coesistenza di meccanismi tettonici differenti e la dinamica di interazione fra diversi sistemi di faglie (se esistenti e a che profondità (Fracassi et al., 2006).

Al sistema di **Miranda Apice (ITCS024)**, localizzato tra il fiume Sangro e il Volturno e le città di Isernia (a nord) e Benevento (a sud), che rappresenta la porzione più settentrionale del sistema di faglie normali orientate NO-SE con cinematica normale lungo l'asse della catena, cataloghi storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di lavoro CPTI 2004; Guidoboni et al., 2007) attribuiscono molti eventi distruttivi avvenuti a partire dal 848 A.D. (M_w 6.0- Sannio), nel 99 A.D. (M_w 6.3 Circello), nel 1456, (repliche a nord e sud successive all'evento catastrofico del 5 dicembre 1456, M_w 7.0- 6.6 Guidoboni e Comastri, 200), il 5 giugno 1688 (M_w 6.7 Sannio), il 14 marzo 1702 (M_w 6.3, Sannio-Irpinia) ,il 29 novembre 1732 (M_w 6.3, Sannio-Irpinia) primo fra i terremoti riportati come risentiti nel comune di Celle di San Vito, il 26 luglio 1805 (M_w 6.6), ed il 21 agosto 1962 (M_w 6.2, Irpinia) risentito a Celle di San Vito con IMCS= 6-7 (Figura 6). Tutti questi eventi presentano varie complessità, in parte ancora da risolvere, dovute allo scenario dei

danni riportati, ai meccanismi di faglia distinti inferiti, e a volte, alla stessa localizzazione epicentrale degli eventi.

La sequenza del 21 agosto 1962 (Figura 16), in prossimità della città di Benevento, risentita a Celle di San Vito con IMCS=5-6 fu caratterizzata da tre terremoti il maggiore dei quali di $M_w=6.1$ che interessarono la stessa area in un lasso di tempo inferiore a 40 min (alle 18.09; 18:19 e 18:44 UTC). Vannoli et al. (2016) hanno recentemente determinato i meccanismi focali, la magnitudo ed i piani nodali della prima sequenza (alle 18:09), così come l'epicentro di tale evento (Figura 17). Il meccanismo focale mostra una rottura dominante su piani trascorrenti E-O immergenti a nord, oppure lungo un piano con direzione N-S immergente ad ovest (Vannoli et al., 2016). L'epicentro è localizzato poco ad est dell'asse appenninico, prossimo ad una delle sorgenti trascorrenti oblique E-O, immergenti a nord, che si pensa abbiano causato uno dei tre eventi maggiori della sequenza del 1456 ($I_0=XI$ MCS), l'evento più distruttivo avvenuto in Appennino Meridionale conosciuto finora. Secondo Vannucci et al., (2016) il meccanismo più probabile sarebbe di trascorrenza destra lungo un piano immergente a nord, come quello di uno degli eventi (più a sud) del 1456 e altri eventi minori avvenuti in epoca strumentale come quello del 6 maggio 1971 ($M_w=5.0$) risentito a Celle di San Vito con IMCS= 4-5 (Figura 18), e quello del 27 settembre 2012 ($M_w=4.6$) , non risentito nell'area in studio.

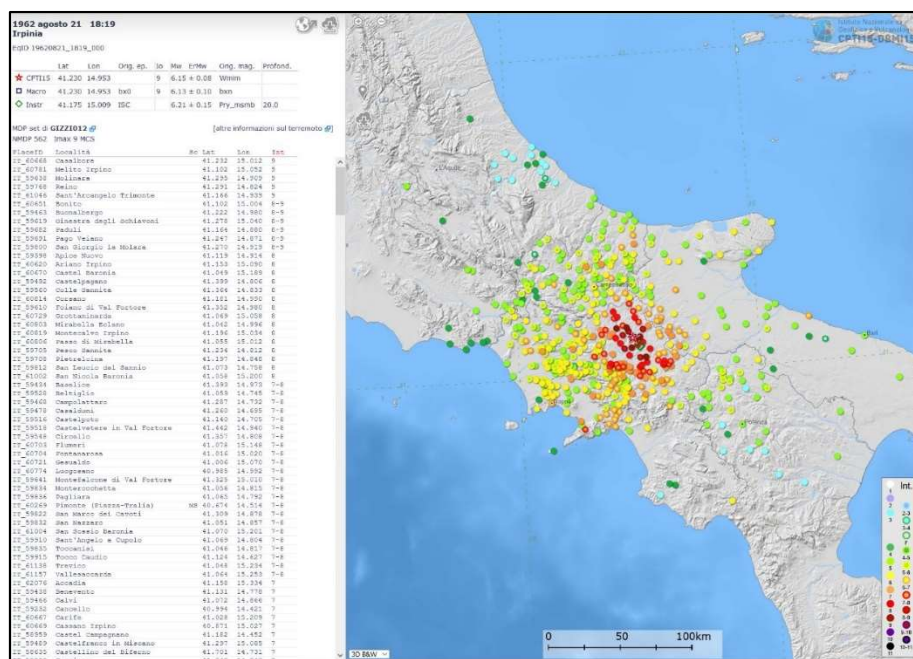


Figura 16. Mappa di scuotimento per l'evento del 21 Agosto 1962
(https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/event/19620821_1819_000).

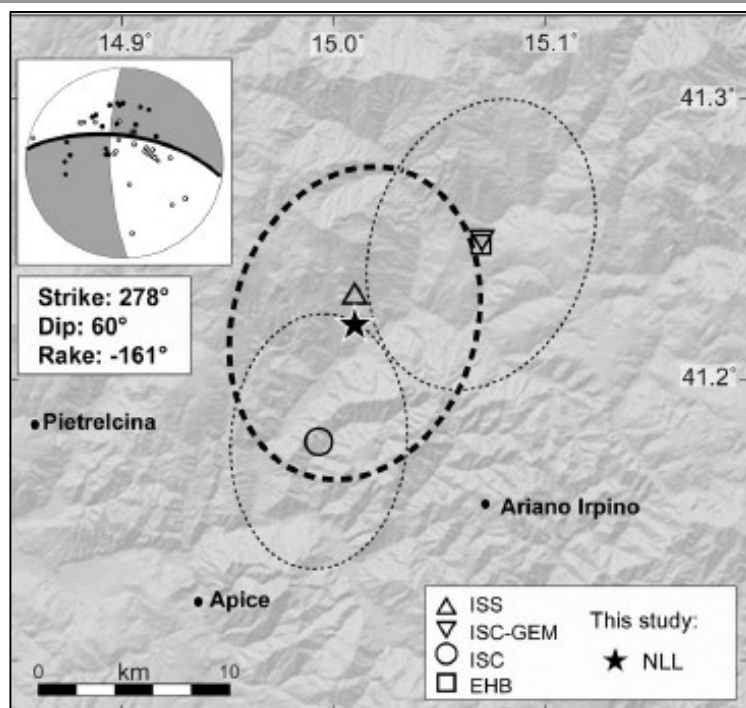


Figura 17. Localizzazione epicentrale dell'evento del 21 agosto 1962 alle 18:09 secondo Vannoli et al. (2016), ed ellissoidi di errore. Tratto da Vannoli et al. (2016).

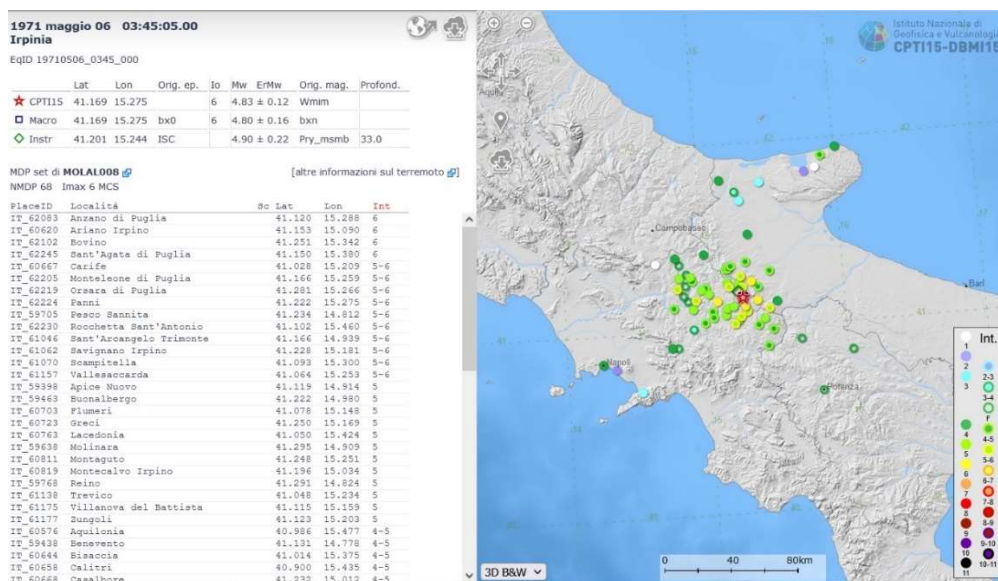


Figura 18. Mappa di scuotimento per l'evento del 6 maggio 1971 (tratto da https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/).

La porzione occidentale della sorgente composita **Baragiano Palagianello (ITCS005)** (Figura 5), dal fianco N del vulcano Vulture, include la faglia che ha causato la sequenza sismica nel 1990-91 nel potentino, della quale l'evento del 5 maggio 1990 (Figura 19) è riportato come risentito nel comune di Celle di San Vito con IMCS=5-6 (Figura 6).

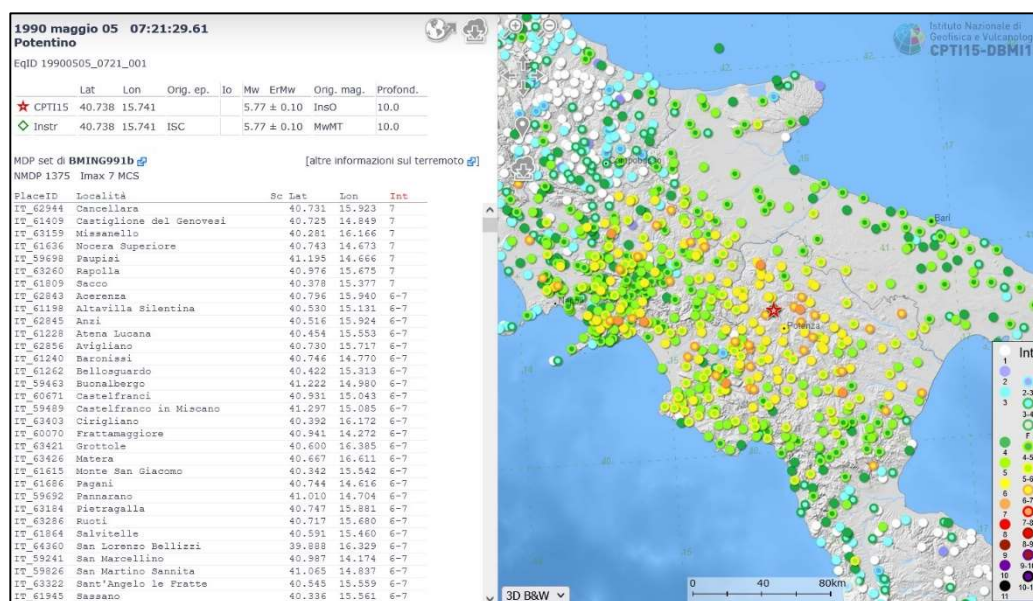


Figura 19. Mappa di scuotimento per l'evento del 5 maggio 1990 avvenuto nel potentino. (Fonte https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/).

La sorgente composita **Andretta Filano (ITCS063)** localizzata fra la Campania e la Basilicata a sud del vulcano Vulture (Figura 5), è un sistema che appartiene al sistema obliquo- trascorrente destro che coinvolge l'Avampaese centro meridionale. È una faglia quasi verticale, immergente a N, ad est del maggiore asse estensivo dell'Appennino Meridionale, capace di coinvolgere l'intero dominio sismogenetico dell'Appennino Meridionale e potenzialmente anche l'Appennino Centrale come evidenziato dalla sismicità storica (e.g. DISS Working Group 2022; Guidoboni et al, 2007). Una delle faglie appartenenti a tale sistema localizzata a sud del vulcano Vulture, è responsabile, fra altri, del sisma avvenuto il 23 novembre 1980 (M_w 6.9) in Irpinia-Basilicata, risentito a Celle di San Vito con IMCS=7 (Figura 20). La distribuzione epicentrale degli eventi dell'8 settembre 1694 (non riportato come risentito nell'area in studio Figura 6) e del 23 novembre 1980, a distanza di 5-6 km uno dall'altro, ha fatto ipotizzare che gli stessi fossero stati causati da due faglie distinte: l'evento del 1694 sarebbe stato localizzato più ad est della faglia responsabile

di un evento della sequenza del 23 novembre 1980, possibilmente più profonda e con una componente laterale.

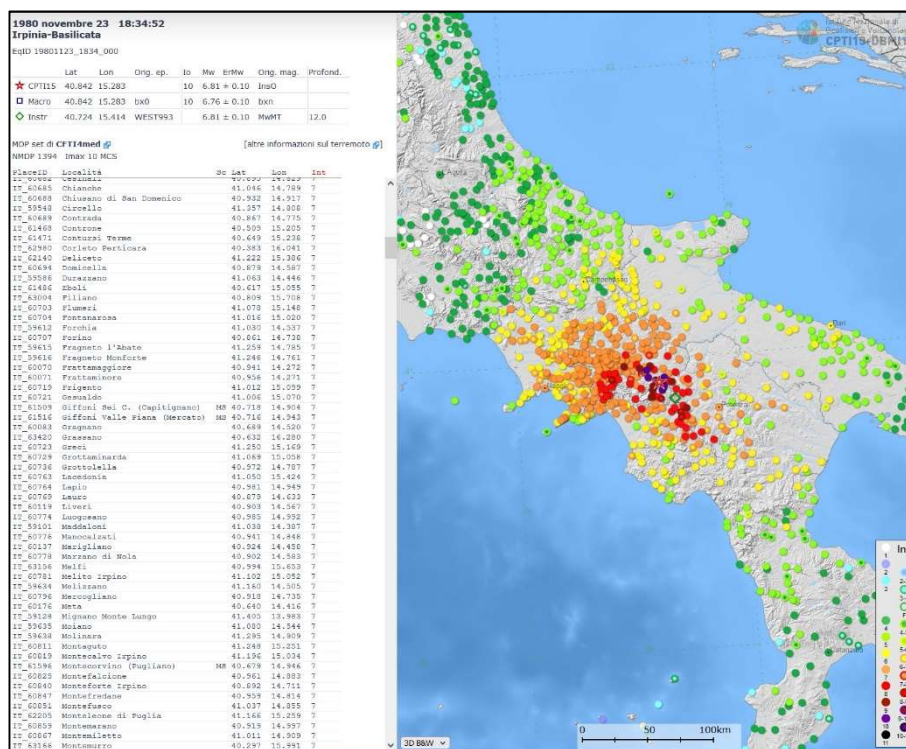


Figura 20. Mappa di scuotimento per l'evento 23.11.1980 in Irpinia (Fonte: https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/event/19801123_1834_000).

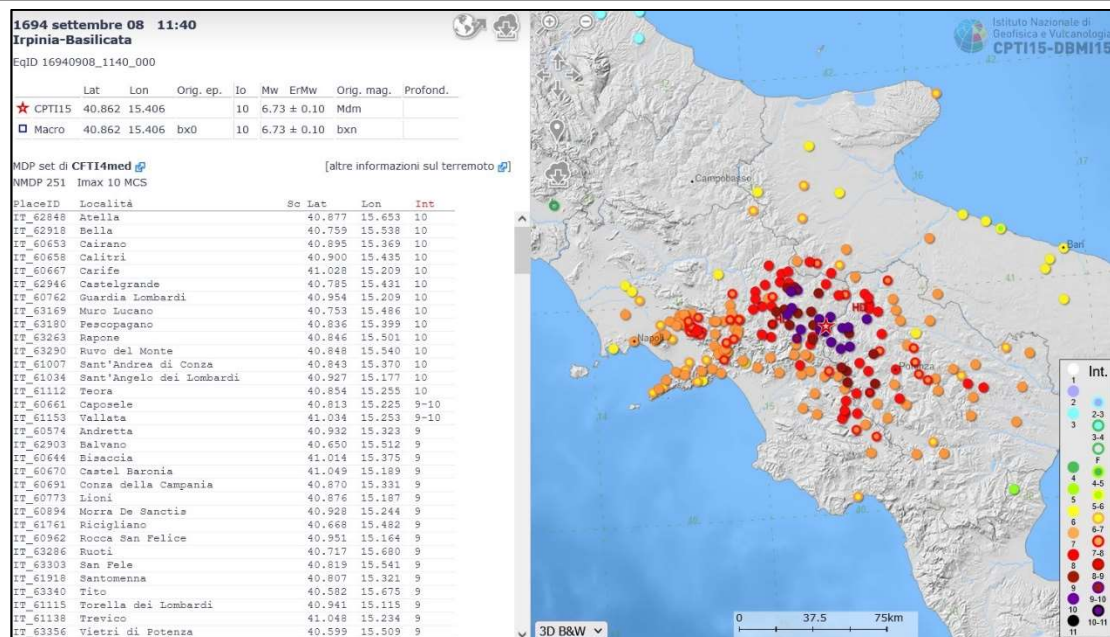


Figura 21. Mappa di scuotimento per l'evento dell'8 settembre del 1694, da dati macrosismici
(Fonte https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/).

Studi recenti della sismicità storica nell'area irpina, una delle maggiori in Appennino in termini di frequenza di eventi e di magnitudo massima, hanno evidenziato che gli epicentri di questi ed altri eventi sono concentrati principalmente al tetto del sistema di faglie di Monte Marzano (MMFS, Galli, 2020 e referenze incluse). Come osservato per i sistemi di faglie normali in Appennino, gli eventi di magnitudo $M_w \geq 6.9$ sarebbero stati causati dalla rottura lungo l'intero sistema MMFS, mentre terremoti di minore intensità sarebbero avvenuti lungo segmenti singoli o gruppi dello stesso sistema. Studi paleosismologici hanno evidenziato il verificarsi di terremoti altamente distruttivi negli ultimi due millenni, causati dalla riattivazione di porzioni dello stesso sistema di faglie (MMFS,

Figura 22) da cui si è generato il terremoto del 23 novembre 1980 (Galli, 2020). Quest'ultimo è stato accompagnato da uno fra le due più estese fagliazioni in superficie in Italia (30 km Galli, 2020). La riattivazione di porzioni diverse della MMFS negli ultimi due millenni, avrebbe causato terremoti catastrofici fra i quali quello del 15 gennaio 1466 ($M_w=5.9$), quello dell'8 settembre 1694 ($M_w=7.0$), del 1° febbraio 1826 ($M_w=5.7$), e del 9 aprile 1853 ($M_w=5.9$), tutti non riportati come risentiti nell'area in studio.

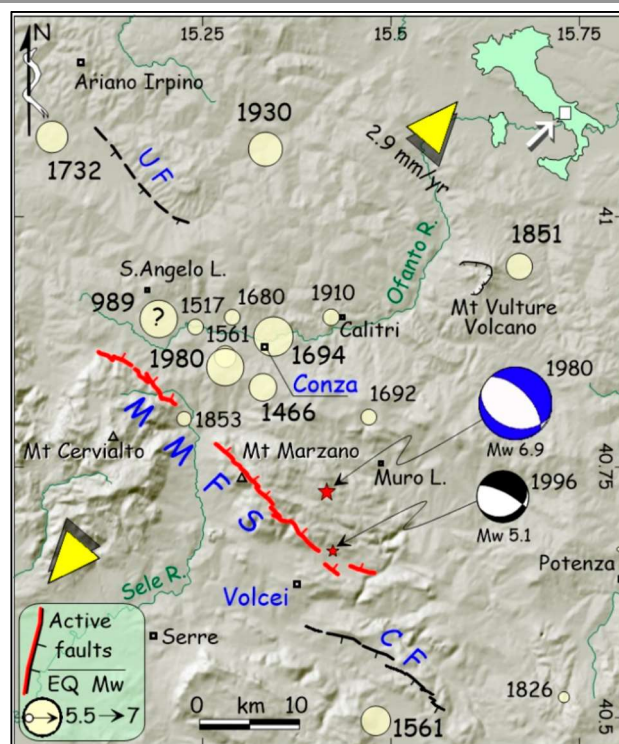


Figura 22. Epicentri macrosismici dei terremoti di $M_w > 5.5$ in Irpinia meridionale. Nonostante la localizzazione approssimata, gli eventi ricadono principalmente a tetto del sistema di faglie di Monte Marzano (MMFS), tranne per gli eventi del 1732 e 1930, prossimi alla faglia di valle dell'Ufita (ITIS006). I triangoli gialli indicano l'estensione crostale. Tratto da Galli (2020).

La sorgente composta **Irpinia-Valle Agri (ITCS034)** tra l'Irpinia e la Basilicata (Figura 5); Gruppo di lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) comprende una fascia lungo le valli dell'alto Sele a nord e dell'alto Agri a sud, ad ovest di Potenza e costituisce il nucleo meridionale del sistema di faglie ad alto angolo che immerge a NE dell'Appennino Meridionale, e si snoda lungo l'ossatura dell'intero asse estensivo dell'Appennino Meridionale orientato NO-SE. I terremoti del 1980 a nord (Figura 20), e del 16 dicembre 1857 ($M_w = 7.0$) a sud, quest'ultimo non riportato fra gli eventi risentiti nel comune di Celle di San Vito (Figura 6), ha permesso individuare la presenza di una faglia lunga 25 km capace di invertire la topografia e interferire con il drenaggio. I segmenti principali di questa sorgente sono stati associati con terremoti storici nella regione.

Studi macrosismici di faglie normali riattivate di recente hanno mostrato che la forte direzionalità degli effetti di rottura ha un effetto sulla distribuzione del danno. Analizzando gli eventi del 1694 e 1980, solo l'ultimo dei quali risentito a Celle di San Vito con IMCS= 6, Galli (2020) ha proposto che la rottura sul piano di faglia responsabile dell'evento del 1694 si sarebbe generata nella

porzione a NO della MMFS propagandosi verso SE, mentre nella sequenza del 1980 la rottura si sarebbe generata da SE e propagata verso NO.

Il terremoto del 1980 ha evidenziato inoltre che la maggiorparte dell'attività sismogenetica in Irpinia è il risultato di grandi faglie giovani (o riattivate in epoca recente). I terremoti più grandi (in termini di intensità risentite e M_w) si concentrano lungo l'asse appenninico ed hanno una cinematica estensionale pura. Questa caratteristica è stata attribuita alla riorganizzazione del campo di stress al sollevamento successivo al Pleistocene Inf. (Valensise et al., 2004). L'estensione attuale interagirebbe con strutture tettoniche pre-esistenti, modulata da cambi di facies e dall'interazione con lunghi lineamenti tettonici.

Il terremoto del 1980 ha evidenziato inoltre che la maggiorparte dell'attività sismogenetica in Irpinia è il risultato di grandi faglie giovani (o riattivate in epoca recente). I terremoti più grandi (in termini di intensità risentite e M_w) si concentrano lungo l'asse appenninico ed hanno una cinematica estensionale pura. Questa caratteristica è stata attribuita alla riorganizzazione del campo di stress successiva al sollevamento nel Pleistocene Inf. (Valensise et al., 2004). L'estensione attuale interagirebbe con strutture tettoniche pre-esistenti, modulata da cambi di facies e dall'interazione con lunghi lineamenti tettonici.

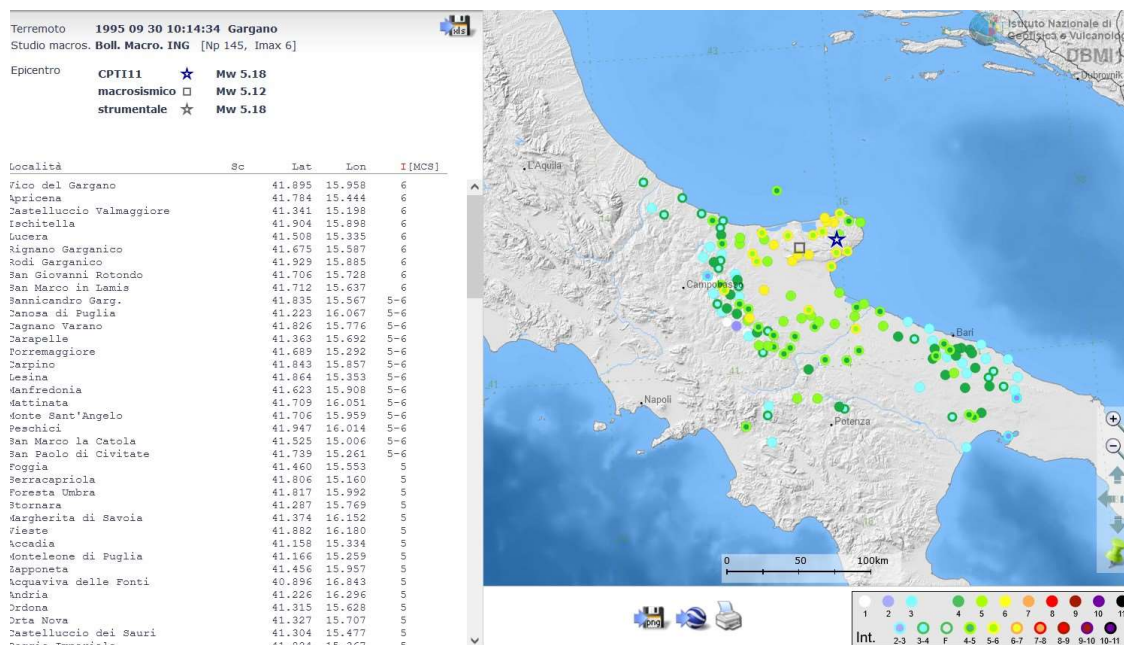


Figura 23. Mappa di scuotimento per l'evento del 30 settembre 1995 (tratto da [https://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/query_eq/external_call.htm?eq_id=3306&eq_group=&lang=un defined](https://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/query_eq/external_call.htm?eq_id=3306&eq_group=&lang=un%20defined))

L'ultimo evento risentito con IMCS=5 è quello del 30 settembre 1995 (Mw=5.2 Figura 22), l'unico con ipocentro nel promontorio del Gargano. Il sistema responsabile di tale evento è da ricercarsi nella sorgente composita **San Marco in Lamis-Mattinata (ITCS058)** (strike 260-290; dip 75-90 <https://diss.ingv.it/diss330/sources.php?ITCS058>) che coinvolge l'intera lunghezza del Promontorio del Gargano ed appartiene al sistema obliquo trascorrente che coinvolge l'Adriatico Centrale e meridionale (DISS Working Group 2022). La sorgente e la faglia di Mattinata, quasi verticale immergente a N, localizzato molto ad est rispetto al principale asse estensivo dell'Appennino Meridionale, con vari eventi avvenuti in epoca storica. Rappresenta un sistema di faglie mesozoico orientato E-O, con cinematiche che sono variate nel tempo, in parte abbandonate ed in parte riattivate nel presente regime tettonico (cfr evoluzione Geologica).

2.2 Sismicità recente dell'area di studio

Zonazione sismogenetica ZS9

Per la determinazione delle zone sismogenetiche in grado di generare terremoti che possono colpire il comune di Celle di San Vito, è stato fatto riferimento alla nuova cartografia prodotta per la "Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica – prevista dall'Ordinanza PCM del 20 marzo 2003, n° 3274 – Rapporto Conclusivo – "Allegato 2: Zonazione sismogenetica ZS9" In tale discretizzazione il comune è compreso tra le zone 924-925 e 927 (Figura 24).



Figura 24. Zone sismogenetiche dell'Appennino Meridionale
(http://www.pcn.minambiente.it/viewer/index.php?services=Zone_sismogenetiche_ZS9).

Gli eventi sismici registrati in epoca storica nel comune Celle di San Vito, mostrano registri a partire dal 1732, anche se considerando le distribuzioni macro e mesosismiche per alcuni eventi avvenuti nei secoli anteriori, quale per esempio la sequenza del 1456, è verosimile supporre che vari di quelli citati, che rappresentano alcuni fra i più forti mai avvenuti nella penisola, siano stati risentiti, ma non riportati. Grazie agli studi degli ultimi decenni è stato possibile riconsiderare i meccanismi focali di alcune delle sequenze più complesse avvenute nella storia (p.es. sequenza del 1456), evidenziando la possibile interazione fra vari sistemi prossimi l'uno all'altro, e la possibilità di uno stile sismogenetico intermedio fra puramente estensionale in direzione appenninica e trascorrente destro nell'Avampaese (Fracassi e Valensise, 2007). Queste caratteristiche hanno permesso di spiegare *patterns* di danneggiamento controversi, evidenziando la possibile riattivazione di sorgenti con cinematica distinta che riescono a coinvolgere porzioni di territorio molto estese.

È importante notare che la sequenza sismica del 21 agosto 1962 ($M_w=7.19$), fortemente risentita nel comune (IMCS=6-7 Figura 16; Figura 17), anche d'accordo a testimonianze orali raccolte durante questo studio è la prima avvenuta in un periodo di svolta per la sismologia moderna, grazie all'istallazione di varie stazioni sismiche e lo sviluppo di due network globali (reti WWSSN e EESN). L'istallazione di tali *network* ha permesso per la prima volta il confronto fra ampiezze distinte in ampie regioni, permettendo di inferire le caratteristiche della sorgente e del mezzo di propagazione usando la sismologia quantitativa (Vannoli et al., 2016 e referenze incluse). Nonostante sia tuttora controversa, come varie nel passato, la sequenza sismica del 1962, ha permesso di comprendere meglio la sismotettonica della regione. Gli eventi successivi, primo fra i quali quello del 6 maggio 1971, risentito anche a Celle di San Vito suggerisce che il meccanismo di fagliamento normale non sia quello predominante in questa porzione della penisola italiana (Vannoli et al., 2016).

Confrontando le intensità macrosismiche di eventi avvenuti in epoca precedente a quel strumentale con quelli in epoca strumentale, Fracassi e Valensise (2007) hanno riscontrato *patterns* di danneggiamento simili per alcuni eventi sismici (p.es. eventi del 1694 e 1980 entrambi di magnitudo 6.9) evidenziando la riattivazione di diverse porzioni della stessa faglia a distanza di secoli: La diversità osservata nei pattern di danneggiamento nelle stesse zone epicentrali (p.es. 15 gennaio del 1466 avvenuto nella stessa area epicentrale dell'evento del 23 novembre 1980), ha suggerito un diverso meccanismo di fagliamento, o una diversa sorgente, o entrambi.

La reinterpretazione critica di dati esistenti e di nuovi (Fracassi e Valensise, 2007 e referenze incluse; Vannoli et al., 2016), ha suggerito per alcuni eventi complessi quale quello del 1456

(descritto nei paragrafi precedenti) l'ipotesi di macroregioni sismogenetiche caratterizzate da faglie trascorrenti oblique lungo piani preferenziali E-O, limitate da sistemi di faglie normali NO-SE (ad ovest) ed il fronte Appenninico sepolto (ad est). Esistono molte domande ancora aperte, una fra tante la modalità di interazione fra faglie prossime con cinematica distinta, già ipotizzata a principio del XX secolo (Baratta, 1901).

2.3 Pericolosità sismica di base

Per la valutazione della pericolosità sismica dell'abitato di Celle di San Vito sono state consultate le Mappe interattive di pericolosità sismica 2004-2006 (versione 2.0 aggiornata al 1 gennaio 2019), nell'applicazione web dell'INGV: "Modello di Pericolosità sismica MPS04-S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>), sviluppata da F. Martinelli e C. Meletti nell'ambito della *Convenzione INGV-DPC 2004-2006- Progetto S1*. Il sito permette di interrogare e visualizzare valutazioni probabilistiche della pericolosità sismica di lungo termine espressa con vari parametri di scuotimento su una griglia a passo 0.05° (ca. 5 km). Le mappe permettono di visualizzare due parametri dello scuotimento quali PGA (Peak Ground Acceleration) picco di accelerazione orizzontale al suolo, $a(g)$, e SA accelerazione spettrale in funzione del periodo di vibrazione ($Se(T)$ nelle NTC18). Le stime in PGA sono calcolate per diverse probabilità di superamento di soglie di accelerazioni in 50 anni (dal 2% all'81%) e per ciascuna stima è disponibile il valore del 50° (valore mediano, stima di riferimento per ogni probabilità di superamento) ed i valori del 16° e 84° percentile (che indicano le incertezze delle stime).

Il grafico di disaggregazione permette l'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici, in quanto riporta la valutazione del contributo percentuale alla stima di pericolosità fornita considerando coppie diverse di magnitudo e distanza. I dati relativi al comune di Celle di San Vito, afferiscono/ sono stati inclusi nel nodo di Faeto e sono riportati in Figura 25, Figura 26 e Figura 27.

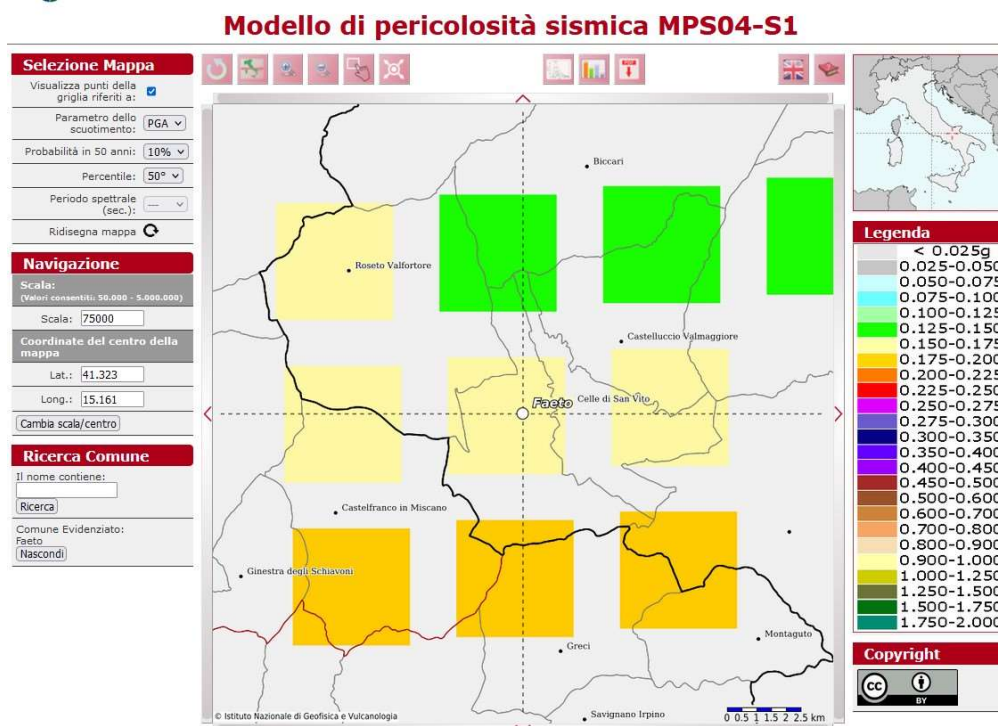


Figura 25. Schermata ottenuta dal sito <http://esse1.mi.ingv.it/>, che mostra la posizione del comune di Celle di San Vito afferente al nodo di Faeto, in mappe di pericolosità sismica.

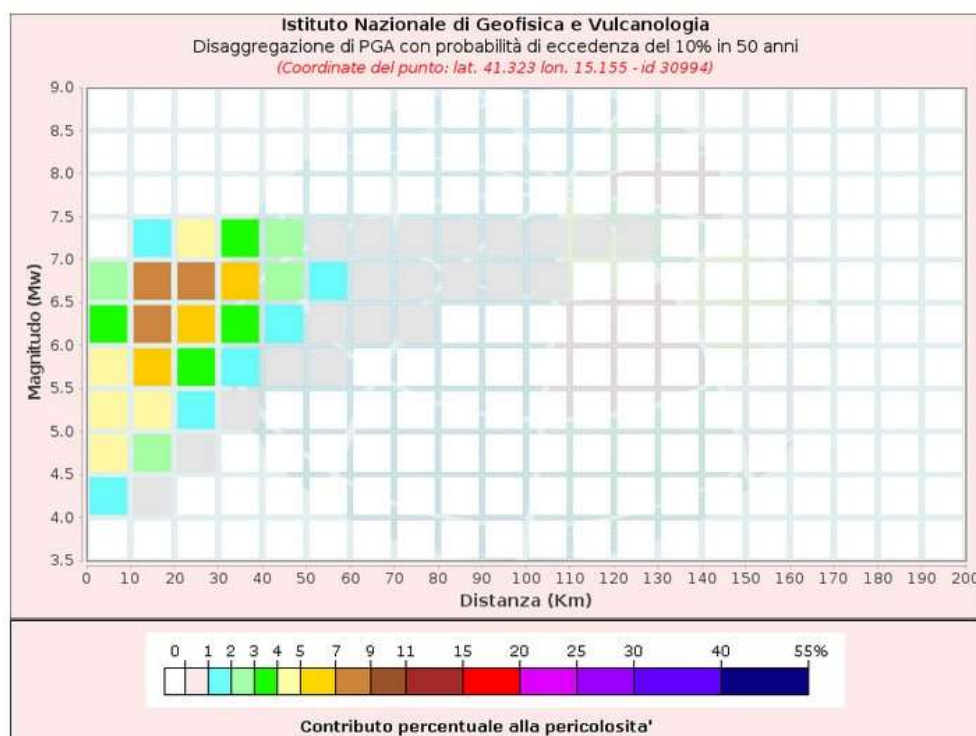


Figura 26. Schema ottenuta dal sito <http://esse1.mi.ingv.it/>, che mostra i contributi percentuali alla stima della pericolosità forniti da tutte le possibili coppie di magnitudo (M) e distanza (R), in forma grafica.

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 41.323 lon. 15.155 - id 30994)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	1.2600	4.0000	4.7200	4.5800	3.7500	2.6600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.3840	2.1700	4.3400	6.5100	7.7800	7.6200	1.6600	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.1710	1.4400	3.6700	6.1900	8.0900	4.3500	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.1460	1.3600	3.3300	5.5100	3.6600	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2340	1.3500	2.8900	2.1800	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0062	0.3500	1.1400	0.8970	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0616	0.4730	0.4350	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.1720	0.2230	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0500	0.1040	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0097	0.0412	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0182	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0060	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
6.22	22.2	1.04

Figura 27. Schema ottenuto dal sito <http://esse1.mi.ingv.it/>, che mostra i contributi percentuali alla stima della pericolosità forniti da tutte le possibili coppie di magnitudo (M) e distanza (R), in forma tabellare, per il comune di Faeto per il quale sono riportati i valori medi di M-D ed epsilon.

3.ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento geologico

Il comune di Celle di San Vito, localizzato in area di catena dell'Appennino meridionale, occupa la porzione più settentrionale della cartografia in scala 1:100.000, Foglio 174 "Ariano Irpino", al limite con il foglio 163 "Lucera" (Figura 28). Dal punto di vista geologico, l'area in esame è ubicata in prossimità (poco ad ovest) del limite Catena-Avanfossa dell'Appennino meridionale (Appennino Dauno); il dominio strutturale tipico di quest'area è quello del margine esterno di Catena orientato circa NO-SE.

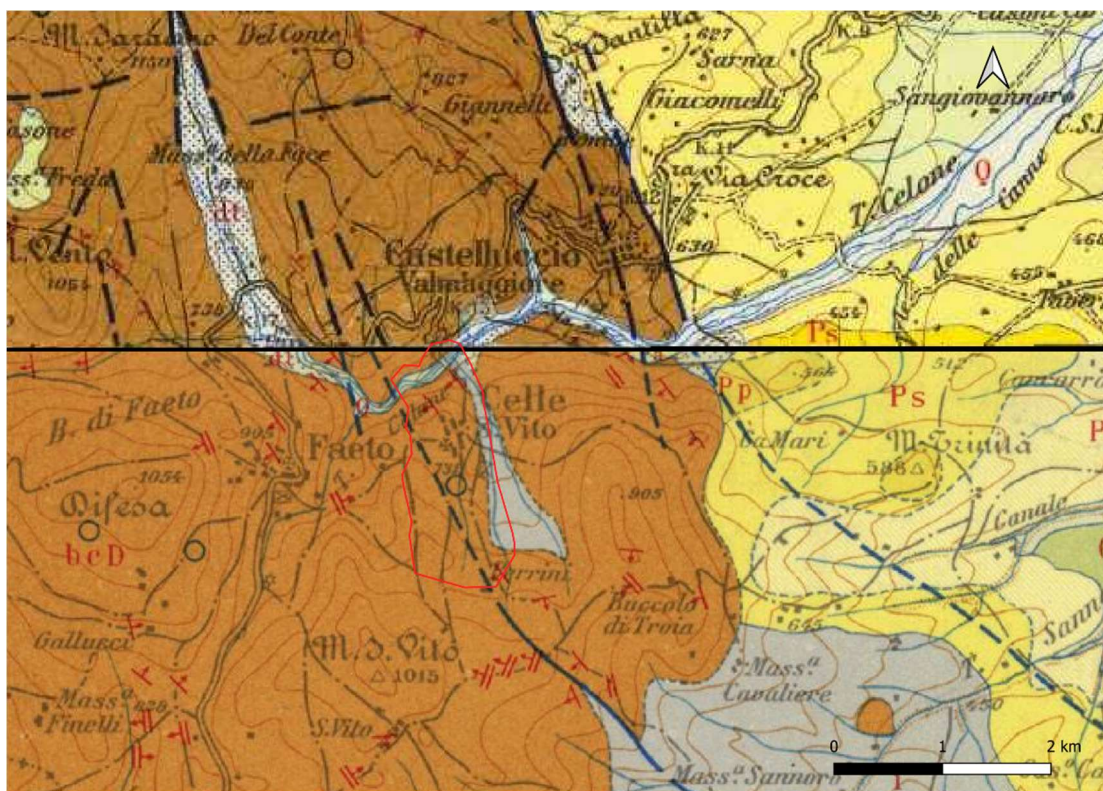


Figura 28. Schema di inquadramento dell'area di interesse nella cartografia esistente nella cartografia esistente a scala 1:100.000 (F. 174 Ariano Irpino, a sud, e F163 Lucera a nord).

Come riferimenti principali di cartografia geologica esistente, sono stati considerati il Foglio 174 "Ariano Irpino" e F 163 "Lucera" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000. Per la descrizione aggiornata delle suddivisioni litostratigrafiche e unità formazionali, si è fatto riferimento ai fogli CARG F 433 "Ariano Irpino" e 407 "San Bartolomeo in Galdo", con relative Note Illustrative.

Nella cartografia esistente la porzione più occidentale dell'area perimetrata (Figura 28) è occupata da un **Complesso Indifferenziato (i)**, di età compresa tra il Cretaceo e il Paleogene, circoscritto all'area orientale tra il canale della Perraglia e il torrente Fontanelle, immissari del torrente Celone, a nord del paese. Tale Complesso Indifferenziato è descritto come di “argille e marne prevalentemente siltose, grigie e varicolori con differente grado di costipazione e scistosità; interstrati o complessi di strati calcarei, calcareo- marnosi, calcarenitici, brecce calcaree, arenarie varie, puddinghe, diaspri e scisti diasprigni”. La gran parte dell'area oggetto di studio è compresa in quella definita come **Formazione della Daunia (bcD)**, di età miocenica, costituita da “brecce, brecciole, calcarenite alternanti a marne ed argille di vario colore; argille e marne siltose, calcari pulverulenti organogeni, calcari microgranulari biancastri e giallastri, arenarie gialle, puddinghe poligeniche; e foraminiferi paleogenici, macro e microfaune del Miocene” (Foglio 174 CARG cit.). L'esistenza di un lineamento tettonico in direzione NO-SE è indicata come probabile lungo il margine occidentale del paese (Figura 28). **Alluvioni recenti ed attuali (Q)** e **detriti di falda e frana (qt)** quaternari sono riportati unicamente nel letto del torrente Celone, a nord del paese.

Le caratteristiche dei litotipi descritti nel Complesso Indifferenziato (i) e nella Fm della Daunia (bcD) richiamano nei caratteri litologici ed età, le unità litostratigrafiche descritte in aree di catena appenninica, nei fogli in scala 1:50.000 del progetto CARG realizzati più recentemente, fra i quali il F. 407 “San Bartolomeo in Galdo”, a nord dell’area in studio e relative note Illustrative In area di catena più esterna (Figura 29), è descritta l’Unità Tettonica (UT) della Daunia, suddivisa in tre unità litostratigrafiche, dalla più antica alla più recente: Flysch Rosso (FYR), Flysch di Faeto (FAE) e marne argillose del Toppo Capuana (TPC), i cui caratteri sono descritti nel paragrafo 3.3.

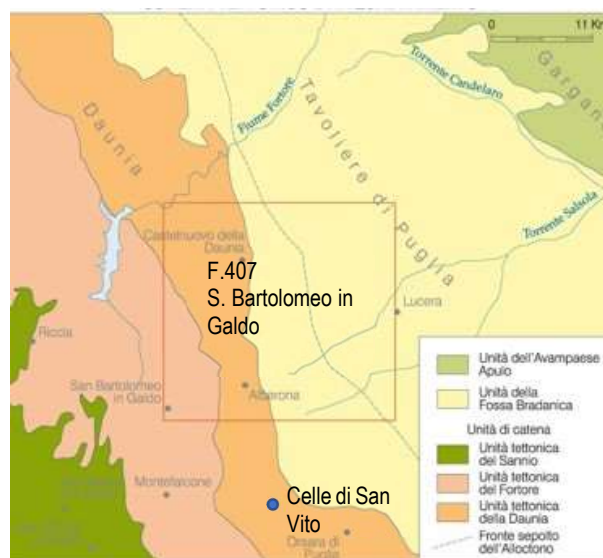


Figura 29. Schema tettonico di inquadramento, tratto e modificato dal F 407 “San Bartolomeo in Galdo”, in cui è indicata la posizione del comune oggetto di studio.

3.1.1 Evoluzione geologica dell'area di indagine

L'area di interesse per la MZS relativa al Comune di Celle di San Vito occupa una porzione dei rilievi più interni dell'Appennino Meridionale, la porzione orogenetica più recente, orientata NO-SE della catena neogenica dell'Appennino (Figura 30). Quest'ultima rappresenta con le Albanidi-Dinaridi ed Ellenidi una delle catene orogeniche Terziarie formate in seguito al processo di convergenza, tuttora in atto, fra le placche Euroasiatica e Africana. Esiste un generale consenso che la paleogeografia dell'Appennino sia stata condizionata da una tettonica distensiva mesozoica, responsabile della coesistenza di bacini oceanici e piattaforme, anche se non esiste tuttora un modello universalmente condiviso. I modelli proposti sono vari, implicando relazioni variabili fra i depositi nella regione mediterranea precedente alla deformazione orogenica, e nessuna ricostruzione palinspastica soddisfa i dati geologici a disposizione. (Patacca e Scandone, 2007 e referenze incluse; Scrocca., 2010 e referenze incluse). Un generale accordo esiste sulla presenza di un bacino occidentale, ad est del quale esisteva un complesso sistema di bacini e piattaforme, il cui numero è controverso (si veda la revisione in Patacca e Scandone, 2007; Scrocca, 2010; Butler, 2020 e referenze). L'esistenza di importanti limiti tettonici longitudinali fra i diversi settori della catena dell'Appennino ha reso sempre difficile correlare le porzioni presenti a nord (Abruzzo, Alto Molise e Sannio Matese) con quelle a sud (Campania-Lucania). Vari autori concordano sull'esistenza di una piattaforma Appenninica (Campano-Lucana) ad ovest, una piattaforma Apula ad est ed un bacino intermedio fra le due (bacino Lagonegrese-Molisano; Patacca e Scandone, 2007, Scrocca et al., 2003). Secondo Scrocca (2010) le piattaforme Appennina ed Apula ed il Bacino Lagonegrese Molisano fra le due si sarebbero sviluppati lungo il margine passivo Adriatico. A tale quadro paleogeografico mesozoico, originatosi in ambiente distensivo, sarebbe seguita una variazione delle condizioni geodinamiche a partire dall'Oligocene, periodo in cui diversi corpi torbiditici confinati, sia silicoclastici che calciclastici, si sarebbero sedimentati nella stessa ampia area bacinale (Bacino Lagonegrese-Molisano). Dall'Oligocene la Puglia ha assunto il ruolo di Avampaese, di cui il promontorio del Gargano, insieme alle Murge ed al Salento, costituisce il più esteso tratto di Avampaese affiorante per le catene orogeniche terziarie a vergenza opposta dell'Appennino delle Dinaridi-Albanidi- Ellenidi (Figura 30, Ricchetti et al., 1988; Argnani et al., 1993; De Alteris et al., 1993).

L'area di indagine interessa i rilievi della Daunia compresi nel margine esterno di Catena, consistente in un sistema arcuato a falde di ricoprimento, con vergenza africano-adriatica, formatosi in gran parte durante il Neogene. La costruzione della catena sarebbe avvenuta nel

Miocene durante fasi alterne di maggior trasporto tettonico intervallate da periodi di calma tettonica e di subsidenza, fino al raggiungimento dell'attuale configurazione.

Lo sviluppo di bacini di *wedge-top* (o *piggy-back*) sul fronte della catena in avanzamento attesterebbe, insieme alla presenza di depositi di avanfossa progressivamente più recenti verso E, la migrazione della deformazione di contrazione della catena appenninica verso NE.

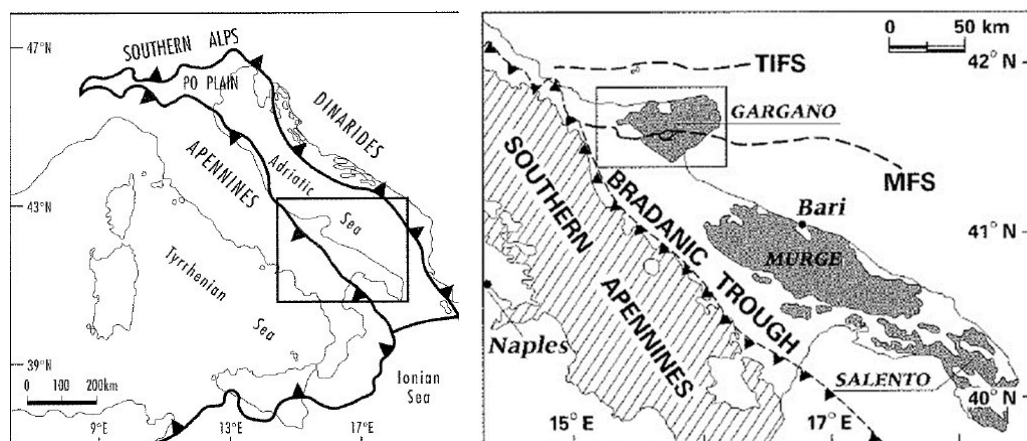


Figura 30. Da sinistra a destra: Schema geodinamico della penisola italiana e aree circostanti nelle quali sono evidenti i fronti degli orogeni che circondano il blocco adriatico. Il riquadro indica il dettaglio a destra che rappresenta la zona dell'Appennino Meridionale, l'antistante zona di avanfossa (fossa Bradanica) e l'Avampaese Apulo affiorante nel Gargano, Murge e Salento, con indicazione del fronte sepolto dell'Appennino Meridionale, TIFS= sistema di faglie delle isole Tremiti; MFS= sistema di faglie di Mattinata (tratto da Chilovi et al., 2000).

Vari autori concordano sul fatto che dal Miocene medio, la deformazione di compressione sia stata contemporanea, alla tettonica estensionale dal mare Tirreno verso zone interne di catena (Casero et al., 1988; Patacca et al., 1990; Cello e Mazzoli, 1999; Scrocca, 2010).

Strutture di *rift* orientate N-S immergenti ad Est o Ovest, e separate da zone di trasferimento E-O, sono state riconosciute in Sardegna e Calabria e sono state attribuite alle fasi iniziali del rift Tirrenico avvenuto nel Tortoniano (Milia et al., 2017).

La propagazione del *thrust* Appenninico meridionale e l'apertura progressiva del bacino Tirrenico di retroarco sarebbe stata controllata dall'arretramento dello slab subdutto dal Tortoniano superiore al Pleistocene inferiore-medio (Malinverno e Ryan, 1986; Patacca e Scandone, 1986; Patacca et al., 1990; Cinque et al., 1993; Doglioni et al., 1996; 1999). Tale arretramento avrebbe determinato già nel Miocene medio-superiore anche la subsidenza della rampa regionale dell'avampaese Apulo-Adriatico (Pieri et al., 2011 e referenze incluse).

Esistono ancora divergenze sull'architettura dell'embricamento delle coltri alloctone ed autoctone coinvolte nella deformazione appenninica ma l'ipotesi più credibile seguita in questo studio,

basandosi sulla revisione della letteratura esistente, è uno scollamento della copertura sedimentaria cretaceo-neogenica dal substrato e la sua riduzione in scaglie tettonicamente sovrapposte da Ovest ad Est, che hanno determinato la costruzione dell'edificio appenninico. Vari autori concordano con un cambio geodinamico avvenuto nel Pleistocene medio (Doglioni et al. 1994; Di Bucci et al., 2003; Fracassi et al., 2004; Patacca e Scandone, 2007; Pino et al., 2008).

A differenza del continuo ed elevato tasso di subsidenza in Adriatico centrale la Puglia e l'avanfossa bradanica avrebbero subito un sollevamento pari a 0.5 mm/anno a partire dal Pleistocene medio (Doglioni et al., 1994). Questa differenza è stata interpretata come dovuta ad un diverso arretramento della placca in subduzione (Doglioni et al., 1991), dovuto a uno spessore litosferico maggiore della placca Adriatica a Sud, nell'area dell'attuale Puglia (110 km) rispetto alla zona più settentrionale (70 km, Calcagnile e Panza, 1980). L'allineamento Est-Ovest delle isole Tremiti (Tocco Casauria-Tremiti ITC059) è stato interpretato altresì come una zona di trasferimento destro che accomoda una maggiore velocità di retrocessione dello *slab* litosferico adriatico in subduzione a Nord rispetto alla porzione a Sud (Doglioni et al., 1994). Altri autori (Schettino e Turco, 2011 e referenze incluse), riconoscono in tale allineamento Est-Ovest un limite che coinvolge la litosfera continentale dal Cretaceo Superiore, che separa la placca Adriatica in due microplacche: Adria ed Apulia. Per altri la piattaforma Apula si sarebbe "svincolata" da quella Adriatica, lungo zone di deformazione E-O, estese dalle Tremiti alle Murge (Felici et al., 2008). Il sollevamento della porzione assiale dell'Appennino Meridionale dal Pleistocene Medio-Superiore, tuttora attivo, avrebbe causato una tettonica distensiva orientata NE-SO, responsabile della formazione di faglie orientate NO-SE (Cinque et al., 1993; Pino et al., 2008). Tale meccanismo distensivo è ancora attivo come indicato, fra l'altro, dai meccanismi focali dei grandi terremoti (Irpina, 1980) avvenuti in Appennino Meridionale (Chiarabba et al., 2005). Mappe di stress per l'intero territorio italiano (Montone et al., 2004) confermerebbero che il regime distensivo perpendicolare all'asse appenninico in direzione NE-SO coevo con l'apertura del bacino tirrenico, dal Tortoniano Superiore (Patacca e Scandone, 1989), rappresenta il sistema di stress principale presente nell'Appennino Meridionale, con meccanismi di fagliamento normali; evidenze di una compressione attiva NO-SE esistono nelle porzioni affioranti dell'avampaese Apulo, nell'Adriatico Centrale (Kastelic et al., 2013 e referenze incluse) e nelle zone più esterne dell'Appennino Meridionale (Di Bucci e Mazzoli, 2003). Alti strutturali orientati NO-SE sono stati descritti in Adriatico centrale e posti in relazione a meccanismi di thrust delle catene a vergenza opposta delle Dinaridi e Appennini. La tettonica compressiva cenozoica in quest'area (come in appennino) fu preceduta dall'estensione mesozoica generando strutture ad host e graben.

Dati sismici e di pozzi profondi indicano un'inversione di strutture normali da parte della compressione cenozoica. L'attività sismica attuale confermerebbe che la compressione attiva Dinaride è accomodata da piani di sovrascorrimento meno inclinati rispetto a quelli di fagliamento normale originari. La sorgente composita HCRS020 in Adriatico centrale (270-330 dip 35-60), rappresenta un sovrascorrimento attivo (Kastelic et al., 2013).

3.2 Inquadramento geomorfologico

Gli strati informativi di base utilizzati per lo studio dell'area e per l'analisi delle caratteristiche plano-altimetriche, oltre alla cartografica di base IGM cartografia in scala 1:50.000 nel Foglio n. 420 "Troia" e nella tavoletta in scala 1:25.000 n. 174 IV NE "Castelfranco in Miscano", sono rappresentati dalla Carta Tecnica Regionale, in cui il territorio di interesse è compreso nelle sezioni n. 420061 "Faeto", n. 420062 "Vadicola", n. 420073 "Monte Buccolo", n. 420074 "Castelluccio V." n. 420101, "Masseria D'Aiuto" in scala 1:5.000, con una superficie complessiva di circa 6.6 km².

La base di riferimento altimetrica è stata ottenuta dal DTM del SIT Puglia che è distribuito in formato ASCII RASTER e si presenta come un grigliato regolare, con passo di griglia di 8 m.

L'abitato di Celle di San Vito e l'area di perimetrazione, sono situati nell'area geografica nord-occidentale dell'Appennino Dauno, lungo il versante sud-orientale del Monte Difesa (1.060 m, slm), prossimo al torrente Celone.

Nel contesto orografico l'area si sviluppa su una morfologia alto-collinare, le porzioni più depresse coincidono con i fondovalle dei tributari, a carattere stagionale, del T.te Celone.

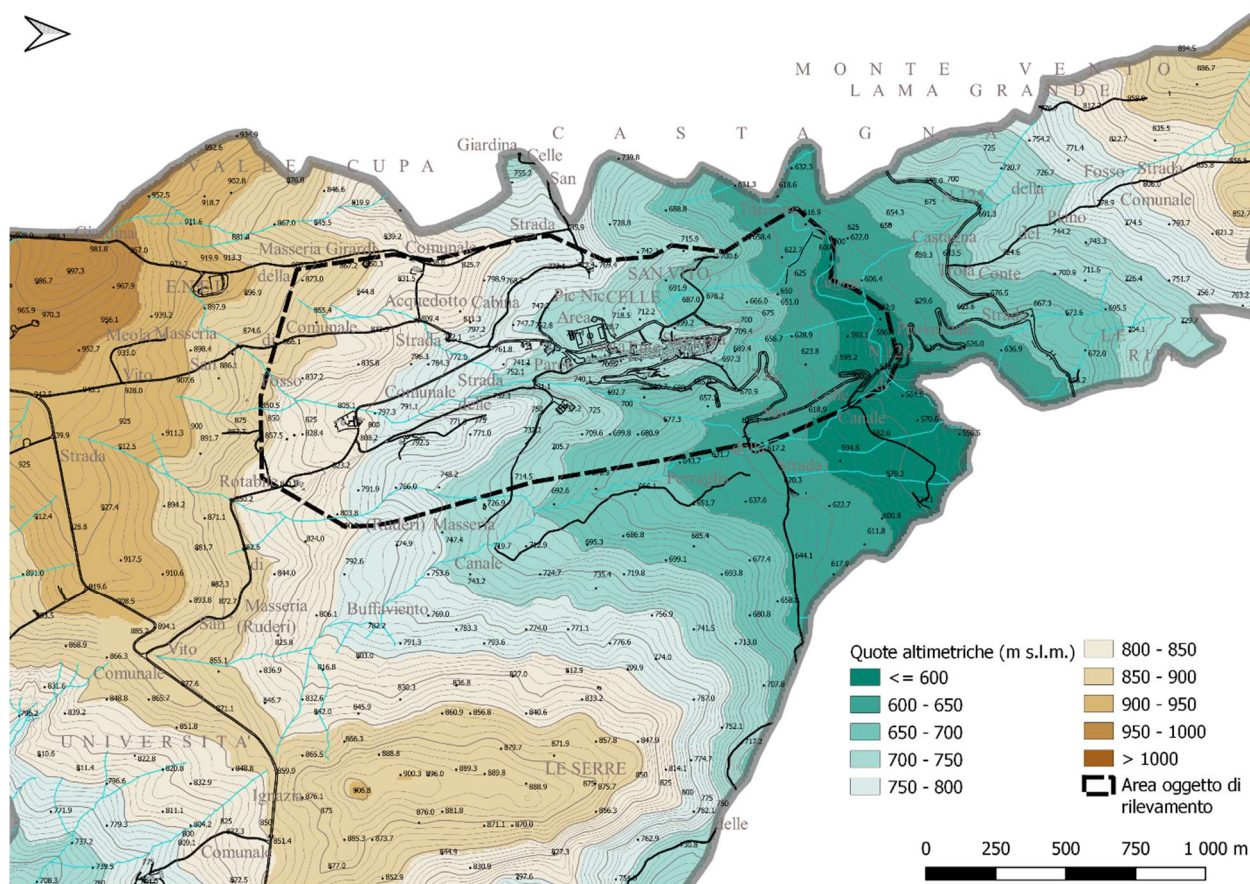


Figura 31. Quote altimetriche dell'area di studio.

L'abitato di Celle di San Vito, con altitudine fra 700 e 740 (m s.l.m.), si sviluppa quasi esclusivamente lungo una cresta orientata ca. NO-SE, con alcune case sparse a NO (Loc. il Picchio) e nei settori orientali, in prossimità del torrente Fontanelle, immissario del Torrente Celone, che scorre a nord del paese. La diffusione e l'estensione delle aree in frana sono legate principalmente ai caratteri strutturali (pieghe e vari fenomeni di fagliazione) che hanno condizionato l'assetto stratigrafico originario delle formazioni a carattere flyschoidale coinvolte. L'assetto morfologico, è quindi quasi interamente condizionato da caratteri strutturali acquisiti durante la formazione della catena appenninica, a falde di ricoprimento, come descritto nel paragrafo 3.1.1.

Al fine di cartografare le instabilità di versante, sono stati considerati i seguenti inventari relativi alle aree in frana:

1. la "Carta inventario delle frane di tipo geomorfologico nel Sub-Appennino Dauno" un prodotto cartografico realizzato nell'ambito dell'Accordo di Programma tra la Regione Puglia e l'Istituto

di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del Consiglio Nazionale delle Ricerche che ha come finalità la Redazione di cartografia tematica su frane nel Sub-Appennino Dauno, stato di avanzamento al giugno 2019 (Mappatura preliminare);

2. Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) delle Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, UoM del fiume Volturno;
3. Progetto Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI - aggiornamento 2006), redatto dall'ex Servizio Geologico Nazionale, ora ISPRA;
4. Progetto Censimento delle Aree Italiane storicamente Vulnerate da calamità geologiche ed idrauliche (AVI), redatto dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche (GNDCI-CNR);
5. Provincia di Foggia: rilevamento in seguito alla convenzione sottoscritte con l'AdBP relative ad "Attività di raccolta e classificazione di dati su fenomeni franosi della Provincia di Foggia" e "Conduzione di studi di approfondimento degli aspetti relativi ai fenomeni franosi classificati";
6. Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia.

Gli elementi considerati sono quelli di geometria poligonale e hanno permesso, laddove fosse presente all'interno degli attributi la tipologia di movimento, di assegnare la tipologia di movimento concordemente con lo Standard di rappresentazione e archiviazione informatica in versione 4.2.

All'interno dell'area oggetto di perimetrazione, le cartografie di riferimento hanno censito e classificato la maggior parte dei cinematismi come in Tabella 1.

In accordo agli I.C.M.S., le frane classificate all'interno del PAI come "PG2" (pericolosità elevata) e "PG3" (pericolosità molto elevata) sono state codificate come frane rispettivamente quiescenti e attive, dal cinematismo non definito. In Figura 32 si riporta la carta geomorfologica, desunta dalla fusione di tutti gli inventari a disposizione, a seguito di verifica sul campo.

Instabilità di versante	1 - crollo o ribaltamento	2 - scorrimento	3 - colata	4 - complessa	5 - non definito
1 - attiva					
2 - quiescente					
3 - inattiva					
4 - non definita					

Tabella 1. Principali caratteristiche di attività e cinematismo dei movimenti di massa rinvenuti all'interno dell'area oggetto di studio.

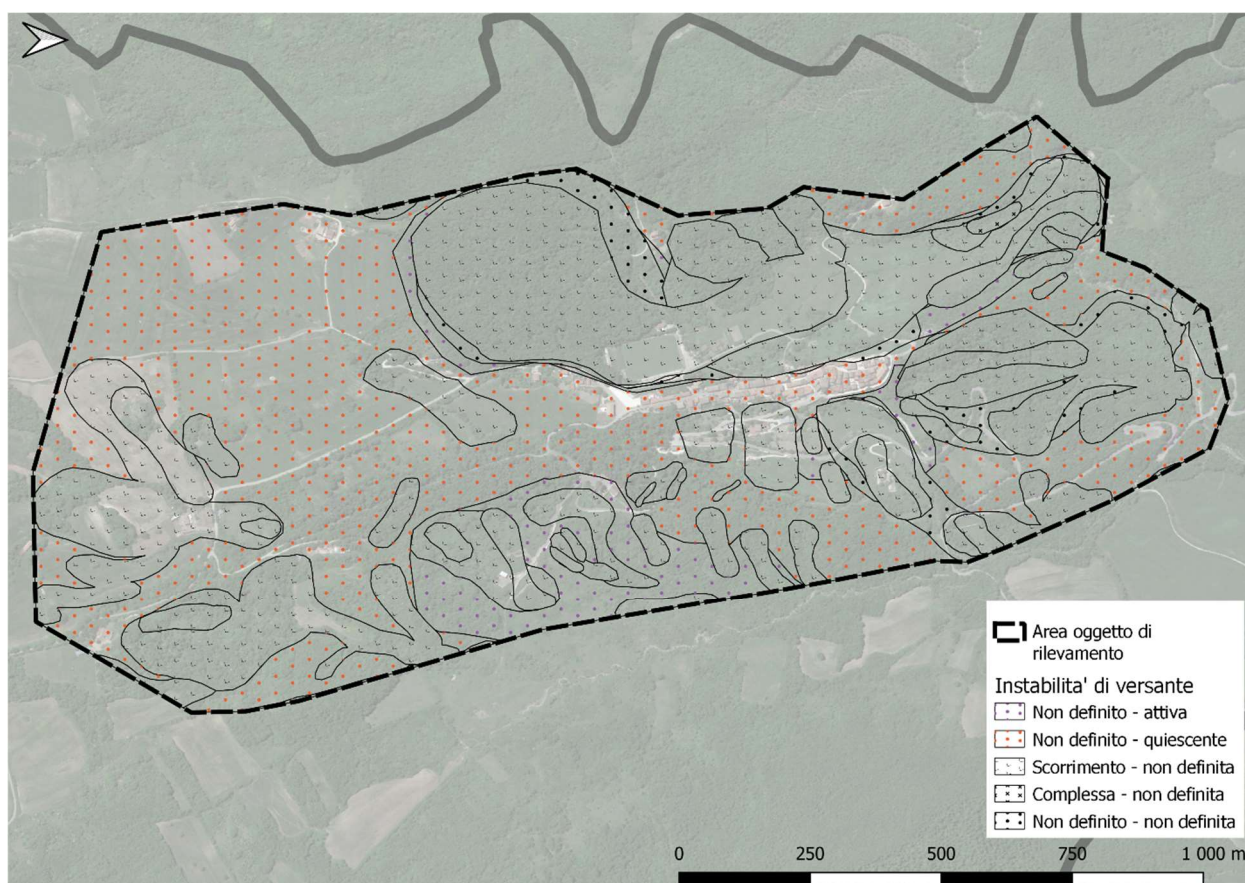


Figura 32. Carta geomorfologica dell'area oggetto di studio.

L'idrografia superficiale (Figura 33) è organizzata in un reticolo a carattere dendritico, con i corsi d'acqua minori che confluiscono come tributari nel T.te Celone, che scorre da est a ovest a nord dell'abitato compreso nella perimetrazione.

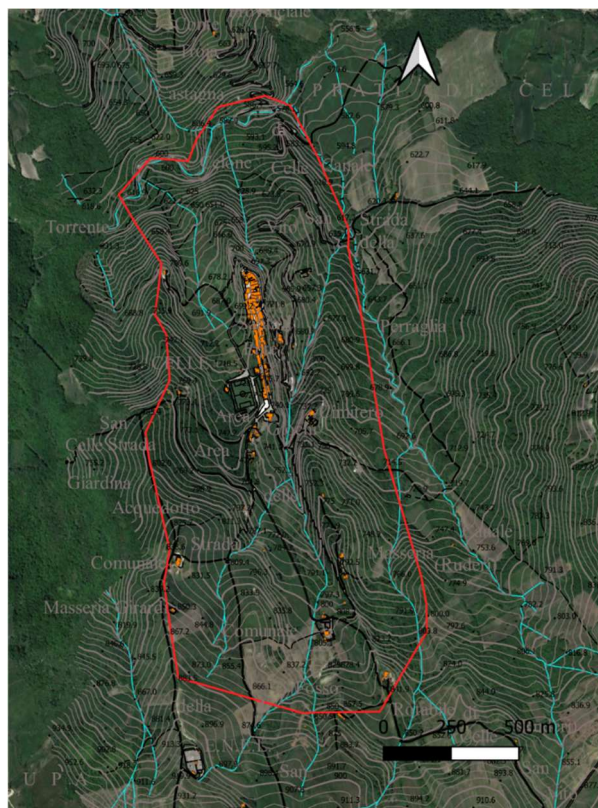


Figura 33. Reticolo idrografico all'interno dell'area in esame.

3.3 Successione stratigrafica di letteratura

Il comune di Celle di San Vito, localizzato in area di catena dell'Appennino meridionale, occupa la porzione più settentrionale della cartografia in scala 1:100.000, Foglio 174 "Ariano Irpino", al limite con il foglio 163 "Lucera" (Figura 28).

Le caratteristiche dei litotipi descritti nel Complesso Indifferenziato (i) e nella Fm della Daunia (bcd) richiamano nei caratteri litologici ed età, le unità litostratigrafiche descritte in aree di catena appenninica, nei fogli in scala 1:50.000 del progetto CARG realizzati più recentemente in prossimità del comune, fra i quali il F. 407 "San Bartolomeo in Galdo", a nord dell'area in studio e relative note Illustrative (Figura 34). In area di catena più esterna, è descritta l'Unità Tettonica (UT) della Daunia, suddivisa in tre unità litostratigrafiche, dalla più antica alla più recente: Flysch Rosso (FYR), Flysch di Faeto (FAE) e marne argillose del Toppo Capuana (TPC ,Figura 34), di seguito esposte, dalla più antica alla più recente, con una breve descrizione generale.

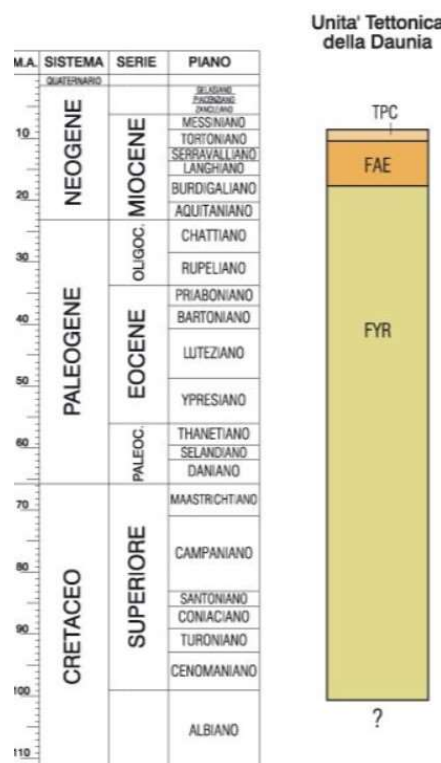


Figura 34. Schema della successione litostratigrafica della UT della Daunia in area esterna di catena, con relative età di riferimento da dati di letteratura.

Il **Flysch Rosso (FYR)** (Cretaceo–Burdigaliano Pescatore et al., 1988), costituisce la base della UT della Daunia. Consiste di una fitta alternanza di sottili strati di argilliti di colore variabile dal grigio al rosso, al verdastro, calcilutiti, calcareniti e calciruditi con uno spessore totale valutato in ca. 300 m (Pieri et al., 2011 e referenze incluse). Sulla base di caratteri litologici e sedimentologici, i depositi di questa formazione sono stati attribuiti ad un bacino pelagico, interessato occasionalmente da flussi turbiditici intermittenti alimentati da aree di piattaforma carbonatica. L'età della formazione è stata riferita ad un intervallo compreso tra il Cretaceo (?) e l'Aquitaniense (Dazzaro e Rapisardi, 1984; Dazzaro et al., 1998 e referenze incluse).

Il **Flysch di Faeto (FAE)** (Crostellà e Vezzani, 1964; Langhiano–Serravalliano), sovrapposto stratigraficamente al Flysch Rosso (FYR), è un'alternanza di strati e banchi di calcareniti, calciruditi, calcilutiti, marne calcaree ed argille marnose, con un elevato grado di deformazione e con uno spessore massimo, ricostruito per intervalli stratigrafici successivi, valutato pari a ca. 500 m (Pieri et al., 2011). Nei dintorni di Castelluccio Valmaggiore, localizzato ca. 3 km a nord est di

Celle di San Vito, questa successione flyscioide è stata suddivisa informalmente in tre membri: a) **basale** costituito da una successione calcareo-argillosa, b) **intermedio** rappresentato da una fitta successione di torbiditi calciclastiche e calcilutiti ad *Orbituline*, e c) **superiore** costituito da un'alternanza di torbiditi e marne grigie (Pieri et al., 2011 e referenze incluse). Le torbiditi calciclastiche del membro intermedio presentano granulometria variabile da medio-grossolana a fine con strutture sedimentarie riferite agli intervalli della sequenza di Bouma (Pieri et al., 2011). Strati a granulometria medio fine presentano geometrie tabulare, mentre strati a granulometria più grossolana presentano una stratificazione irregolare. I caratteri litologici e di facies sono stati attribuiti ad un depositarsi da conoidi in prossimità dei margini occidentali della Piattaforma apula (Pieri et al., 2011); le analisi su nanofossili calcarei hanno permesso riferire le successioni campionate all'intervallo Langhiano-Serravaliano.

Le **argille e marne del Toppo Capuana (TPC)** (Crostella e Vezzani, 1964, Tortoniano – Messiniano) rappresentano l'unità a tetto dell'UT della Daunia (Figura 34), e la più elevata dei terreni appenninici; sono costituite da banchi di marne ed argille marnose grigio scure con rare intercalazioni di sottili strati di areniti a granulometria fine, sia a composizione silicoclastica che calciclastica, in contatto stratigrafico per alternanza con il Flysch di Faeto (FAE). Questa unità è descritta come affiorante in fasce strette ed allungate a sud dell'allineamento San Marco La Catola-Pietra Montecorvino, coperta con frequenza da estese coltri detritiche. Lo spessore massimo valutato non supera i 200 m (Pieri et al., 2011). I caratteri litostratigrafici e sedimentologici suggeriscono che si tratti di depositi riferibili a bacini marini depocentrali in cui si depositavano emipelagiti e torbiditi a grana fine alimentate sia da aree di avampaese che di catena.

3.4 Aggiornamento stratigrafico mediante rilevamento geologico di superficie

Il rilevamento geologico di superficie è stato effettuato attraverso sopralluoghi mirati a una verifica della cartografia già esistente e dei limiti delle formazioni sopra descritte, redatti nei precedenti studi disponibili. Le sezioni geologiche schematiche, ad esse associate, si basano sulle informazioni ricavate dal rilevamento e dalle verticali dei sondaggi geognostici reperiti nelle aree oggetto di indagine.

L'attuale fase di studio è determinante per la definizione delle fasi di lavoro successive finalizzate alla redazione della cartografia tematica, funzionale agli studi di microzonazione sismica di livello uno. Per l'individuazione di depositi di copertura antropica o naturale, sono stati di valido aiuto i

sondaggi effettuati in alcuni punti del centro abitato. In Figura 35 è riportata l'ubicazione degli affioramenti rilevati sul campo e nei paragrafi successivi si mostrano le foto di quelli più rappresentativi.

Il rilevamento geologico è stato effettuato nell'area perimetrata e in zone poco esterne alla stessa (Figura 35), al fine di valutare le litologie presenti ed il loro assetto strutturale, mediante misura di parametri giacitureali quando possibile. Le stratigrafie dei sondaggi acquisiti, la totalità dei quali effettuata unicamente in zone molto prossime all'abitato, sono stati fondamentali per valutare lo spessore delle coperture, e dipendendo dalla profondità raggiunta, per confermare le alternanze litologiche riconosciute in superficie.

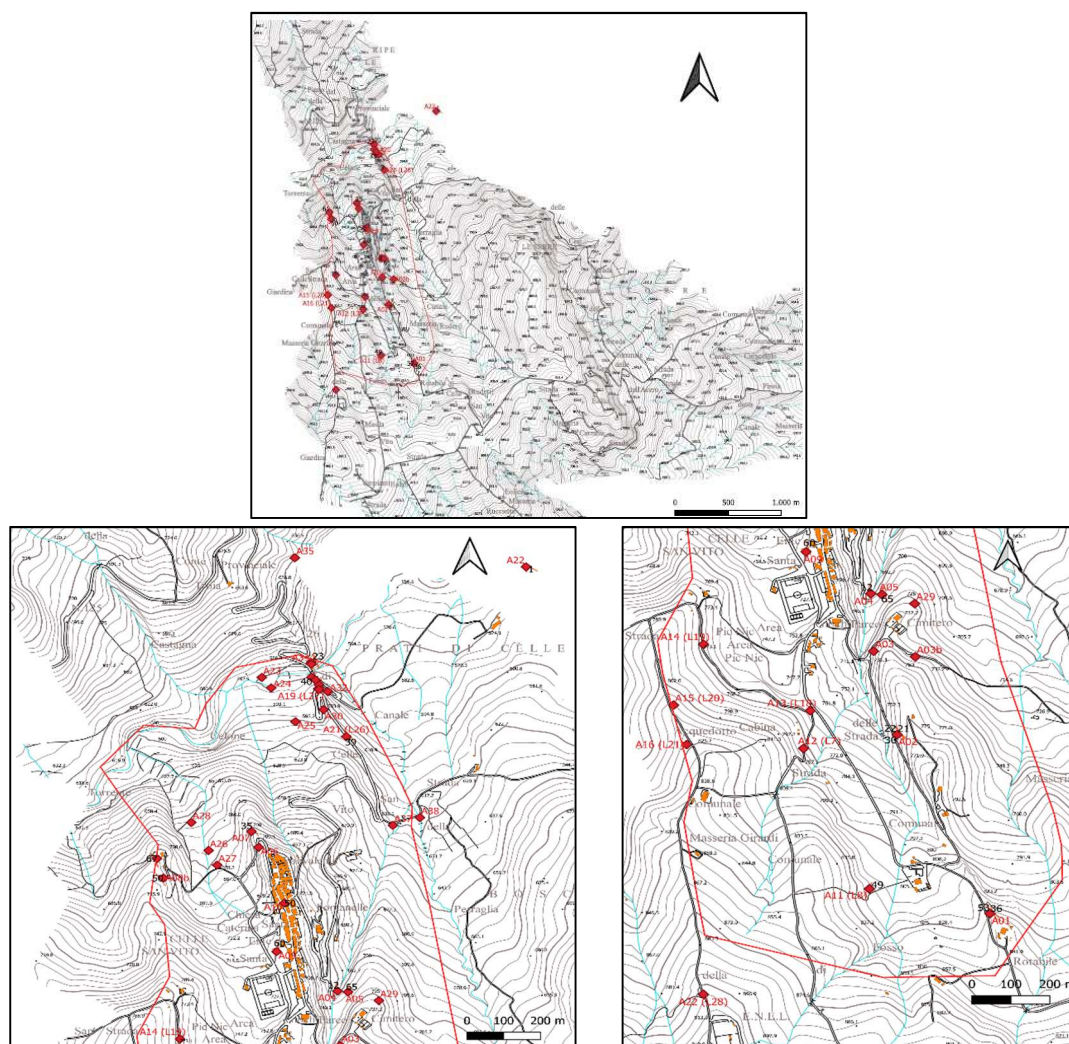


Figura 35. In alto. Vista degli affioramenti analizzati nell'area oggetto di studio all'interno del limite comunale. In basso: dettaglio della distribuzione degli stessi affioramenti e vista di quelli esterni all'area perimetrata.

Le successioni osservate in affioramento (Figura 35), e/o inferite da sondaggi, all'interno dell'area perimetrata indicano un'alternanza tra litotipi riconducibili unicamente alla successione del Flysch di Faeto (FAE). Richiamando la distinzione effettuata nelle Note Illustrative a corredo della cartografia in scala 1: 50.000, il membro basale consiste di una successione calcareo argillosa, quello intermedio è una fitta alternanza di torbiditi calciclastiche con strutture sedimentarie riferibili alla sequenza di Bouma e di calcilutiti; infine quello superiore è un'alternanza di torbiditi e marne (Pieri et al., 2011 e referenze incluse).

Dalle osservazioni degli affioramenti rinvenuti e dall'analisi delle indagini geognostiche pregresse, non è possibile distinguere univocamente una successione calcareo- e/o calcarenitico/argillosa con una prevalenza di strati di calcari e/o calcareniti, (bianco-grigi a nocciola) con intercalati minori livelli di argille e/o marne argillose (*FAEc*), rispetto ad una in cui prevalgono intervalli "pelitici" (argille-marne e/o argille marnose da biancastre a grigio-azzurrognole) rispetto a quelli calcarei e/o calcarenitici (*FAEp*). Ciononostante, come descritto a continuazione, in alcuni settori dell'area perimetrata (coincidenti quasi sempre con alti topografici) affiorano prevalentemente litologie più competenti (calcareo-calcarenitiche), diversamente inclinate rispetto ai versanti, alternate alle quali spesso sono riconoscibili livelli sottili o strati di spessore variabile di marne argillose o argille. Tale configurazione è eventualmente causata dall'assetto strutturale (p.es. presenza di pieghe e successivi fenomeni di fagliazione) che da quello litostratigrafico originario.

A continuazione si descrivono le principali caratteristiche del substrato e delle coperture discriminate, unite alle interpretazioni di carattere strutturale basate sulle osservazioni e misure delle giaciture in campo.

3.4.1 Substrato geologico

Una prevalenza di strati decimetrici a composizione calcarea, con un grado di fratturazione variabile affiorano nella porzione settentrionale del paese lungo la SP 126, prossima a via dei Provenzali (Figura 36 A-B). Tali strati, a franapoggio sul versante che volge ad ovest (strike /dip 239/35), sono alternati a strati millimetrici di argilliti di colore variabile da grigio ad azzurrognolo, fortemente erose (Figura 36 C), visibili a tratti fra gli strati calcarei. Conchette di dissoluzione sono state osservate al tetto di blocchi caduti in prossimità degli strati (Figura 36 E). Strati di spessore centimetrico di marne grigiastre immerse in abbondante matrice sono presenti a monte (affioramento A06) lungo la stessa SP126 (Figura 36F). L'assetto a franapoggio sul versante è evidente dal vallone a ovest del paese (Figura 37).



Figura 36. Vista dell'affioramento A07 a nord del paese A). Strati di composizione prevalentemente calcarea affioranti a franapoggio (foto da NE a O) lungo la SP126. B) Vista degli stessi strati (foto da ovest a est a valle della SP126). C) intercalazioni millimetriche marnoso- argillose, parzialmente erose intervallate agli strati calcarei in B), su piano campagna, D) vista di dettaglio degli strati calcarei in A. E) Evidenze di dissoluzione meteorica (orologio per scala) a tetto di uno dei blocchi dell'affioramento in A. F) vista della successione argilloso marnosa nell'affioramento A06 sulla SP126 prossima all'incrocio con Via dei Provenzali, una rete per la sistemazione del dissesto è visibile.



Figura 37. Vista da ovest (punto A27 in Figura 4) verso la zona nord del paese, in cui è visibile l'edificio storico Arco dei Provenzali (a destra) a valle del quale sono visibili gli strati a franapoggio del versante verso il vallone Figura 36 (affioramento A07).

Nella porzione nord-orientale dell'area perimetrata, in prossimità del torrente Celone (affioramenti A17 -A18), strati calcarenitici, con spessori inferiori ai 50 cm, immergono ad ovest con inclinazioni variabili (255/21 in A17) e (250/40 in A18). Gli strati sono generalmente piano paralleli (Figura 38 B-C) , e a volte è visibile una fitta laminazione piano parallela all'interno degli stessi (Figura 38D), che richiama parte della sequenza di Bouma, come descritto nelle Note Illustrative del CARG citate anteriormente. in rari casi sono stati osservate delle tracce di deboli piegamenti (Figura 38 E).





Figura 38. A) vista generale dell'affioramento A18 dal top del versante verso la SP126. B-C) viste di dettaglio degli strati calcarenitici in A. D) dettaglio che mostra la fitta laminazione in alcuni degli strati dell'affioramento A18. E) dettaglio di altri strati affioranti in A18 interessato da un lieve piegamento.



Figura 39. A-B Vista generale dell'affioramento A17 in cui si evidenzia la fratturazione diffusa degli strati calcarenitici appartenenti alla successione del Faeto. Sono visibili blocchi caduti dal versante sparsi sul suolo.

In prossimità del limite NO dell'area perimetrata, presso l'ex azienda agricola Il Picchio (Figura 40), dove termina la SP126 ad ovest è visibile una parete di ca. 5 m di calcarenite massiva con una diffusa fratturazione sulla sua superficie con orientazione variabile (Figura 40A); la vista laterale dell'affioramento mostra la presenza di argille giallastre, fortemente alterate, alla base di tale strato, che sovrasta un altro un altro strato calcarenitico (Figura 40 B). La giacitura di tale piano mostra un'immersione ad est con inclinazione elevata (050/65). Una dislocazione di 15 cm è evidente sulla superficie (Figura 40 C-D) che suggerisce un movimento laterale destro. L'elevata fratturazione dello stesso strato (a sinistra in Figura 40 E) evidenzia allo stesso modo un movimento laterale. Valori distinti (plunge /strike) caratterizzano strie (40/037; /045) e ricristallizzazioni di carbonato in strie (20/238) all'interno della porzione dislocata (Figura 40 F). Oltre ad un dislocamento laterale, è evidente che parte della stessa superficie di strato è sollevata rispetto all'adiacente di circa 10 cm, (porzione meno alterata alla base dell'affioramento di

spessore di 10 cm Figura 40 E- G) suggerendo un sollevamento della stessa associato ad un distinto movimento di fagliazione che ha portato questa porzione a sollevarsi rispetto alla porzione adiacente. Il movimento di dislocazione laterale interessa la stessa superficie sollevata (Figura 40 E, F, G, H), suggerendo che tale meccanismo sia più antico di quello laterale. Tale ipotesi sembra confermata sia dalla presenza di fratture con giaciture distinte misurate alla base (Figura 40 H) e alla molteplice dislocazione di una superficie “analoga” riscontrata nella porzione occidentale del paese nell’affioramento A09 (Figura 41).



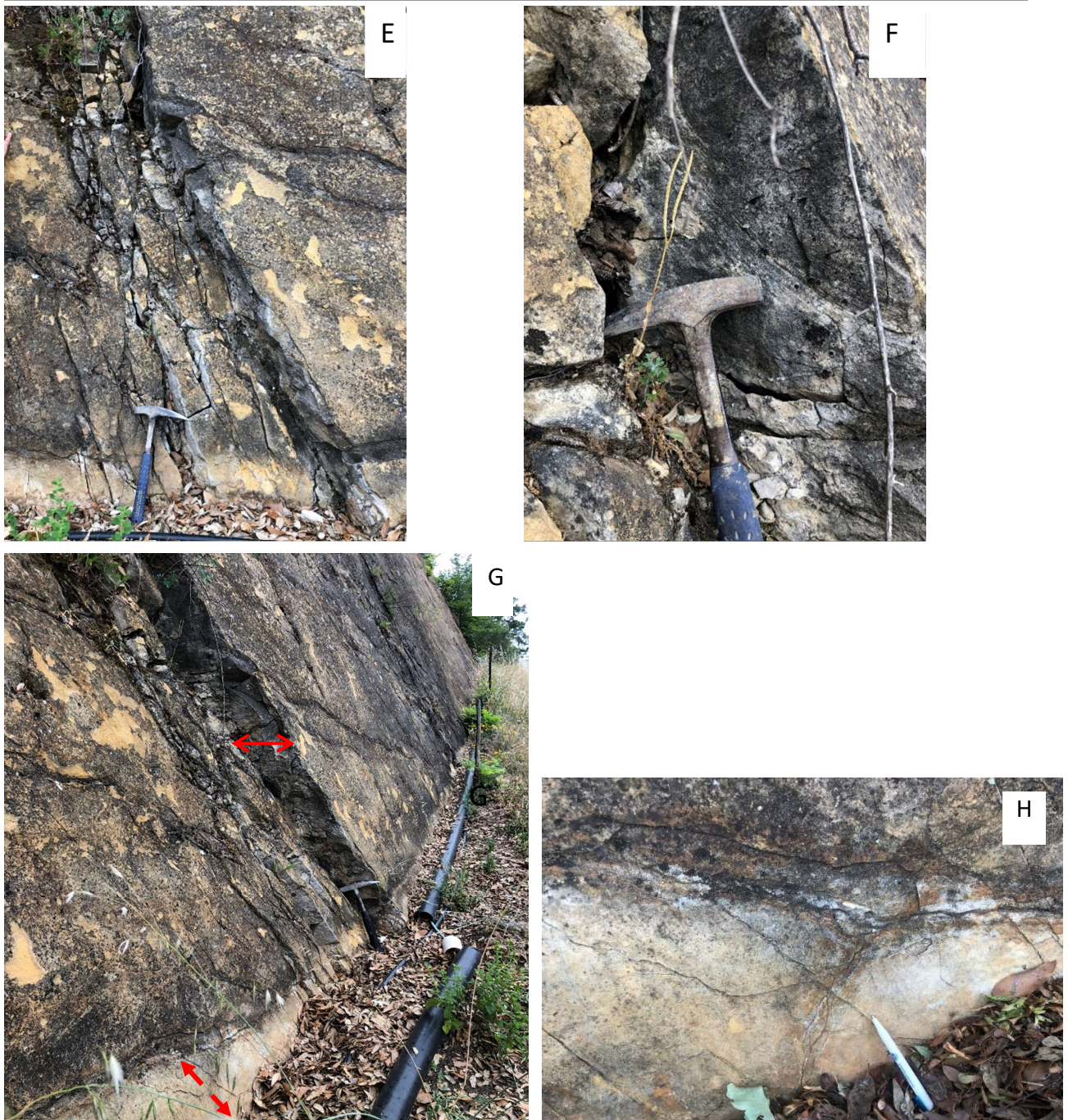


Figura 40 A) Vista dell'affioramento A08a del Flysch di Faeto (FAEc). È evidente una fratturazione diffusa con direzioni distinte. B) Vista laterale della parete in A, in cui è visibile la presenza di argillosità di color giallastro, per alterazione; il limite è tratteggiato in rosso. C) vista laterale da sud della parete in A) nella quale si apprezza un dislocamento della superficie di strato indicativa di un dislocamento fragile. D) dettaglio del dislocamento della superficie di strato in C, indicativo della presenza di una faglia. E) dettaglio che mostra la fratturazione in prossimità della porzione dislocata che indica. F) dettaglio delle strie e ricristallizzazioni visibili all'interno della frazione dislocata. G) Vista laterale della superficie dell'affioramento A08a, nel quale sono evidenziati con frecce rosse le evidenze di un dislocamento verticale ed uno orizzontale. H) dettaglio della porzione basale dell'affioramento in G che evidenzia la molteplicità e le direzioni di fratturazione.

Le caratteristiche osservate nell'affioramento A08a, suggeriscono che si tratti della superficie di strato del fianco occidentale di una sinforme, esposta a quota 706 mslm, nella successione flyschoidale del FAE che registra vari episodi di deformazione fragile (fagliazione).

La presenza di una sinforme è coerente con quanto visibile nella porzione occidentale del paese (affioramento A09, Figura 41 A), a valle dell'ufficio postale, in Località Sta Caterina. La parete calcarenitica esposta, circa 2 m, mostra una fratturazione superficiale analoga a quella osservata a NO a quota 747 mslm, e verosimilmente può considerarsi la stessa superficie di strato affiorante sul fianco opposto della sinforme, anch'essa con inclinazione elevata ma immersione opposta (260/60). È da notare che tale zona, nella quale si trova il Campo Sportivo, è interessata da fenomeni di dissesto, coerenti con la disposizione a franapoggio della successione del FAE, e con l'alternanza di cui è costituito.

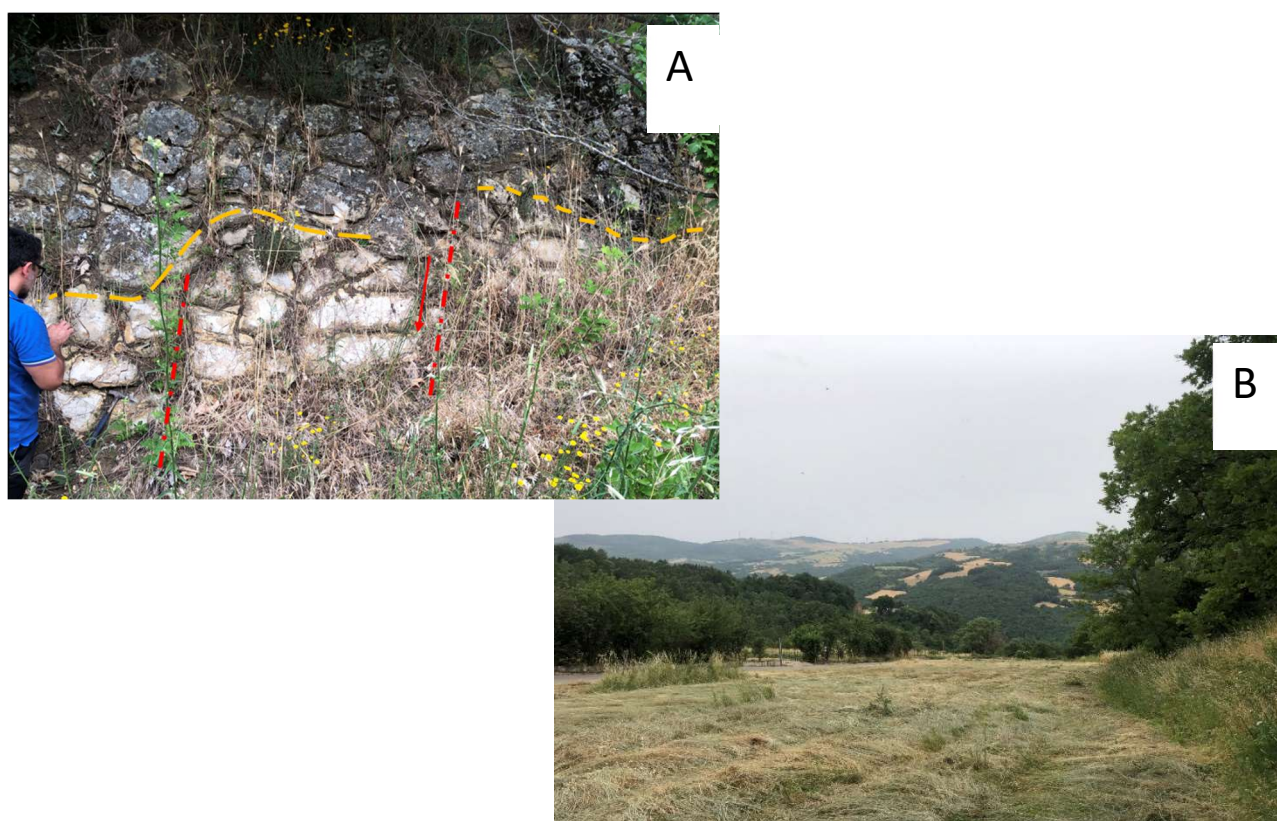


Figura 41. Vista affioramento A09 (a sinistra) in località Ente Parrocchiale Sta Caterina, a valle dell'ufficio delle Poste prossimo alla SP126. Si noti la fratturazione della superficie dell'affioramento molto simile a quella osservata nell'affioramento A08a in Figura 40E, e la presenza di una porzione più chiara alla base, ulteriormente dislocati. Il campo coltivato nella foto a destra, localizzato di fronte allo stesso affioramento, corrisponde al nucleo della sinclinale oblitterato da fenomeni di dissesto e lavorazione agricola. Dettagli nel testo.

L'immersione verso occidente è coerente con quanto si osserva all'interno dell'abitato in via Roma in prossimità della chiesa di Sta. Caterina (affioramento A10 Figura 42) Gli strati calcarenitici sottilmente stratificati si presentano fortemente inclinati con un'immersione ad ovest (263/ 50).



Figura 42. Vista generale (a sinistra) e dettaglio (a destra) dell'affioramento A10 in via Roma in prossimità della chiesa di Sta. Caterina. Si noti la sottile stratificazione degli strati calcarenitici sottostanti l'edificio, fortemente inclinati su piano strada. Dettagli nel testo.

I sondaggi prossimi agli affioramenti A09 e A10 pongono in evidenza la presenza anche dei livelli argilloso/ marnosi intercalati alle litologie più competenti, eventualmente coinvolti nei fenomeni

di dissesto sui versanti occidentali (

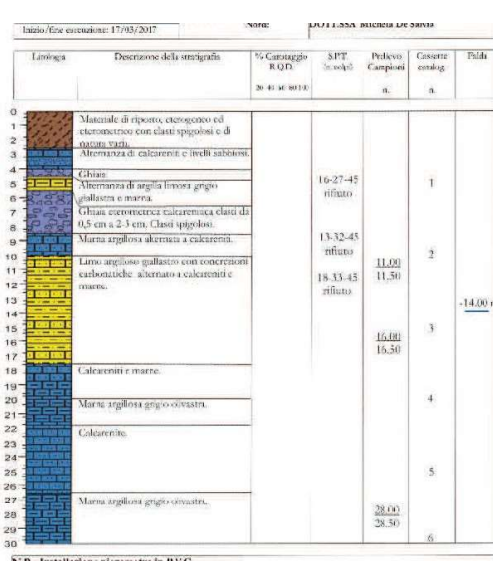
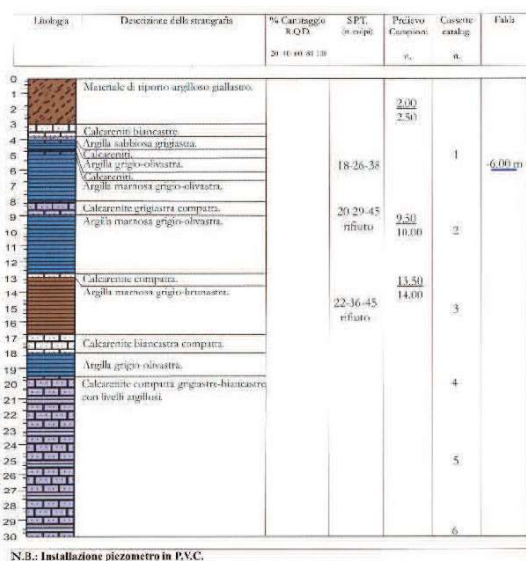


Figura 43.

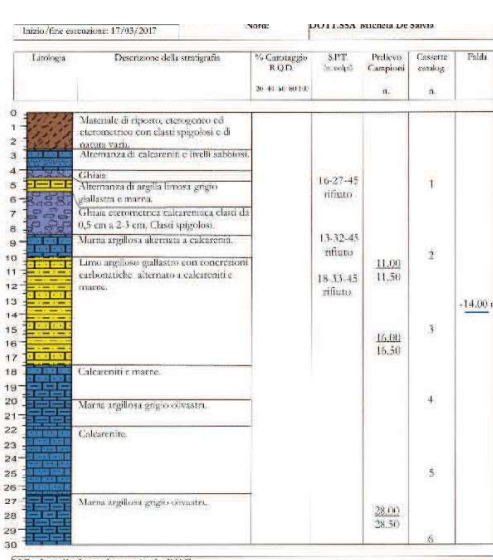
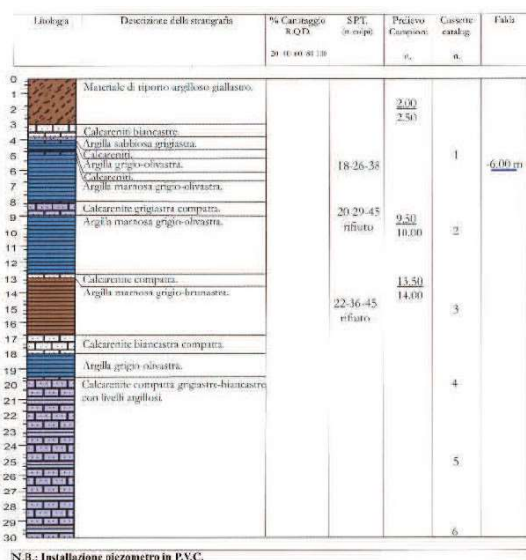


Figura 43. Stratigrafie dei sondaggi 071019P43 (a sinistra) terebrato in loc. Sta. Caterina in prossimità dell'affioramento A09, e del sondaggio 071019P41, a nord dell'affioramento A10 (a destra)

A sud la stessa successione non è più riconoscibile, a causa di fenomeni di spietramento (A14, Figura 44) per motivi agricoli, presenza di vegetazione, e dissesto. Blocchi erratici di natura calcarea e/o calcarenitica di colore bianco- grigiastro caratterizzano il versante boschivo a nord della cabina acquedotto, sul versante occidentale (p.es Figura 44).

Ciononostante, è stato possibile riconoscere anche superfici di strato subaffioranti, le giaciture dei quali (p.es. affioramento A11, 116/49, Figura 45 A) sono coerenti con le evidenze di strati fortemente inclinati a franapoggio verso occidente (A14), o si presentano subverticali (A22), sul

piano di calpestio poco fuori dall'area perimetrata (Figura 45-B). Entrambe situazioni sono coerenti con la presenza di una sinforme, citata anteriormente. La posizione dell'affioramento A11 inoltre, suggerisce una dislocazione laterale destra, coerente con le evidenze citate anteriormente (cfr. Figura 40).



Figura 44 Blocchi erratici di composizione calcarea e calcarenitica presenti al margine di un sentiero in area Dàttoli sul versante a ovest del campo sportivo (affioramento A14)



Figura 45. A- vista di un blocco calcarenitico stratificato e fratturato (probabilmente dovuto alla stessa pratica dello spietramento) subaffiorante in un campo agricolo nella porzione meridionale

dell'area perimetrata (A11) B. Strati calcarenitici subverticali subaffioranti sulla cresta a sud dell'area perimetrata (affioramento A22)

La porzione orientale dell'area investigata presenta una prevalenza di strati calcarenitici, che possono seguirsi subaffioranti lungo la SP126 (Figura 46) fino alla zona della Fontana (affioramento A03 Figura 47 A-C), il grado di fratturazione degli strati /banchi osservati sembra aumentare procedendo verso SE.



Figura 46. A) Strati calcarenitici della successione visibili lungo la SP126 (affioramento A02) sud del paese e dettaglio (B) degli stessi.



Figura 47. A) vista generale verso sud (A) e verso nord (B) del versante lungo la SP 126, in località La Fontana in cui è visibile l'affioramento A03, a tetto di un muretto di contenimento. In C) è evidente l'elevata fratturazione del banco calcarenitico affiorante.

La successione del FAE riconosciuta a sud-est, lungo la SP126, in prossimità del limite dell'area rilevata (Figura 46 A-C), ha giaciture che indicano un'immersione verso occidente, presenta un elevato grado di fratturazione di tutte le litologie coinvolte (affioramento A01, Figura 48A- C), ragione per cui, è suddivisa in scaglie di spessore variabile che franano lungo il pendio ed il tratto di strada provinciale (SP126) sottostante. Frammenti di bivalvi (Pecten) sono stati osservati

all'interno della frazione calcarenitica (Figura 48 D). L'elevato livello di fratturazione è coerente con un fenomeno di tettonizzazione della stessa successione, localizzata all'estremo sud orientale della faglia tracciata a NO (A08a). Tale caratteristica è coerente con un meccanismo di fratturazione per cause tettoniche ed è coerente con la presenza di un lineamento tettonico NO-SE. Tale ipotesi necessita di conferme mediante studi più approfonditi.

Un lineamento con direzione NO-SE, era già stato tracciato a livello regionale come probabile (Figura 28).



Figura 48. Vista della successione nell'affioramento A01, lungo la SP126 a sud del paese. A) Vista generale della porzione superiore dell'affioramento in cui è evidente l'alternanza tra strati

calcarenitici (al top) e marnoso-argillosi, fortemente fratturati e caratterizzati da una elevata quantità di matrice B), eventualmente causata dallo sminuzzamento dei singoli strati centimetrici di natura sia marnosa che calcarenitica dovute a cause tettoniche C) dettaglio di una porzione della successione in A), nella quale è possibile apprezzare la diffusa fratturazione dei livelli marnosi e calcarenitici, che si distaccano e franano; D) dettaglio di un frammento di bivalve (Pecten) visibile sulla superficie di uno degli strati calcarenitici presenti nello stesso affioramento Il diametro dell'anello usato per scala misura 1.5 cm.

3.4.2 Terreni di copertura

I sondaggi effettuati in vari punti del centro abitato, o in sua prossimità sono stati utilizzati per l'individuazione di depositi di copertura antropica e/o confermare la presenza di quella naturale, individuate nel rilevamento, come descritto a continuazione.

Depositi alluvionali recenti ed attuali

Consistono di blocchi di varia natura (calcarea- o calcarenitica), con un diverso grado di arrotondamento, e ghiaie immersi in una matrice sabbioso-limosa di colore variabile tra giallognolo e caffè'. Sono stati osservati nell'alveo, lungo le sponde attuali e poco più a monte del torrente Celone (Figura 49), a nord del paese, ed in minor misura lungo gli alvei del torrente Fontanelle, nella porzione orientale e meridionale dell'area perimetrata, dove corpi in dissesto sono eventualmente reinciati da fenomeni a carattere torrentizio .

Nella cartografia ufficiale in scala 1:100.000 che comprende il comune di Celle questi depositi (Q) sono attribuiti , fra altri, alla distruzione e rielaborazione di strati flyschoidi di varia natura, d'età quaternaria.



Figura 49. Da sinistra a destra. Vista generale dell'alveo del torrente Celone (affioramento A23), all'interno del quale sono visibili depositi alluvionali recenti, derivanti dal rimaneggiamento di porzioni della successione flyschoidale del Faeto (eventualmente le più fini anche chiamate FAEp,) misti a materiale in dissesto, che si estendono anche nella porzione più esterna all'alveo (foto a destra, affioramento A24)

RI- Riporto antropico

La presenza di riporto antropico, è presente nella maggiorparte dei sondaggi analizzati lungo i settori occidentale, orientale e meridionale del centro abitato, con spessori e composizione variabili. Spesso consiste di materiale argilloso giallastro o brunastro p.es (07109P7) con una quantità variabile di materiale litoide e conci, che sovrasta materiale in dissesto. La presenza di massicciata stradale è raramente riportata (p.es 07109P3 tra via dei Provenzali – via Fontanelle). Spessori tra 3 e 5 m sono riportati nella porzione meridionale del paese a monte del Campo Sportivo, lungo la SP126, all’intersezione con via Roma, il materiale di riporto (07109P8- P9- P40), fino a 6.5 m (07109P39) o maggiori, come in via Roma (07109P5), o ad est del paese (p.es. 07109P32- P33 Figura 51) in prossimità di un sito adibito a stoccaggio di rifiuti (isola ecologica), localizzato a sud del cimitero (Figura 50).

Ad ovest del paese, il riporto antropico consiste variabilmente di materiale argilloso, con clasti di varia natura e conci di terra cotta o materiale laterizio (sondaggi 07109P12- P14- P15-P38-P39- P43-P52).

Le litologie sottostanti il riporto indicano una prevalenza dei termini argillosi su quelli calcareo-marnosi/ calcarenitici nella stessa successione del flysch di Faeto (Figura 52).



Figura 50 Vista generale del l’area adibita a stoccaggio rifiuti isola ecologica- una delle zone nel quale è presente materiale di riporto (affioramento A3b)

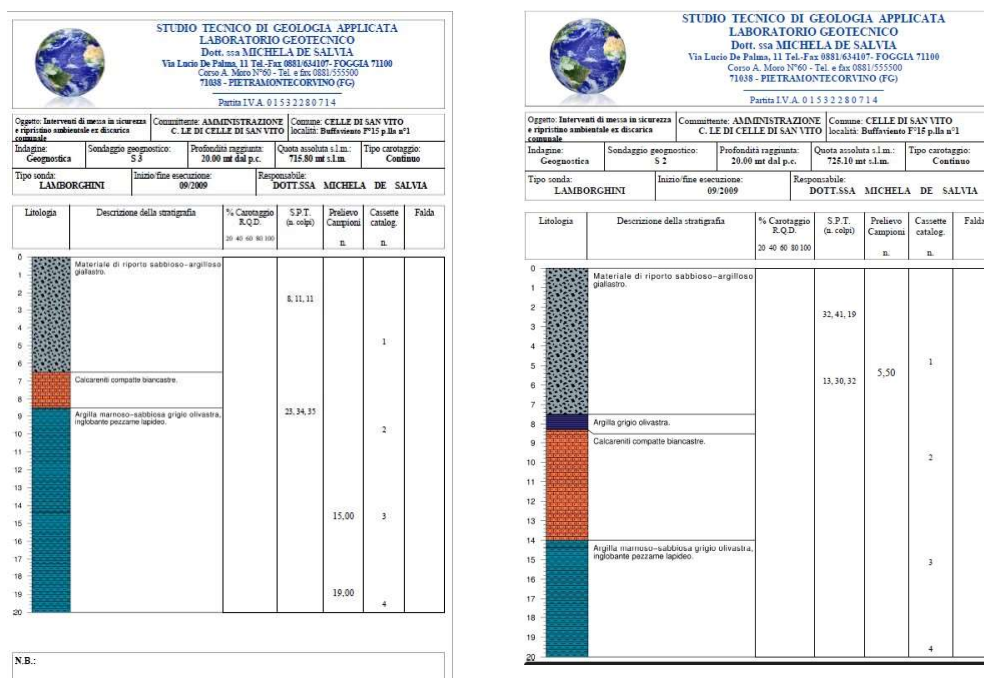


Figura 51. Sondaggi 07109P33 (a sinistra) nella parte sud-est dell'area perimetrata, e 07109P32 (a destra) poco più ad est, che indicano presenza di riporto antropico. Si noti la variazione in spessore delle frazioni calcarenitiche e argillose dell'alternanza flyschoidale del flysch di Faeto.

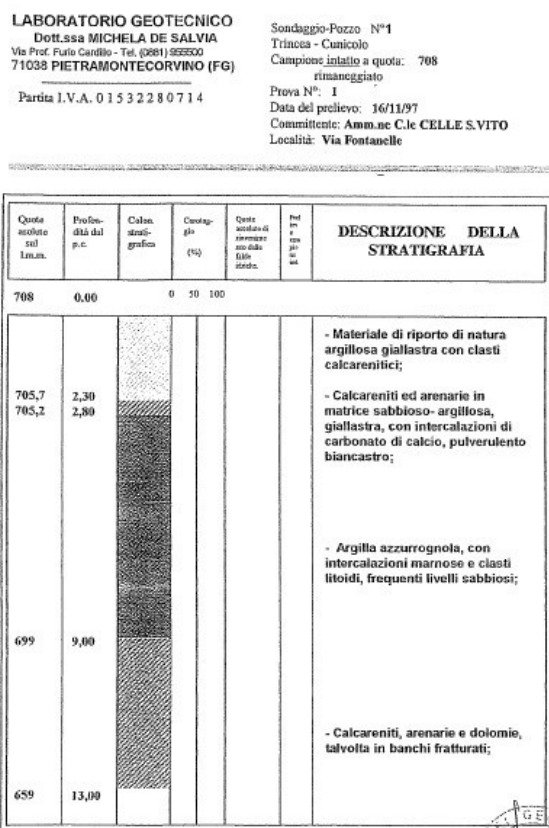


Figura 52. Sondaggio 071019P13 terebrato lungo la SP126 a sud del cimitero nel quale è evidente una alternanza a predominanza argilloso- calcarenitica sottostante terreni di riporto/dissesto.

Instabilità di versante.

I fenomeni di dissesto (cfr. paragrafo 3.2), sono diffusi in varie porzioni dell'abitato. In particolare, dovuto alla particolare configurazione strutturale dell'area investigata, l'esposizione di litologie più erodibili (quali argille e marne della successione del FAE) esposte a franapoggio sui versanti (p.es. ad ovest dell'abitato), favoriscono evidentemente fenomeni di dissesto di vario tipo, considerando anche le immersioni ad angolo elevato della frazione più competente. I fenomeni di dissesto risultano quindi controllati dall'assetto strutturale. L'abitato è situato sulla cresta di un'antiforme (discusso in dettaglio nel paragrafo relativo all'assetto strutturale) che ad ovest presenta la sinforme corrispondente. Dovuto alle caratteristiche proprie della successione flyschoidale, le litologie generalmente esposte sono generalmente le porzioni più competenti, attribuibili a strati calcarei (a Nord – affioramenti A06-07), o calcarenitici (a ovest A08a-b ; nella porzione centro occidentale A09-10, ed a nord est in prossimità del T.te Celone (A18-19-20-21-31-32 e A33). Si hanno quindi fenomeni di dissesto composto, dipendendo dalle litologie coinvolte, che possono includere blocchi decimetrici di varia natura, derivanti dal grado di fratturazione (anch'esso variabile) che coinvolge le litologie presenti.

Gli interventi recenti ripetuti per mitigare il dissesto in varie zone analizzate, mostrano di avere una validità limitata, come evidente per esempio in prossimità del depuratore (Figura 53 A-B)

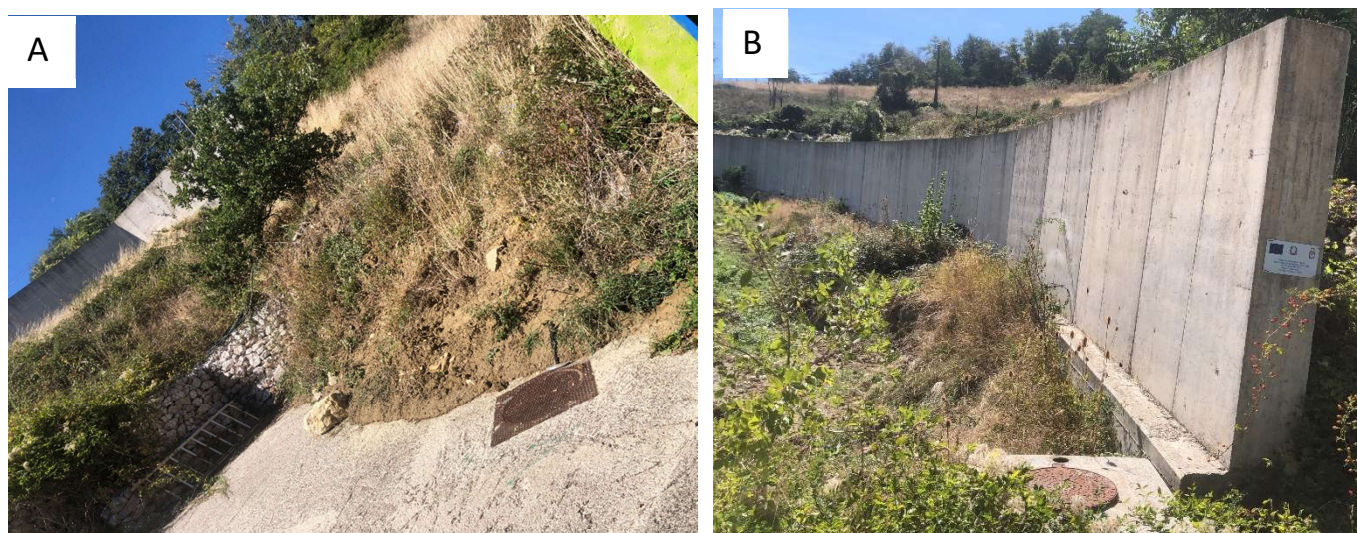


Figura 53. A) vista di un colamento di fronte all'entrata del depuratore, che aggirano lateralmente gabbionate (a sinistra) poste per mitigare il dissesto. Si noti l'opera di contenimento in calcestruzzo a tergo (visibile a sinistra nella foto), a tetto della viabilità secondaria che dalla SP126 conduce al depuratore in B) . Foto scattate nel Settembre 2022.

3.4.3 Descrizione della nuova carta geologica

La Carta Geologica e Geomorfologica di base è il risultato dell'integrazione di dati ufficiali di cartografia e letteratura esistenti, dell'analisi di informazioni stratigrafiche di sondaggio e di attività di rilevamento di superficie mirata alla conferma dei dati raccolti e all'acquisizione di nuovi a maggiore dettaglio.

Essa rappresenta le aree di affioramento e relativi limiti delle litologie osservate, distinte in substrati geologici e terreni di copertura, su cui sono indicate le giaciture misurate e lineamenti tettonico-strutturali supposti (faglie e pieghe). Sono rappresentate le aree in dissesto censite in studi pregressi, gli elementi morfologici puntuali e lineari come da Standard di rappresentazione cartografica e archiviazione informatica – Versione 4.2: punti sommitali, creste, orli di scarpata.

A completamento delle informazioni rappresentate, gli elementi lineari e poligonali della Carta Tecnica Regionale forniscono informazioni su toponimi, isoipse, viabilità e urbanizzazione.

I rapporti geometrici tra i substrati individuati e i terreni di copertura sono stati rappresentati in tre sezioni geologiche, considerando la forma allungata della perimetrazione dell'area in studio e le caratteristiche dell'abitato, allungato in direzione NO-SE (Figura 54). Gli spessori indicati derivano da analisi ed interpretazioni di dati di sondaggio e geofisici, nonché dall'integrazione di dati di rilevamento e quanto noto dalla letteratura.



L'interpretazione dell'alternanza stratigrafica osservata in campagna, unita all'analisi delle successioni verticali dei sondaggi geognostici, l'assetto giaciturale degli strati del Flysch di Faeto ad ovest dell'area perimetrata, e ad ovest del paese uniti alle caratteristiche morfologiche, indicano la presenza di una successione piegata che coinvolge l'intera successione del Flysch di Faeto, generando una sinforme (a ovest) ed un'antiforme, a tetto del quale sorge il paese. I limiti fra una successione con una prevalenza di una facies più terrigena su calcareniti e calcari (FAEc e FAEp), sono stati tracciati in corrispondenza di forti rotture di pendenza o laddove superfici di strato della frazione più competente (p.es. calcareniti in affioramento A 09) evidenziavano la presenza di questa porzione della successione flyschoidale. Essendo una successione stratificata, tali limiti evidenziano quanto inferito dalle esposizioni presenti e strutture inferite, ma contengono un margine di incertezza rilevante.

L'alternanza di strati diversi per natura, competenza e spessore, provocano un diverso livello di erosione delle litologie alternate. Tale situazione è evidente lungo il versante nord del paese (affioramento A07), e determina dove la porzione più argilloso pelitica è maggiormente esposta, anche fenomeni di dissesto elevati, come descritto nei paragrafi precedenti.

Una faglia con cinematisma non definito, ma verosimilmente Attiva e Capace (PFAC), è stata tracciata fra gli affioramenti A08a e 08b, in cui era evidente una porzione della successione stratiforme del Faeto molto disturbata. La sua cinematica (si veda anche elementi tettonici), come PFAC è ancora incerta.

3.4.4 Nuove sezioni geologiche

Sono state realizzate tre sezioni geologiche, le cui tracce state dettate dalla perimetrazione e dalla orientazione del paese allungata in direzione ca NO-SE; la prima, denominata A-A', è orientata circa nord-est/sud-ovest principali strutture geologiche individuate nell'area di studio; la seconda, denominata B-B', è orientata circa nord-ovest/sud-est interseca il centro abitato da NO; la sezione CC' orientata ad alto angolo rispetto alle altre due è stata così tracciata considerando la posizione dell'affioramento A08a, chiave, considerando che presenta le evidenze di molteplici fenomeni di fagliazione, in forma di dislocamenti laterali, sollevamenti e molteplici episodi di fratturazione (Figura 40) che suggeriscono la presenza di una faglia PFAC con una geometria che è stata volutamente lasciata indefinita, considerando le molteplici possibili sorgenti composite prossime al comune di Celle di San Vito (cfr. cap.2) . Nelle sezioni sono riportate le principali geometrie

ricostruite dei corpi geologici, i loro spessori desunti dalle stratigrafie di sondaggio (spinte fino a un massimo di 30 m di profondità dal p.c.), da prove geofisiche e da osservazioni dirette. Tutte le sezioni intersecano il centro abitato, per cui è possibile valutare le geometrie inferite per le porzioni flyschoidi sottostanti ad esso. I rapporti geometrici tra i substrati individuati e i terreni di copertura sono rappresentati in tre sezioni geologiche, AA'- BB' e CC', considerando la forma allungata della perimetrazione e la particolare "configurazione" del paese, allungato ca. in direzione NNO-SSE. Le sezioni sono volte ad ottenere più informazione sul possibile assetto stratigrafico- strutturale che è stato possibile inferire dai dati raccolti. Le sezioni AA' – BB' sono quindi trasversali alle principali strutture geologiche ed intersecano il paese da NO e da NE; la sezione CC' interseca ad alto angolo le altre due ed il paese, in modo da comprendere affioramenti che sono rilevanti per l'interpretazione delle strutture presenti (affioramento A08a Figura 40). Gli spessori indicati derivano da analisi ed interpretazioni di dati di sondaggio e geofisici, nonché dall'integrazione di dati di rilevamento e quanto noto dalla letteratura. Stralci significativi delle tre sezioni sono mostrate in

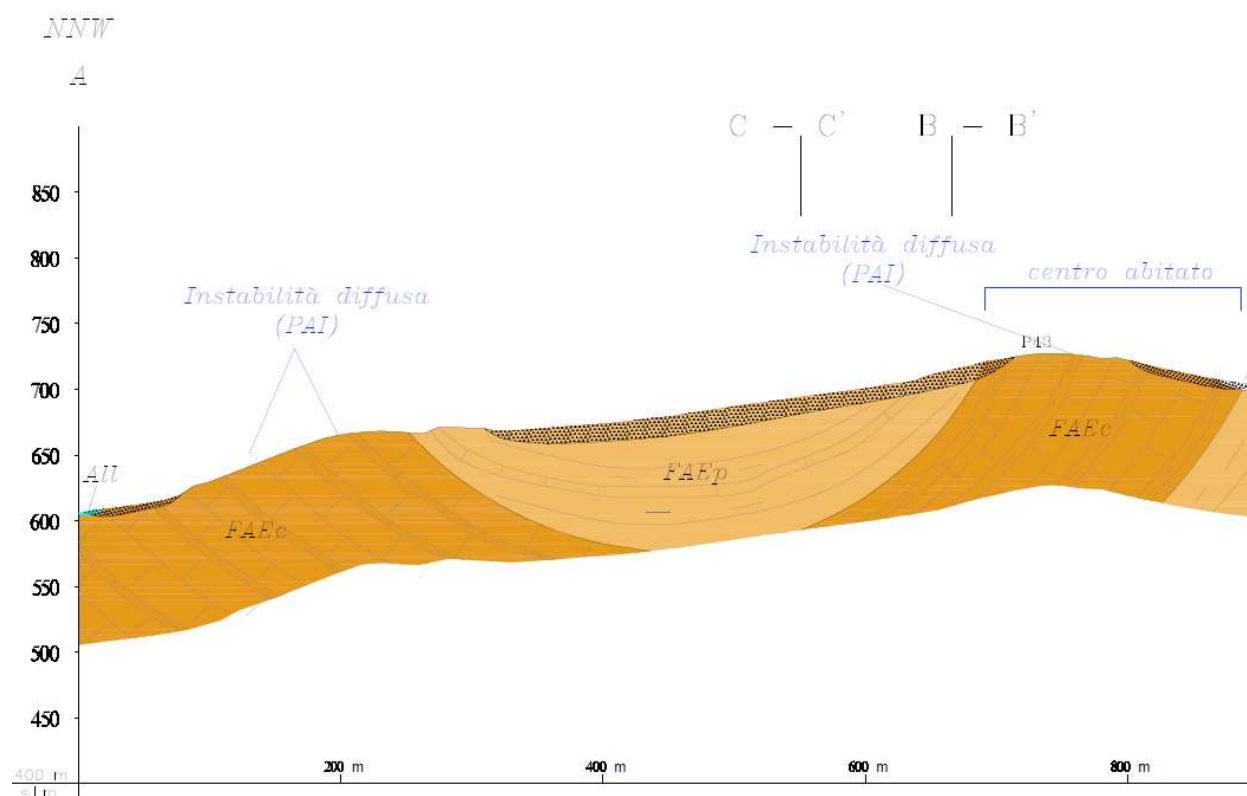


Figura 55; Figura 56; Figura 57.

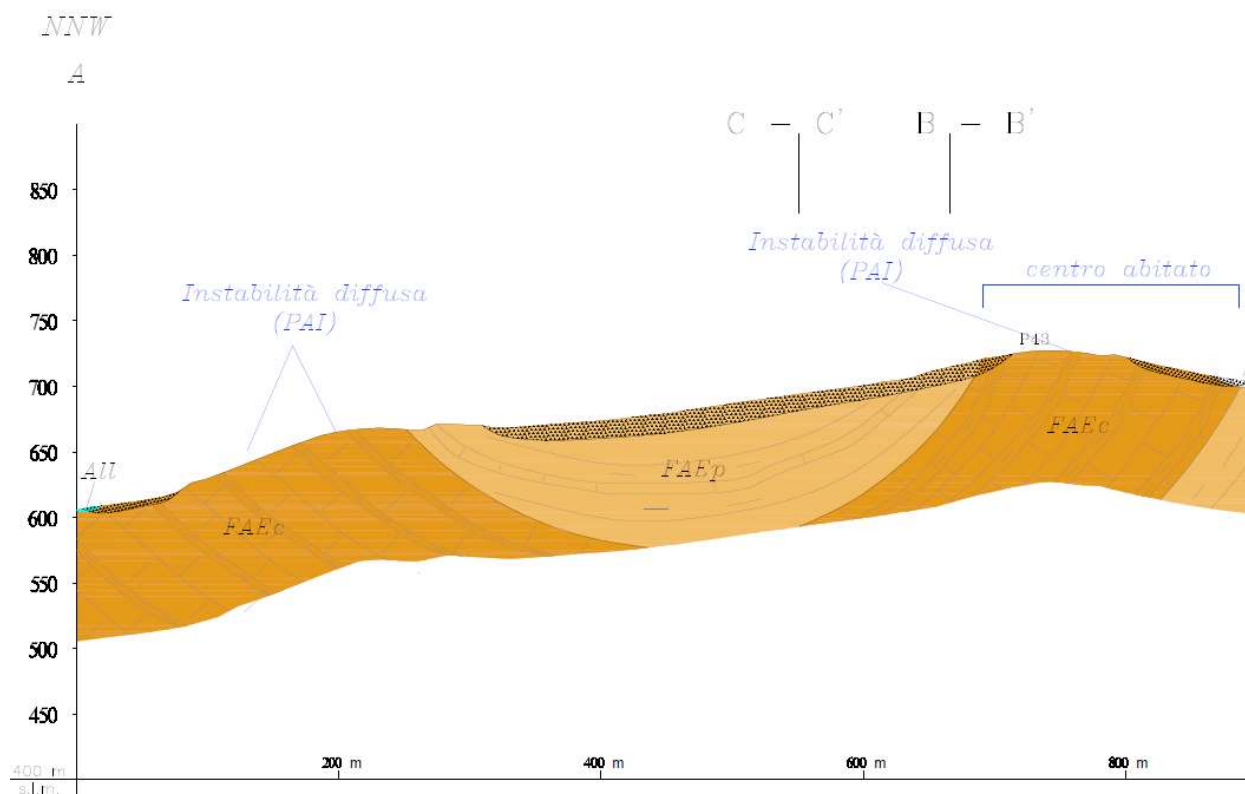


Figura 55. Stralcio della sezione A-A'.

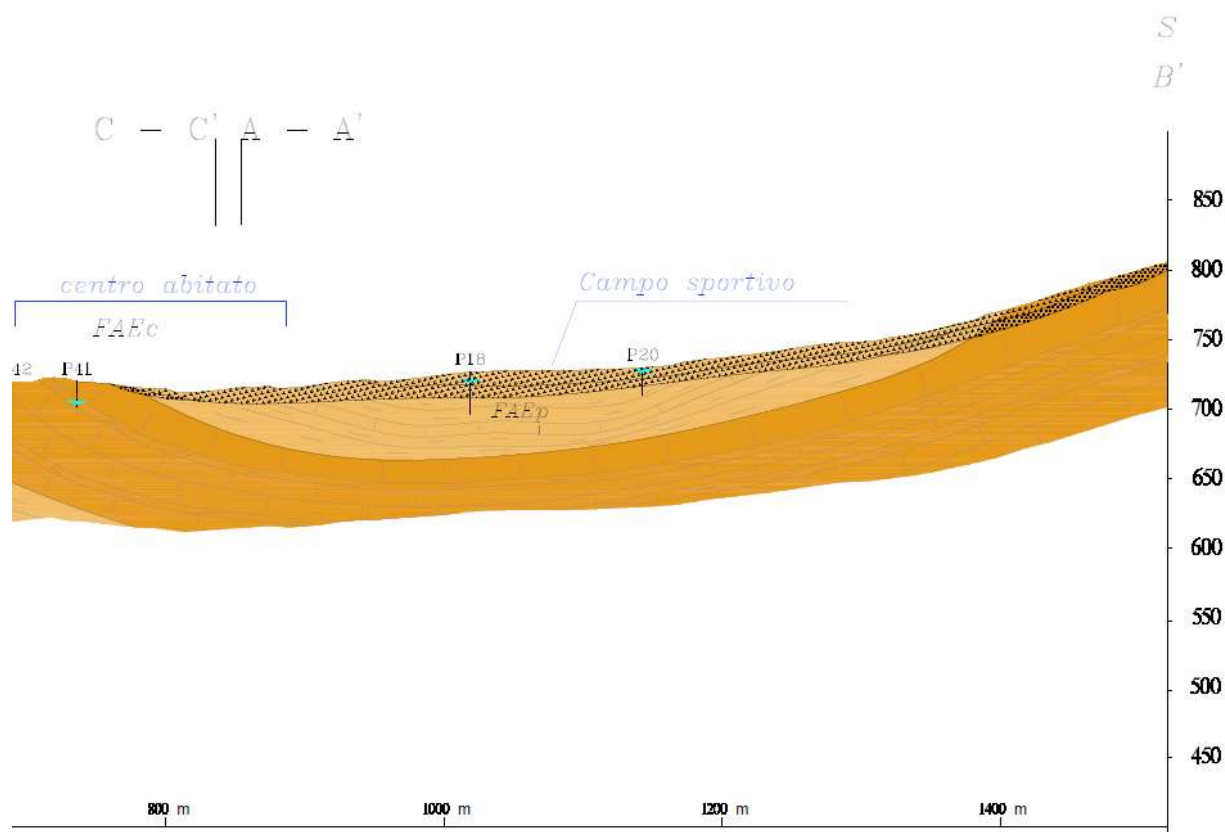


Figura 56. Stralcio della sezione B-B'.

Le sezioni AA' e BB' sono orientate rispettivamente NO-SE e NE-SO in modo da evidenziare le strutture presenti zone più lontane dal paese comprese nella perimetrazione. Tutte le sezioni attraversano il paese. Nella sezione AA' tracciata da NO a SE, è evidente il piegamento che coinvolge la successione del Flysch di Faeto (uno dei cui fianchi è visibile ad ovest del paese (Figura 55). Tale sinclinale inferita da misure giacitureali nella porzione più competente del Flysch di Faeto, è anche visibile nella sezione CC' (Figura 57). Essa attraversa nella porzione orientale una parte del T.te Fontanelle, immissario del Celone, lungo il quale caratteristiche morfologiche (anche se quelle giacitureali sono dubbie considerando l'elevato dissesto presente) suggeriscono anche la possibile presenza di una sinclinale. Qui si è scelta un'interpretazione più conservativa, con un assetto monoclinale, presente anche nella porzione sud occidentale. Nella sezione BB' è evidenziata la vergenza occidentale costante delle porzioni nord occidentali, prossime al Torrente Celone, caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali, verosimilmente di età variabile, che coinvolgono in maniera distinta le litologie variabili del flysch di Faeto evidenziando anche l'antiforme sulla quale sorge il paese, con versanti a franapoggio nella zona del campo sportivo, edificato in una zona in dissesto.

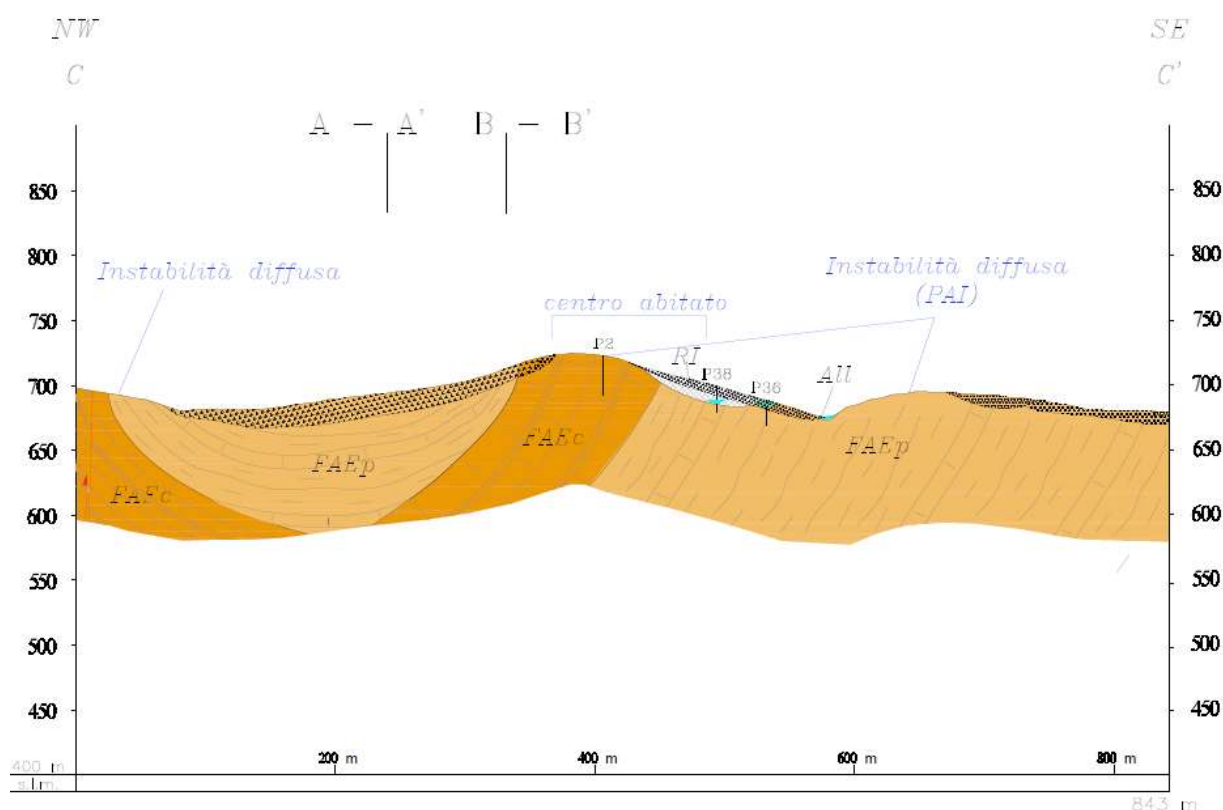


Figura 57. Stralcio della sezione CC'

Nella sezione CC', in direzione ca. ONO-ESE, è evidente l'assetto a franapoggio della porzione occidentale del paese (in particolare l'affioramento A10, prossimo alla chiesa di Sta Caterina), che eventualmente coinvolge tutto il settore occidentale dello stesso. La presenza di una faglia PFAC è tracciata come normale, provocando un dislocamento verticale nel Flysch di Faeto, stesso che è stato osservato come uno dei movimenti più evidenti in sezione A08a (Figura 40 H) oltre ad un movimento laterale destro (Figura 40 G). La coesistenza di vari sistemi di fratturazione non consente di determinare con certezza quello più probabile di essere PFAC La porzione occidentale della sezione comprende la zona del cimitero, edificata anch'essa sull'alternanza flyschoidale, parzialmente in dissesto. Si rimanda all'elaborato grafico "Sezioni geologiche" per la loro versione completa, insieme alla legenda esplicativa.

3.4.5 Condizioni idrogeologiche locali

L'idrogeologia dell'area è condizionata dalle caratteristiche litologiche della successione attraversata e dell'assetto strutturale della stessa.

È da notare che la quasi totalità dei sondaggi è stata eseguita in corrispondenza del centro abitato le cui caratteristiche sono attribuibili esclusivamente alla successione del Flysch di Faeto, costituita da un'alternanza fra strati calcarei e/o calcarenitici con un grado di fratturazione, e/o porosità variabile, e livelli di spessore variabile di argille e/o marne grigio azzurre. I terreni del Flysch di Faeto sono generalmente permeabili per fratturazione/fessurazione (frazioni calcareo/calcarenitiche) o poco permeabili/impermeabili (marne argillose/ argille). La permeabilità varia anche all'interno della singola (per la variabilità della composizione granulometrica del deposito). Tale successione è inoltre piegata, e l'abitato sorge a tetto di un'antiforme, come descritto anteriormente. Le profondità del tetto della falda sono variabili dipendendo dalle litologie attraversate (prevalenza o meno di litologie marnoso argillose rispetto a calcarenitico– calcaree) e dalla loro profondità, determinata anche dal particolare assetto strutturale assunto dalla successione flyschoidale in diverse zone interne al paese o esterne allo stesso ma comprese nell'area perimetrata, quali per esempio quelle nella porzione orientale e sud orientale.

A nord-ovest del paese i sondaggi riportano profondità variabili di rinvenimento di acqua in foro, comprese tra 6 m (P43) e 14 m (P41) e dal p.c. in corrispondenza di passaggi stratigrafici che comportano circolazione d'acqua in livelli calcarenitici a tetto di intervalli argilloso marnosi, che costituiscono la frazione più pelitica della successione flyschoidale.

Nella porzione orientale si riscontrano variazioni simili a quelle osservate nel lato nord occidentale del paese con una circolazione d'acqua prevalente in calcareniti (spesso fratturate), a tetto di marne argillose grigiastre con profondità che oscillano tra un minimo di 4.10 m (071019P37) massimo di 11 (071019P46)/ 11.5 m (071019P15)/. Profondità minori (2 m) all'interno di corpi di frana, sono state rinvenute in sondaggi effettuati a tetto del torrente Fontanelle, poco a monte della SP126 (071019P38, P36 . Livelli molto superficiali (1 m) sono riportati anche all'interno di porzioni in dissesto in corrispondenza del campo sportivo (071019P20), dove si osservano variazioni tra 4 (071019P40) e 5.50 m (071019P17). È da notare che vari sondaggi (p.es 071019P11-P12-P13) son effettuati a profondità esigue (massimo 13 m) e prevengono un'analisi esaustiva delle successioni presenti.

A causa anche della discontinuità dei dati a disposizione risulta difficile ricostruire uno schema generale della circolazione idrica nel sottosuolo; l'acqua circola nei depositi arenacei/ sabbiosi o derivanti dalla frantumazione di livelli calcarenitici, spesso anche nei corpi in dissesto, costituendo falde superficiali la cui base coincide con il tetto delle argille.

Pochi sondaggi sono stati effettuati in zone esterne al centro abitato. Fra questi, fra quelli effettuati in prossimità di un'area adibita a stoccaggio rifiuti (071019P35 Figura 50), mostra profondità coerenti con quanto osservato altrove (10.10 m), all'interno di argille marnose.

Alcune stratigrafie di sondaggio a supporto di quanto ricostruito, sono presentate in Figura 58 e Figura 59.

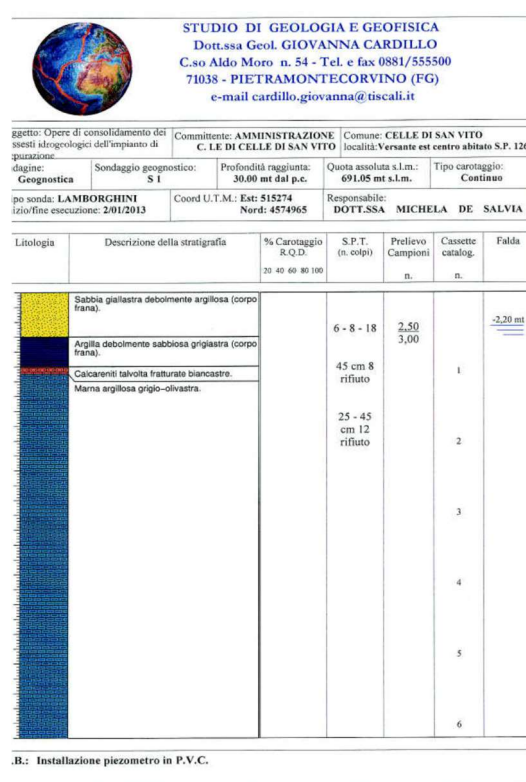
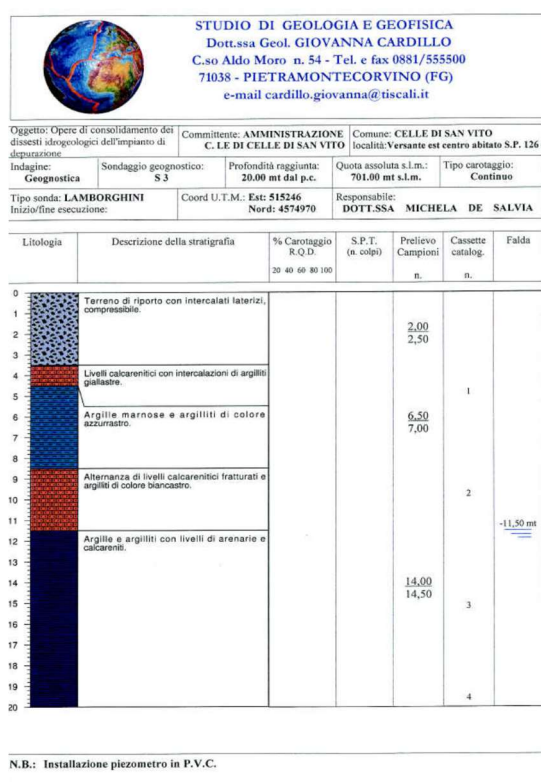


Figura 58. Sondaggi 071019P38 (a destra) e 071019P36 (a sinistra) effettuati a tetto del Torrente Fontanelle (prossimo al ristorante omonimo) e nella porzione occidentale della SP126

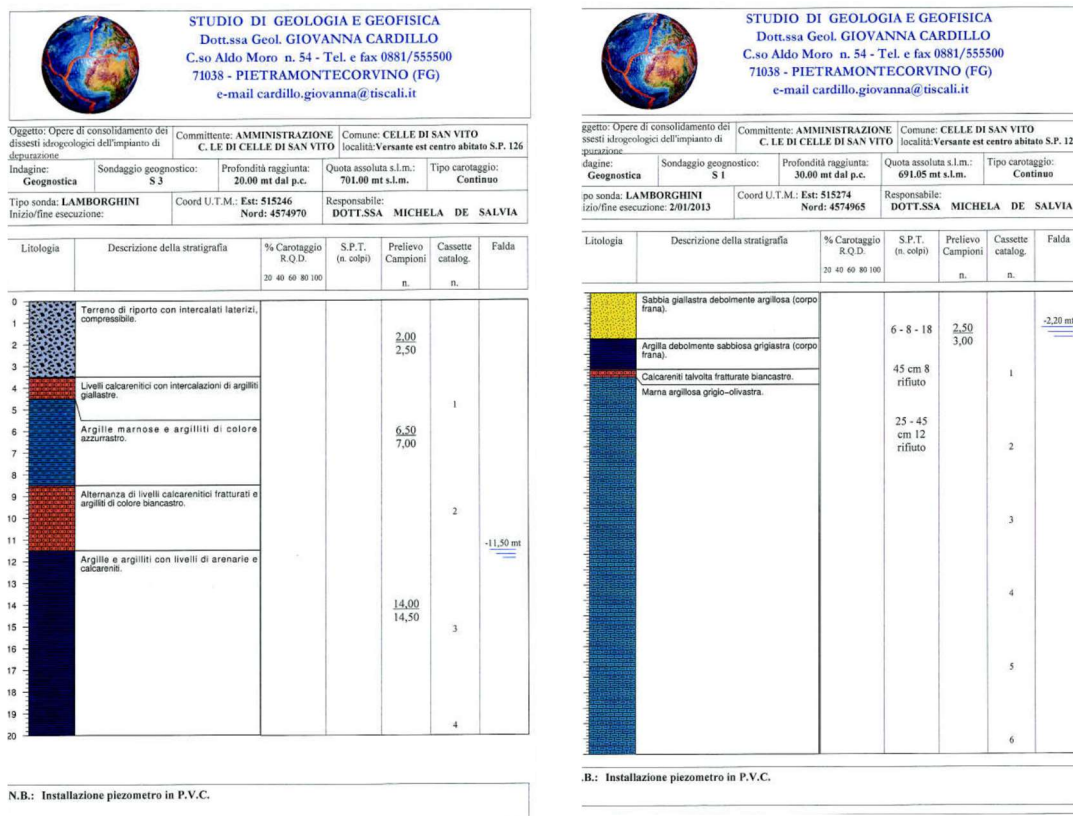


Figura 59. Da destra a sinistra: stratigrafie dei sondaggi 071019P38 e P36 effettuate nella porzione occidentale del paese a monte del Torrente Fontanelle, in prossimit  del ristorante Le Fontanelle ed a tetto della SP126, in cui   possibile notare l'escursione della falda a profondit  variabile dipendendo dal tetto delle litologie argillo- marnose della successione flyschoidale, la cui escursione interessa anche i depositi in frana presenti. Dettagli nel testo

3.5 Elementi tettonici

Considerazioni Strutturali

Gli affioramenti nella porzione occidentale del paese, prossimi al limite dell'area perimetrata (A08a-8b), quelli presenti a nord del paese (A06-07) e nella porzione centrale dello stesso (A09-A10) indicano la presenza di una sinforme delineata dall'immersione opposta di superfici di strato con una elevata similitudine fra loro.

Le giaciture di strato unite alla morfologia del territorio, e all'analisi dei sondaggi, suggeriscono la presenza di antiformi e sinformi che coinvolgono l'intera successione flyschoidale del Faeto; la stessa natura degli strati piegati, favorirebbe l'affioramento di uno o un altro tipo di litologia, sia in prossimit  del centro abitato che altrove. Le porzioni esposte presentano quindi caratteri variabili quali la presenza variabile di marne argillose fittamente stratificate, o l'emergenza (quasi

sempre in alti topografici) di strati di composizione calcarea e/o calcarenitica (in alcuni casi riconducibile al membro intermedio superiore descritto nelle Note illustrative della cartografia ufficiale). Non sono state riscontrate evidenze giaciture nella zona orientale del paese (a meno che non fossero prossime e/o all'interno di porzioni in dissesto) ~~che suggerissero in maniera chiara la presenza di una sinclinale, nonostante la stessa possa essere inferita dalla morfologia in corrispondenza del T.te Fontanelle.~~ Evidenze di una sinclinale si riscontrano nuovamente a SE del paese, a sud della Cabina dell'Acquedotto. Il nucleo abitato di Celle di San Vito è situato al top di una di tali anticlinali, come attestato dalle caratteristiche dei depositi che volgono sul fianco ovest del paese da nord (affioramenti A07- A06), verso la porzione centrale dell'abitato prossimo alla chiesa di Chiesa di Sta Caterina (affioramenti A10 e A09) in cui è evidente la presenza di fianchi a franapoggio con inclinazioni elevate verso occidente (Figura 40; Figura 41). Tale ipotesi è confermata anche dalla giacitura della superficie di strato di natura calcarenitica intercalati a porzioni pelitiche presso l'azienda agricola il Picchio (Figura 40 A-H). Le misure effettuate su diverse porzioni dello stesso affioramento mostrano coppie di valori (plunge/trend) ricorrenti, a meno di un valore (42/120) corrispondente eventualmente a una struttura immergente verso SO. Direzioni di questo tipo, già individuate in studi anteriori, sono state interpretate come porzioni esterne a basso angolo del *thrust* appenninico (Scrocca, 2006) e sono presenti anche nella regione Centro Adriatica (Kastelic et al. 2013).

Le misure delle principali fratture visibili in affioramento nell'estremo nord del paese evidenziano valori distinti, con coppie di valori (plunge/trend) variabili e riscontrabili in tutte le porzioni /zone dell'intero affioramento 19/228 ; 19/339 (Figura 36); 02/329; 03/334 e 53/024; 56/008 (Figura 40H); unicamente nella porzione più chiara (e cioè meno alterata) presente a sinistra dell'affioramento (i.e. indicativa di blocco rialzato Figura 40-H) le fratture presentano oltre ai trend riconosciuti in precedenza quali (plunge/trend) 50/003 e 12/334 anche valori di 42/120. Diversi trend di movimento sono presenti all'interno della porzione dislocata prossima alla zona altamente brecciata (Figura 40F) in cui sono stati misurati diversi valori per le strie 40/037 (o trend 045) e altri indicatori cinematici (20/238) .

La presenza di varie coppie di valori misurate in vari punti dell'affioramento, rendono difficile determinare con certezza la direzione della faglia potenzialmente attiva e capace, che quindi è stata lasciata come “non determinata” in carta ed in sezione. Considerando anche che il paese è prossimo a vari sistemi di faglia compositi, per molti dei quali è stata evidenziata un'incertezza

sia nei meccanismi di fagliazione, che la vera e propria localizzazione (cfr.2.2), è evidente che sia necessario caratterizzarla con studi di maggior dettaglio appositamente dedicati.

Le coppie di valori, misurate in strie e fratture indicano la presenza frequente di direzioni NO-SE (plunge /trend: 19/339; 19/228; 02/ 329; 03/334), coerente con i sistemi di faglia attivi attualmente in Appennino Meridionale, ma anche direzioni opposte (53/024; 56/008; 50/003; 40/037 e 045) le ultime delle quali riferite a strie sul piano dislocato .

Varie evidenze suggeriscono che la direzione della faglia PFAC sia NO-SE, ed il cinematismo comporti un movimento laterale destro, oltre eventualmente ad uno, o più, a carattere normale (Figura 40 , Figura 41), probabilmente immergente a nord, considerando le misure effettuate sul - blocco rialzato in Figura 40) considerando: a) la deviazione di torrenti poco a SE dell'affioramento A08a-b, da una direzione ca. N-S (Figura 60); un elevato grado di fratturazione delle porzioni più competenti del Flysch di Faeto, in direzione SE, fino a culminare nell'affioramento A01 (Figura 48); la non continuità della sinforme delineata a nord (Affioramenti A06-07, 09-10 / A08a-b) con quella a sud (A11-A39-01), il cui asse sembra aver subito uno spostamento laterale destro.

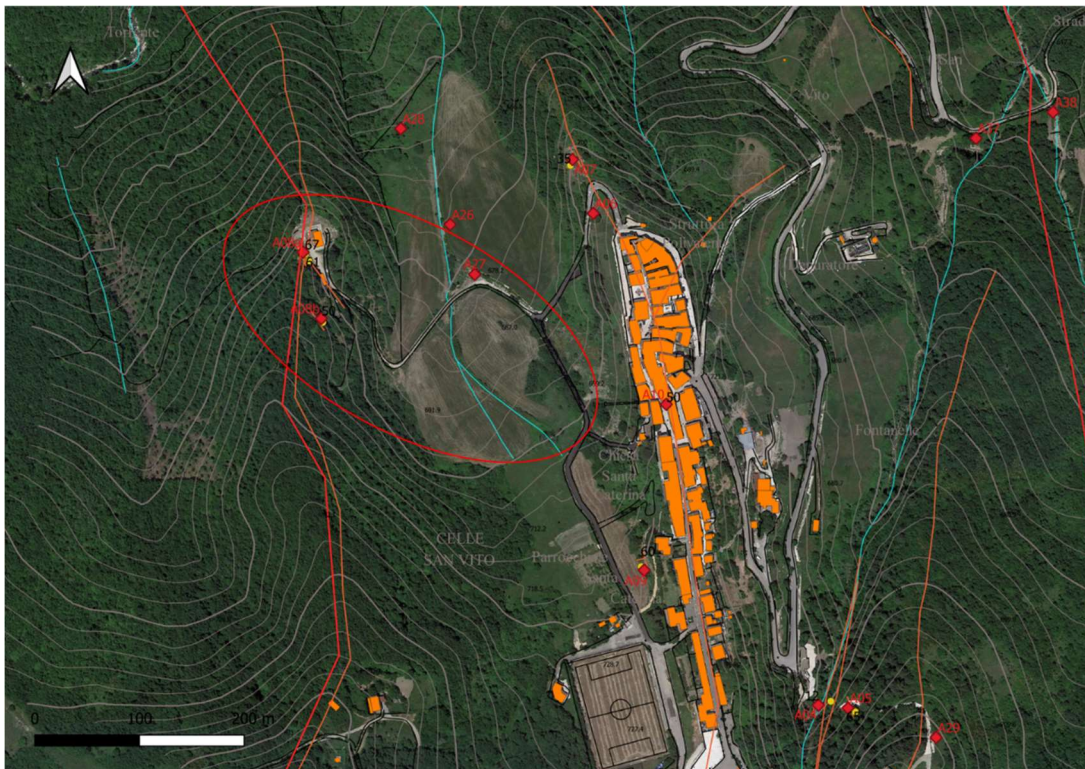


Figura 60. Vista di uno dei torrenti tributari del torrente Celone, ad ovest dell'abitato di Celle di San Vito, nel quale è evidente una deviazione verso SE , da una direzione più spiccatamente N-S/ NO-SE.

È da notare che il comune è prossimo a varie sorgenti composite caratterizzate ad oggi da varie complessità (DISS Working Group 2022) fra le quali Mirabella- Eclano Monteverde (ITCS084) che include quella di Valle dell'Ufita (ITI006); quella di **Miranda Apice (ITCS024)** e quella di **Pago Veiano_Monteaguto (ITCS057)** (cfr cap. 2). La sorgente Miranda Apice è considerata responsabile delle sequenze del 29 novembre 1732 e 21 agosto 1962, risentite nell'abitato di Celle di San Vito e di vari sub-eventi correlati all'evento del 5 dicembre 1456 (cfr. cap. 2) fra altri, ed è localizzata in prossimità dell'asse estensivo dell'Appennino Meridionale, in corrispondenza della transizione fra grandi sistemi di faglie normali dell'Appennino Centro-Meridionale che immergono variamente a SO (in Abruzzo) o NE (in Molise). È da notare che secondo Vannoli et al (2016) l'epicentro dell'evento sismico del 1962 (cfr. cap. 2) sarebbe stato localizzato poco ad est dell'asse appenninico, in prossimità ad una delle sorgenti trascorrenti orientate E-O che si pensa abbiano causato la sequenza del 1456. Inoltre il meccanismo più probabile sarebbe di trascorrenza destra lungo un piano immergente a N, come uno degli eventi del 1456 ed altri eventi minori. Strutture regionali orientate E-O sono considerate come strutture mesozoiche ereditate che caratterizzano l'avampaese, e possono evolvere in sistemi trascorrenti complessi che accomodano deformazioni di grande scala (Kastelic et al.,2013 e referenze incluse; DISS Working Group 2022) Le evidenze raccolte in questo studio si inseriscono quindi in quanto evidenziato a scala regionale evidenziando la compresenza di sistemi di fagliazione a cinematica distinta per i quali sono necessari studi di maggior dettaglio, uniti a datazioni per valutare con precisione la cinematica di questa faglia potenzialmente attiva e capace (PFAC).

3.6 Considerazioni finali sull'architettura stratigrafica e sull'assetto morfologico e strutturale

Le evidenze strutturali , morfologiche (p.es la deviazione di corsi d'acqua in destra idrografica del torrente Celone) e l'elevato grado di fratturazione che aumenta andando verso SE, suggeriscono fortemente la presenza di una direzionalità nei processi di fratturazione/ tettonizzazione in direzione NO-SE, coerente con la presenza di fagliazione, già evidenziata come probabile in scala 1:100.000 e che necessita di ulteriori e più dettagliati studi in fasi successive di lavoro.

La coesistenza di cinematiche trascorrenti destri con cinematiche normali e/o inverse , sono state evidenziate in vari studi in Appennino Meridionale. Le osservazioni di campagna indicano un aumentare del grado di tettonizzazione verso SE. Tale caratteristica coincide con il prolungamento della faglia probabile tracciata a scala regionale nel foglio 174.

È da notare che il torrente Celone, un affluente del Candelaro, in cui sfocia, corre parallelamente ai fiumi Cervaro ed Ofanto lungo i quali vari autori concordano nella presenza di faglie sepolte in direzione E-O (Figura 61). Questa evidenza confermerebbe la presenza di una componente laterale destra anche nell'attività delle faglie in prossimità di Celle di San Vito, come dettagliato nei paragrafi anteriori, per caratterizzare i meccanismi di fagliazione possibilmente suscettibili di attività, per il quale sono necessari ulteriori studi di maggior dettaglio.



Figura 61. Schema di inquadramento tettonico a scala 1:500.000, tratto dal F. 421 Ascoli Satriano (evidenziato da un quadrato arancione) realizzato nell'abito del progetto CARG, in cui sono evidenziate le possibili zone di faglia corrispondenti ai corsi d'acqua principali che scorrono nel territorio pugliese in direzione E-O. La posizione del Torrente Celone è indicata da una freccia rossa. Dettagli nel testo.

4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

4.1 Dati geotecnici pregressi

La prima attività propedeutica allo studio di I livello di Microzonazione Sismica ha riguardato l'acquisizione puntuale di tutto il materiale documentale inerente a progetti pregressi eseguiti sul territorio comunale, con specifico riguardo all'area di studio. Le fonti bibliografiche sono state principalmente gli archivi, sia fisici che digitali, degli Enti Attuatori e/o beneficianti delle opere oggetto di progettazione (Comune, Provincia, Regione). All'interno delle relazioni geologiche e geotecniche dei progetti acquisiti, nel presente lavoro sono state considerate soltanto quelle prove geotecniche di laboratorio i cui certificati di prova fossero regolarmente allegati al progetto, così da poter valutare l'affidabilità dei risultati. In Tabella 2, si riportano sinteticamente le tipologie di prove acquisite per ciascun campione, con sondaggio di appartenenza (secondo la nomenclatura degli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica 4.2) e profondità di riferimento del campione in sito.

Tabella 2. Sintesi delle tipologie di prove geotecniche di laboratorio acquisite presso gli Enti, con indicazione del sondaggio di provenienza e della profondità di riferimento in sito, su campioni prelevati all'interno dell'area di studio. In tabella: "STAT" parametri di stato; "LIM" limiti di Atterberg; "GRAN" analisi granulometrica; "TD" prova di taglio diretto; "TD_res" prova di taglio diretto a residuo; "EDM" prova edometrica; "ELL" prova di Espansione Laterale Libera.

Sondaggio - ID CAMPIONE	Prof. (m da p.c.)	STAT	LIM	GRAN	TD	TD_RES	EDM	ELL
071019P15-C1	2.25	X			X			
071019P15-C2	6.75	X			X			
071019P15-C3	14.25	X			X			
071019P16-A	6.15	X		X				X
071019P16-B	15.2	X	X	X	X			
071019P16-C	20.75			X				X
071019P17-B	7.65		X	X				X
071019P17-A	9.75	X		X	X			X
071019P18-A	3.2	X		X				
071019P18-B	6.25	X	X	X				X
071019P18-C	9.2	X	X	X				X
071019P18-D	14.65			X				
071019P18-E	23.2	X	X	X				X
071019P18-F	25.2	X			X			X
071019P19-A	2.35	X		X				
071019P19-B	3.25	X	X	X	X			
071019P19-C	9.2	X		X				X

071019P20-A	3.65	X	X	X	X			
071019P20-B	7.65	X		X				
071019P20-C	9.2	X						
071019P41-C1	11.25				X			
071019P42-C1	10.25	X	X	X	X			
071019P43-C2	2.25	X	X	X	X			
071019P43-C3	13.75	X	X	X	X			
071019P45-C1	3.7	X	X	X	X	X		
071019P46-C3	15.4	X	X	X	X	X		
071019P51-C1	4.6	X	X	X	X		X	
071019P51-C2	11.75	X	X	X	X		X	
071019P51-C3	21.25	X	X	X	X		X	
071019P52-C1	20.25	X	X	X	X		X	
071019P52-C2	26.25	X	X	X	X		X	

Come si evince, nella costruzione del modello geologico-tecnico, per gli aspetti legati alle caratteristiche fisiche e meccaniche delle unità litotecniche coinvolte, si è fatto riferimento a 31 campioni indisturbati testati in laboratorio, prelevati da 13 sondaggi interni all'area di studio, ubicati come nell'elaborato "Carta delle Indagini".

Riguardo alle prove geotecniche di sito, tra cui si annoverano principalmente le prove penetrometriche dinamiche (SPT), queste sono state considerate per discriminare passaggi stratigrafici laddove si sono riscontrati valori significativamente diversi di numero di colpi N_{SPT} in successione lungo lo stesso sondaggio. Come si dirà più dettagliatamente nel Capitolo 5, le unità geologico-tecniche rinvenute nell'area di studio sono a composizione prevalentemente argillosa/limosa, tale da rendere una prova dinamica, quale la SPT, di difficile interpretazione ed attendibilità a seguito del comportamento non drenato che insorge nel terreno penetrato dalla punta. Per tale motivo, per la definizione delle caratteristiche meccaniche dei litotipi coinvolti, sono stati privilegiati i risultati di prove di laboratorio su campioni all'interno del perimetro oggetto di studio o da accreditata letteratura scientifica.

4.2 Dati geofisici pregressi

I dati geofisici pregressi eseguiti nell'area di interesse, recuperati dalla letteratura, sono i seguenti, acquisiti quasi esclusivamente in corrispondenza dell'abitato di Celle di San Vito:

- n°6 prospezioni sismiche tipo MASW (da 071019L4 a 071019L9);
- n°3 prospezioni elettriche tipo Re.Mi. (071019L1, 071019L2 e 071019L3);
- n°9 prospezioni sismiche in onde P (da 071019L1 a 071019L9);

- n°4 prove di rumore a stazione singola HVSR (da 071019P47 a 071019P50), eseguite per un precedente lavoro di microzonazione sismica.

Ai fini del presente studio, per l'attribuzione delle velocità V_s di propagazione delle onde S sono stati considerati i dati sismici delle prove MASW e Re.Mi., se ritenute affidabili; le sismiche a rifrazione in onde P sono state tenute in conto (quando ritenute valide) per ulteriori informazioni sulla stratigrafia (sismica) delle litologie riconosciute.

Si è deciso di non tenere in considerazione le prove HVSR pregresse a causa di:

- differenti modalità di acquisizione del dato rispetto a quelle di nuova acquisizione eseguite dal Gruppo di Microzonazione Sismica dell'ASSET (si veda il paragrafo 4.3);
- assenza o incompletezza della documentazione tecnica a corredo dei risultati ottenuti.

Verrà comunque riportata più avanti una tabella di sintesi delle prove HVSR eseguite per studi pregressi.

Di seguito si riporta una sintesi delle indagini, distinte per tipologia, con descrizione di quelle più significative, rimandando ai relativi allegati per i dettagli sulle modalità esecutive e sulle procedure di elaborazione.

Prove MASW

La Tabella 3 mostra la corrispondenza tra le prove MASW pregresse e le unità geologiche su cui sono state eseguite, con indicazione della eventuale presenza in superficie di terreni di copertura o di materiale in frana (con riferimento alla legenda della Carta Geologica e Geomorfologica).

Tabella 3. Sintesi delle prove MASW.

Prova	Profondità (m da p.c.)	Unità geologica/Terreno di copertura
071019L4	>30	FAEc (parte superficiale in frana)
071019L5	>30	FAEc (parte superficiale in frana)
071019L6	>30	FAEp (parte superficiale in frana)
071019L7	>30	FAEp (parte superficiale in frana)
071019L8	>30	RI-FAEp (parte superficiale in frana)
071019L9	>30	RI-FAEp (parte superficiale in frana)

I profili di velocità V_s più significativi sono di seguito sinteticamente descritti.

Le prove 071019L6 e 071019L7 sono state eseguite poco ad est dell'abitato di Celle di San Vito, in area di affioramento di FAEp. Le V_s misurate distinguono (Figura 62): un intervallo superficiale spesso circa 3-5 m con $V_s=180-220$ m/s (attribuibile ai terreni di alterazione superficiale); un

graduale aumento delle V_s fino a circa 25 m di profondità ($V_s=500-670$ m/s per 071019L6 e $V_s=350-500$ m/s per 071019L7), associabile ai terreni del FAEp; il netto superamento di $V_s=800$ m/s tra 26 m e 31 m dal p.c. in entrambi i profili (970-1070 m/s), forse attribuibili ai terreni del FAEc sottostanti.

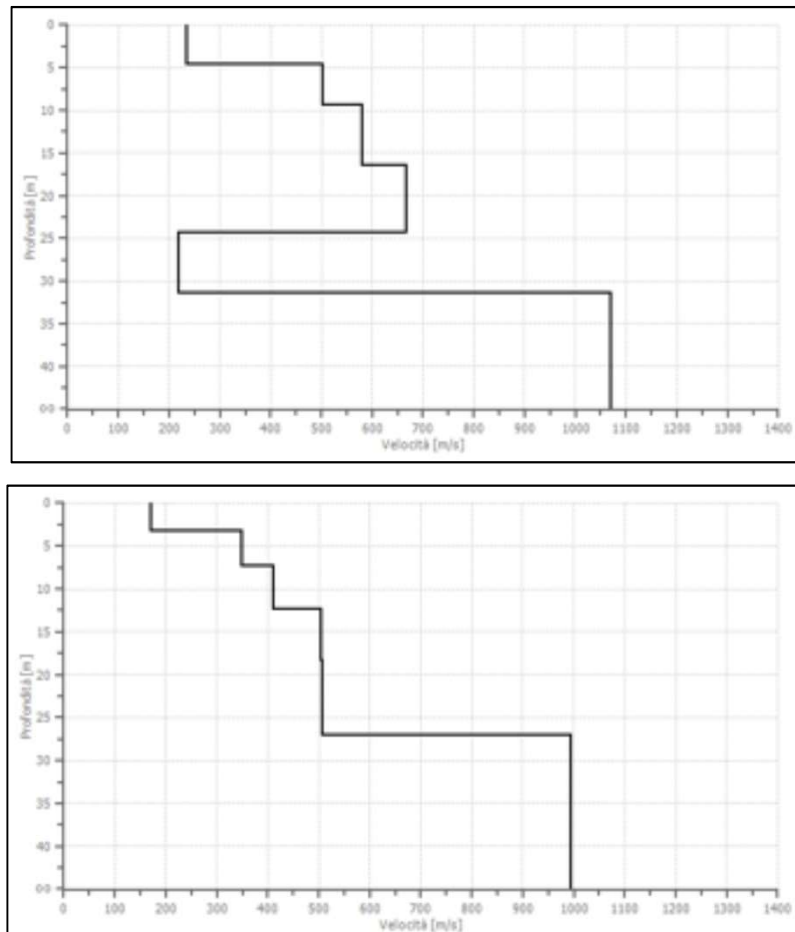


Figura 62. Risultati delle prove MASW 071019L6 (in alto) e 071019L7.

Poco a sud delle prove su descritte è stata eseguita la 071019L9, su terreni di riporto a copertura di FAEp; essa mostra un profilo V_s simile ai due precedentemente descritti (Figura 63): da 0 m a 4 m dal p.c. V_s si attesta intorno ai 220 m/s (terreni di alterazione superficiale/riporto), $V_s=430-660$ m/s in graduale aumento da 4 m a 27 m dal p.c. (parte più superficiale e fratturata del FAEp); $V_s>1050$ m/s oltre i 27 m (forse attribuibile al sottostante FAEc).

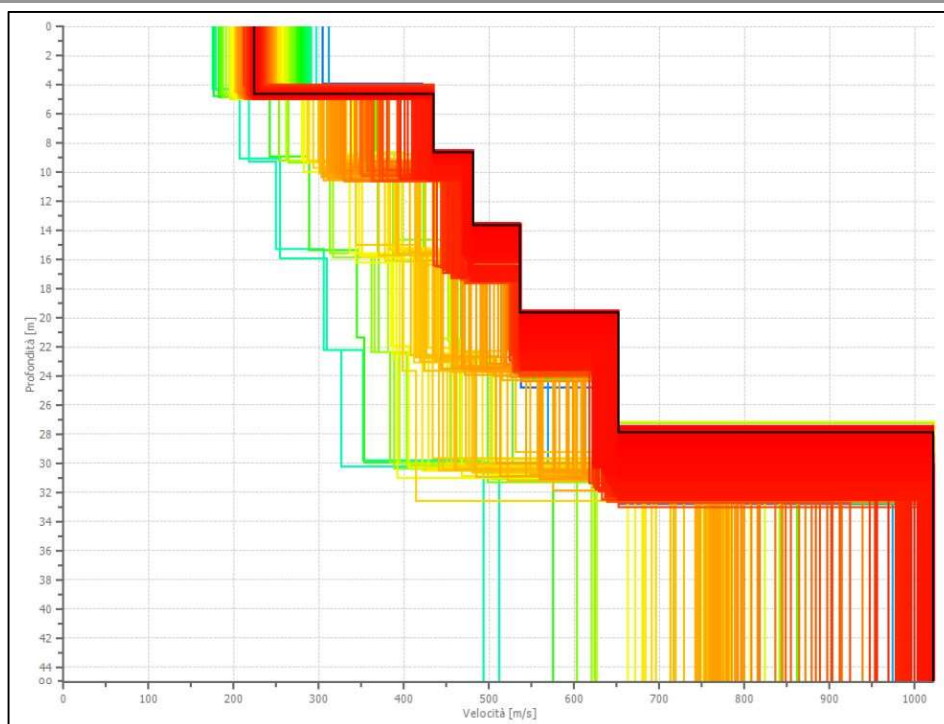


Figura 63. Risultati della prova MASW 071019L9.

La prova 071019L5, eseguita nella parte centrale dell'abitato su FAEc, ha anche essa un profilo Vs simile (Figura 64): da 0 m a 3 m dal p.c. Vs si attesta intorno ai 220 m/s (terreni di alterazione superficiale), Vs=480-800 m/s in graduale aumento da 3 m a 25 m dal p.c. (parte più superficiale e fratturata del FAEc); Vs=1160 m/s oltre i 25 m (FAEc più profondo e competente).

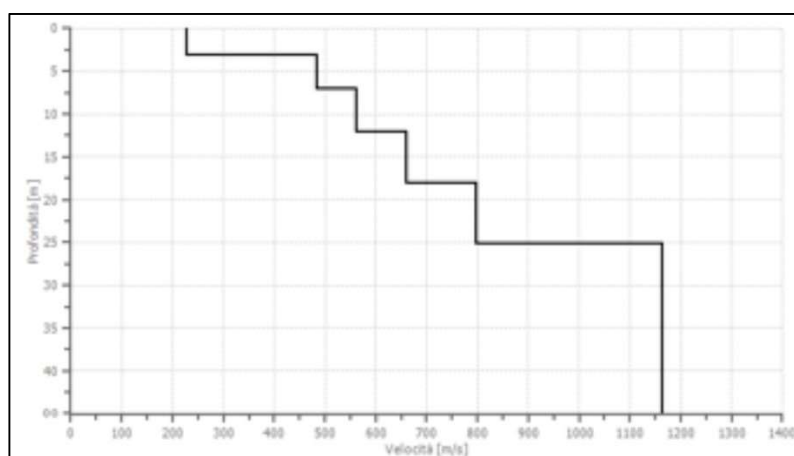


Figura 64. Risultati della prova MASW 071019L5.

Ad ovest dell'abitato, ai piedi del versante e in prossimità del campo sportivo, è stata eseguita la prova 071019L8 (Figura 65), su terreni del FAEp.

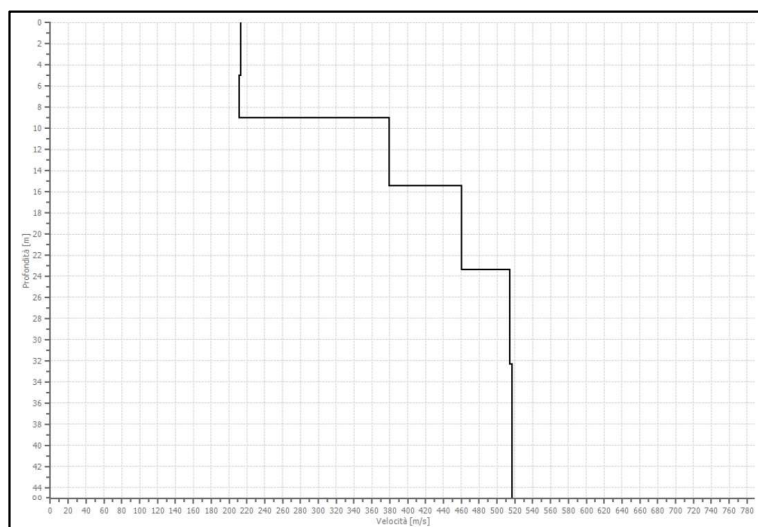


Figura 65. Risultati della prova MASW 071019L8.

Le velocità Vs risultano inferiori: $V_s=210$ m/s fino a circa 9 m di profondità dal p.c., $V_s=380-460$ m/s tra 9 m e 23 m dal p.c.; infine, oltre tale profondità, $V_s=515$ m/s.

Prove Re.Mi.

La Tabella 5 mostra la corrispondenza tra le prove sismiche tipo Re.Mi. pregresse e le unità geologiche su cui sono state eseguite, con indicazione della eventuale presenza in superficie di terreni di copertura o di materiale in frana (con riferimento alla legenda della Carta Geologica e Geomorfologica).

Tabella 4. Sintesi delle prove sismiche tipo Re.Mi.

Prova	Profondità (m da p.c.)	Unità geologica/terreno di copertura
071019L1	>30	FAEp (parte superficiale in frana)
071019L2	>30	RI-FAEp (parte superficiale in frana)
071019L3	>30	RI-FAEp (parte superficiale in frana)

I tre profili di velocità risultanti dalle tre prove eseguite mostrano andamenti simili (Figura 66).

I primi 3 m circa dal p.c. sono caratterizzati da $V_s=210-230$ m/s (terreni alterati in superficie, riporto); tra circa 3 m e circa 7.5-8.2 m di profondità $V_s=500-520$ m/s, associabile ai terreni del

FAEp; oltre tale profondità i valori di Vs aumentano (circa 700-800 m/s), anche qui possibilmente attribuibili ai terreni del FAEc sottostante.

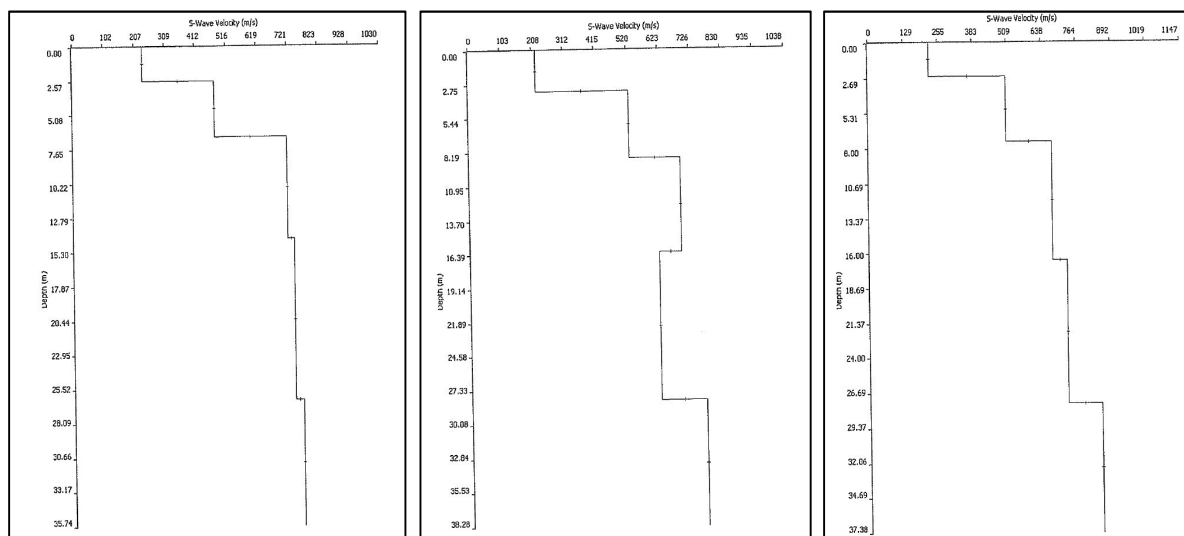


Figura 66. Prove Re.Mi. 071019L1 (a sinistra), 071019L2 (al centro) e 071019L3.

Da segnalare che la prova 071019L2 mostra una inversione di velocità (seppur poco significativa) tra 16 m e 28 m dal p.c.

Prove a rifrazione in onde P.

La Tabella 5 mostra la corrispondenza tra le prove sismiche a rifrazione pregresse e le unità geologiche su cui sono state eseguite, con indicazione della eventuale presenza in superficie di terreni di copertura o di materiale in frana (con riferimento alla legenda della Carta Geologica e Geomorfologica).

Tabella 5. Sintesi delle prove sismiche a rifrazione in onde P.

Prova	Profondità (m da p.c.)	Unità geologica/terreno di copertura
071019L1	15 m	FAEp (parte superficiale in frana)
071019L2	15 m	RI-FAEp (parte superficiale in frana)
071019L3	15 m	RI-FAEp (parte superficiale in frana)
071019L4	6 m	FAEc (parte superficiale in frana)
071019L5	10 m	FAEc (parte superficiale in frana)
071019L6	22 m	FAEp (parte superficiale in frana)
071019L7	11 m	FAEp (parte superficiale in frana)
071019L8	20 m	RI-FAEp (parte superficiale in frana)
071019L9	15 m	RI-FAEp (parte superficiale in frana)

Le prove eseguite tra il cimitero e località Fontanelle (centro-sud dell'abitato, versante est) mostrano sezioni con distinti tre sismostrati: uno superficiale spesso circa 3 m con $V_p=450-500$ m/s; uno intermedio tra circa 3 e 7 m di profondità con $V_p=950-1260$ m/s; uno più profondo (fino a 15 m dal p.c.) che raggiunge velocità V_p tra 1380 m/s e 1440 m/s. La Figura 67 mostra a titolo di esempio le sezioni sismostratigrafiche delle prove 071019L2 e 071019L9, la prima con relativa interpretazione dell'autore.

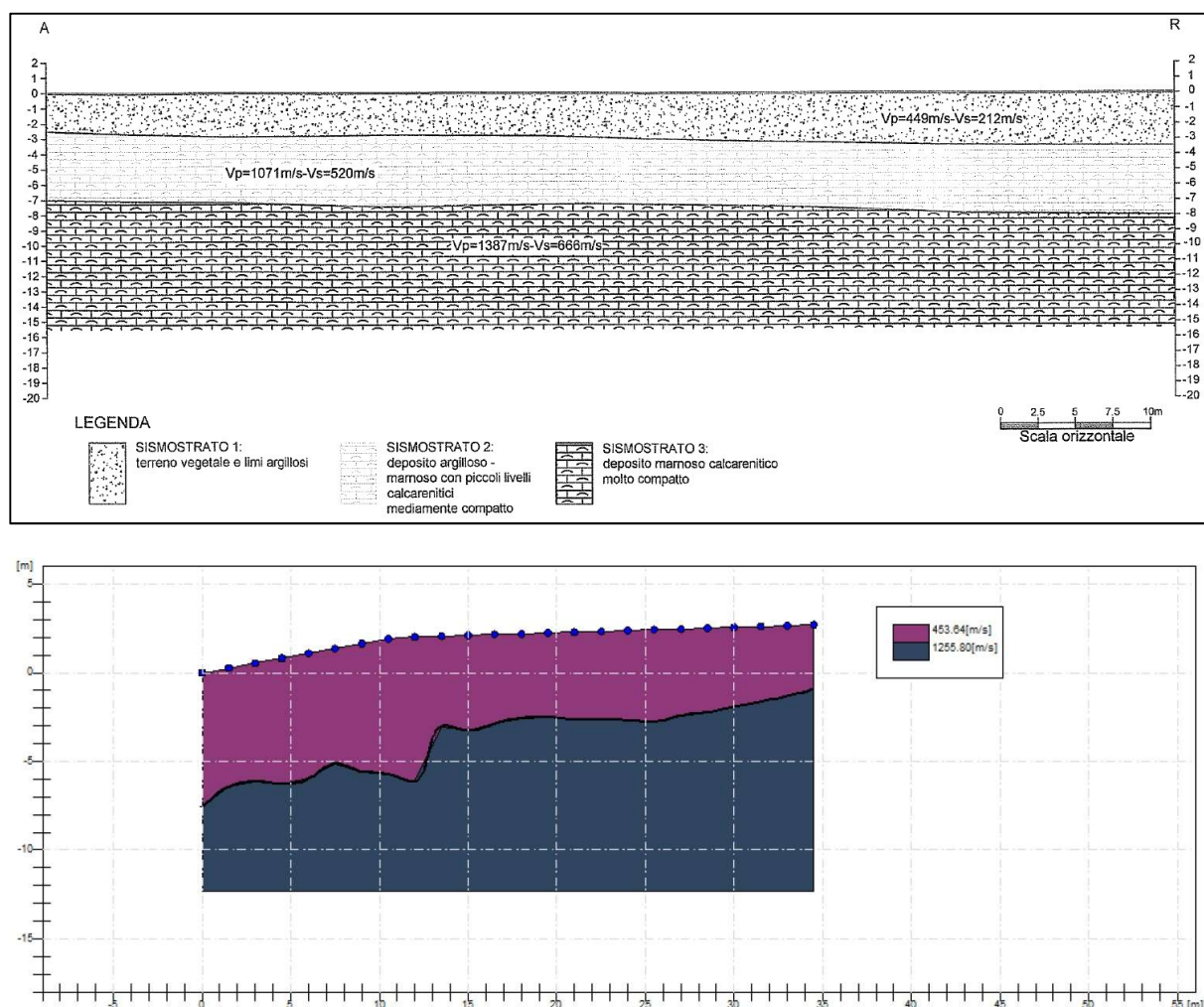


Figura 67. Risultati delle prove SR 071019L2 (in alto) e 071019L9.

Le prove eseguite sul medesimo versante, ma nel settore centro-nord dell'abitato, mostrano velocità significativamente più elevate già nei primi metri di investigazione ($V_p=2300-5000$ m/s); tali indagini sono ritenute meno affidabili di quelle precedentemente descritte; la Figura 68 mostra a titolo di esempio la sezione sismostratigrafica della prova 071019L7.

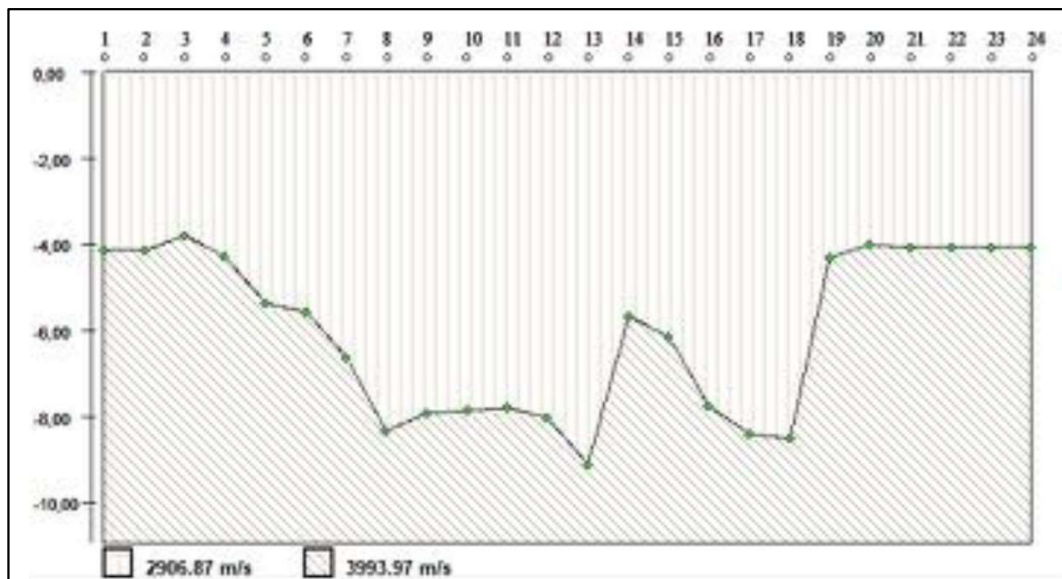


Figura 68. Risultati della prova SR 071019L7.

Infine, la prova 071019L8 è stata eseguita in prossimità del campo sportivo comunale, ai piedi del versante ovest dell'abitato (Figura 69); i risultati distinguono tra un sismostrato superficiale con velocità $V_p=300$ m/s (spessore 3-16 m) e uno più profondo (spessore di almeno 15 m) con $V_p=660$ m/s.

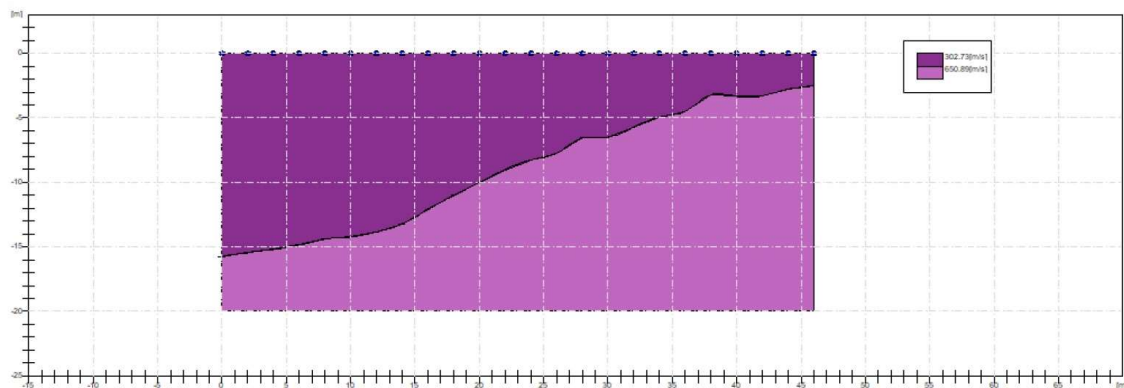


Figura 69. Risultati della prova SR 071019L8.

Prove HVSR da studi di microzonazione sismica pregressi.

In precedenti studi sono state eseguite n°4 misure di rumore a stazione singola HVSR (prove da 071019P47 a 071019P50). La loro ubicazione è riportata nella Carta delle Indagini, mentre la Tabella 6 ne mostra la sintesi dei risultati, come riportati nel relativo studio.

Tabella 6. Sintesi dei risultati delle misure di HVSr da studi pregressi.

Prova HVSr	Frequenza 1 (Hz)	Ampiezza 1
071019P47	1.8	3.0
071019P48	3.8	3.0
071019P49	---	---
071019P50	1.6	3.0

Poiché tali prove non sono state eseguite con gli stessi criteri del presente studio, non è stato possibile confrontarne i risultati con quelli di nuova realizzazione.

4.3 Indagini geofisiche di nuova esecuzione

Sono state eseguite complessivamente 14 indagini di rumore ambientale a stazione singola HVSr. Le misure eseguite sono state ubicate in relazione all'assetto geologico e geomorfologico e alla necessità di stimare la frequenza di risonanza per aree di emergenza, aree di ricovero, vie di fuga e aree a ridosso degli edifici strategici riportati nel piano di emergenza comunale.

Per caratterizzare le proprietà di risonanza delle diverse microzone individuate, su ognuna di esse sono state eseguite più misure, in modo da valutare, al loro interno, l'eventuale presenza di frequenze di risonanza significativamente diverse.

Le misure sono state effettuate, per quanto possibile, lontano da sorgenti artificiali di vibrazioni del suolo (mezzi meccanici in attività, circolazione veicolare su strade adiacenti, passaggio continuo di pedoni, ecc.).

Il sito di misura su cui posizionare il sensore impiegato (tromografo) è stato scelto, per quanto possibile, in modo che fosse lontano da elementi di disturbo quali possono essere alberi, pali ed edifici, che possono alterare gli effetti sulle frequenze stimate.

In generale per ogni sito vengono eseguite due registrazioni di rumore, ciascuna di 20 minuti, in due punti di misura distanti circa 10 metri l'uno dall'altro e con una minima sovrapposizione temporale, per valutare la rappresentatività delle proprietà di risonanza del sito di misura in base alla coerenza tra i risultati delle due misure effettuate.

Lo strumento è sempre orientato con i due sensori orizzontali disposti verso il Nord e l'Est geografico e la posizione orizzontale della sua superficie di appoggio sul terreno viene controllata mediante la centratura della bolla nella livella di cui è dotato lo strumento.

Per una acquisizione affidabile è importante che la connessione tra lo strumento e il terreno sia priva di ostacoli; per questo si elimina il tratto erboso più superficiale del terreno eseguendo piccoli scavi, per ottenere una superficie di appoggio il più possibile compatta e stabile. Il parziale interrimento dello strumento garantisce anche la protezione dello stesso dal vento e dal contatto con steli d'erba e foglie.

Per ogni misura eseguita è stato redatto un modulo di acquisizione dati nel quale sono state riportate tutte le informazioni relative al sito e alle condizioni ambientali di misura (ubicazione, caratteristiche, condizioni meteo, tipologia di terreno, eventuali potenziali fonti di disturbo nelle vicinanze).

Sono stati utilizzati due tromografi identici (Tromino Blu della Moho s.r.l.) in grado di operare nell'intervallo di frequenze comprese tra 0.1 e 1024 Hz, impostati sul medesimo programma di acquisizione (Frequenza di campionamento: 128 Hz; durata dell'acquisizione: 1200 sec; lunghezza delle finestre: 20 sec). È stato registrato l'orario di inizio e fine dell'acquisizione e l'antenna GPS integrata nello strumento ha consentito la misurazione della posizione del punto di misura in coordinate geografiche WGS84 (con relativa qualità).

L'analisi dei dati è stata eseguita con il software Grilla v9.7.1 e il dettaglio dell'elaborazione e della relativa interpretazione sono riportati nel par.7.2.

In Tabella 7 sono schematizzati i valori riportati sulla Carta delle Frequenze in allegato (Fr, Ar). Si precisa che la frequenza di picco riportata in carta deriva dal valore medio di frequenze e relative ampiezze nei casi in cui la coppia di misure eseguite abbia fornito risultati simili; quando invece la coppia di misure ha mostrato picchi a frequenze differenti, è stata scelta come frequenza di risonanza quella relativa al valore massimo dell'ampiezza (Tabella 7).

Tabella 7: Sintesi delle elaborazioni delle indagini HVSR con indicazione del codice identificativo riferito al relativo report (Codice), del nome della prova (Prova), della litologia in affioramento (Litologia), delle frequenze di picco rilevate (f0-f1-f2-f3) e della relativa ampiezza (A0-A1-A2-A3), con indicazione di quanto riportato nella Carta delle Frequenze (Fr, Ar).

Codice	Prova	Litologia	f0	A0	f1	A1	f2	A2	f3	A3	Fr	Ar
071019P53	HV01-1	FAEp	1.80	4.40	4.20	2.10					1.8	5.0
	HV01-2		1.80	5.60	3.90	2.50	10.70	2.00				
071019P54	HV02-1	FAEc	2.00	2.20							1.9	2.4
	HV02-2		1.20	2.10	1.70	2.50	17.10	2.20				
071019P55	HV03-1	RI	1.70	2.30							1.7	2.2
	HV03-2		1.70	2.10								
071019P56	HV04-1	RI	7.30	2.40	11.60	2.50					7.2	2.5
	HV04-2		7.00	2.50	8.90	2.40	11.10	2.30				
071019P57	HV05-1	FAEp	3.70	2.90	8.50	3.30	22.20	2.40			3.7	4.4
	HV05-2		3.60	5.90	11.40	5.80	26.20	2.70				
071019P58	HV06-1	FAEp	2.30	2.10	11.40	5.30	15.70	2.70			10.7	4.8
	HV06-2		10.00	4.20	13.20	4.60	19.90	3.90				
071019P59	HV07-1	FAEp	1.10	2.00	1.50	2.10					1.5	2.2
	HV07-2		1.50	2.20	2.50	2.10	3.10	2.00	4.40	2.20		
071019P60	HV08-1	FAEp	1.40	2.00	3.60	2.00					1.5	2.1
	HV08-2		1.50	2.20	10.00	1.90						
071019P61	HV09-1	FAEc	3.90	2.80							3.9	2.8
	HV09-2		5.3	2								
071019P62	HV10-1	FAEp	1.80	1.90							1.7	1.9
	HV10-2		1.50	1.80								
071019P63	HV11-1	RI	1.30	1.90	7.50	2.00					7.4	2.2
	HV11-2		7.20	2.30	9.50	2.40						
071019P64	HV12-1	FAEc	0.90	2.00	1.60	1.90					1.8	2.0
	HV12-2		1.90	2.00	11.90	2.00						
071019P65	HV13-1	FAEp	2.10	2.20							2.0	2.7
	HV13-2		1.80	3.10	3.20	2.10	12.70	2.40				
071019P66	HV14-1	FAEc	13.90	2.20	25.80	3.80					16.3	3.2
	HV14-2		16.30	3.20	26.10	4.70						

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS

5.1 Unità geologico-tecniche: definizione e parametrizzazione

Le formazioni geologiche rinvenute all'interno del perimetro di studio e dettagliatamente descritte nel cap. 3 sono state reinterpretate contestualmente alle prove geotecniche di laboratorio e alle prove geofisiche, allo scopo di costruire un modello geologico-tecnico del sito. Dal punto di vista geotecnico, sono stati associati i campioni di cui alle prove di laboratorio presentate nel par. 4.1, sulla base della loro posizione, profondità e caratteristiche fisico-meccaniche, alle formazioni geologiche proprie del sito in esame.

Si descrivono di seguito le caratteristiche peculiari di ciascuna unità litotecnica, codificata in accordo agli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica 4.2.

Unità litotecniche del substrato

Il rilevamento geologico ha permesso di riconoscere il Flysch di Faeto (FAE) come formazione afferente al substrato geologico, in tutta l'area di studio.

Come riportato nel par. 3.1, il FAE si presenta come una alternanza di litotipi, una di natura pelitica, argilloso-sabbiosa o marnosa, ed una di natura calcarenitica. Laddove il rilevamento geologico o sondaggi abbiano mostrato una presenza non trascurabile della componente calcarenitica su quella pelitica, tale litofacies è stata codificata come "alternanza di litotipi, stratificata, fratturata/alterata (SFALS)"; invece, laddove vi siano state evidenze di una prevalenza della componente terrigena, tale litofacies è stata codificata come "unità coesiva sovraconsolidata, stratificata, fratturata/alterata (SFCOS)".

Nello specifico, i campioni di laboratorio sono stati assegnati come in Tabella 8.

Tabella 8. Classificazione dei campioni di laboratorio in funzione delle formazioni geologiche di provenienza.

ID SONDAGGIO-CAMPIONE	n. campioni	tipologia strato
071019P15 – C1, 071019P43-C2,	2	copertura (riporto)
071019P15-C2, 071019P15-C3, 071019P16-A, 071019P16-B, 071019P16-C, 071019P17-B, 071019P17-A, 071019P18-A, 071019P18-B, 071019P18-C, 071019P18-D, 071019P18-E, 071019P18-F, 071019P19-A, 071019P19-B, 071019P19-C, 071019P20-A, 071019P20-B, 071019P20-C, 071019P41-C1, 071019P42-C1, 071019P43-C2, 071019P45-C1, 071019P46-C3, 071019P51-C1, 071019P51-C2, 071019P51-C3, 071019P52-C1, 071019P52-C2	29	substrato (strati pelitici del FAE)

Per quanto riguarda gli strati terrigeni del FAE, dal punto di vista dello stato fisico del terreno in sito, i provini hanno manifestato mediamente un peso per unità di volume γ pari a 18.8 kN/m³ (Figura 70d), indice dei vuoti compreso tra 0.5 e 1.0, e contenuto naturale d'acqua w_n compreso tra 10% e 37%. La Figura 70a mostra la distribuzione granulometrica dei campioni: ad eccezione del campione 071019P17-A classificato come sabbia, i campioni sono caratterizzati da frazione argillosa (CF), compresa tra 17% e 72% (media: 39%), frazione limosa (MF) compresa tra 21% e 64% (media: 44%), frazione sabbiosa (SF) compresa tra 4% e 28% (media: 14%) e frazione ghiaiosa (GF) compresa tra 0% e 11% (media: 2%). Pertanto, non è possibile classificare in modo univoco tale famiglia di campioni, che comprendono distribuzioni granulometriche dal limo con sabbia all'argilla con limo (AGI, 1977). Come si osserva, la maggior parte dei campioni sono caratterizzati da composizione prevalentemente pelitica.

In Figura 70b si riporta la carta di plasticità di Casagrande dei campioni, dalla quale si evince come i provini manifestino una certa variabilità delle proprietà indice, w_L e IP , ma tale da poterli classificare in parte come argille inorganiche di medio-alta plasticità, CH, e in parte come limi inorganici di medio-alta compressibilità, MH, secondo la classificazione USCS.

Analogamente, l'indice di attività dei campioni, diagrammato in Figura 70c, presenta una variabilità, ma comunque tale da poter definire i campioni come aventi attività mineralogica prevalentemente medio-bassa ($A \leq 1.25$). Una sintesi dei parametri è riportata in Tabella 9.

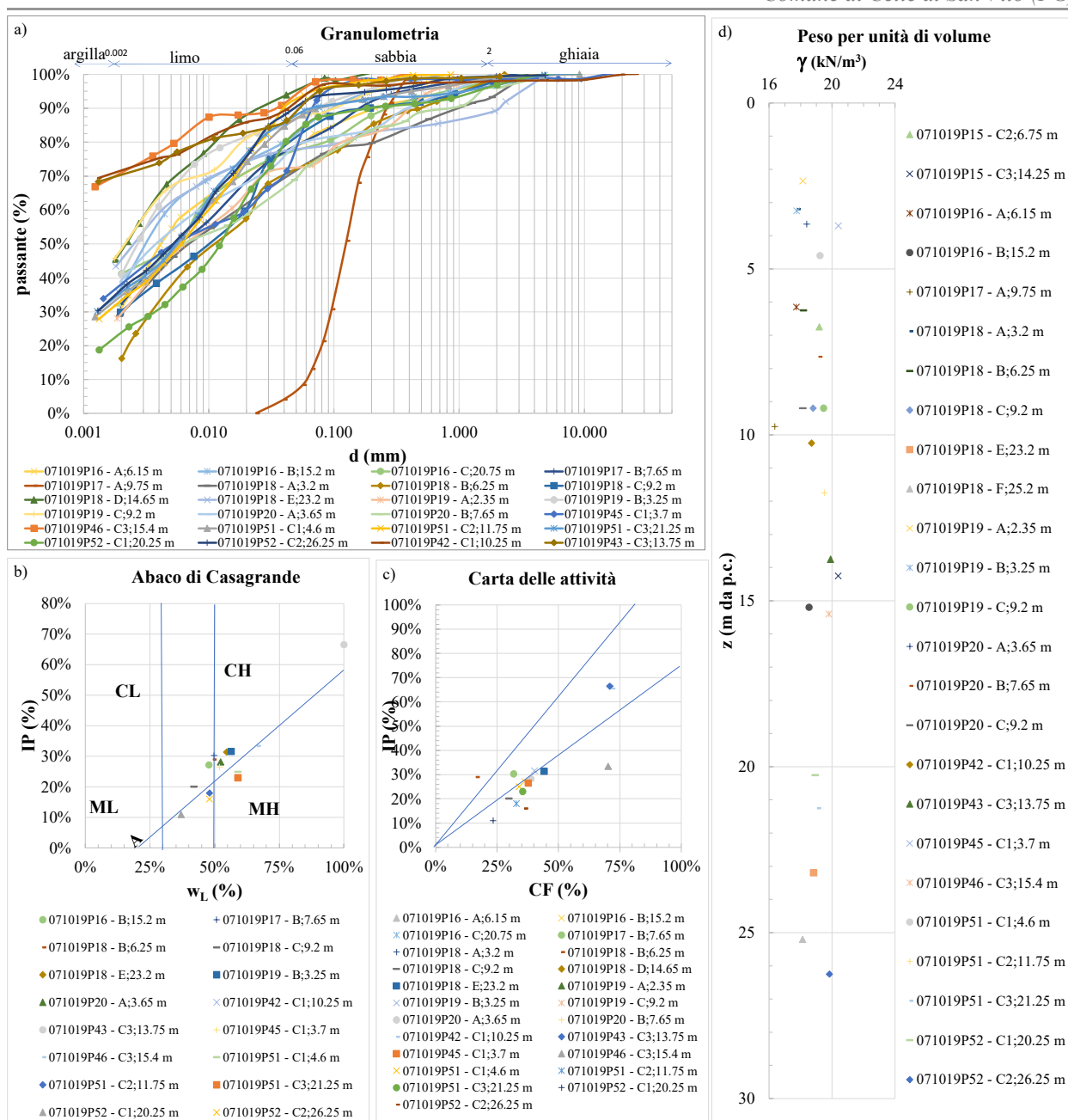


Figura 70. Riconoscimento fisico dei campioni afferenti agli strati pelitici del FAE.

Le prove di Taglio Diretto (Figura 71a), volte a definire i parametri meccanici (relativi al criterio di rottura di Mohr-Coulomb) al picco di resistenza c'_p e ϕ'_p , mostrano una scarsa omogeneità di risposta, con una dispersione non trascurabile dei risultati, probabilmente a seguito dell'eterogeneità granulometrica dei campioni e/o a seguito della presenza di clasti all'interno dei provini. Mediamente, i campioni testati presentano un angolo di attrito ϕ'_p , pari a circa 23°, e coesione $c'_p = 20$ kPa. Gli intervalli di variabilità sono riportati in Figura 71a. Per quanto riguarda

i risultati di prove di taglio diretto a residuo, i provini hanno esibito una risposta meccanica che può essere descritta, nel suo valor medio, attraverso i parametri di resistenza come segue:

$$c'_{\text{res}} = 0 \text{ kPa}; \phi'_{\text{res}} = 15^\circ.$$

Anche in questo caso, i provini hanno esibito una resistenza paragonabile a quella nella condizione di picco, e pertanto risulta lecito ipotizzare che essa sia stata influenzata dalla presenza di clasti all'interno dei provini.

Per quanto riguarda la variazione con la profondità della resistenza non drenata C_u , desunta da prove ELL, è stato possibile osservare una resistenza C_u pressochè costante con la profondità, stimata pari a 120 kPa (Figura 71c).

Tabella 9. Sintesi dei parametri fisici e di stato per i campioni afferenti agli strati pelitici del FAE prelevati nel comune di Celle di San Vito.

SFALS/SFCOS (FAE)		n. campioni	MEDIA	MIN	MAX
	w_n (%)	25	25%	10%	37%
	G_s(kN/m³)	25	2.72	2.66	2.79
	γ (kN/m³)	25	18.8	16.4	20.4
	CF (%)	24	38%	0%	72%
	w_L (%)	16	58%	37%	100%
	IP (%)	16	30%	11%	67%
	A	16	0.76	0.44	1.76

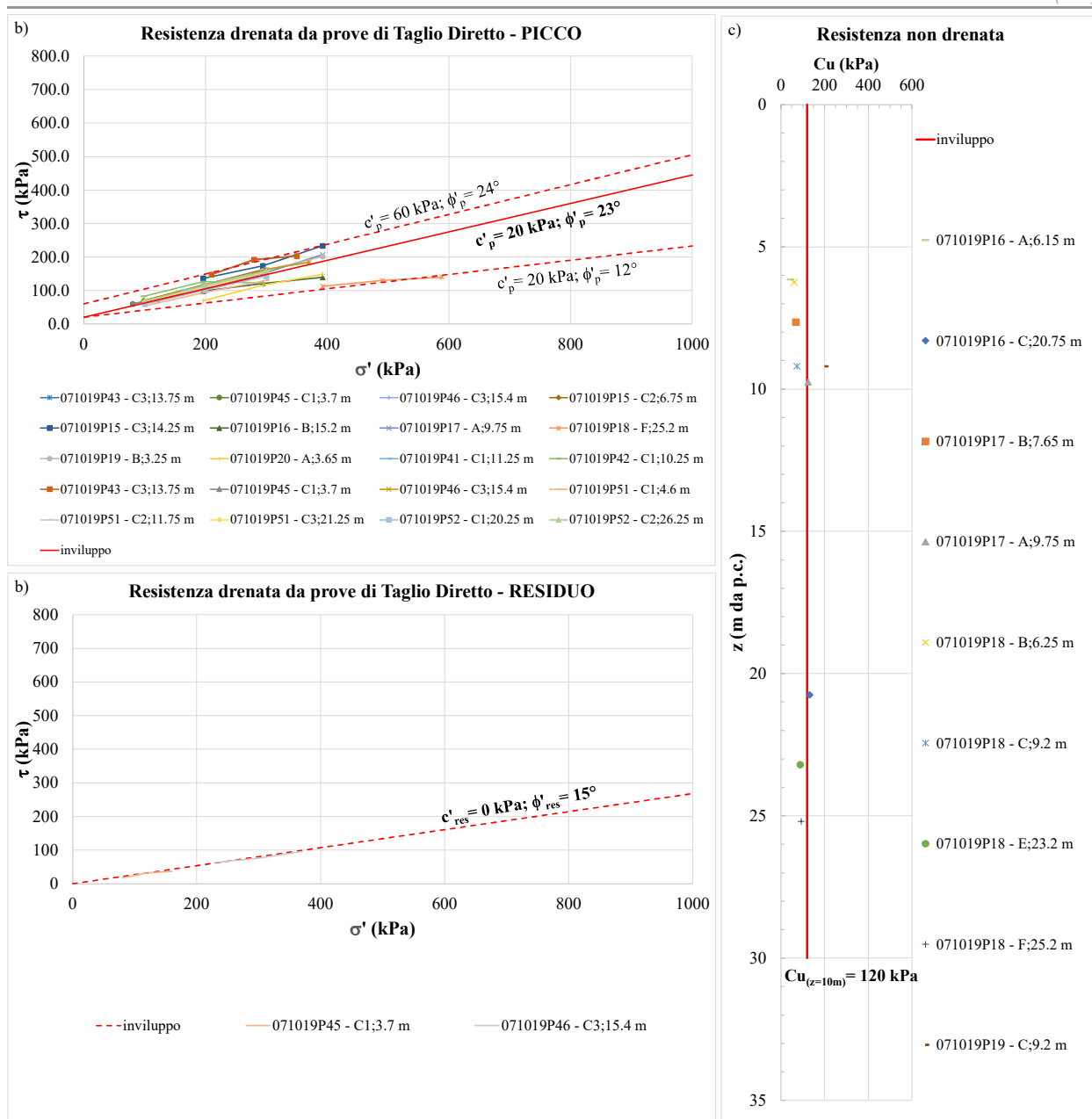


Figura 71. Risposta meccanica dei campioni afferenti agli strati pelitici del FAE.

Unità litotecniche afferenti ai terreni di copertura

Riporto Antropico (RI): sono stati acquisiti 2 certificati di prova inerenti a campioni di copertura RI all'interno dell'area di studio. Il campione testato con analisi granulometrica e limiti di Atterberg è classificabile come "limo con argilla", di alta plasticità ("CH"), e media attività ($0.75 < A < 1.25$).

Non sono state acquisite informazioni riguardo la risposta meccanica di detto litotipo, tuttavia da rilievi in campo questo materiale è stato classificato "poco consistente".

Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie, deposte in ambiente fluvio-lacustre (GPes): non sono stati acquisiti certificati di prova inerenti a campioni di copertura SW all'interno dell'area di studio, associabili alle formazioni dei depositi alluvionali. Tuttavia, da rilievi in campo questo materiale è stato classificato come “poco addensato”.

5.1.2 Considerazioni sulla suscettibilità alla liquefazione delle unità litotecniche

Al fine di evidenziare aree potenzialmente instabili con rispetto al fenomeno della liquefazione, si farà riferimento ai criteri di valutazione preliminare riportati negli I.C.M.S., che prendono in considerazione:

- presenza di falda acquifera entro i 15 m dal p.c.;
- aspetti legati alle successioni litologiche;
- aspetti legati a eventi sismici attesi al sito.

Riguardo la presenza di falda, come descritto nel par. 3.5.1 sugli aspetti idrogeologici del sito, sono stati ritenuti attendibili quei valori di soggiacenza della falda risultati a meno di 15 m dal p.c. Dal punto di vista litologico, come si osserva in Figura 72 e dalle considerazioni precedentemente espresse, il FAE può considerarsi formato da un'alternanza di strati pelitici e strati calcarenitici, la cui proporzione tra le due componenti è variabile. Risulta eccezionale il campione 071019P17-A, prelevato a circa 10 m di profondità, all'interno di uno strato sabbia spesso 7 m (cfr. log stratigrafico allegato). Tale strato è però stato rinvenuto unicamente all'interno del sondaggio 071019P17, e pertanto la sua presenza non è, ad oggi, circoscrivibile in planimetria. Invece, il RI e la copertura GP, dal solo punto di vista granulometrico, è potenzialmente suscettibile di liquefazione.

Riguardo gli aspetti legati agli eventi sismici attesi al sito, l'accelerazione in superficie di riferimento, relativa ad un tempo di ritorno pari a 475 anni (SLV), risulta superiore al valore soglia riportato negli I.C.M.S.. Alla luce di tali considerazioni, ritenendo il RI come materiale principalmente anidro, e le coperture GP, per definizione, composte da miscele di ghiaie e sabbie, si ritiene di poter ragionevolmente escludere la presenza di fenomeni evidenti di liquefazione dei terreni all'interno dell'area oggetto di studio, mentre sono necessari ulteriori approfondimenti per caratterizzare l'estensione dello strato sabbioso rinvenuto nel sondaggio 071019P17.

Le considerazioni sinora presentate sono ulteriormente avvalorate da recenti studi scientifici (Boulanger e Idriss, 2006; Kramer e Greenfield, 2019), basati su prove di laboratorio e di sito, in

cui la suscettibilità di un terreno alla liquefazione viene legata all'indice di plasticità IP. Nello specifico, nei suddetti riferimenti si ritiene che il comportamento di un terreno possa essere assimilato a quello delle sabbie (e dunque, suscettibile alla liquefazione) per valori di IP inferiori a 3%, e viceversa a quello delle argille (i.e. non suscettibili alla liquefazione) per valori di IP superiori a 7%. Dalle prove di laboratorio acquisite, i valori di IP relativi a tutti i campioni testati, sono tutti superiori a 11%.

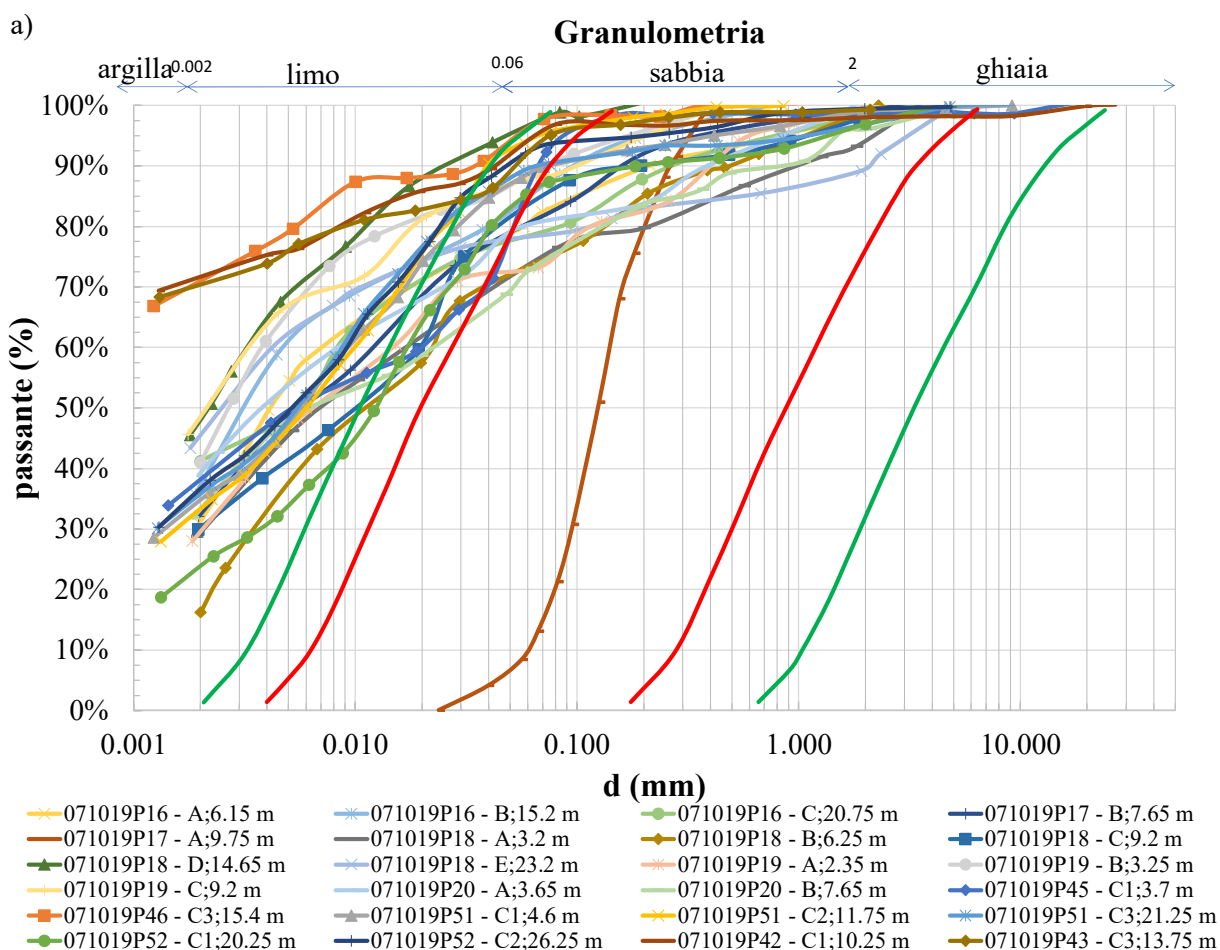


Figura 72. Confronto tra le curve granulometriche dei campioni prelevati a Faeto, con le fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno, elevata (linee rosse) e possibile (linee verdi) per i terreni a granulometria estesa (da Sherif e Ishibashi, 1977, riportato in AGI, 2005).

5.2 Sezioni geologico-tecniche

La posizione dei passaggi stratigrafici, come disegnati all'interno delle sezioni geologico-tecniche allegate, è stata desunta sulla base dell'interpretazione dei sondaggi acquisiti, delle prove geofisiche e geotecniche acquisite, e sui risultati delle misure di rumore eseguite ad hoc e riportate nel par. 4.3. A titolo esemplificativo, si riporta in Figura 73 e Figura 74 uno stralcio delle sezioni A-A' e B-B', rimandando al relativo allegato per una visione di dettaglio.

Ciascuna unità litotecnica è stata classificata, in affioramento, come fratturata/alterata (prefisso “SF”) a seguito sia delle osservazioni in sito, sia a seguito dei risultati delle indagini geofisiche che non hanno evidenziato in superficie, all’interno del substrato geologico, velocità delle onde di taglio Vs compatibili con quelle di un bedrock sismico (cfr. par. 4.2). Pertanto, nelle sezioni è stata rappresentata una fascia di materiale alterato/fratturato in superficie, di spessore che è da ritenersi puramente indicativo. Ulteriori studi dovranno approfondire tale aspetto, al fine di una migliore comprensione dei fenomeni di amplificazione sismica in sito.

Con riferimento agli elementi di instabilità di versante, in assenza di studi analitici sui singoli movimenti di massa, gli spessori dei cinematismi rototraslazionali e dei movimenti di colata, sono stati stimati sulla base di riferimenti scientifici di settore. Nello specifico, la pubblicazione di Skempton e Hutchinson (1969, Figura 75) riporta, per diversi tipi di cinematismo, rapporti geometrici tipici tra estensione del corpo franoso e spessore massimo, desunti da casi di studio reali. Per i corpi di frana caratterizzati dalla presenza di una rotazione lungo una superficie di scorrimento (Figura 75), ricorrenti in versanti argillosi uniformi, il rapporto D/L può essere ragionevolmente compreso tra 0.15 e 0.33. Per quanto riguarda i movimenti di colata invece, in assenza di riferimenti bibliografici attraverso cui stimare lo spessore massimo, si è fatto riferimento alla classificazione dei corpi superficiale/profonda a corredo del database cartografico sulle frane, come descritto nel par. 3.2. Tale classificazione è stata letta in funzione della classificazione delle frane di Cruden e Varnes (1996), di seguito sinteticamente riportata:

- Superficiale: da superficiale a intermedia secondo Cruden e Varnes (1996) $D < 30$ m;
- Profonda: da profonda a estremamente profonda secondo Cruden e Varnes (1996) $D > 30$ m.

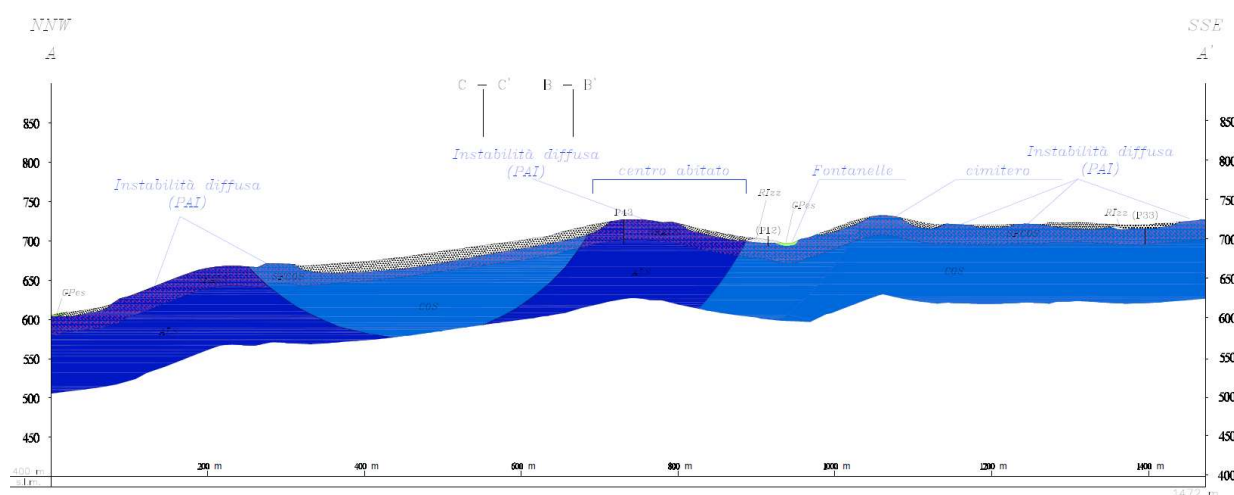


Figura 73. Sezione geologico-tecnica A-A'.

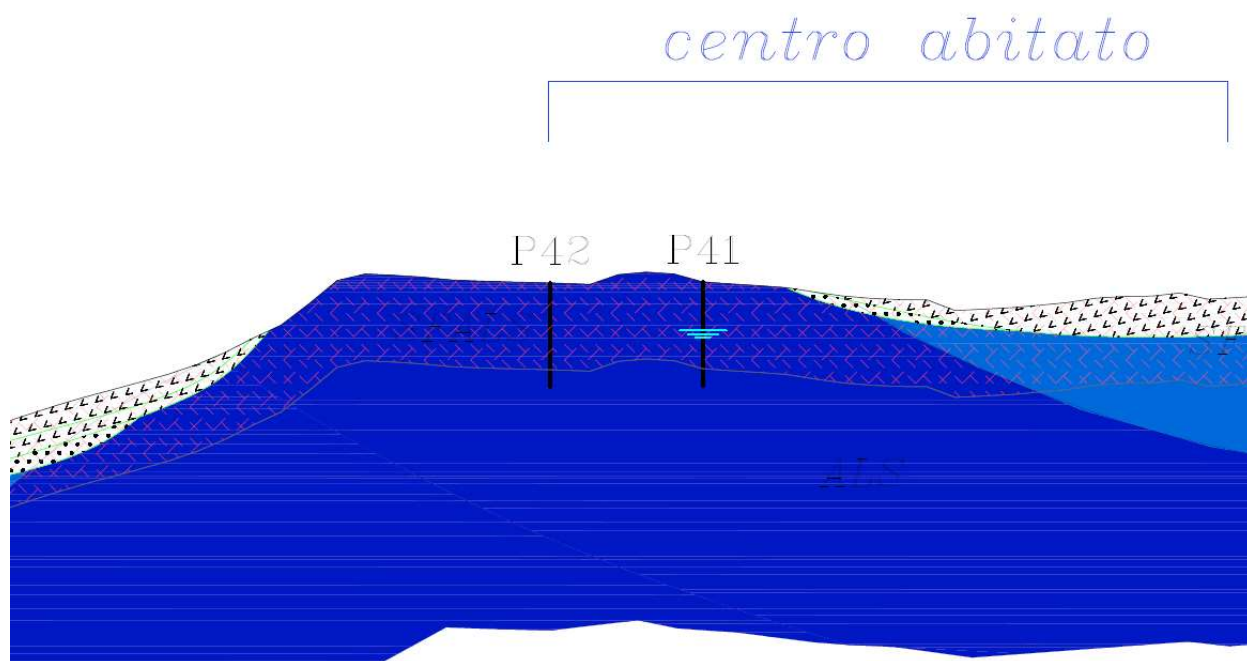


Figura 74. Stralcio della sezione geologico tecnica B-B'.

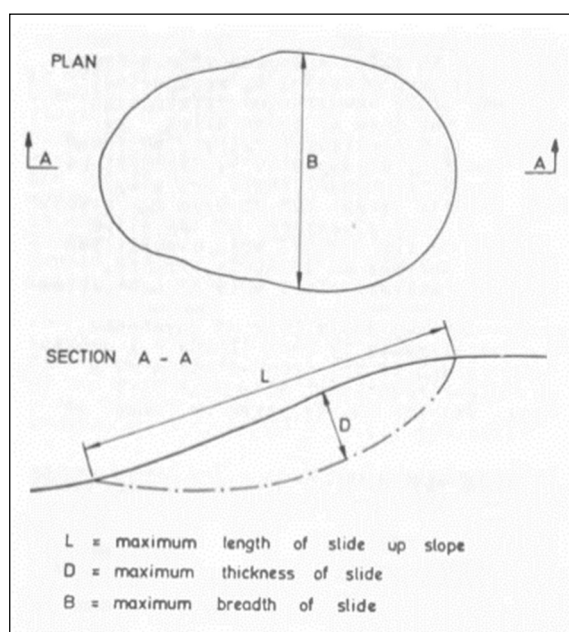


Figura 75. Schema dei parametri geometrici richiamati nel testo (Skempton e Hutchinson, 1969).

6. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Durante le diverse attività che hanno permesso la redazione del presente studio sono state riscontrate diverse criticità che hanno reso necessarie delle assunzioni o interpretazioni che in successivi livelli di approfondimento si dovranno verificare.

Si riporta di seguito un elenco degli elementi che dovranno essere oggetto di approfondimento:

- l'andamento dei contatti stratigrafici e tettonici non sempre è certo perché non direttamente osservabile in affioramento;
- è necessario effettuare studi di maggior dettaglio per definire la successione temporale delle fasi deformative, ed eventualmente le età di ultima attivazione della faglia tracciata qui come possibilmente attiva e capace.
- le prospezioni geofisiche pregresse, in particolare quelle sismiche, hanno consentito di stimare solo parzialmente le velocità delle litologie presenti; a parità di litologia, alcune aree risultano comunque non investigate, per cui alcune litologie sono caratterizzate da velocità solo quando effettivamente investigate. Per gli stessi motivi, le MOPS associate a tali unità non contengono informazioni circa i valori di velocità tipiche; si è per ora preferito non caratterizzare uno strumento pianificatorio (la Carta delle MOPS), seppur di Livello 1, con dati non misurati in sito e ci si è riservati di farlo con l'esecuzione di nuove prove in livelli successivi;
- Ai fini della valutazione della suscettibilità a liquefazione, il sondaggio 071019P17 ha esibito uno strato di sabbia di circa 7 m, come confermato anche dall'analisi granulometrica sul campione A prelevato a circa 10 m di profondità. Tale strato è però stato rinvenuto unicamente all'interno del suddetto sondaggio, e pertanto la sua presenza non è, ad oggi, circoscrivibile in planimetria. Dovranno pertanto predisporre appositi approfondimenti per appurare l'effettiva estensione e potenza di tale strato sabbioso.
- è da segnalare che alcune prospezioni geofisiche hanno rilevato la presenza di inversioni di velocità V_s ; tali inversioni, segnalate anche nel capitolo relativo alle prove pregresse, possono in alcuni casi essere significative per potenziali effetti di amplificazione; è opportuno tenere in considerazione questo aspetto negli approfondimenti successivi;
- le indagini HVSR eseguite non mostrano tendenze particolari nella loro distribuzione areale;

- i picchi rilevati, opportunamente associati a velocità sismiche da misurare in fasi successive di lavoro, possono fornire indicazioni su spessori di coperture o di intervalli stratigrafici.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

7.1 Inquadramento ai fenomeni delle frane sismo-indotte

Dal Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti (CEDIT) dell'Università "Sapienza" di Roma si evince che nel territorio di Celle di San Vito non vi sono fenomeni sismoindotti. La versione aggiornata censisce gli effetti indotti sul terreno da terremoti storici verificatisi in un arco temporale che va dall'anno 1000 d.C. al 2016 (Figura 76).

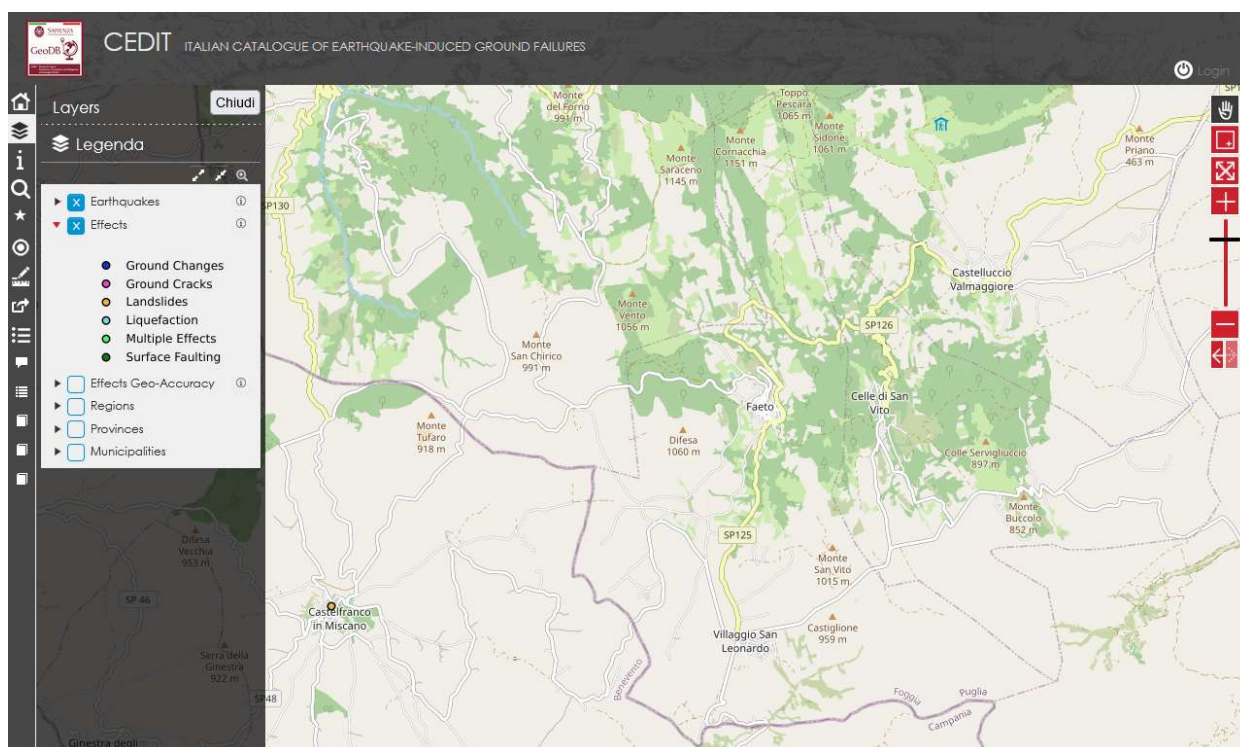


Figura 76. Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti (CEDIT) dell'Università "Sapienza" di Roma (http://www.ceri.uniroma1.it/index_cedit.html).

Come consultabile in Figura 76, nel centro abitato del comune di Celle di San Vito non è stato riportato alcun fenomeno sismoindotto.

Nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica di livello 1, al fine di individuare le zone di instabilità di versante in condizioni sismiche, è stata analizzata dai tecnici ASSET la sussistenza delle condizioni sismiche necessarie per l'attivazione del fenomeno franoso.

Come indicato nelle I.C.M.S. - Appendice 1, la metodologia proposta si basa sulle seguenti fasi di analisi:

- ❖ disaggregazione della pericolosità sismica (Barani et al., 2009) in termini di Magnitudo e Distanza (M-R);
- ❖ confronto degli scenari M-R con i valori di soglia, o valori critici (M_c), derivati da riferimenti scientifici per l'attivazione delle frane sismo indotte (e.g. Keefer, 1984);
- ❖ calibrazione della procedura attraverso una validazione ex-post.

Al fine di avere una comprensione più ampia del fenomeno, preliminarmente, il problema della possibile instabilità dei versanti sismoindotta è stato studiato a scala regionale, considerando l'intero territorio del Subappennino Dauno, che comprende i comuni riportati in Figura 77. L'operazione di disaggregazione è stata condotta da Barani (comunicazioni personali, 2021). In particolare, sono stati disaggregati i valori mediani di scuotimento (relativi al suolo rigido), espressi sia in termini di accelerazione orizzontale di picco (PGA) sia rispetto a 3 periodi spettrali (0.2s, 1.0s, e 2.0s), per due periodi di ritorno T_R (30 anni e 475 anni). Per ciascun punto di calcolo, distante 0.05° dal successivo in entrambe le direzioni (Figura 78), i risultati sono stati restituiti considerando i valori medi e modali di M ed R di tali parametri.

Le coppie M-R così individuate per ciascuno dei 4 periodi spettrali, sono state confrontate con i valori soglia di riferimento. Gli I.C.M.S. (2008) suggeriscono come valori di confronto, quelli desunti dalla pubblicazione scientifica di Keefer (1984), le cui soglie sono state costruite per diverse tipologie di cinematismi (crolli, colate e frane) sulla base delle evidenze lasciate sul territorio a seguito di 40 fenomeni di instabilità verificatisi in tutto il mondo dal 1811 al 1980. Contestualmente, si è fatto riferimento anche ad un altro studio, pubblicato da Martino et al. (2014), in cui sono presentati valori soglia desunti dallo studio degli effetti di 166 eventi sismici avvenuti in Italia, dal 1117 al 2012, distinti in tre intervalli temporali. Tra questi, si è fatto riferimento a quello più recente, comprensivo degli eventi tra il 1908 ed il 2012 (Figura 79). Dal confronto tra i valori soglia dei due studi pubblicati, si osserva come la curva di Martino et al. (2014), per i cinematismi più frequenti nel Subappennino Dauno, ossia scorrimenti e colate, sia più cautelativa per valori di Magnitudo inferiori a 6.5, mentre per valori più alti risultano più cautelative le curve presentate da Keefer (1984).

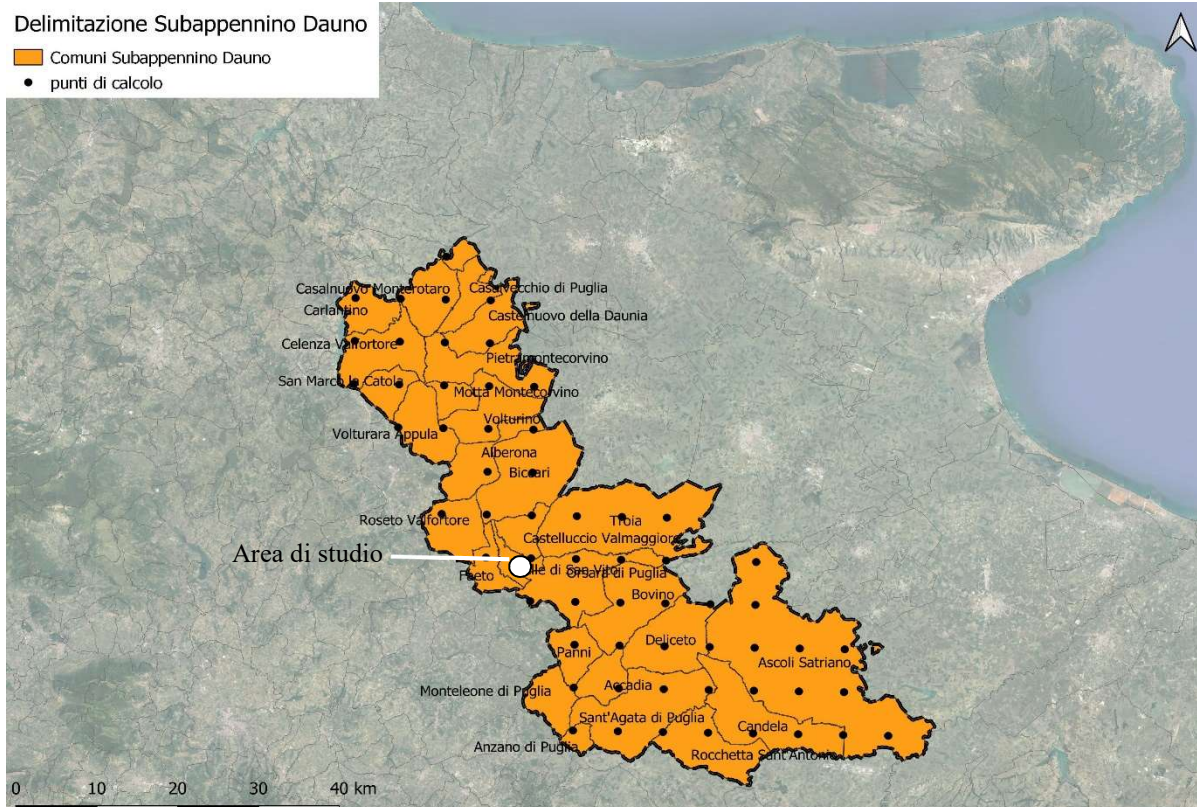


Figura 77. Territori comunali facenti parte del Subappennino Dauno, e ubicazione dei punti di calcolo, di interesse 0.05° , per la disaggregazione della pericolosità sismica.

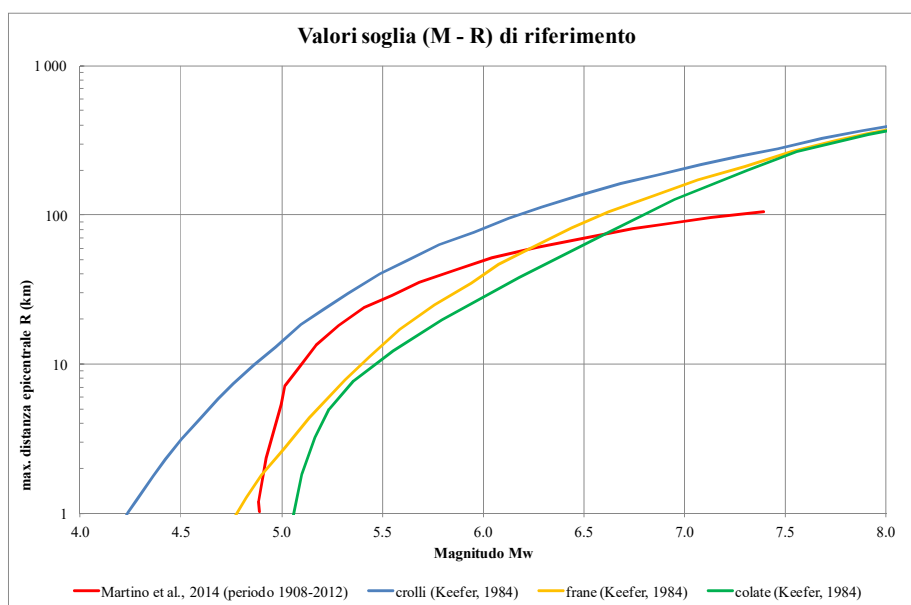


Figura 78. Valori soglia di riferimento per il confronto con le coppie (M-R) calcolate attraverso disaggregazione della pericolosità sismica.

In Figura 79a e in Figura 79b, si riporta un confronto tra le suddette coppie, e i valori soglia, per i due tempi di ritorno considerati. Per $T_R=30$ anni e $T_R=475$ anni, è possibile osservare sia coppie

(M-R) al di sopra che al di sotto delle soglie proposte e dunque rappresentativi di siti in cui è possibile preliminarmente escludere, su base storica, l'attivazione o riattivazione di frane sismoindotte. Associando ai siti di calcolo l'intero territorio comunale in cui essi ricadono, è possibile rappresentare il territorio del Subappennino Dauno in funzione della possibilità, o meno, che alcune sue porzioni risentano di frane sismoindotte, per il tempo di ritorno pari a 30 o a 475 anni. Nelle mappe riportate in Figura 80. a e Figura 80. b per $T_R=30$ anni, e Figura 81a e Figura 81b per $T_R=475$ anni, l'intero territorio del Subappennino Dauno è stato suddiviso in aree comunali. In ogni area sono stati calcolati i valori medi e modali delle coppie (M-R) che sono state confrontate con i valori di soglia relativi alle curve di Keefer (1984) e Martino et al. (2014). Dalle figure si desume che buona parte del territorio Dauno, in riferimento alle condizioni predisponenti di Magnitudo M e distanza R per l'instabilità di versante sismoindotta, è preliminarmente classificabile come suscettibile di questa instabilità. Pertanto, non si può escludere in nessun comune del Subappennino Dauno l'innescarsi di instabilità di versante sismoindotte.

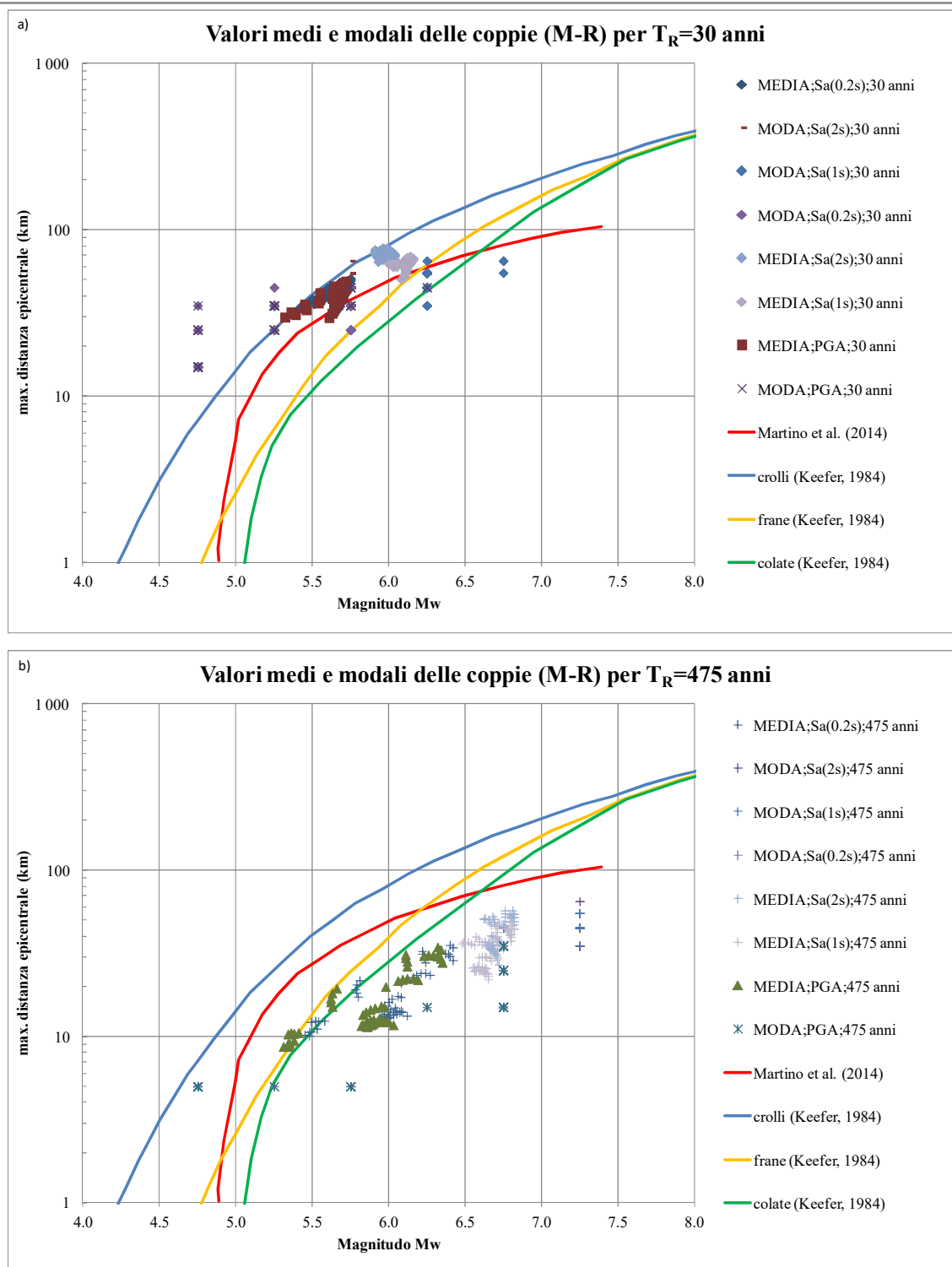
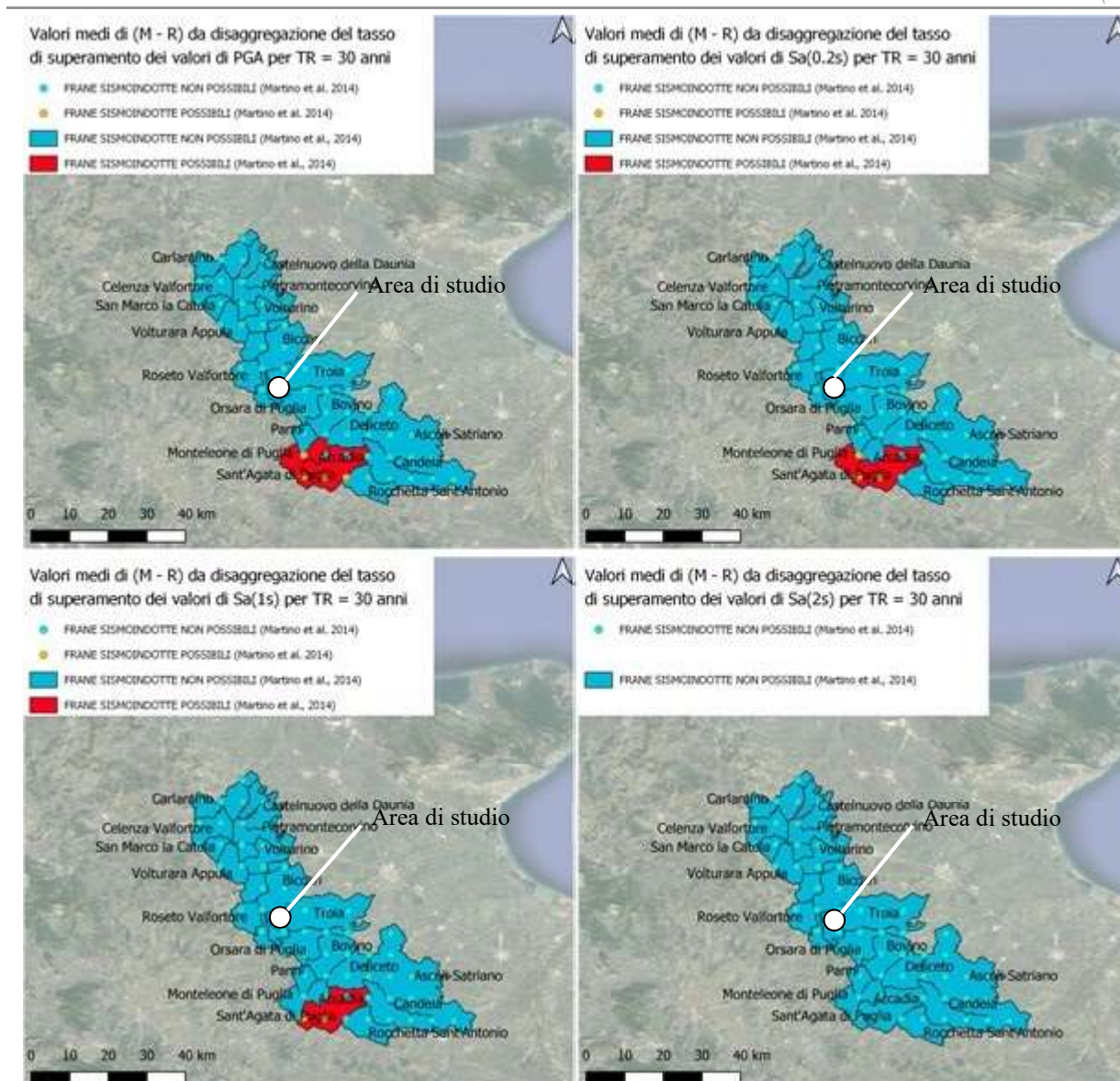


Figura 79. Confronto tra i valori soglia delle coppie (M-R), con i valori medi e modali calcolati attraverso la disaggregazione: a) per $T_R=30$ anni; b) per $T_R=475$ anni.



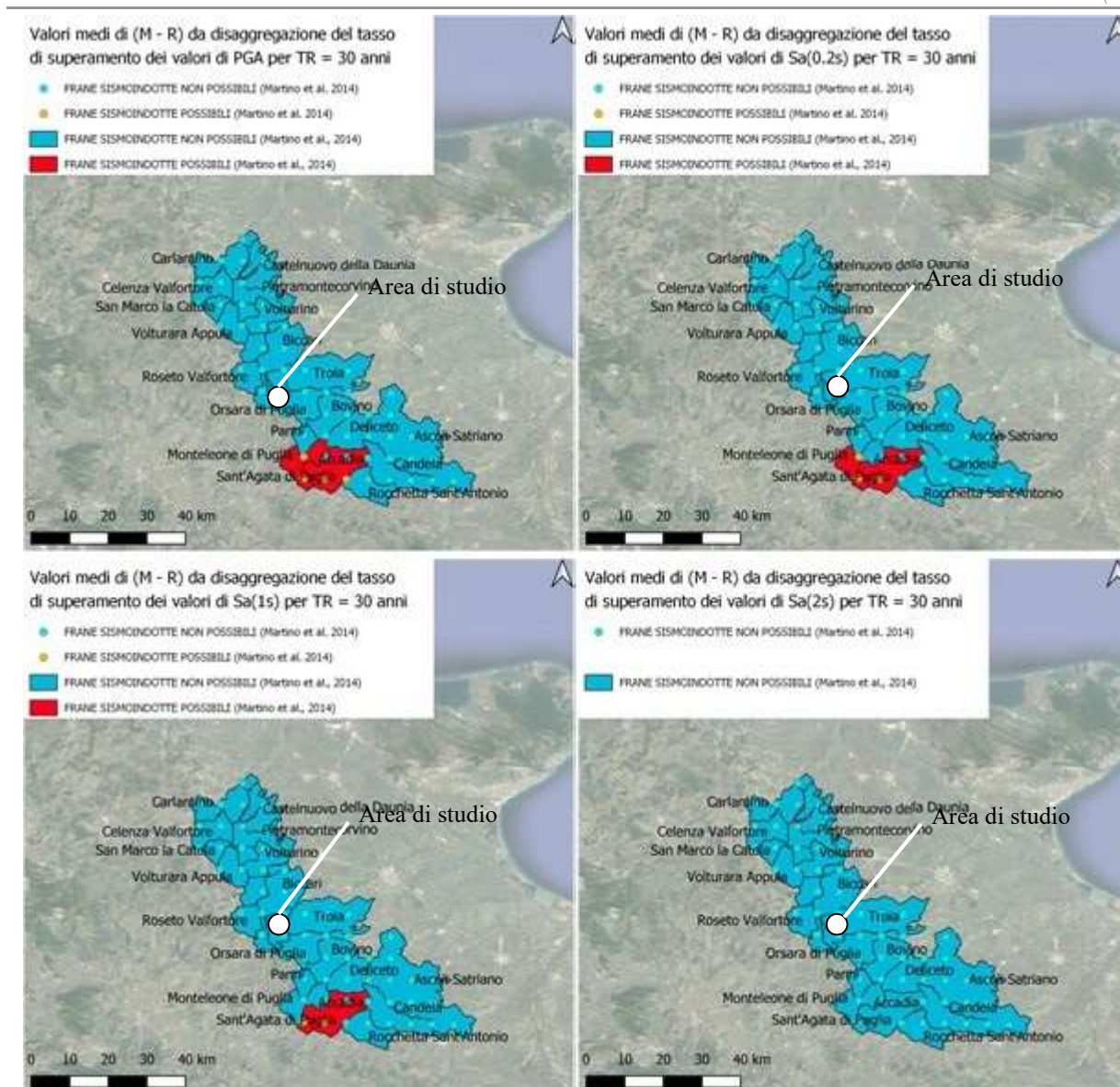
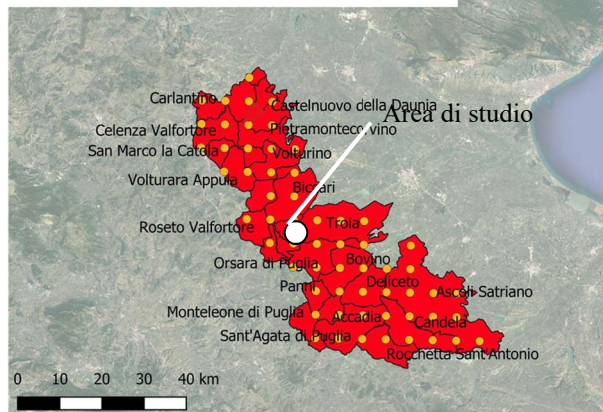


Figura 80. Mappe dei comuni del Subappennino Dauno, passibili di fenomeni franosi sismoindotti (comuni in rosso) così come derivate dal confronto delle coppie M-D medie e modali ottenute dalla disaggregazione della pericolosità sismica (in termini di PGA e diverse accelerazioni spettrali per un periodo di ritorno di 30 anni con la curva limite di Martino et al. (2014).

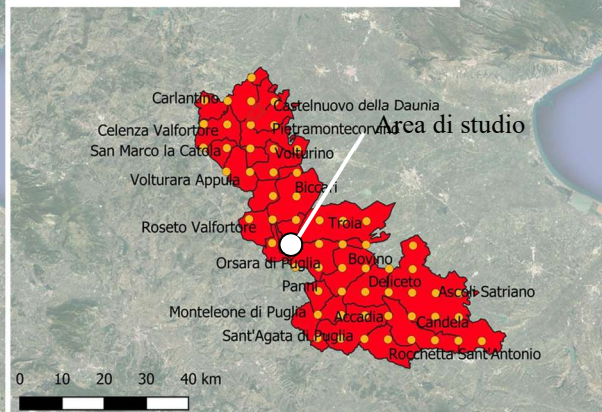
Valori medi di (M - R) da disaggregazione del tasso di superamento dei valori di PGA per TR = 475 anni

- FRANE SISMOINDOTTE POSSIBILI (Martino et al. 2014)
- FRANE SISMOINDOTTE POSSIBILI (Martino et al., 2014)



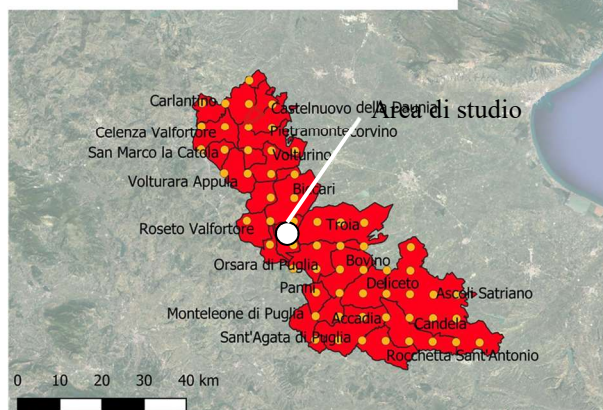
Valori medi di (M - R) da disaggregazione del tasso di superamento dei valori di $S_a(0.2s)$ per TR = 475 anni

- FRANE SISMOINDOTTE POSSIBILI (Martino et al. 2014)
- FRANE SISMOINDOTTE POSSIBILI (Martino et al., 2014)



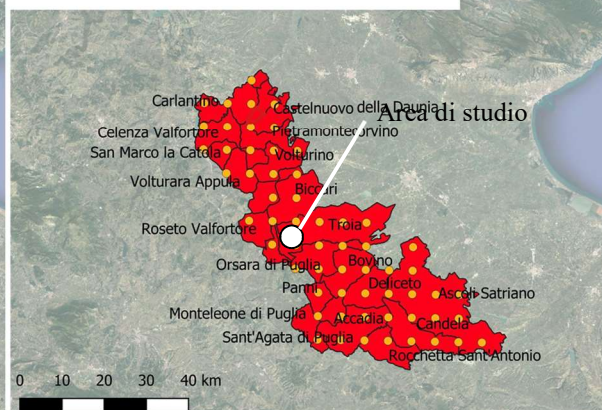
Valori medi di (M - R) da disaggregazione del tasso di superamento dei valori di $S_a(1s)$ per TR = 475 anni

- FRANE SISMOINDOTTE POSSIBILI (Martino et al. 2014)
- FRANE SISMOINDOTTE POSSIBILI (Martino et al., 2014)



Valori medi di (M - R) da disaggregazione del tasso di superamento dei valori di $S_a(2s)$ per TR = 475 anni

- FRANE SISMOINDOTTE POSSIBILI (Martino et al. 2014)
- FRANE SISMOINDOTTE POSSIBILI (Martino et al., 2014)



Secondo le litologie riportate nella Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia, Figura 82, i suddetti eventi sono stati documentati a seguito del terremoto dell'Irpinia nel 1930.

Inoltre, frane sismoindotte sono state rinvenute anche in depositi sciolti a prevalente composizione pelitica (campitura della litologia in blu), o sabbioso-ghiaiosa (campitura della litologia in celeste) innescate dal sisma del Gargano del 1627 e del 1893.

Poiché le suddette litologie sono diffuse anche all'interno del territorio Dauno, questa circostanza sarà considerata solo nei livelli di Microzonazione successivi al primo. Infatti, nonostante la suscettibilità di Celle di San Vito alla instabilità di versante sismoindotta fornita dalle coppie (M-R) precedentemente analizzate, il catalogo CEDIT non riporta alcun evento storicamente documentato di eventi franosi in area comunale. Pertanto, le cartografie del primo livello di Microzonazione Sismica, non riporteranno elementi relativi a nessun evento storico di frana sismoindotta.

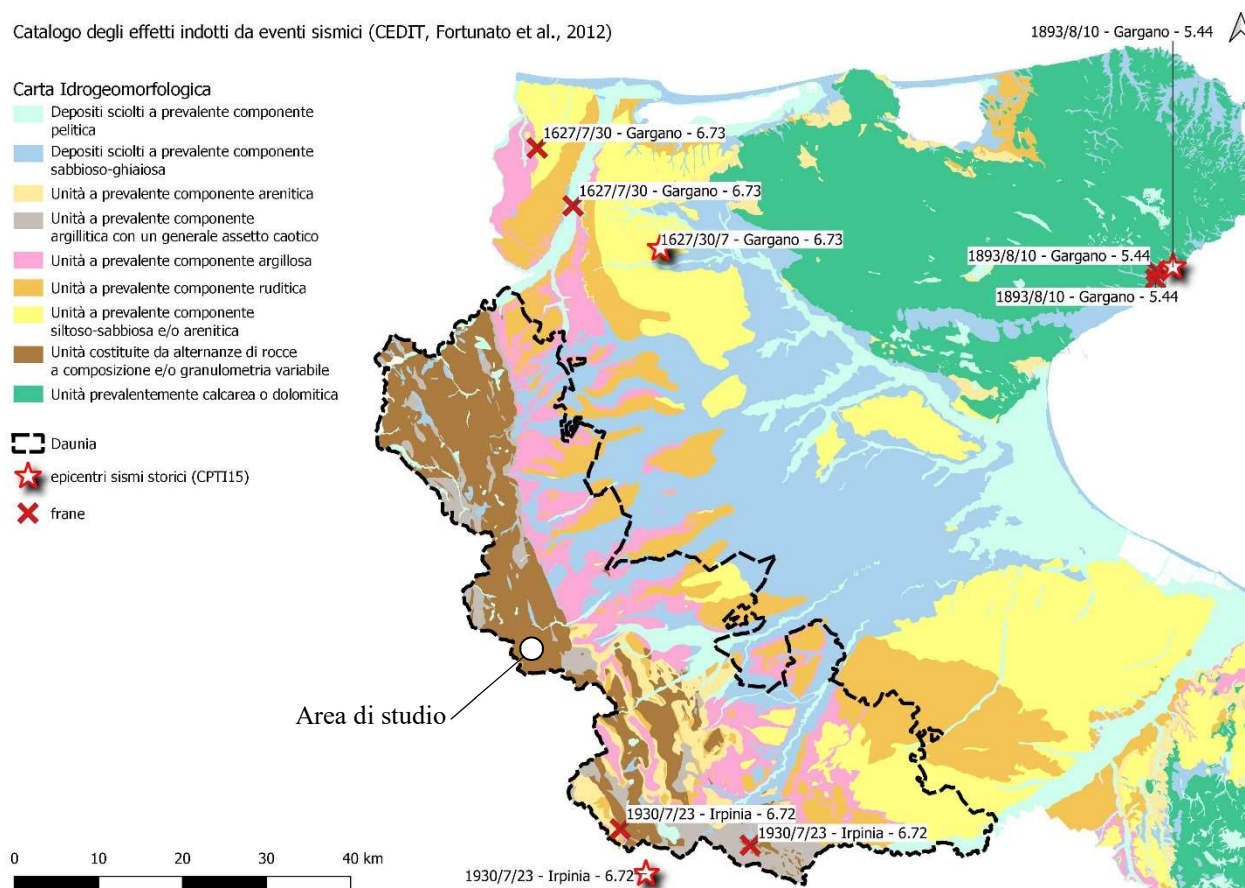


Figura 82. Confronto tra il catalogo CEDIT (Fortunato et al., 2012) degli effetti indotti da eventi sismici nella provincia di Foggia, con riferimento a frane, fratture superficiali e variazioni della morfologia. In pianta, a ciascun sito che ha subito effetto è associato l'evento sismico di riferimento (database DBMI15; Rovida et al., 2020).

In letteratura alcuni autori (Del Gaudio et al., 2003) hanno studiato la suscettibilità all'instabilità sismo-indotta dell'area del Subappennino Dauno riportata in Figura 83 in termini di intensità di Arias, A_c , e superamento della soglia di 10 cm dello spostamento calcolato secondo il metodo di Newmark (1965). Dallo studio si evince che la soglia di accelerazione critica individuata per i versanti in 0.05g non viene mai superata. Tuttavia, lo studio condotto nel 2003 non tiene conto degli aggiornamenti normativi intervenuti successivamente, e pertanto si ritiene di considerare i corpi suscettibili di instabilità sismo-indotta, in accordo alle metodologie proposte nelle Linee Guida Nazionali.

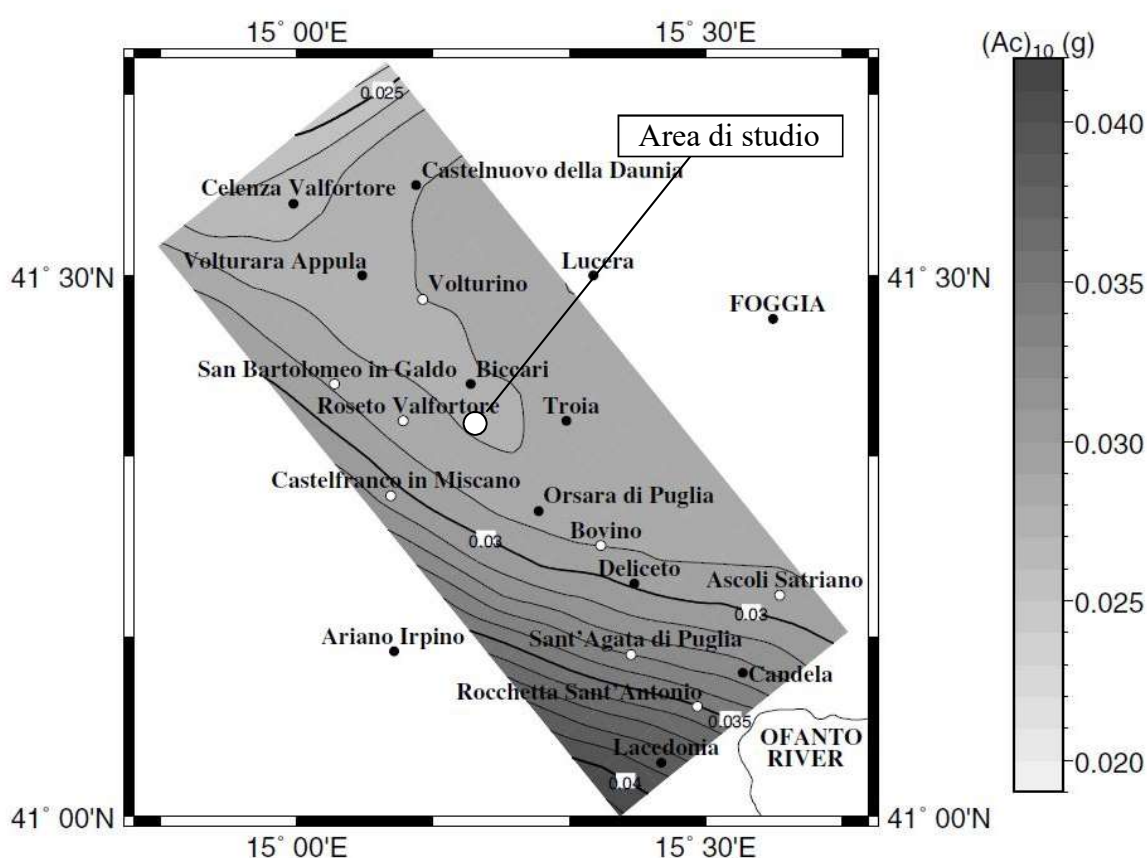


Figura 83. Valori di accelerazione A_c associati allo spostamento critico di 10cm, calcolato secondo il modello di Newmark, 1965 (da Del Gaudio et al., 2003).

7.2 Metodologia di elaborazione ed interpretazione delle prove HVSR

I dati acquisiti sono stati elaborati con software specifico. In particolare è stato impiegato il pacchetto software Grilla (v9.7.1), prodotto dalla ditta distributrice (MoHo s.r.l.) del tromografo impiegato per eseguire le misure.

Le procedure utilizzate per elaborare i dati hanno rispettato le linee guida del progetto SESAME. Le fasi di elaborazione possono essere sintetizzate come di seguito:

- scaricamento dei dati acquisiti;
- lettura delle tracce (componente Nord, Est e verticale come in Figura 84);

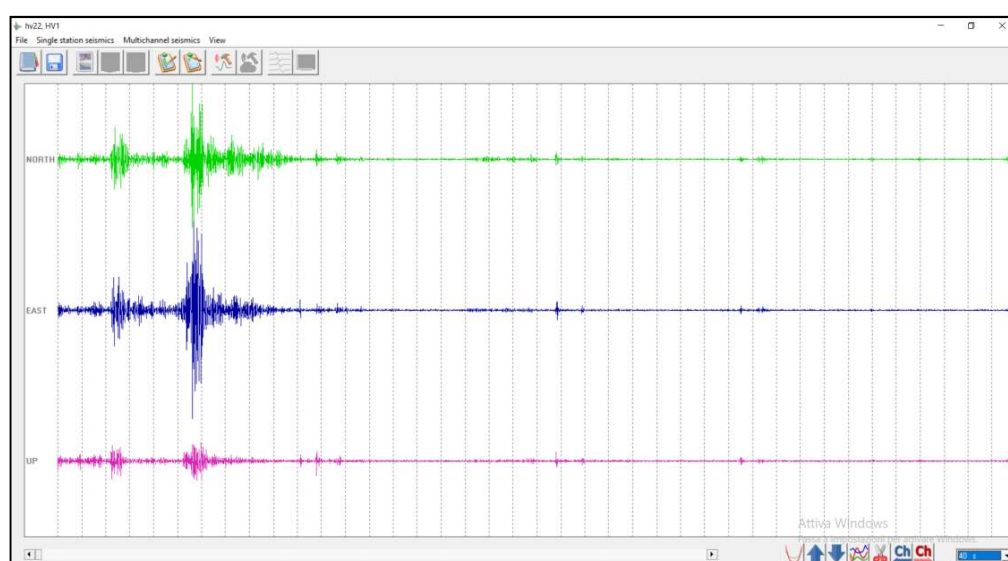


Figura 84. Misure di rumore ambientale. Esempio delle tre componenti (Nord, Est e verticale) di una traccia di acquisizione.

- filtraggio ulteriore eventuale;
- filtraggio manuale dei transienti residui da esaminare con l'ausilio dello spettrogramma che consente di evidenziare i rapporti H/V che deviano notevolmente dall'andamento medio;
- calcolo degli spettri delle tre componenti del moto;
- applicazione di una procedura di lisciamiento ("smoothing") degli spettri ottenuti. Per i dati in esame si è utilizzata quella di Konno e Ohmachi con window con $b=40$, secondo quanto suggerito sempre dalle linee guida SESAME (Figura 86);
- filtraggio automatico delle frequenze comprese nel range 0.7-64.0 Hz (Figura 85);

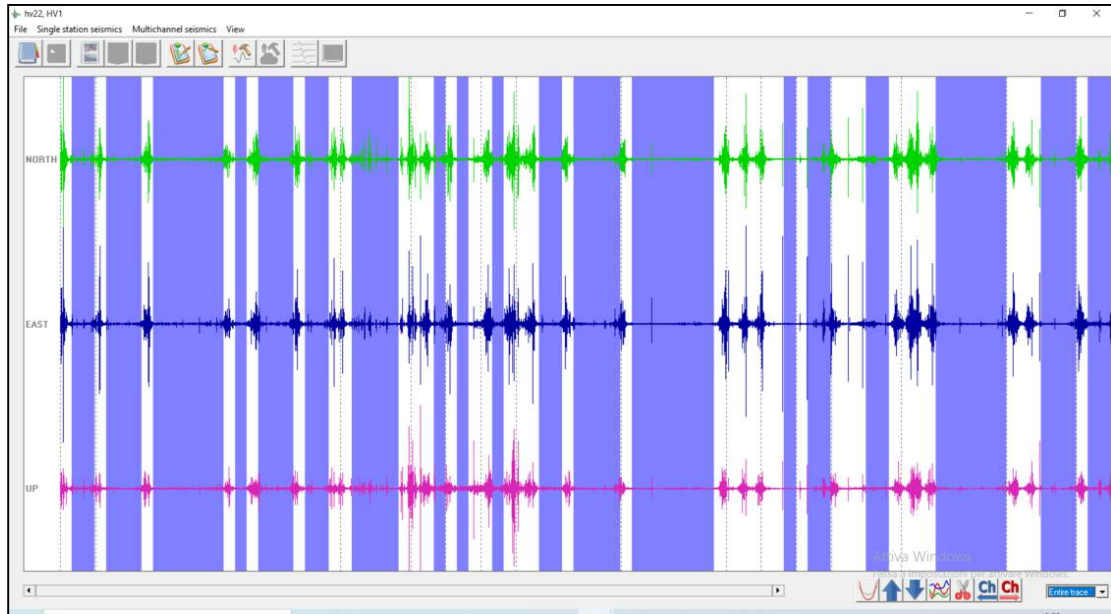


Figura 85. Misure di rumore ambientale. Filtraggio delle tracce acquisite.

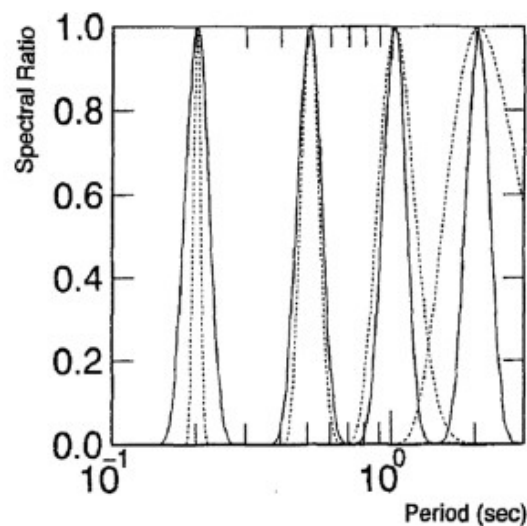


Figura 86. Andamento del valore del peso per la funzione di smoothing di Konno e Ohmachi (1998).

- calcolo dei rapporti tra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali H e verticale V
- calcolo dei valori medi e della deviazione standard dei rapporti spettrali H/V
- stima della direzionalità del picco eventualmente individuato
- valutazione della qualità delle misure
- estrazione del report di elaborazione (esempio di grafici di uscita del software Grilla in Figura 87).

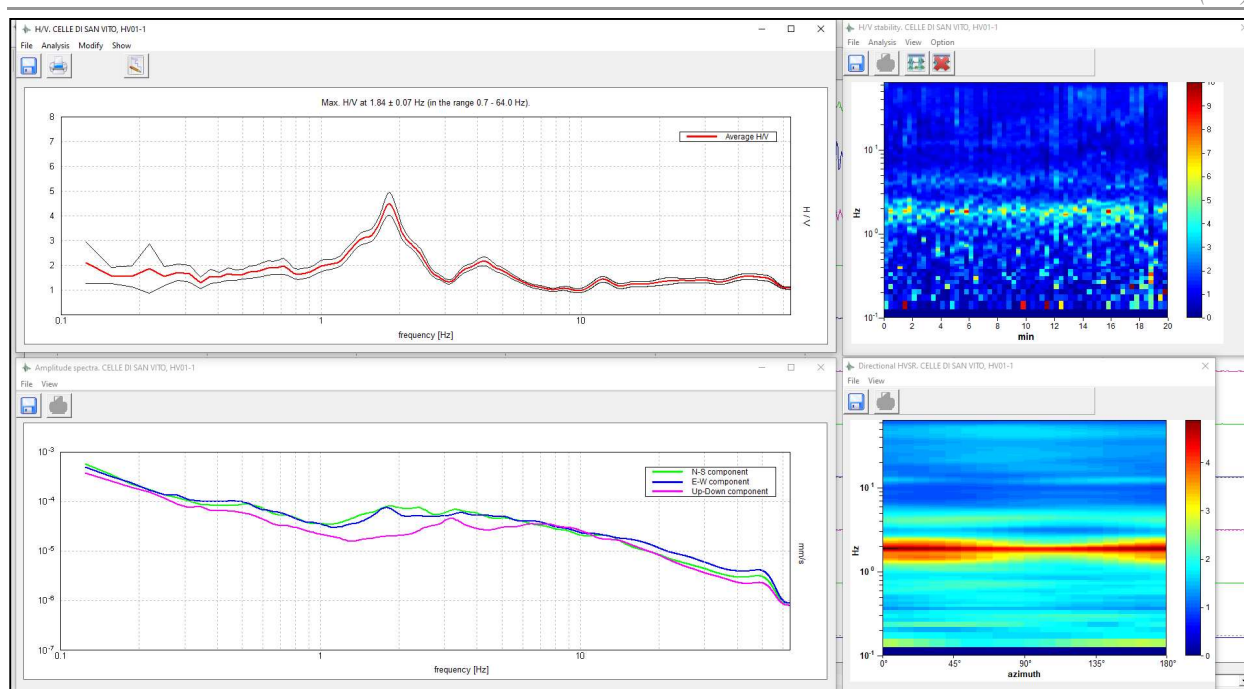


Figura 87. Visualizzazione dei grafici di uscita dell'elaborazione col software Grilla della registrazione di rumore effettuata all'interno del campo sportivo del comune di Celle di San Vito.

Il posizionamento definitivo delle misure ha previsto il controllo della qualità del dato GPS registrato (numero minimo di satelliti, regolarità dell'acquisizione). Controllato il posizionamento orizzontale, l'altimetria dei singoli punti di misura è stata ricavata proiettando i punti su DTM da rilievo LiDAR.

Riguardo l'interpretazione dei dati, si rimanda ai singoli report allegati e definiti per ciascuna misura eseguita per una visione di dettaglio degli andamenti della curva media H/V, degli spettri delle singole componenti, dello spettrogramma delle variazioni dei rapporti H/V durante la registrazione e del diagramma delle variazioni direzionali.

In Tabella 10 sono riportati, schematicamente per ogni punto misura, il codice per l'ubicazione del punto e del relativo report, la MOPS in cui essa ricade, le diverse frequenze di picco individuate e, quando possibile, una stima delle relative profondità.

Nello stimare gli spessori (si veda la Tabella 10) sono stati utilizzati i pochi dati di velocità noti, per cui tale stima è da ritenersi indicativa e parziale.

Tabella 10. Sintesi delle elaborazioni delle indagini HVSR con indicazione del codice identificativo del relativo report, della prova eseguita, della MOPS di appartenenza, delle frequenze di picco rilevate (f0-f1-f2-f3) e degli spessori stimati.

Codice	Prova	MOPS	f0	Profondità (m)	f1	Profondità (m)	f2	Profondità (m)	f3	Profondità (m)
071019P53	HV01-1	2001	1.80		4.20	20.8-31.0				
	HV01-2		1.80		3.90	22.4-33.3	10.70	8.2		
071019P54	HV02-1	2002	2.00							
	HV02-2		1.20		1.70		17.10			
071019P55	HV03-1	2003	1.70							
	HV03-2		1.70							
071019P56	HV04-1	2003	7.30	14.7-18.8	11.60	4.5-5.0				
	HV04-2		7.00	15.3-19.6	8.90	12.1-15.45	11.10	4.7-5.2		
071019P57	HV05-1	2001	3.70	23.7-35.1	8.50	10.3	22.20			
	HV05-2		3.60	24.3-36.1	11.40	7.7	26.20			
071019P58	HV06-1	2001	2.30		11.40	7.7	15.70			
	HV06-2		10.00	8.8	13.20		19.90			
071019P59	HV07-1	2001	1.10		1.50					
	HV07-2		1.50		2.50		3.10		4.40	19.9-29.6
071019P60	HV08-1	2001	1.40		3.60	24.3-36.1				
	HV08-2		1.50		10.00	8.8				
071019P61	HV09-1	2002	3.90	74.4						
	HV09-2		5.30	54.7						
071019P62	HV10-1	2001	1.80							
	HV10-2		1.50							
071019P63	HV11-1	2004	1.30		7.50	16.0-23.3				
	HV11-2		7.20	16.7-24.3	9.50	12.6-18.4				
071019P64	HV12-1	2002	0.90		1.60					
	HV12-2		1.90		11.90	7.4-10.2				
071019P65	HV13-1	2001	2.10							
	HV13-2		1.80		3.20		12.70			
071019P66	HV14-1	2002	13.90		25.80					
	HV14-2		16.30		26.10					

La maggior parte delle misure effettuate mostra picchi di amplificazione in particolare in un range di frequenze compreso tra 1 e 5 Hz, che potrebbero essere correlati ai contrasti di impedenza derivanti dall'alternanza in profondità tra la facies pelitica e quella calcarenitica del Flysch di Faeto, come testimoniato dalle numerose stratigrafie di sondaggio (vedasi a titolo di esempio i sondaggi in prossimità del campo sportivo 071019P10, costituito da calcarenite compatta e argilla, e 071019P17 costituito prevalentemente da argilla, sabbia e limo).

Relativamente alle Fr risultanti, la metà di quelle individuate si concentrano nel range compreso tra 1 Hz e 2 Hz e sono possibili indicatrici di contrasti di impedenza profondi, con ampiezze comprese tra 2 e 5, in particolare quelle effettuate sul versante a ovest del centro abitato e a sud dell'area studiata.

Le misure con Fr compresa tra 7 Hz e 16 Hz sono invece prevalentemente ubicate sul versante est rispetto al centro abitato e possono dare indicazioni sugli spessori dei terreni di copertura o in dissesto superficiale, con ampiezze che variano tra 2.4 e 4.8 Hz.

La Figura 88 mostra la distribuzione delle frequenze di risonanza rilevate; le etichette indicano il relativo valore di ampiezza.

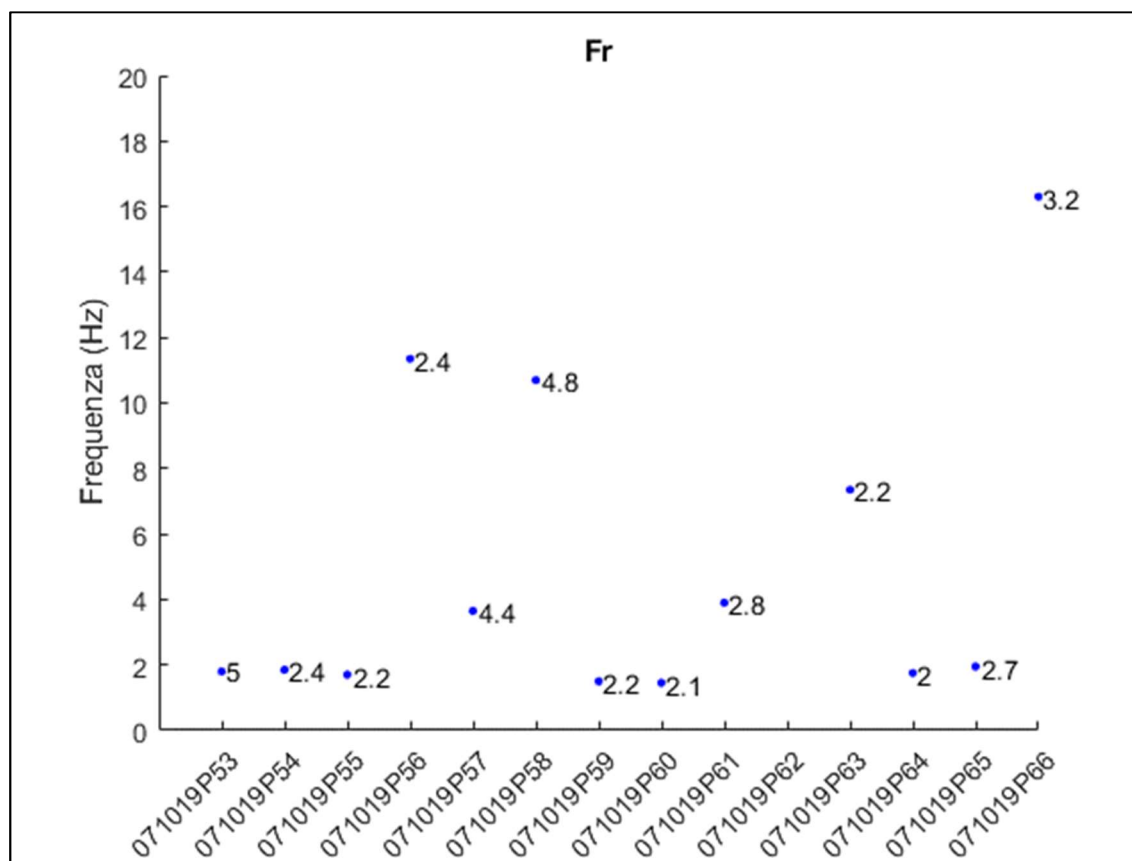


Figura 88. Distribuzione dei valori delle Fr individuate.

8.ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1 Carta delle indagini

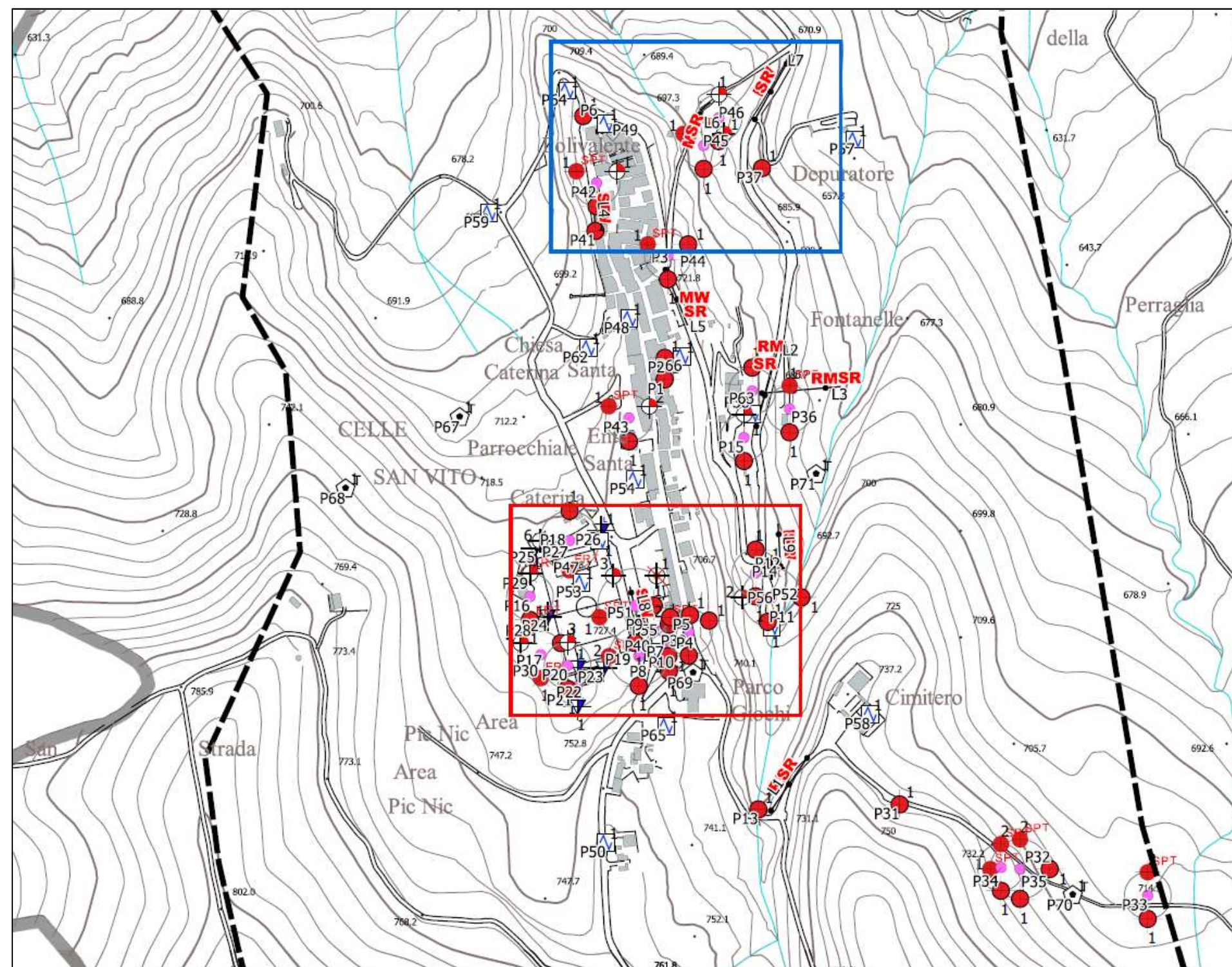
In accordo con quanto indicato negli Standard di rappresentazione cartografica e archiviazione informatica – Versione 4.2 (<http://www.protezionecivile.gov.it>) la Carta delle Indagini riporta la posizione cartografica di tutte le indagini acquisite nel precedente lavoro di Microzonazione di primo livello, di tutte le indagini acquisite dal gruppo di Lavoro ASSET nel corso dell'attività di ricognizione svolta negli uffici delle amministrazioni pubbliche consultate, in questo caso il Comune di Celle di San Vito, la Regione Puglia e il Commissariato per il Dissesto della Regione Puglia.

Anche le indagini pregresse sono state archiviate secondo il nuovo Standard e pertanto le informazioni sono state adeguate a quanto richiesto con l'aggiornamento 4.2.

Sono state inoltre rappresentate le indagini di rumore effettuate sul territorio oggetto di studio tramite l'acquisizione diretta effettuata dal gruppo ASSET con il supporto del Cnr/Irpi.

Tutti i punti di indagine sono rappresentati con l'indicazione del loro codice identificativo e con la simbologia idonea a distinguerne la tipologia. Si riporta uno stralcio in Figura 89.

L'archiviazione documentale in accordo con gli Standard, comprende tutto il materiale di supporto, identificato con un codice in parte ereditato dalla precedente operazione di archiviazione che pertanto è stato ampliato con l'arricchimento di nuovo materiale documentale che è stato numerato in successione al materiale preesistente.



Legenda

-  Stratigrafia tipo MOPS (teorica)
-  Prova penetrometrica dinamica leggera
-  Verticale virtuale lungo tomografia elettrica
-  Stazione microtremore a stazione singola
-  Sondaggio a carotaggio continuo
-  Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
-  Sondaggio con inclinometro
-  Prova penetrometrica in foro (SPT)
-  MASW
-  Prova REfractionMicrotremors
-  Profilo sismico a rifrazione

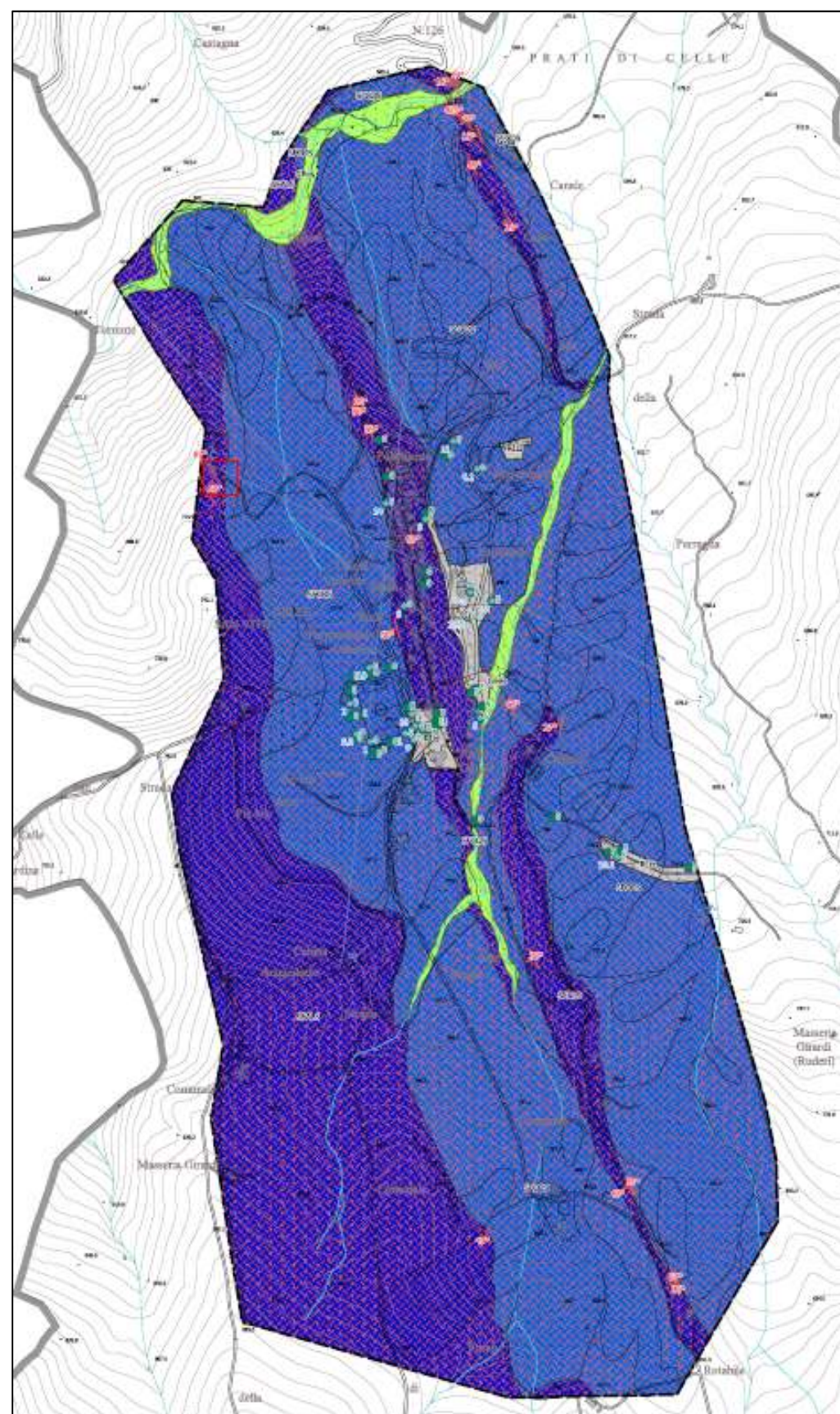
Figura 89. Stralcio della carta delle indagini di Celle di San Vito.

8.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

Il modello geologico descritto nel cap. 3, reinterpretato alla luce delle risultanze sia di prove geofisiche (cap. 4), sia di prove geotecniche (cap. 5), ha permesso di costruire il modello geologico-tecnico del sito, rappresentato nell'elaborato grafico allegato secondo gli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica 4.2. La planimetria presenta, oltre alle unità del substrato geologico e alle coperture, gli elementi tettonico-strutturali come descritti nel par. 3.5, gli elementi geologici e idrologici come descritti nel par. 3.5.1, gli elementi relativi alle instabilità di versante, come descritte nel par. 3.2. Nell'ambito di tale revisione è stata posta particolare attenzione alla mappatura dei depositi di copertura, alla ricostruzione dettagliata delle forme geomorfologiche, dei fenomeni gravitativi di versante e/o delle aree instabili ed all'individuazione del substrato. Per meglio comprendere i rapporti litostratigrafici fra le diverse formazioni presenti, sono state tracciate due sezioni geologico tecniche significative, descritte nel par. 5.2, le cui tracce sono riportate nella Carta Geologico – Tecnica (CGT) in allegato.

Il passaggio dalle unità geologiche alle unità geologico-tecniche è avvenuto mediante l'arricchimento della caratterizzazione geologica, frutto di rilievi di superficie e interpretazione dei sondaggi, con informazioni quantitative sulle velocità di propagazione delle onde S (mediante indagini geofisiche, cfr. parr. 4.2 e 4.3) e sul comportamento fisico-meccanico (mediante interpretazione di prove geotecniche di laboratorio, cfr. par. 5.1), da cui è stato possibile caratterizzare le unità litotecniche delle coperture.

Le geometrie e gli spessori delle unità identificate sono presentate nelle sezioni geologico-tecniche in allegato (cfr. par. 5.2). Si riporta in Figura 90 uno stralcio della carta geologico-tecnica.



Legenda

Terreni di copertura

- GPes** Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia, deposte in ambiente fluvio-lacustre (canale). Da prove speditive in sito, lo stato di addensamento può definirsi "poco addensato".
- Rizz** Terreni contenenti resti di attività antropica. Da prove speditive in sito, lo stato di addensamento può definirsi "poco consistente".

Substrato geologico

- STR00** Coesivo sovraconsolidato, stratificato, fratturato/alterato. All'unità è associata formazione del Flysch di Faeto (FAE), laddove prevale la componente terrigena su quella litoidale. Per i campioni prelevati negli strati pelitici, i provini testati hanno manifestato un peso per unità di volume compreso tra 16.4 kN/m³ e 20.4 kN/m³, Gs compreso tra 2.66 e 2.79, contenuto naturale d'acqua wn compreso tra 11% e 45%, limite liquido WL compreso tra 49% e 71%, indice di plasticità IP compreso tra 24% e 36%, indice di attività medio-basso (A < 1.25). Dal punto di vista granulometrico, i campioni risultano molto eterogenei. Secondo la classificazione USCS, la componente fine è classificabile come "argille inorganiche di medio-alta plasticità", "CH" e "limi inorganici di medio-alta compressibilità", "MH". Secondo la classificazione AGI, l'unità è classificabile come limo con sabbia o "argilla con limo". Si ritiene, al di sotto degli spessori investigati nelle indagini, di riscontrare strati non fratturati/alterati (COS).
- STR01** Alternanza di litotipi, stratificato, fratturato/alterato. All'unità è associata formazione del Flysch di Faeto (FAE), laddove prevale la componente litoidale su quella terrigena. Per le caratteristiche geotecniche dei materiali, si rimanda alla descrizione di SFCOS. Si ritiene, al di sotto degli spessori investigati nelle indagini, di riscontrare strati non fratturati/alterati (ALS).

Forme di superficie e sepolte

- Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (10-20 m)
- Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (> 20 m)
- Cresta

Elementi tettonico-strutturali

- Faglia con cinematismo non definito potenzialmente attiva e capace (incerta)
- Giacitura strati

Elementi geologici e idrogeologici

- Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (m)
- Profondità (m) delle falde in aree con sabbie e/o ghiaie
- Traccia di sezione geologico-tecnica significativa e rappresentativa del modello del sottosuolo

Instabilità di versante

- Non definito - attiva
- Non definito - quiescente
- Scorrimento - non definita
- Complessa - non definita

Figura 90. Carta geologico-tecnica di Celle di San Vito.

8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (carta delle MOPS)

Le informazioni acquisite (rilevamento di campagna, dati da cartografia ufficiale, risultati di indagini pregresse e di nuova esecuzione) hanno permesso di realizzare la “**Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica**” (MOPS).

Tale cartografia è stata redatta in linea con gli I.C.M.S. e individua le microzone per le quali, sulla base delle osservazioni geolitologiche, geomorfologiche, litostratigrafiche e l'interpretazione dei dati acquisiti ex novo, possono essere ipotizzati diversi tipi di effetti di amplificazione. La cartografia corrisponde ad un approfondimento di Livello 1 ed individua qualitativamente e sommariamente la geometria delle aree potenzialmente caratterizzate da specifici effetti sismici locali. Ciò costituisce una utile base per la progettazione delle necessarie indagini da eseguire nelle successive fasi di approfondimento (livelli 2 e/o 3).

Le prove di sismica pregresse eseguite nell'area di interesse, riportate nel database e descritte nel paragrafo 4.2, come già evidenziato, hanno consentito di definire la velocità solo di alcune litologie di substrato.

Per quanto riguarda le aree stabili suscettibili di amplificazione locale va sottolineato che la caratterizzazione dei litotipi presenti sul territorio indagato, con particolare riguardo agli spessori e alle geometrie laterali, presenta ancora diversi aspetti indeterminati.

Le microzone rappresentate nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica sono classificate nelle seguenti categorie:

- a) Zone stabili suscettibili di amplificazione locale: in funzione di quanto ricostruito elaborando le indagini pregresse, i rilievi geologici e le risultanze delle indagini è stato possibile definire 4 MOPS, afferenti alle tipologie “20xx” (substrato lento/substrato e copertura/substrato);
- b) Zone di attenzione per instabilità: sono distinte dalle precedenti per la presenza di fenomeni di instabilità, censiti nello studio.

Nel territorio investigato di Celle di San Vito non sono state individuate Zone Stabili, cioè zone a morfologia sub-pianeggiante e/o con inclinazione $<15^\circ$, con substrato sismico affiorante (caratterizzato da $V_s \geq 800$ m/s).

Di seguito si riportano le descrizioni sintetiche delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali attraverso le loro colonne stratigrafiche.

Le velocità (si veda il paragrafo 5.1 per indicazioni sulla scelta dei valori) e gli spessori sono indicati solo dove vi sono indagini eseguite che permettono una stima delle due grandezze. Lo

spessore massimo rappresentato per tutte le MOPS è pari a circa 100 m (spessore ritenuto significativo per lo studio di MS), ma da considerare puramente indicativo per la mancanza di informazioni precise a profondità superiori.

La Figura 91 e la Figura 92 mostrano le colonnine rappresentative delle MOPS, raggruppate per tipologia (solo substrato, copertura su substrato).

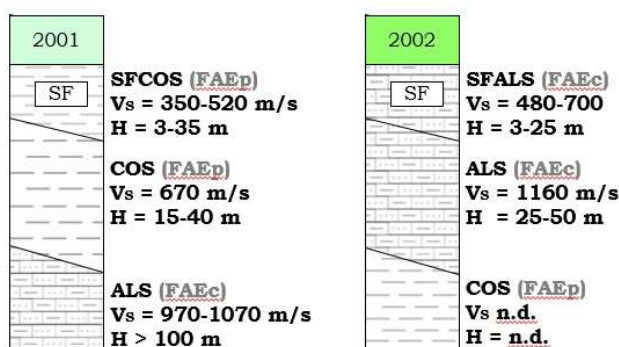


Figura 91. Celle di San Vito. Schema delle MOPS relative alle aree in cui è presente solo litologia di substrato. Nella rappresentazione grafica sono riportati, per ogni unità litotecnica, quando noti, il valore delle relative velocità e degli spessori.

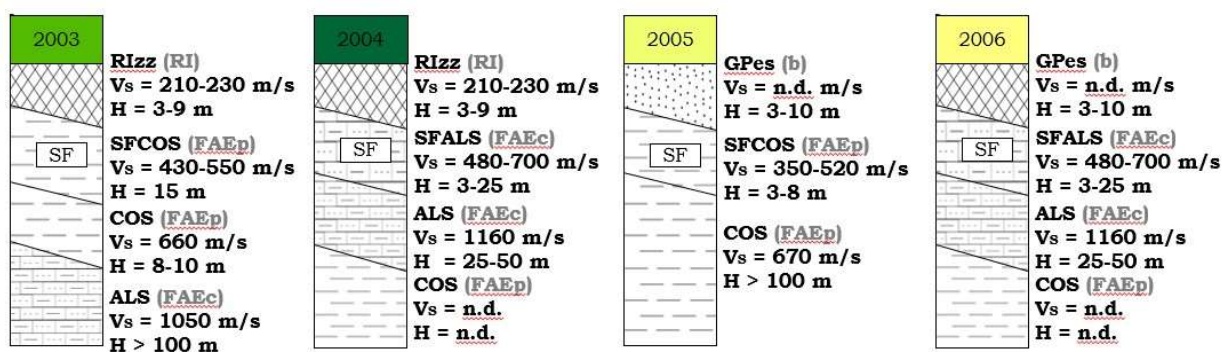


Figura 92. Celle di San Vito. Schema delle MOPS relative alle aree in cui è presente una copertura su litologia di substrato. Nella rappresentazione grafica sono riportati, per ogni unità litotecnica, quando noti, il valore delle relative velocità e degli spessori.

MOPS 2001. È rappresentativa di aree di affioramento di SFCOS su COS (unità associate entrambe ai terreni di FAEp, rispettivamente più superficiali e alterati la prima, più profondi e meno alterati la seconda), poggianti su ALS (associabile, invece, al FAEc). Con riferimento alla Carta delle MOPS, interessa le aree ad ovest e ad est dell'abitato, circa parallelele alle linee di cresta dei rilievi. In corrispondenza di questa MOPS sono presenti alcune prospezioni sismiche, nonché alcuni sondaggi che si spingono fino a 30 m di profondità, per cui lo spessore massimo di SFCOS

si può stimare in 3-35 m, mentre per COS è indicato pari a 15-40 m. La velocità V_s , stimata in base ai risultati di prove MASW, è: 350-520 m/s per SFCOS, 670 m/s per COS. ALS, al di sotto delle due unità appena descritte, ha spessore non precisato e V_s comprese tra 970 m/s e 1070 m/s. Su questa MOPS sono state eseguite le prove HVSr 071019P53, 071019P57, 071019P58, 071019P59, 071019P60, 071019P62 e 071019P65.

MOPS 2002. Occupa fasce del territorio esaminato parallele a quelle della MOPS 2001, circa in corrispondenza dei rilievi. Qui affiora SFALS su ALS (associabili ai terreni della facies calcarenitica del Flysch di Faeto, FAEc), poggianti a loro volta su COS (FAEp). Per SFALS lo spessore varia tra 3 e 25 m, con V_s circa pari a 480-700 m/s; per ALS lo spessore varia tra 25 e 50 m, V_s è circa pari a 1160 m/s; non è stato possibile stimare spessore e velocità per il sottostante COS). Su questa MOPS sono state eseguite 4 misure HVSr.

MOPS 2003. È ubicata in corrispondenza della presenza di RIzz sulla MOPS 2001, nei pressi dell'abitato e del depuratore. RIzz ha spessore 3-9 m (da sondaggi e osservazione diretta), e velocità da MASW: 210-230 m/s; le unità sottostanti sono quelle della MOPS 2001, con i medesimi rapporti stratigrafici ma con spessori e velocità leggermente differenti perché derivate da indagini eseguite esattamente su questa MOPS. Su questa MOPS sono state eseguite le prove HVSr 071019P55, 071019P56 e 071019P63.

MOPS 2004. Anche questa MOPS è caratterizzata dalla presenza di RIzz, questa volta sulle unità della MOPS 2002 (valgono qui gli stessi rapporti stratigrafici, ma anche i medesimi valori di spessore e velocità). È ubicata in due aree nella porzione sud dell'abitato. Su questa MOPS non è stato possibile eseguire alcuna prova HVSr.

MOPS 2005. È ubicata in tratti di alveo del T.te Celone e del T.te Perraglia, rispettivamente a nord e a est dell'abitato, dove i depositi ghiaioso-sabbiosi (GPes) sono in contatto con le unità della MOPS 2001 (valgono qui gli stessi rapporti stratigrafici, ma anche i medesimi valori di velocità, spessori leggermente diversi); non vi sono dati di velocità per GPes, il cui spessore è di circa 3-10 m. Su questa MOPS non sono state eseguite prove HVSr.

MOPS 2006. È ubicata in tratti di alveo del T.te Celone e del T.te Perraglia, rispettivamente a nord e a est dell'abitato, dove i depositi ghiaioso-sabbiosi (GPes) sono in contatto con le unità della

MOPS 2002 (valgono qui gli stessi rapporti stratigrafici, ma anche i medesimi valori di spessore e velocità); non vi sono dati di velocità per GPes, il cui spessore è di circa 3-10 m. Su questa MOPS non sono state eseguite prove HVSR.

Per tutte le MOPS vale la considerazione che a volte i sondaggi riportano la presenza di terreni di copertura (o interpretabili come tali) spessi meno di 3 o 5 m, per cui non rappresentabili sulla carta in esame.

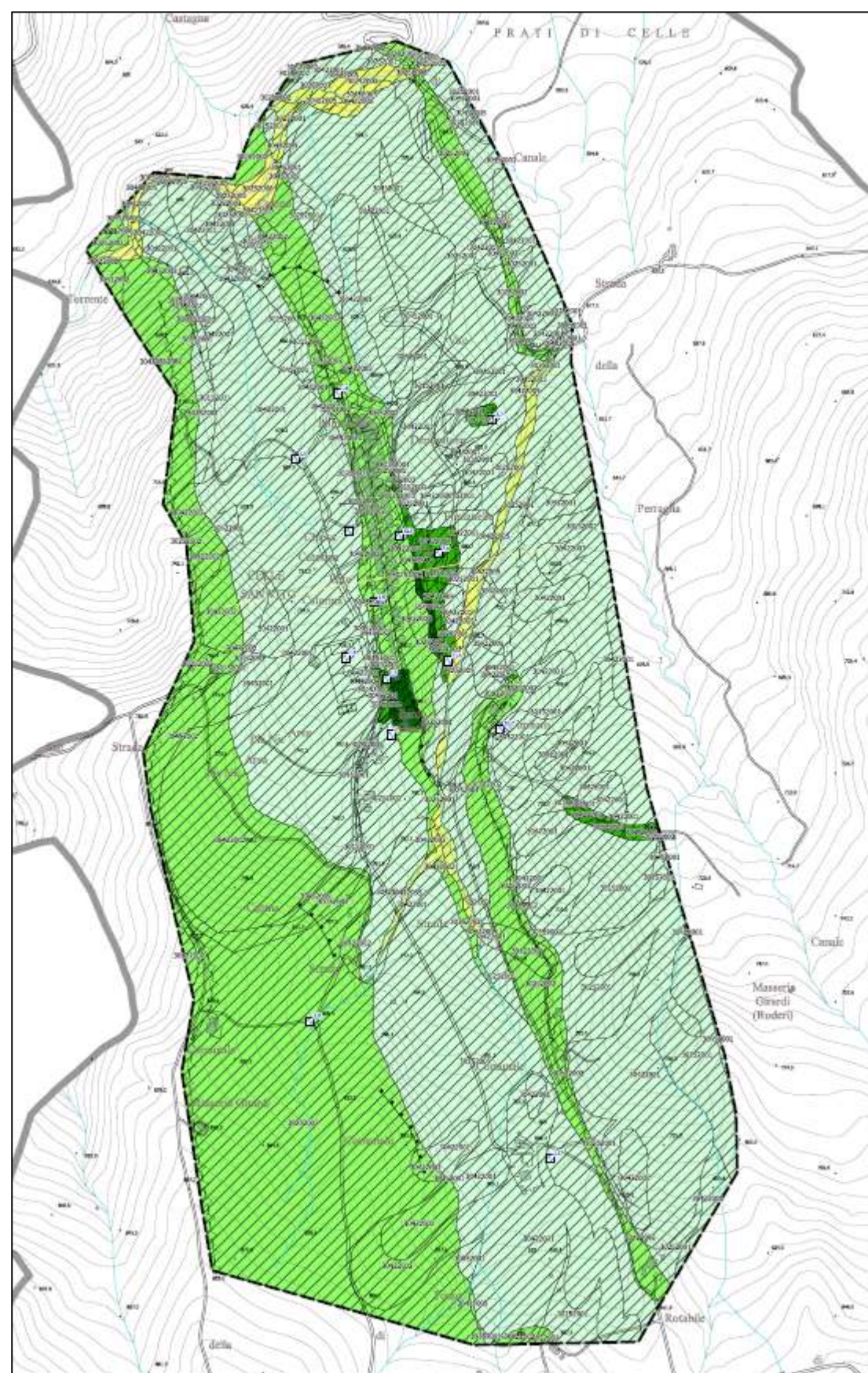
Di seguito si riportano (Tabella 11) le Zone di Attenzione per instabilità di versante, con le associazioni stato di attività/cinematismo/MOPS, riconosciute all'interno dell'area oggetto di studio.

Tabella 11. Zone di attenzione per instabilità, associate alle MOPS.

Instabilità			
ID (Standard 4.2)	Stato di attività	Cinematismo	MOPS
3015	Attiva	Non definito	2001, 2002, 2003, 2005
3025	Quiescente	Non definito	2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006
3042	Non definito	Scorrimento	2001, 2002, 2003, 2004, 2005
3043	Non definito	Colata	2001
3044	Non definito	Complesso	2001, 2002, 2003, 2005
3045	Non definito	Non definito	2001, 2002, 2003, 2005

Completa la carta delle MOPS un profilo topografico che definisce una zona in cui negli studi di livello superiore sono da tenere in conto amplificazioni di tipo topografico oltre che stratigrafico.

Si riporta in Figura 93 uno stralcio dell'elaborato.



Legenda

Zone di attenzione per instabilità

- ZA FR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 1
- ZA FR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 2
- ZA FR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 3
- ZA FR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 4
- ZA FR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 5
- ZA FR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 6

Forme di superficie e sepolte

- Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (10-20 m)
- Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (> 20 m)
- Cresta
- Sinclinale
- Anticlinale

Punti di misura di rumore ambientale

- Punto di misura di rumore ambientale con indicazioni del valore di Fr
- Traccia per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche

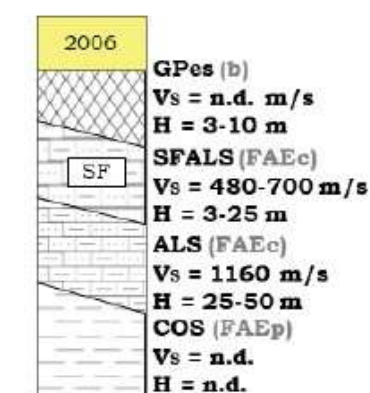
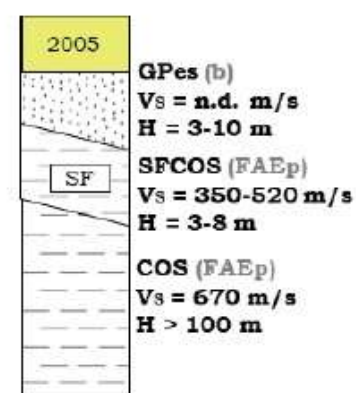
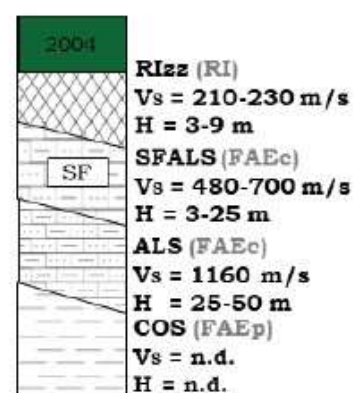
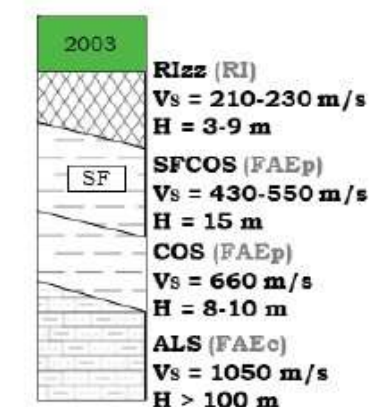
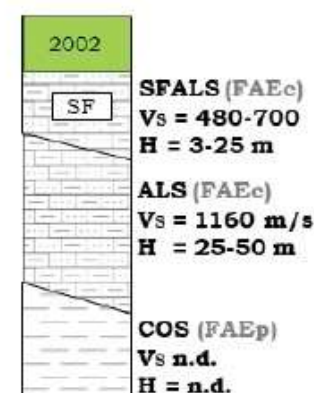
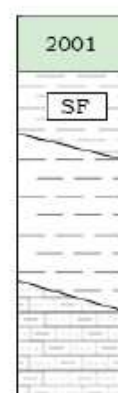


Figura 93. Carta delle MOPS di Celle di San Vito.

9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

La storia sismica del territorio comunale di Celle di San Vito (FG) è stata illustrata nel capitolo 2, dove sono riportati i principali eventi sismici che lo hanno interessato. Il catalogo contempla solo eventi dal 1732 in poi; ciò è dovuto alla mancanza di fonti storiche generalmente legate all'importanza politica ed economica del luogo. Le notizie sui danni subiti dall'abitato in occasione dei terremoti storici sono ridotte e frammentarie, e a volte discordanti, basate sulle sole testimonianze tramandate.

La Puglia settentrionale risente degli effetti della sismicità del Matese, del Beneventano e dell'Alta Irpinia, aree nelle quali si sono verificati alcuni dei maggiori terremoti della storia italiana; si ricordano, ad esempio, il terremoto del 5 dicembre 1456, il più forte dell'Italia centro – meridionale con epicentro nel settore molisano, del 5 giugno 1688 nel beneventano, del 14 marzo 1702 e del 29 novembre 1732 nel Sannio-Irpinia, del 14 agosto 1851 nel Vulture e dei terremoti in Irpinia del 16 dicembre 1857, del 21 agosto 1962 e da ultimo del 23 novembre 1980.

Tra i terremoti più recenti avvertiti nel territorio di Celle di San Vito, inoltre, si ricordano l'evento sismico del 21 agosto del 1962 ($M_w=6.2$) e del 23 novembre 1980 ($M_w=6.9$) entrambi in Irpinia-Basilicata, risentiti a Celle di San Vito rispettivamente con intensità di 6-7 MCS e di 6 MCS.

La sismicità recente al di sopra della soglia di danno, come riportato in dettaglio nel paragrafo 2.2, è monitorata da una rete di stazioni digitali permanenti e temporanee, conosciuta come rete accelerometrica nazionale (RAN) gestita dalla Dipartimento della Protezione Civile Nazionale.

Contrariamente a quanto registrato per vari Comuni in area di catena dell'Appennino Meridionale, il territorio di Celle di San Vito non ha avvertito nessuno degli eventi della sequenza sismica registrata tra il 31 ottobre e il 1 novembre 2002 in Molise.

Con l'ausilio del "Bollettino Sismico Italiano" (Italian Seismic Bulletin)/Sistema ISIDE, l' "Italian Seismic Instrumental and parametric Data-base", è possibile evidenziare la totalità degli eventi sismici che caratterizzano il territorio comunale. La quantità degli eventi (n. 188) con ML pari o superiore a 2 circoscritti al centro abitato di Celle di San Vito per 30 Km, con rilievi eseguiti a partire dal 16 aprile 2005, data di immissione operativa del servizio, evidenzia la forte esposizione a cui il territorio comunale è soggetto soprattutto per quelli con epicentro nel Beneventano ed Irpinia.

I sopralluoghi effettuati dai tecnici ASSET, in occasione della redazione degli elaborati relativi alla verifica della CLE, hanno permesso di mettere in evidenza che gli edifici del centro storico, i più datati, abbiano risentito maggiormente gli effetti degli eventi sismici. In quest'ottica, gli studi

di Microzonazione Sismica sono orientati all'individuazione delle possibili cause dei danneggiamenti, indotte dalla particolare conformazione del territorio urbanizzato, e dalle unità litotecniche presenti. La ricognizione condotta sinora, preliminare, evidenzia il ragionevole contributo degli effetti topografici di cresta sul danneggiamento della porzione antica dell'edificio di Celle di San Vito.

La massima concentrazione di edifici danneggiati corrisponde all'area di cresta dell'alto morfologico sul quale sorge il centro storico di Celle di San Vito dove sono presenti edifici costruiti sino agli inizi del 1800, con forte debito manutentivo e notevole degrado della malta. La concentrazione di edifici danneggiati diminuisce man mano che ci si allontana dal centro storico dove sono presenti costruzioni edificate, con tecniche e materiali differenti, entro la fine del secolo scorso.

Nel caso specifico del centro abitato di Celle di San Vito è da tenere sotto controllo il livello di vulnerabilità sismica degli edifici con struttura di muratura in pietrame non consolidata, che potrebbe determinare, in caso di evento sismico, un aumento esponenziale del rischio sismico complessivo con coinvolgimento anche degli aggregati limitrofi.

Il territorio di Celle di San Vito è stato interessato da una scarsa espansione edilizia negli ultimi anni. Gli interventi edilizi recenti nel centro abitato hanno riguardato prevalentemente attività di ristrutturazione e demolizione seguita da ricostruzione piuttosto che nuove costruzioni.

Pertanto, sulla base di quanto rilevato, la parte con alta vulnerabilità è sicuramente quella del centro storico, ambito territoriale che, per tipologia di materiali costruttivi, rappresenta quella maggiormente esposta a rischio alto per danno grave. Il rischio passa a medio sino a diventare basso man mano che si considerano i pochi edifici di più recente realizzazione, in cemento armato, lontani dal centro storico.

La maggior parte dei danni causati dalle calamità naturali e antropiche si possono evitare attuando un'azione preventiva di salvaguardia e di controllo sul territorio, di programmazione delle attività compatibili che su di esso si svolgono, di prevenzione degli eventuali effetti negativi rispetto ai fattori di rischio individuati e studiati in precedenza, di riduzione della vulnerabilità strutturale e di pianificazione del territorio in chiave sismica. Determinando preventivamente le possibili cause, la maggior parte dei danni successivi al verificarsi di un evento calamitoso può essere notevolmente ridotta. Ciò può avvenire predisponendo un'idonea organizzazione di prevenzione e pianificazione degli interventi.

BIBLIOGRAFIA

- AA. VV. 1963. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 163 "Lucera". Servizio Geologico d'Italia, Firenze.
- AA.VV. 1967. Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 174 "Ariano Irpino". Servizio Geologico d'Italia, Firenze.
- AA.VV. 2011. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 421" Ascoli Satriano" Servizio Geologico d'Italia, Firenze.
- AA. VV. 2011. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 407 "San Bartolomeo in Galdo". Servizio Geologico d'Italia, Firenze.
- AGI 2005. Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee guida.
- Alessio, G., E. Esposito, A. Gorini and S. Porfido 1995 Detailed study of the Potentino seismic zone in the Southern Apennines, Italy. *Tectonophysics*, 250, 113-134.
- Argnani, A., Bortoluzzi, G favali, P, Frugoni, F., Gasparini M., Ligi M., Marani M., Mattietti G., Mele, G. 1994. Foreland tectonics in the Southern Adriatic Sea In *The Northern Apennines. Mem. Soc Geol. It*
- Barani S., Spallarossa D., Bazzurro P. 2009. Disaggregation of Probabilistic Ground-Motion Hazard in Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99 (5): 2638–2661.
- Baratta M., 1901. I terremoti d'Italia. Saggio di storia, geografia e bibliografia sismica italiana (ristampa anastatica, Sala Bolognese, 1979). Torino, 1901 949 pp.
- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M., Boschi E. 2008. The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS) , v. 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. *Tectonophysics*, 453(1-4): 20-43.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G., Gasperini P. 2000. Catalogue of strong Italian earthquakes from 461 BC to 1997. *Annals of Geophysics*, 43(4): 609-868 (Appendix to volume 43 N° 4, 2000). Doi: 10.4401/ag-3668
- Burrato, P. Vannoli P., Fracassi U. (2016) DISS ITIS088 -Bisaccia Commentary. INGV Database
- Butler R.W., Pinter P.R., Maniscalco R., Hartley, A.J. 2020. Deep-water sand fairway mapping as tool for tectonic restoration: decoding Miocene central Mediterranean

palaeogeography using the Numidian turbidites of Southern Italy. *Journal of the Geological Society of London*.

- Calamita F., Satolli S., Scisciani V., Eserice P., Pace P., 2011. Contrasting styles of fault reactivation in curved orogenic belts: Examples from the Central Apennines (Italy). *Geological Society of America Bulletin* 123 (5). 1097-1111.
- Calcagnile G., Panza G.F. 1980. The main characteristics of the lithosphere-asthenosphere system in Italy and surrounding regions. *Pageophysics*, 119: 865-879.
- Carta Inventario delle Frane di tipo geomorfologico (Mappatura preliminare) 2019. Versione 1.0 giugno 2019 - Accordo di Programma tra la Regione Puglia e l'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Progetto POR Puglia 14-20 Azione 5.1 "Valutazione integrata di dissesti geo-idrologici nel territorio della regione Puglia, modelli interpretativi dei fenomeni e definizione di soglie di pioggia per il possibile innesco di frane superficiali"
- Casero R., Roure F., Endignoux L., Moretti I., Sage L., Vially R. 1988. Neogene geodynamic evolution of the southern Apennines. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 41: 109-120.
- Cello C, Mazzoli, S. (1999) Apennines tectonics in southern Italy: a review. *Journal of Geodynamics* 27:191-211 doi:10.1016/S0264-3707(97)00072-0
- Chiarabba C, Jovane, L., Di Stefano, R. (2005) A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings *Tectonophysics* 395:251-268 doi:10.1016/j.tecto.2004.09.013
- Chilovi C., De Feyter AJ, Pompucci, A 2000. Wrench zone reactivation in the Adriatic Block: the example of the Mattinata Fault System (SE Italy). *Bollettino della Società Geologica Italiana* 119 3-8
- Cinque, A., Patacca, E., Scandone, P., Tozzi, M., 1993. Quaternary kinematic evolution of the Southern Apennines. Relationships between surface geological features and deep lithospheric structures. *Annali di Geofisica*, 36: 249-260.
- Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica 2017. (art.5, comma 7, O.P.C.M. 13 Novembre n. 3907) Microzonazione Sismica Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR).

- Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica 2020. (art.5, comma 7, O.P.C.M. 13 Novembre n. 3907) Microzonazione Sismica Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – Versione 4.2.
- Consiglio Nazionale delle Ricerche, 1983. Structural model of Italy and gravity map. Quaderni della Ricerca Scientifica, 114(3).
Crostella A e Vezzani L. (1964) La geologia dell'Appennino Foggiano. Bolletino della Società Geologica Italiana 83(1):121-141
- Cruden D.M., Varnes D.J. 1996. Landslide Types and Processes. Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report, 247.
- Dazzaro L., Rapisardi L. 1984. Nuovi dati stratigrafici, tettonici e paleogeografici della parte settentrionale dell'Appennino Dauno. Bollettino della Società Geologica Italiana, 103: 51-58.
- Dazzaro L., Di Nocera S., Pescatore T., Rapisardi L., Romeo M., Russo B., Senatore M. R., Torre M. 1988. Geologia del margine della catena appenninica tra il F. Fortore e il T. Calaggio (Monti della Daunia, Appennino meridionale). Memorie della Società Geologica Italiana, 41: 411-422.
- De Alteris G 1995 Differential foreland basins in Italy: examples from the central and southern Adriatic Sea. Tectonophysics 252:349-373
- Di Bucci D., Mazzoli S., Nesci O., Savelli D., Tramontana M., De Donatis M., Borraccini F. 2003. Active deformation in the frontal part of the Northern Apennines: insights from the lower Metauro River basin area (northern Marche, Italy) and adjacent Adriatic off-shore. Journal of Geodynamics, 36(1-2): 213–238.
- Di Bucci D., Ravaglia A., Seno S., Toscani G., Fracassi U., Valensise G. 2006. Seismotectonics of the Southern Apennines and Adriatic foreland: Insights on active regional E-W shear zones from analogue modelling. Tectonics, 25: TC4015 4011-4021.
- Di Bucci D., Burrato P., Vannoli P., Valensise G. 2010. Tectonic evidence for the ongoing Africa- Eurasia convergence in central Mediterranean foreland areas: A journey among long-lived shear zones, large earthquakes and elusive fault motions. Journal of Geophysical Research, 115(B12404)
- Di Luccio F, Piscini, A., Pino, A., Ventura G. (2005) Reactivation of deep faults beneath Southern Apennines: Evidence from the 1990-1991 Potenza seismic sequences. Terra Nova 17:586-590 doi:10.1111/j.1365-3121.2005.00653.x

- DISS Working Group 2021 e 2022. Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>.
- Doglioni C. 1991. A proposal for the kinematic modelling of W-dipping subductions-possible applications to the Tyrrhenian - Apennines system. *Terra Nova*, 3: 423-434.
- Doglioni C., Mongelli F., Pieri P. 1994. The Puglia uplift (SE Italy): An anomaly in the foreland of the Apenninic subduction due to buckling of a thick continental lithosphere. *Tectonics*, 13(5): 1309-1321.
- Doglioni C., Di Stefano A., Rio D., Negri A. 1996. Middle-late Pleistocene uplift of Puglia: an “anomaly” in the Apenninic Foreland. *Mem Soc Geol It*, 51: 101-118.
- Felici F., Pierantoni P.P., Milia A., Schettino A., Turco E. 2008. Il limite di placca Adria-Apulia durante il Cretacico Superiore. *Rendiconti Online Società Geologica Italiana*, 1, Note Brevi: 80-82.
- Fortunato C., Martino S., Prestininzi A., Romeo R.W., coauthors Fantini A., Sanandrea P. 2012. New release of the Italian catalogue of earthquake-induced ground failures (CEDIT). *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, DOI: 10.4408/IJEGE.2012-02.O-05.
- Fracassi U., Burrato P., Basili R., Bencini R., Di Bucci D., Valensise G. 2004. Shallow NE-SW extension and deep E-W right-lateral slip: coexisting seismogenic mechanisms as an expression of Southern Italy geodynamics, GNGTS- Atti del 23 Convegno Nazionale.
- Fracassi U., Valensise G. 2007. Unveiling the sources of the catastrophic 1456 multiple earthquake: hints to an unexplored tectonic mechanism in Southern Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(3): 725–748. DOI: 10.1785/0120050250
- Fracassi U., Burrato P., Vannoli P. 2015. DISS Composite seismogenic sources ITCS063 Andretta Filano – Commentary. <https://diss.ingv.it/diss330/sources.php?ITCS063>.
- Galli P., Molin D., Galadini F., Giaccio B., 2002. Aspetti sismotettonici del terremoto irpino del 1930. In: S. Castenetto e M. Sebastiano (eds.), *Il "terremoto del Vulture" 23 luglio 1930, VIII dell'Era fascista*. Roma, 217-262.
- Galli, P., Molin, D., Bosi, Giuliani, R., Mattone, M.; Gruppo QUEST. 2003. Il terremoto del 31/10/2002: sismicità storica di San Giuliano, rilievo macrosismico e deformazione superficiale cosismica. *Ingegneria Sismica*, 33, 8-18

- Galli, P., 2020. Roman to Middle Ages Earthquakes sourced by the 1980 Irpinia fault: historical, archeoseismological, and paleoseismological hints. *Geosciences*, 10, 286 DOI: 10.3390/geosciences10080286.
- Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd
- Gruppo di lavoro CPTI v.4.0 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. 2022. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia -INGV-. <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>)
- Guidoboni E., Comastri A. 2005. Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – SGA, Bologna, 1037 pp
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. e Valensise G. 2007. CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C. - 1997) and Mediterranean Area (760 B.C. - 1500), <http://storing.ingv.it/cfti4med/>
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Sgattoni G., Valensise G. 2018. CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5>
- Guidoboni E., Ferrari G., Tarabusi G., Sgattoni G., Comastri A., Mariotti D., Ciuccarelli C., Bianchi M.G., Valensise G. 2019. CFTI5Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area, *Scientific Data* 6, Article number: 80 (2019). doi: 10.1038/s41597-019-0091-9
- Istituto Nazionale di Statistica 2012. 15° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2011.
- Kastelic V., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Tiberti M.M., Valensise G. 2013. Seismogenic sources in the Adriatic domain. *Marine and Petroleum Geology*, 42: 191-213.
- Keefer D.K. 1984. Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America Bulletin*.

- Konno K., Ohmachi T. 1998. Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(1): 228-241.
- CNR-IGAG 2020. Linee Guida Per La Realizzazione Della Carta Geologico-Tecnica Per La Microzonazione Sismica Con Adattamento Ai Contesti Vulcanici.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertuliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. 2019. Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International CCBY-SA4.0.
- Magri G., Molin D. (Eds) 1983. Il terremoto del dicembre 1456 nell'Appennino centro-meridionale. ENEA, RT/AMB 83/08, 180 pp..
- Malinverno, A., Ryan, W.B.F., 1986. Extension in the Tyrrhenian sea and the shortening in the Apennines as a result of arc migration driven by sinking of the lithosphere. *Tectonics*, 5: 227-245.
- Martino S., Prestininzi A., Romeo R.W. 2014. Earthquake-induced ground failures in Italy from a reviewed database. *Natural Hazards and Earth System Science*, 14(4): 799-814. DOI: /10.5194/nhess-14-799-2014
- Mazzotti A., Stucchi E., Fradelizio G., Zanzi L., Scandone P. 2000. Seismic exploration in complex terrains; a processing experience in the Southern Apennines. *Geophysics*, 65: 1402-1417.
- Meletti C., Patacca P., Scandone P., Figliuolo B. 1988. Il Terremoto del 1456 e la sua interpretazione nel quadro sismotettonico dell'Appennino Meridionale. Figliuolo, B. (Ed) Osservatorio Vesuviano, Storia e Scienze della Terra 71-108 (I), 35-163 (II)
- Meletti C, Valensise G (eds) 2004. Zonazione sismogenetica ZS9. In: Gruppo di Lavoro, Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003, Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano - Roma, App 2, 38 pp
- Milia, A.; Torrente M.M, Iannace, P. (2017). Pliocene- Quaternary orogenic systems in Central Mediterranean: The Apulia- Southern Apennines- Tyrrhenian Sea example. *Tectonics*, 36, 1614-1632 DOI: 10.1002/2017TC004571

- Montone P., Mariucci T., Pondrelli S., Amato A. 2004. An improved stress map for Italy and surrounding regions (central Mediterranean). *Journal of Geophysical Research*, 109(B10410).
- Newmark, N. M (1965). Effects of earthquakes on dams and embankments, *Geotechnique* 15, 139–160.
- Patacca E., Scandone P 1989. Post- Tortonian mountain building in the Apennines. The role of the passive sinking of a relic lithospheric slab in Baoriano, a Bonafede, M Piccardo GB e Vai GB Eds., *The lithosphere in Italy. Advances in Earth Sciences Research It. Nat. Comm Int Lith. Prog. Mid Term Conf (Rome 5-6 May 1987). Atti Conv. Lincei*
- Patacca, E., Sartori, R., Scandone, P., 1990. Tyrrhenian basin and Appenninic arc Kinematic relations since late Tortonian times. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 45: 425-451
- Patacca E., Scandone P. 2007. Geology of the Southern Apennines. *Bollettino della Società Geologica Italiana* n.7, 75-119.
- Pescatore T. (1988) - La sedimentazione miocenica nell'Appennino campano-lucano. *Mem. Soc. Geol. It.*, 41, 431-438.
- Piccardi L. 1998. Cinematica attuale, comportamento sismico e sismologia storica della faglia di Monte Sant'Angelo (Gargano, Italia): La possibile rottura superficiale del 'legendario' terremoto del 493 D.C.. *Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 21(1):155-166.
- Pieri P., Gallicchio S., Moretti M. 2011. Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000, Foglio 407 "San Bartolomeo in Galdo". Servizio Geologico d'Italia, Firenze.
- Pino NA, Palombo, B., Ventura, G., Perniola, B., Ferrari, G. 2008 Waveform modeling of historical seismograms of the 1930 Irpinia earthquake provides insight on "blind" faulting in Southern Apennines. *Journal of Geophysical Research* 113:B05303 05301-05316
- Pondrelli S., Salimbeni S., Ekström G., Morelli A., Gasperini P., Vannucci G. 2006: The Italian CMT dataset from 1977 to the present. *Physics of the Earth and Planetary Interior* v. 159 (3-4) 286-303
- Regione Puglia 2007. "Delibera di Giunta Regionale n. 130 del 26/02/2007: Presa d'atto del progetto IFFI - inventario dei fenomeni franosi in Puglia". BURP n. 34 del 07/03/2007. Regione Puglia (2007).

- Regione Puglia 2007. "Delibera di Giunta Regionale n. 1792 del 31/10/2007: Redazione della Carta Idrogeomorfologica della Puglia". BURP n. 165 del 20/11/2007.
- Ricchetti G., Ciaranfi N., Luperto S., Sinni E., Mongelli F. e Pieri P. 1988 Geodinamica ed evoluzione stratigrafica – tettonica dell'avampaese apulo. Mem Soc Geo It 57-82
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. 2020. The Italian earthquake catalogue CPTI15. Bulletin of Earthquake Engineering, 18(7), 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (eds), 2022. Italian Parametric Earthquake Catalogue (CPTI15), version 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>
- Schettino A., Turco E. 2011. Tectonic history of the western Tethys since the Late Triassic. Geological Society of America Bulletin, 123: 89-105.
- Scrocca D., Doglioni C., Innocenti F., Manetti P., Mazzoti A., Bertelli L., Burbi L., D'Offizi S. 2003. CROP Atlas: seismic reflection profiles of the Italian crust. Memorie Descrittive Carta Geologica d'Italia, 62: 15-46.
- Scrocca D. 2006. Thrust segmentation induced by differential slsb retreat in the Apennines (Italy). Terra Nova 18, 154-161 <http://dx.doi.org/10.1111/j.13653121.2006.00675.x>
- Scrocca D. 2010. Southern Apennines: structural setting and tectonic evolution, Journal of the Virtual Explorer.
- SESAME European research project WP12 Deliverable D23.12, 62 pp, (http://sesame.geopsy.org/Papers/HV_User_Guidelines.pdf).
- Skempton A.W., Hutchinson, J. 1969. Stability of natural slopes and embankment foundations. 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, State of the Art Volume.
- Spallarossa D., Barani S. 2007. Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-e. Deliverable D14- Task 1 Completamento delle elaborazioni relative a MPS04. Convenzione INGV-DPC2004-2006
- Valduga A. 1973. Fossa Bradanica. In Geologia dell'Italia, a cura di Desio A., UTET, 692-695.
- Valensise G., Pantosti, D. (Editors) 2001 Database of potential sources for earthquakes larger than M=5.5 in Italy. Ann. Geophys. 44 (1) 797- 807

- Valensise G., Pantosti D., Basili R. 2004. Seismology and Tectonic Setting of the 2002 Molise, Italy, Earthquake. *Earthquake Spectra*, 20(S1): 23-37.
- Vannoli P., Bernardi, F., Palombo B., Vannucci G., Console, R. Ferrari, G. 2016- New constraints shed light on strike slip faulting beneath the southern Apennines (Italy): The 21 August 1962 Irpinia multiple earthquake- *Tectonophysics*, 691: 375-384 doi:[10.1016/j.tecto.2016.10.032](https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.10.032)
- Vezzani, L., Festa, A., Ghisetti, F.C., 2010. Geology and tectonic evolution of the Central-Southern Apennines, Italy. *Geological Society of America Special Paper*, 469.
- Zezza F., Merenda L., Bruno G., Crescenzi E., Iovine G. 1994. Condizioni di instabilità e rischio da frana nei comuni dell'Appennino Dauno pugliese. *Geologia applicata e idrogeologia*, XXIX, Bari.

Sitografia

- Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione dell'Ambiente (ISPRA): <https://www.isprambiente.gov.it/it>
- Dati ISTAT: dati-censimentipermanenti.istat.it
- Ministero della Transizione Ecologica: <https://www.va.minambiente.it>
- Portale del Servizio Geologico d'Italia: <http://portalesgi.isprambiente.it/it>
- Portale Ambientale della Regione Puglia: <https://www.regione.puglia.it/web/ambiente>
- Sistema Informativo Territoriale della regione Puglia: <http://www.sit.puglia.it/>
- Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR): <https://pugliacon.regione.puglia.it/web/sit-puglia-paesaggio/ambiti-paesaggistici>
- Repertorio Nazionale per gli Interventi di Difesa del Suolo: <http://www.rendis.isprambiente.it/rendisweb/>
- Sportello Telematico Unificato della Provincia di Foggia: <https://sportellotelematico.provincia.foggia.it/autorizzazione-sismica>
- Google Earth
- Sistema Puglia: <http://www.sistema.puglia.it/>
- Protezione Civile Microzonazione Sismica: <http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/attivita/microzonazione-sismica>
- Centro MS: <https://www.centromicrozonazione-sismica.it/it/>

- Portale informativo e cartografico della Microzonazione Sismica e della Condizione Limite per l'Emergenza: <https://www.webms.it/ms>
- Progetto IFFI: <https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/iffi-inventario-dei-fenomeni-franosi-in-italia>
- Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centro Meridionale sede Puglia: <https://www.adb.puglia.it/public/news.php>

Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore:
<http://adbpcn.regione.molise.it/autorita/index.html>