



Regione Umbria

Servizio Geologico

Andrea Motti¹

1. *Servizio Geologico, Regione Umbria, Perugia, 06124, Italy, amotti@regione.umbria.it*



Sant'Eutizio di Preci: vicissitudini tecniche e geologiche del posto dove è nato il monachesimo occidentale

Saint'Eutizio of Preci: technical and geological history of the place where western monasticism was born

INDICE

1 - Premessa	p. 1
2 - Cenni storici	p. 1
3 - Cenni geologici	p. 3
4 - Vicissitudini tecniche e geologiche a seguito degli eventi sismici del 2016	p. 5
• Attività dopo il 24 agosto 2016	
• Attività dopo il 30 ottobre 2016 fino al novembre 2016	
• Periodo dicembre 2016 - gennaio 2017	
• Periodo febbraio - marzo 2017	
• Periodo aprile - ottobre 2017	
• Periodo novembre 2017- giugno 2018	
• Periodo luglio 2018 - febbraio 2019	
• Periodo marzo 2019 - febbraio 2020	
5-Sintesi e conclusioni	p. 47
6-Bibliografia	p. 49

Allegati

- **Indagini geofisiche**
- **Studio paleo-sismologico**
- **Modellazione numerica della risposta sismica locale**

Un ringraziamento particolare per le collaborazioni:

- ai colleghi Marco Ognà, Norman Natali, Giacomo Ciancabilla e Marco Stelluti per la computergrafica, l'analisi GIS e l'utilizzo dei droni;
- al team dell'Osservatorio Sismico "Andrea Bina" per le indagini geofisiche;
- al team di INGV per le analisi paleosismologiche;
- alla Prof.ssa Floriana Pergalani del Politecnico di Milano per le modellazioni numeriche.

INDEX

1 - Introduction	p. 51
2 - History	p. 51
3 - Geological notes	p. 53
4 -Technical and geological events following the 2016 seismic earthquake	p. 55
• Activities after August 24, 2016	
• Activities after 30 October 2016 until November 2016	
• Period December 2016 - January 2017	
• Period February - March 2017	
• Period April - October 2017	
• Period from November 2017 to June 2018	
• Period July 2018 - February 2019	
• Period March 2019 - February 2020	
5-Summary and conclusions	p. 97
6-Bibliography	p. 99
Attachments	
• Geophysical investigations	
• Paleo-seismological study	
• Numerical modeling of the local seismic response	

Special thanks for the collaborations:

- to colleagues Marco Ognà, Norman Natali, Giacomo Ciancabilla and Marco Stelluti for computational graphics, GIS analysis and the use of drones;
- to the team of the "Andrea Bina" Seismic Observatory for geophysical investigations;
- the INGV team for paleo-seismological analyzes;
- to Prof. Floriana Pergalani of the Milan Polytechnic for numerical modeling.

1 – Premessa

L'Abbazia di Sant'Eutizio è un luogo particolare per il cristianesimo poiché è il posto dove è nato il monachesimo occidentale. Gli eventi sismici del 1979, 1997 e del 2016 hanno colpito l'Abbazia e di seguito si descriveranno le azioni tecniche effettuate dal personale del Servizio Geologico regionale durante e dopo gli eventi sismici del 2016. L'Abbazia di S. Eutizio è uno dei complessi monastici più antichi in Italia ed è sorta dove è nato il monachesimo occidentale.

2 - Cenni storici

Nel V e VI secolo, nella zona, ma in tutto l'Appennino, ci fu un intenso movimento eremitico spinto soprattutto dalla presenza di monaci siriani, fuggiti dalle persecuzioni e dalle lotte connesse ai grandi concili d'Oriente. Queste persone svilupparono uno stile di vita di tipo anacoretico, ma anche forme cenobitiche anticipando la Regola di San Benedetto, che sarebbe arrivata ben più tardi.

S. Gregorio Magno, nei "*Dialogorum*" (redatti circa nel 593), racconta che il padre venerando Spes fondò, intorno al 450 (all'inizio del dominio dei Goti) un monastero a Camplesse, nella valle detta anche Castoriana, vicino Norcia, un oratorio dedicato alla Vergine. Sicuramente si riferisce al luogo dove nel V sec., S. Spes, con un gruppo di altri eremiti sparsi nella zona, si erano stanziati in vicinanza di una copiosa sorgente che scaturisce tutt'oggi. Dai Dialoghi si deduce che gli eremiti erano organizzati secondo la Regola Basiliana che prevedeva la riunione in «laure» di 12 eremi intorno ad un oratorio dove un superiore li dirigeva spiritualmente. Sebbene il termine usato da Gregorio per quei ricoveri fosse "*monasterum*", dobbiamo pensare a povere capanne, di modestissime proporzioni, spesso semplici cavità scavate nella roccia, in cui i penitenti vivevano in assoluta povertà, meditazione e preghiera. Alla morte di Spes, un suo discepolo, Eutizio, che conduceva la sua vita di ascesi insieme al compagno Fiorenzo in un eremo poco distante nell'alta valle della Guaita, per le sue grandi virtù divenne la guida spirituale del cenobio. La comunità ebbe un notevole impulso ed in questo periodo venne eretto il primitivo monastero e la chiesa nella quale alla sua morte vennero deposte le spoglie di S. Eutizio. Quando arrivò dal suo eremo (poco distante dall'attuale Abbazia Eutizio) ricavò la sua cella tra alcune grotte esistenti nel masso di travertino e che sono ancora visibili. Costruì poi la chiesa, che subirà successivi ampliamenti e rifacimenti ed in essa raccolse le spoglie del compagno Spes. Secondo lo Iacobilli il monastero fu fondato nell'anno 536, quando Eutizio ne divenne abate "...e per esserne stato ampliatore, fu il monastero intitolato al suo nome" (Iacobilli). Da quella data in poi le notizie sono molto frammentarie, ma è probabile che già verso l'anno 1000 costituisse il maggior centro politico ed economico della zona. Nel contesto infatti di grande degrado economico e culturale i monaci benedettini ebbero un ruolo decisivo: essi assunsero direttamente il ministero della cura delle anime e di salvezza economica delle popolazioni rurali, sviluppano la loro funzione sociale legata alla regola dell'*ora et labora*, danno vita ad una vera e propria opera di colonizzazione del territorio sul piano spirituale, culturale ed economico. Attorno all'Abbazia ruotava la vita delle comunità circostanti Acquaro, Valle, Collescille (paesi fondati dagli stessi monaci) che insieme al monastero costituirono un organismo civile e religioso, la Guaita di S. Eutizio.

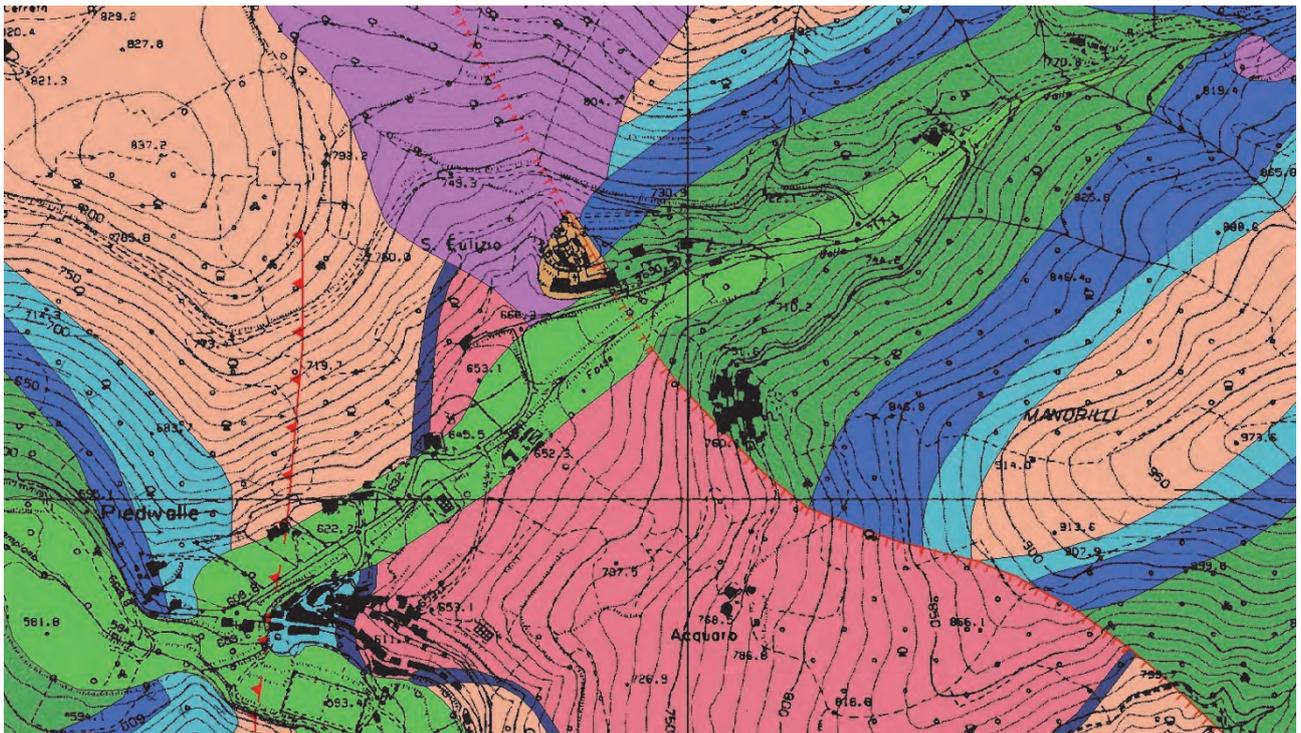
Col termine «guaita», dal longobardo "*waita*", si indicavano le «ville» sorte attorno ad un oratorio monastico, con la funzione della produzione agricola, allevamento e sfruttamento del bosco, ma anche della difesa: infatti il termine significa anche guardia. Gli abitanti vi erano organizzati in *communitates* col nome moderno di Comunanze.

Ugualmente i monaci promossero un considerevole numero di eremi e cenobi che in seguito si trasformeranno in oratori, pievi, cappelle. Lo stile di vita di questi monaci presentava molte affinità con la Regola di S. Benedetto ed in seguito la adottarono definitivamente. Anzi si può dire senza ombra di dubbio che furono proprio loro ad ispirare lo stile di vita che poi sfociò nella Regola di San Benedetto; l'infanzia e l'adolescenza del santo, nato nel 480, fu marcata dall'esperienza di quei monaci che vivevano nell'area del suo territorio; S. Spes, aveva l'asceterio nella valle di Monte Cardosa, Sant'Eutizio praticava l'eremitaggio nelle grotte scavate nel travertino del complesso abbaziale e S. Fiorenzo, e aveva l'eremo presso villa Collescille e tutti erano famosi in tutta la valle di Norcia. Eutizio morì nel maggio del 540 e la sua fama di santità aveva già richiamato numerosi discepoli, avviando il monastero ad un lungo futuro di prosperità materiale e spirituale. Grazie alle numerose donazioni dei duchi di Spoleto, dopo la loro conversione al cristianesimo, ai privilegi concessi dagli imperatori cattolici, alle concessioni pontificie e vescovili il territorio di influenza dell'abbazia divenne molto vasta e la proprietà fondiaria da essi accumulata assunse un ruolo di forte promozione economica. Il paesaggio della rurale ne venne modificato: gli insediamenti monastici prediligevano le sponde dei fiumi di fondovalle, le zone insalubri da bonificare, gli ambiti isolati e difficilmente accessibili; questa dislocazione rifletteva un indirizzo strategico: è nelle zone rurali impervie che si poteva affermare la separatezza, ereditata dal movimento eremitico, ed il primato della vita contemplativa; ma al tempo stesso l'insediamento nella campagna permetteva di esercitare il controllo e la gestione di vasti territori, la cui estensione offriva la misura del potere temporale dei monasteri. Il monastero era al tempo stesso una grande azienda dell'antichità e svolse un ruolo fondamentale nell'organizzazione economica ed amministrativa, promuoveva la colonizzazione di territori anche vasti ed esercitava anche una pressione politica e militare. L'appoggio che il movimento monastico ebbe dai re e dai duchi longobardi, dopo la loro conversione al cattolicesimo nel corso dell'VII sec., costituì un potente strumento di forza e di espansione in tutto il comprensorio. Nel 1115 il feudo di S. Eutizio possiede, nel territorio di Spoleto, Ascoli e Teramo ben 35 chiese oltre a numerosi altri edifici ecclesiali sorti sotto il titolo eutiziano: fra questi la pieve di Visso, officiata da un "*monachus plebanus*" diretto dipendente dell'abbazia. Il territorio soggetto alla giurisdizione ecclesiastica di S. Eutizio, nel periodo della sua maggiore prosperità fra il IX ed il XIII secolo, riguardava varie zone dell'Italia centrale: nell'Umbria (Norcia, Cascia, Spoleto, Foligno, Nocera Umbra; in Abruzzo (Teramo, L'Aquila, Sulmona); in Sabina (Leonessa e Rieti) e nelle Marche, dove, risalendo le vallate di Visso, Ussita, Castelsantangelo, i monaci si spinsero a Camerino, Jesi, Senigallia e nell'ascolano dove Farfa ne limitò l'espansione (Paoloni 15). Nel 1180, l'abate Teodino I, diede inizio ai lavori per il restauro e l'ampliamento della chiesa: come attestato dall'iscrizione nella lunetta del portale romanico, l'opera si concluse nel 1236, sotto il successore Teodino II (Abate) che nel 1200 fece realizzare il rosone, tipico del romanico umbro, con i simboli degli evangelisti. Dell'antica struttura rimase ben poco, solo due colonne con capitelli che sostengono la volta della cripta e le colonnine a fascio dell'antico tabernacolo. La decadenza dell'abbazia ebbe inizio con la fine del XII secolo e tra il 1257 e il 1259 le ultime terre furono donate al Comune di Norcia. Nel XIV secolo l'abbazia perse la sua autonomia a vantaggio del Rettore del Ducato Spoletino e dopo varie vicissitudini secolari l'abbazia passò nel XV secolo agli abati commendatari di cui gli ultimi furono i vescovi di Norcia. Nel 1451, il monastero fu dato in commenda a Niccolò V, anche se vi rimasero i Benedettini fino al 1568. Una ripresa si ebbe al tempo della gestione dell'abate commendatario Giacomo Crescenzi (1586-1638) che nel 1599 realizzò una serie di interventi strutturali rammentati dalla memoria lapidea incastonata in uno dei muri del piazzale oltre che dagli stemmi e dalle decorazioni di alcuni architravi. Lo stesso abate Crescenzi, con l'approvazione di papa Clemente VIII, fece trasferire a Roma presso la Biblioteca Vallicelliana i preziosi codici conservati nella biblioteca monastica.

Altri codici sono oggi custoditi dalla Pinacoteca di Spoleto, altri ancora alla Cancelleria Vescovile di Spoleto. I codici rivelano l'esistenza in loco di uno "scriptorium" di alto livello e di una scuola di miniaturisti particolarmente attiva fra i secoli X e XII. Tra i suoi documenti è emerso un importante testo in volgare italiano, databile al 1095 che risulta di molto antecedente alle Laudi dei Disciplinati e al Cantico delle Creature di San Francesco. Gli *scriptoria* erano laboratori comuni e rappresentavano una forma di produzione organizzata. Il lavoro dei copisti e degli alluminatori era suddiviso secondo i vari compiti; si distinguevano oltre ai pittori (*miniaturres*) i maestri esperti di calligrafia (*antiquarii*) e i loro aiutanti (*scriptores*) e i pittori di iniziali (*rubricatores*). Gli *scriptoria* impiegavano amanuensi salariati, ossia laici che lavoravano un po' a casa propria, un po' nel monastero. Per capire l'eccezionalità del lavoro del monastero basti pensare che in quel periodo il mondo occidentale perdeva progressivamente non solo la concezione della parola scritta ma soprattutto la capacità di organizzare il tempo ed il lavoro. La stessa conservazione dei testi latini e greci si deve alla capacità dei monaci eutiziani di saper organizzare la divisione del lavoro, come principio fondamentale della produzione dei beni. La biblioteca rimase intatta in loco fino al 1605. L'opera dei monaci benedettini non era rivolta solamente all'interno del monastero: alla bonifica della spiritualità, essi unirono la bonifica del mondo che li circondava, diffondendo la loro regola di vita e la razionalità della divisione del lavoro. I monaci svolsero un vero e proprio ruolo di riorganizzazione delle campagne con la creazione di una rete di collegamenti, la bonifica di aree degradate, la creazione di centri di aggregazione di vita delle popolazioni rurali. Va ricordato inoltre che i monaci di S. Eutizio furono anche i promotori di un'importante scuola chirurgica che ebbe come centro di sviluppo Preci e fiorì dal XIII fino al XVIII secolo.

3-Cenni geologici

La zona in cui sorge l'Abbazia di Sant'Eutizio fa parte del settore centro-occidentale dell'Appennino Umbro-Marchigiano in cui affiorano esclusivamente le rocce della successione carbonatica umbro-marchigiana, dal Calcere Massiccio (Lias inferiore) fino al Bisciario (Miocene inferiore). In questo settore le strutture compressive mantengono direzioni comprese tra nord-sud e nord20° e sono costituite da ampie anticlinali a scatola, che sovrascorrono verso estnordest su strette e profonde sinclinali. In questa zona l'Appennino è caratterizzato da sovrascorrimenti con geometria arcuata, dislocati da faglie dirette con direzione compresa tra nordnordovest-sudsudest e nordovest-sudest.



Estratto dalla banca dati della cartografia geologica regionale su base CTR.



Estratto dalla banca dati della cartografia geologica regionale su base ortofoto 2011.

La storia deformativa dell'area riflette quella della intera catena appenninica, articolandosi in tre fasi principali:

- una fase estensionale sinsedimentaria, che accompagna la deposizione della successione di margine continentale passivo, estendendosi dal Giurassico al Paleogene;
- una fase compressiva, responsabile della strutturazione dell'edificio a pieghe e sovrascorrimenti e dei bacini di avampaese, databile in questo settore al Miocene superiore;

- una fase estensionale recente, caratterizzata da sistemi di faglie dirette con direzioni da nordovest-sudest a nordnordovest-sudsudest, e direzione di massima estensione antiappenninica (sudovest-nordest), iniziata nel Pliocene medio e tuttora in atto con tassi medi di spostamento misurati da satellite di circa 2mm/anno.

La fase tettonica estensionale è tuttora attiva e le strutture sismogenetiche ad essa relazionate sono responsabili dei terremoti che hanno interessato e che interessano l'area appenninica in cui è ubicata l'Abbazia, gli ultimi sismi in ordine di tempo sono quelli verificatesi nel 1979, 1997 e 2016.

Nei rilievi appenninici il rilievo è fortemente condizionato dalla struttura a pieghe delle anticlinali rovesciate e delle strette sinclinali che si susseguono in direzione appenninica. Le dorsali mostrano una sezione asimmetrica con i versanti occidentali, dove affiorano gli strati a franapoggio (più inclinato del pendio), a pendenza minore di quelli orientali, dove l'affioramento dei fronti di sovrascorrimento e l'assetto degli strati rovesciati a prevalente reggipoggio creano le condizioni per una maggiore acclività dei versanti. Lungo le linee d'impluvio di bacini acclivi e arealmente limitati si realizzano eventi di colate di detrito (*debris flows*) per la presenza di coltri detritiche che si ritrovano frequentemente alla base di versanti con substrato calcareo (in particolare sulle formazioni rocciose della Scaglia Bianca, Scaglia Rossa e Maiolica).

La rete idrografica mostra un generale approfondimento per erosione lineare con valli incassate e le portate dei corsi d'acqua, cospicue e costanti, alimentano, in periodi di intensa piovosità, estesi alluvionamenti i cui ultimi significativi eventi si sono verificati agli inizi del '900. Le cause, oltre a periodi di elevata intensità piovosa sembrano essere imputabili ad azioni antropiche legate ad indiscriminate opere di disboscamento che precedeva l'uso agricolo dei suoli all'inizio del secolo scorso e che incrementava i processi di erosione e dilavamento del suolo e l'aumento del deflusso superficiale verso i principali collettori.

Sono presenti depositi travertinosi che si sono depositati in ambienti fluviali, in corrispondenza di gradini e salti di origine morfotettonica (cascate) e di piccoli bacini lacustri sviluppatasi entro le valli ed ormai scomparsi, mentre di minore importanza sono i fenomeni, ancora attivi, di precipitazione chimica di acque sorgive, talvolta termominerali, sovrassature in carbonato di calcio.

Sono facies che sono per lo più di tipo fitoermale e microermale, con associate ampie formazioni di natura stromatolitica o massiva, accumuli laminari di carbonati di calcio, facies fitoclastiche di alta energia con sabbie e limi lacustri di retrocascata e/o di ambienti ristretti. Lo spessore dei depositi varia da pochi metri fino a qualche decina. I limi calcarei possono essere localmente ricchi di associazioni di molluschi, più raramente con lamelibranchi dulcicoli.

4 - Vicissitudini tecniche e geologiche a seguito degli eventi sismici del 2016

Attività dopo il 24 agosto 2016

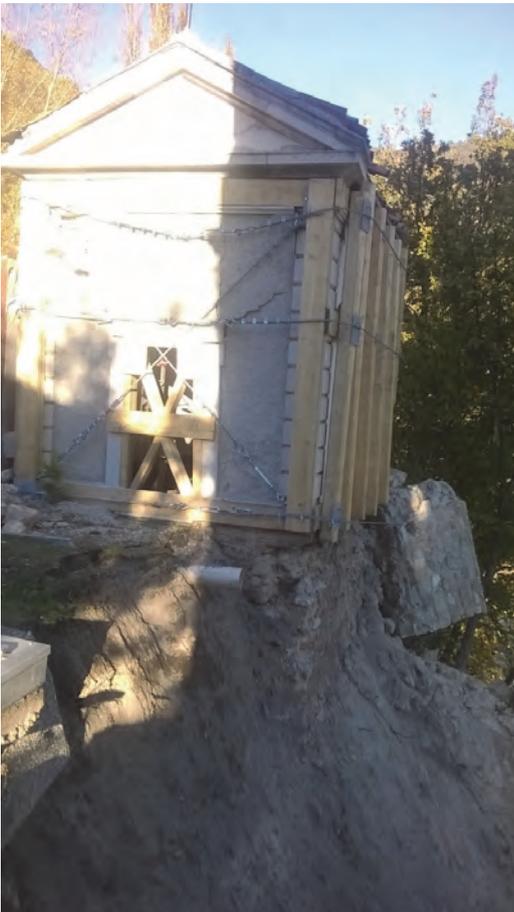
L'evento sismico del 24 agosto 2016, di magnitudo 6.0 con ipocentro tra Amatrice e Norcia, causò danneggiamenti al cimitero soprastante l'Abbazia, al campanile presente nel cimitero e alla piastra di travertino con il distacco di alcuni massi di travertino che precipitarono sul sottostante tetto dell'Abbazia.

I geologi del Servizio Geologico regionale intervennero subito in fase di emergenza individuando le problematiche, i dissesti verificatesi e i pericoli incombenti per le strutture facendo adottare le precauzioni per la tutela dell'incolumità delle persone.

Le strutture furono subito dichiarate inagibili e vennero individuate le attività da eseguire nell'immediato per eliminare le situazioni di pericolo come ad esempio il "cerchiaggio" di alcune edicole funerarie per non farle cadere nella sottostante Abbazia.



Edicola funeraria cerchiata in equilibrio instabile.



Particolare dell'edicola funeraria cerchiata in equilibrio instabile.



Fratture sul basamento del campanile.



Fratture sul basamento del campanile.



Campanile con fratture.



Fratture sul terreno del cimitero di Sant'Eutizio.



Crollo di edicole funerarie.



Struttura seminariale danneggiata dal crollo delle edicole funerarie e di parte della piastra di travertino.

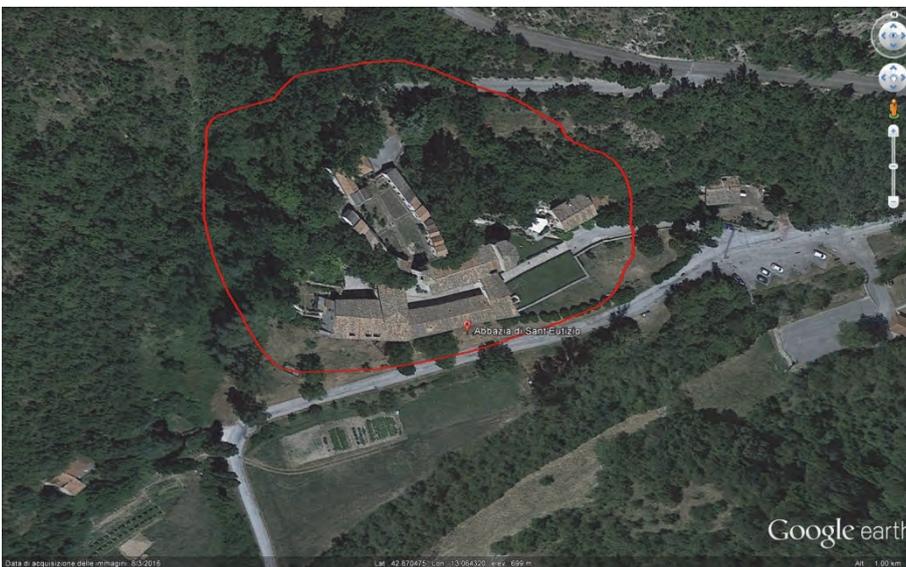
Attività dopo il 30 ottobre 2016 fino al novembre 2016

L'evento sismico del 30 ottobre 2016, di magnitudo 6.5 con epicentro praticamente nei pressi dell'Abbazia di Sant'Eutizio, causò il crollo dalla piastra tufacea su cui era fondato il campanile con il crollo catastrofico della stessa e di gran parte del cimitero sopra la struttura seminariale e l'Abbazia di Sant'Eutizio. Nei 2 mesi successivi si cercarono di definire i rischi immediati, indotti e potenziali, in quanto non si sapeva quante migliaia di metri cubi di travertino erano in procinto di crollare e le modalità con la quale poter recuperare circa 80 salme che si trovano nella parte di cimitero che era crollato. Vi era la necessità di poter intervenire il prima possibile sul posto con geologi che erano in grado di lavorare in condizioni di rischio elevato ed in condizioni ambientali particolari dovute alla presenza di salme in decomposizione che erano frammiste ai massi di travertino ed ai detriti vari, anche in altezza sulla parete che continuava a crollare. Nello stesso posto in poche centinaia di metri quadrati erano presenti molte criticità:

- sorgente di approvvigionamento dell'acquedotto del Comune di Preci con opera di presa danneggiata;
- cimitero di Sant'Eutizio con edicole funerarie danneggiate e crollate;
- metà cimitero di Sant'Eutizio crollato insieme al campanile e a migliaia di metri cubi sopra la struttura seminariale;
- crollo dell'Abbazia di Sant'Eutizio;
- definizione dello stato di incipiente crollo per le rimanenti strutture dell'Abbazia e della struttura seminariale;
- pinnacoli di travertino in procinto di crollare sulle rimanenti strutture seminariale e dell'Abbazia;
- funzionalità strutturale delle precedenti opere di consolidamento fatte nella piastra di travertino da controllare (pozzo di grande diametro con tiranti di tipo passivo);
- pareti di travertino in equilibrio instabile;
- detriti di crollo frammisti a salme, residui di salme, detriti del crollo dell'Abbazia.

Tutte queste criticità coinvolgevano praticamente qualsiasi struttura pubblica esistente come competenza in uno spazio ridottissimo non solo in senso areale ma anche verticale:

- Sistema di Protezione Civile
- Vigili del Fuoco
- Comune di Preci
- Regione Umbria
- Valle Umbra Servizi
- Soprintendenza Archeologica, Belle arti e Paesaggio dell'Umbria
- Arcidiocesi di Spoleto-Norcia
- Asl



Sant'Eutizio prima del 24 agosto 2016.



Sant'Eutizio dopo il 30 ottobre 2016.



Immagine ripresa da elicottero dopo il 30 ottobre 2016.



Vista da est dei crolli avvenuti il 30 ottobre 2016.



Vista dall'interno dell'Abbazia dei crolli avvenuti il 30 ottobre 2016.



Vista da ovest all'interno dell'area dei crolli avvenuti il 30 ottobre 2016.



Vista da ovest all'interno dell'area dei crolli avvenuti il 30 ottobre 2016.



Resti di salme all'interno dell'area dei crolli avvenuti il 30 ottobre 2016.



Resti di salme all'interno dell'area dei crolli avvenuti il 30 ottobre 2016.

Periodo dicembre 2016-gennaio 2017

In questi due mesi vennero effettuati i rilievi e i monitoraggi possibili cercando di recuperare i dati di conoscenza relativi agli interventi di miglioramento e bonifica degli edifici fatti negli anni 2000. Oltre ai dati tecnici che venivano raccolti ed elaborati, in tempo reale e con modalità semplificate decise immediatamente sul campo, venne fornita anche assistenza ai tecnici incaricati dalla Procura di Spoleto che stava raccogliendo informazioni. I rilievi ed i monitoraggi riguardarono le pareti di travertino che continuavano a crollare, la verifica della staticità del pozzo di grande diametro con tiranti passivi e la realizzazione di una base topografica affidabile di dettaglio.

Per quanto riguarda i rilievi delle pareti di travertino, che continuavano a crollare, vennero immediatamente messi in posto monitoraggi semplici mediante punti fissi con rilievo a cadenza prima giornaliera e poi settimanale, misurati direttamente sul posto, oltre ad eseguire un rilievo geologico-strutturale. Le condizioni climatiche erano abbastanza difficoltose poiché ci furono bufere di neve e venti forti tali anche da danneggiare i droni utilizzati interrompendo quindi l'acquisizione dei dati fino al ripristino da parte di tecnici specializzati.



Cimitero di Sant'Eutizio.



Stazione di controllo del drone.



Drone in volo.



Stazione di controllo di telecamera a filo.

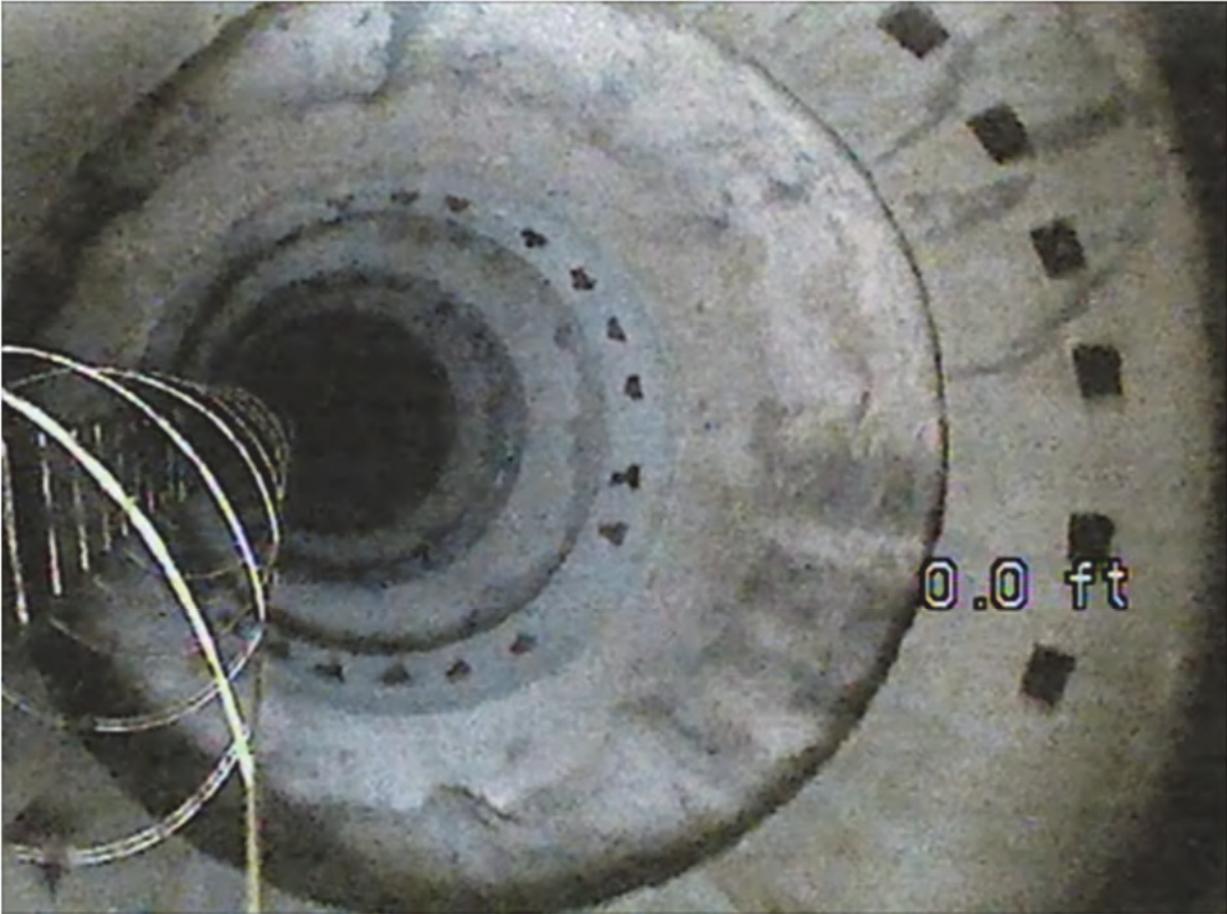


Immagine della ripresa effettuata all'interno del pozzo di grande diametro.



Installazione di monitoraggi speditivi nell'area cimiteriale.



Installazione di monitoraggi speditivi all'interno delle grotte di travertino.



Installazione di monitoraggi speditivi sulla parete di travertino.

Periodo febbraio-marzo 2017

In questi due mesi vennero elaborati tutti i dati raccolti che permisero la valutazione dello stato della situazione dell'area e la proposta degli interventi e delle azioni da mettere in atto, condividendole con tutti gli Enti. Di seguito sono riportate alcune sintesi delle attività fatte.

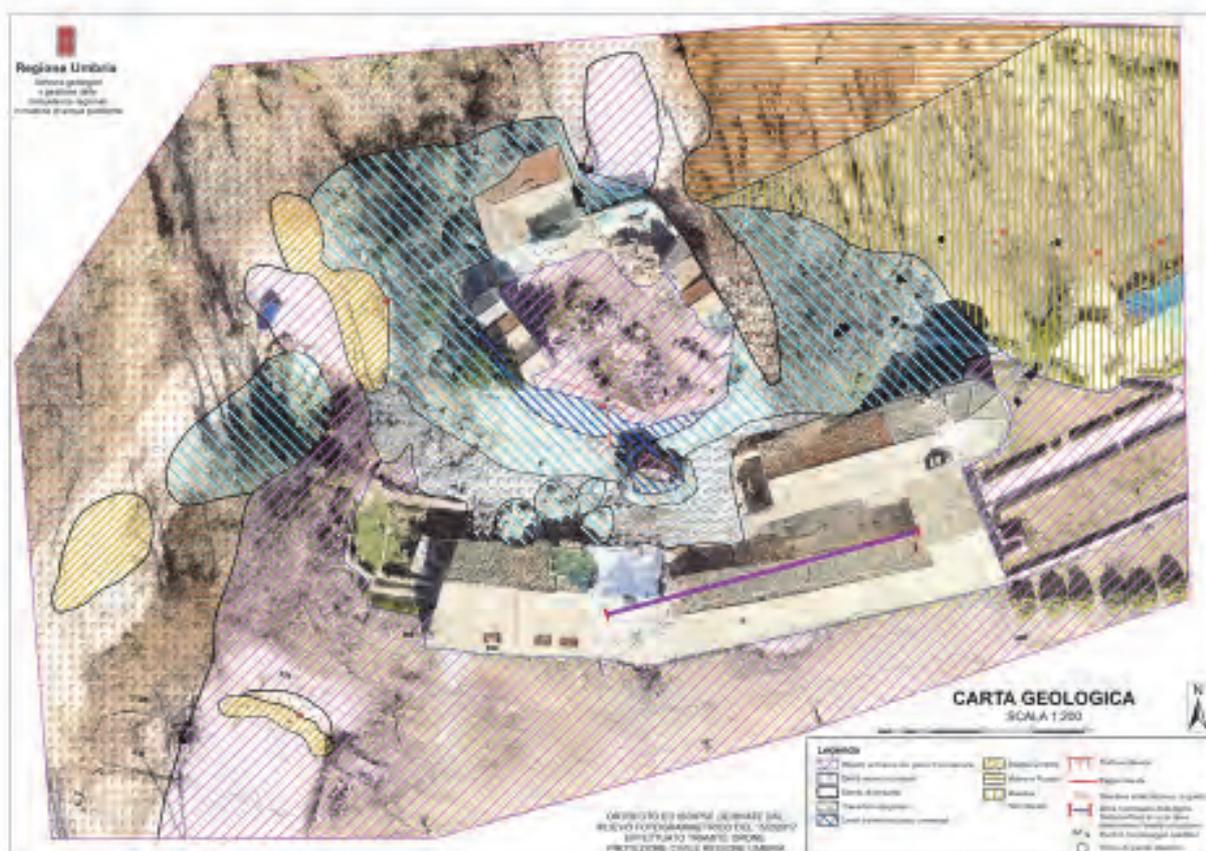


Gruppo di lavoro durante le attività emergenziali.

ATTIVITÀ FATTE

- Planimetria ottenuta mediante apposito volo di drone della protezione civile della Regione Umbria;
- Rilievo geologico-strutturale;
- Monitoraggio speditivo continuo delle fratture;
- Calcolo dei volumi crollati;
- Calcolo del volume del pinnacolo roccioso;
- Ispezione del pozzo di grande diametro con telecamera della protezione civile della Regione Umbria;
- Informazioni sul pozzo di grande diametro.

- Planimetry obtained by special drone flight of the civil protection of the Umbria Region;
- Geological-structural survey;
- Continuous rapid monitoring of fractures;
- Calculation of collapsed volumes;
- Calculation of the volume of the rocky pinnacle;
- Inspection of the large diameter well with civil protection camera of the Umbria Region;
- Information on the large diameter well.



PARETE SOTTOSTANTE IL CIMITERO



PINNACOLO TRAVERTINOSO-LATO OVEST



PINNACOLO TRAVERTINOSO-LATO EST



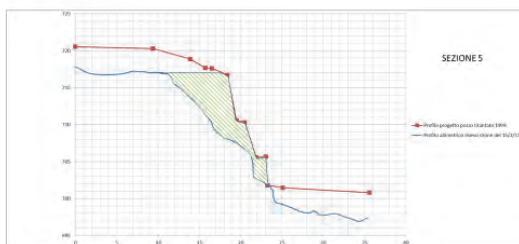
	DATA	A1	A2	A3	B1	B2	B3	PIOVOSITA' mm
1	giovedì 16 febbraio 2017							0
2	venerdì 17 febbraio 2017							0
3	sabato 18 febbraio 2017							0
4	domenica 19 febbraio 2017							0
5	lunedì 20 febbraio 2017							2,4
6	martedì 21 febbraio 2017							0
7	mercoledì 22 febbraio 2017							0
8	giovedì 23 febbraio 2017							0
9	venerdì 24 febbraio 2017							0
10	sabato 25 febbraio 2017							1,4
11	domenica 26 febbraio 2017							0
12	lunedì 27 febbraio 2017							0
13	martedì 28 febbraio 2017							0
14	mercoledì 1 marzo 2017							0,4

Calcoli di volumi crollati e del pinnacolo travertinoso

Con i dati a disposizione sono state fatte le stime di volumi di materiale crollato dalla rupe che sono stati stimati in circa 1.200 metri cubi. Si è eseguito il calcolo del volume del pinnacolo travertinoso che è stato stimato in circa 470 metri cubi.



UBICAZIONE SEZIONI COME DA PROGETTO 1999
BASE ORTOFOTOCARTA RILIEVO DRONE DEL
15 FEBBRAIO 2017



Cause predisponenti dei crolli

A seguito dei rilievi effettuati si sono individuate le cause predisponenti ai crolli maggiori avvenuti oltre alle forze sismiche durante i terremoti. La principale causa che ha innescato i crolli e che ha generato il pinnacolo travertinoso, che si è mosso verso valle, è la presenza della faglia e delle fratture beanti che hanno sicuramente causato il distacco totale del pinnacolo travertinoso. Lungo alcune di queste fratture sono ben visibili le superfici di scivolamento con gli indicatori cinematici. Altra causa predisponente è la disomogeneità della rupe travertinoso composta da due diverse unità con caratteristiche geomeccaniche e geometriche molto diverse e la presenza di accumuli antropici disomogenei aventi spessori di più metri.

Definizione a "giudizio esperto" delle proposte degli interventi da effettuare in sicurezza da parte dei VVF per rimuovere il pinnacolo travertinoso in equilibrio precario ed incombente sull'Abbazia di Sant'Eutizio.

Date le condizioni rilevate ed a seguito del monitoraggio effettuato e delle valutazioni geologico-strutturali è stata indicata la zona che attualmente è a rischio molto elevato per poter fare gli interventi di emergenza. Per poter rimuovere le condizioni di rischio molto elevato vengono indicati gli interventi da effettuare in ordine cronologico:

- 
- Intervento 1:** rimozione salme ed edicole, rimozione macerie accatastate, smantellamento edicole e bonifica parete sopra la grotta ovest.
 - Intervento 2:** puntellatura grotta ovest, rimozione salme dal piano di inumazione.
 - Intervento 3:** abbassamento parete a monte del pinnacolo mediante completa rimozione del piano di inumazione e successiva rimozione dei livelli travertinosi poco cementati.
 - Intervento 4:** smantellamento parte superiore e mediana del pinnacolo del ripiano creato abbassando la parete.
 - Intervento 5:** rimozione materiale detritico e massi crollati e recupero materiale abbazia.
- Durante i lavori di abbassamento della parete si dovrà controllare l'esistenza di altre fratture aperte.*





Tutti gli Enti del gruppo di lavoro inter-istituzionale, che nel frattempo si era costituito, condivisero le valutazioni fatte dal Servizio Geologico regionale. Tali valutazioni vennero prese in carico dalle strutture operative nazionale dei Vigili del Fuoco per l'analisi e la predisposizione del progetto di intervento.

Periodo aprile-ottobre 2017

In questo periodo le diverse strutture operative dei vari Enti valutarono le possibili attività che potevano essere fatte; furono effettuate diverse attività mentre altre non poterono essere fatte.

Estumulazione delle salme (Comune di Preci), messa in sicurezza dell'accesso dell'Abbazia (Arcidiocesi di Spoleto-Norcia), impossibilità operativa per l'abbattimento del pinnacolo di travertino in equilibrio precario (Vigili del Fuoco); assistenza operativa per tutte le fasi previste (Servizio Geologico regionale).

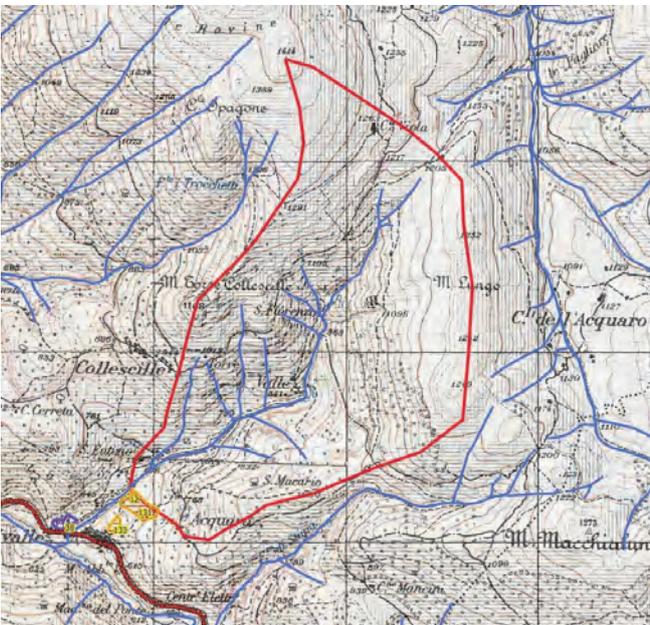
Il Servizio Geologico regionale individuò inoltre nell'ottobre aree a rischio di alluvionamento e di colate di detrito lungo l'asta del fosso della Valle anche tramite modellazioni numeriche delle linee di flusso.



Piano di inumazione cimiteriale dopo la rimozione delle macerie e delle salme.



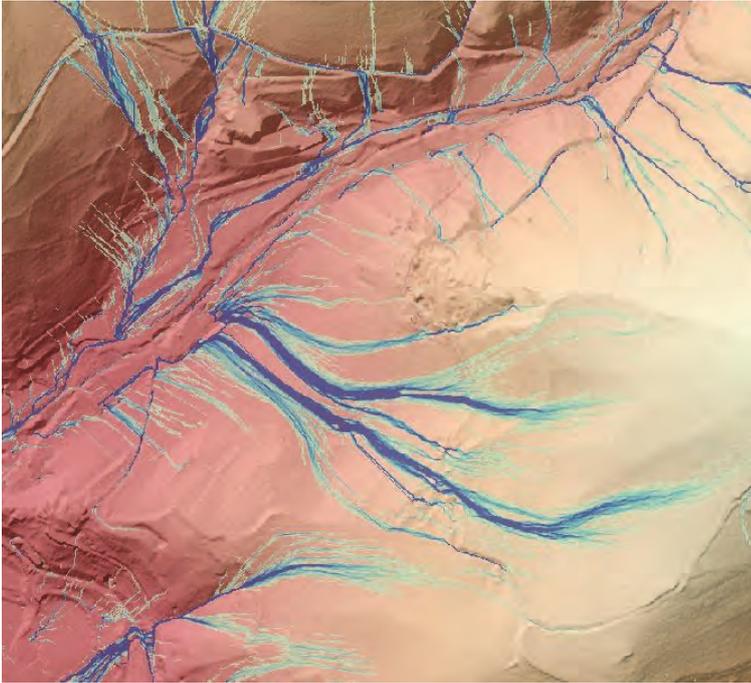
Prime attività di messa in sicurezza dell'Abbazia di Sant'Eutizio.



Bacino idrografico del fosso della Valle.



Frane di detrito causate dall'evento sismico del 30 ottobre 2016.



Linee di flusso individuate tramite modellazione numerica su base dtm.



Linee di flusso individuate tramite modellazione numerica su base ortofoto.

Periodo novembre 20107-giugno 2018

Il Comune di Preci indisse una gara per individuare il progettista e la ditta per l'abbattimento in sicurezza del pinnacolo di travertino in equilibrio precario che non permetteva di poter effettuare tutti gli interventi di messa in sicurezza. Il Servizio Geologico regionale attivò un protocollo d'intesa con l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia definendo una specifica attività operativa per la valutazione della presenza di faglie attive a capaci interferenti con l'Abbazia di Sant'Eutizio.

Vennero abbattute le edicole funerarie pericolanti da parte del Comune di Preci. L'Arcidiocesi di Spoleto-Norcia, con i fondi emergenziali messi a disposizione, fece i primi interventi di messa in sicurezza dell'abside e del paramento esterno della struttura seminariale per fermare i processi che stavano portando al collasso delle strutture.



Prime attività di messa in sicurezza dell'Abbazia di Sant'Eutizio.



Inizio attività per evitare il crollo del paramento murario esterno della struttura seminariale.

Per l'abbattimento del pinnacolo di travertino si installò un sistema di monitoraggio per la sicurezza degli addetti al cantiere.

Il sistema di monitoraggio era basato su un radar interferometrico terrestre capace di fornire misure con accuratezza millimetrica senza la necessità di installare alcun riflettore sul versante e un sistema di allertamento finalizzato alla generazione di allarmi che avrebbero segnalato il possibile verificarsi di un evento deformativo potenzialmente in grado di interessare l'area delle operazioni di demolizione.



Punto di installazione del radar e area controllata.



Installazione passerella ancorata all'interno del pozzo di grande diametro.

L'attivazione degli allarmi avrebbe indicato la necessità di evacuazione dell'area di cantiere da parte delle maestranze presenti in tale zona.



Alcuni dei punti fissi per verifiche di supporto del monitoraggio.

Venne definito un gruppo tecnico a supporto della valutazione delle condizioni di stabilità dei versanti nell'area del cantiere, costituito da rappresentanti delle diverse realtà coinvolte nel progetto di messa in sicurezza della rupe (CSE Ing. Marco Balducci; dal rappresentante legale di Geoapp srl, società fornitrice del sistema di monitoraggio, Dott. Paolo Farina; dal rappresentante del Servizio Geologico della Regione Umbria dott. Andrea Motti e condivisa in data 02/05/2018 con i rappresentanti ed i lavoratori dell'impresa dopo l'esecuzione di prove di test di funzionamento).

Attivazione dell'allarme:

A) Per i punti posizionati sulla parete (Punti 4, 5, 6, 7 e 8) al raggiungimento delle seguenti velocità:

- Livello allarme giallo: 1.5 mm/h lungo la LOS
- Livello allarme rosso: 3.0 mm/h lungo la LOS

B) Per i punti posizionati sul pinnacolo (Punti 1, 2, 3 e 11 di Figura 4) al raggiungimento delle seguenti velocità:

- Livello allarme giallo: 3.0 mm/h lungo la LOS
- Livello allarme rosso: 5.0 mm/h lungo la LOS

Modalità di allertamento: segnalazione acustica (a un volume pari a 120 dB) e visiva tramite sirena dotata di luci al led sui fianchi della valigetta posizionata nell'area di cantiere ad una distanza inferiore ai 10 m dagli operatori, con le seguenti differenze:

- Livello allerta giallo: segnalazione acustica e visiva interrotta da pause della durata di 5 secondi ciascuna.
- Livello allerta rosso: segnalazione acustica e visiva continua (senza interruzioni).

Modalità di notifica: via email ai lavoratori ed ai rappresentanti dell'impresa, ai responsabili della sicurezza del cantiere, al progettista dell'intervento, ai responsabili della Regione Umbria, ai responsabili del Comune di Preci ed al personale di Geoapp s.r.l.

Durata dell'allarme: l'allarme rimarrà attivo dal superamento delle soglie fino a quando non verrà disattivata la sirena manualmente dai lavoratori.

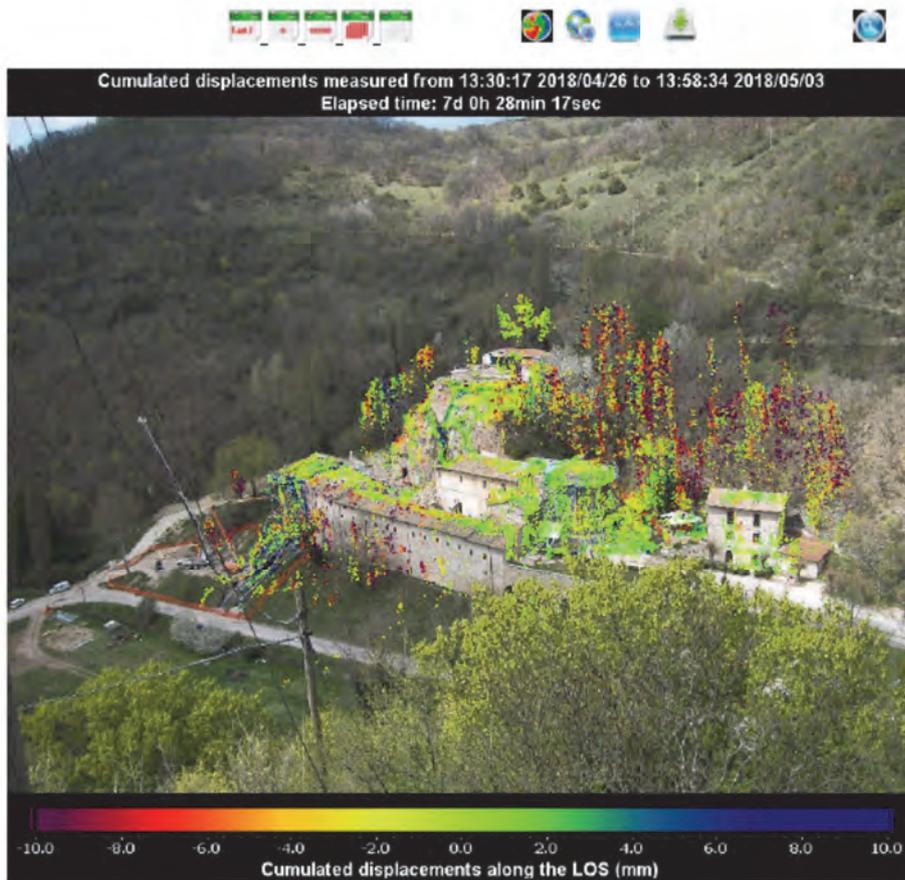
Principali procedure di allertamento

- Sul luogo del Cantiere viene predisposto un "punto di raccolta" da parte del Responsabile della Sicurezza del cantiere, in prossimità dell'ingresso al cantiere stesso. Tale "punto di raccolta" è segnalato con appositi segnali.
- Al suono della sirena, che indica l'attivazione degli allarmi del sistema radar, sia in caso di allarme giallo (corrispondente a segnalazione acustica e visiva interrotta da pause della durata di 5 secondi ciascuna) che in caso di allarme rosso (segnalazione acustica e visiva continua) il personale presente all'interno della zona di cantiere dovrà evacuare tale area raggiungendo nel più breve tempo possibile il "punto di raccolta".
- Il rientro dalla fase di allarme avverrà solo dopo un riscontro via telefono, seguito da conferma via email, da parte del "gruppo tecnico" che dovrà valutare, dopo attenta osservazione dei dati del radar ed eventuale sopralluogo (in caso di allarme rosso), il livello di criticità presente in sito ovvero indicare se sia trattato di eventuale falso allarme.

I lavori di abbattimento del pinnacolo vennero svolti nei tempi previsti e nella massima sicurezza monitorata.

Durante le attività di monitoraggio si scoprì che lo stesso poteva essere utilizzato anche per controllare l'effetto della travatura d'acciaio del paramento murario esterno della struttura seminariale. Tali informazioni furono rese di immediato utilizzo fornendole ai progettisti che non avrebbero mai pensato di poter avere a disposizione un monitoraggio in tempo reale delle strutture murarie mentre stavano facendo gli interventi. I punti in blu indicano che la distanza aumenta e quindi che il paramento viene spinto dalla travatura di acciaio che svolge il suo compito evitando il collasso.

"Preci Monitoring"



Primi giorni di monitoraggio. Da notare i punti blu presenti all'estremità del paramento murario della struttura seminariale e i punti rossi al centro dello stesso.



Calata dall'alto degli operatori incaricati della rimozione del pinnacolo di travertino.



Pinnacolo di travertino in fase di disgregazione.



Visione all'interno dell'area dopo la rimozione del pinnacolo di travertino.



Visione dell'area dopo la rimozione del pinnacolo di travertino.

Periodo luglio 2018-febbraio 2019

Dall'estate 2018 ai primi mesi del 2019 vennero fatte alcune attività in attesa che i detriti e le macerie presenti nella corte interna dell'Abbazia venissero tolte, dall'Arcidiocesi di Spoleto-Norcia con l'ausilio della Soprintendenza (SABAP dell'Umbria), separando i materiali di interesse storico dai detriti travertinosi crollati ancora presenti resti di salme. Si trattò prevalentemente di accertamenti sulla possibilità dell'utilizzo delle aree e di indagini di tipo geofisico.

Il Servizio Geologico regionale definì nel febbraio 2019 che l'area cimiteriale non aveva più i presupposti tecnici e di sicurezza per tale funzione e che quindi doveva essere definitivamente delocalizzata.



Ubicazione di indagini geofisiche.



Esecuzione di indagini geofisiche.

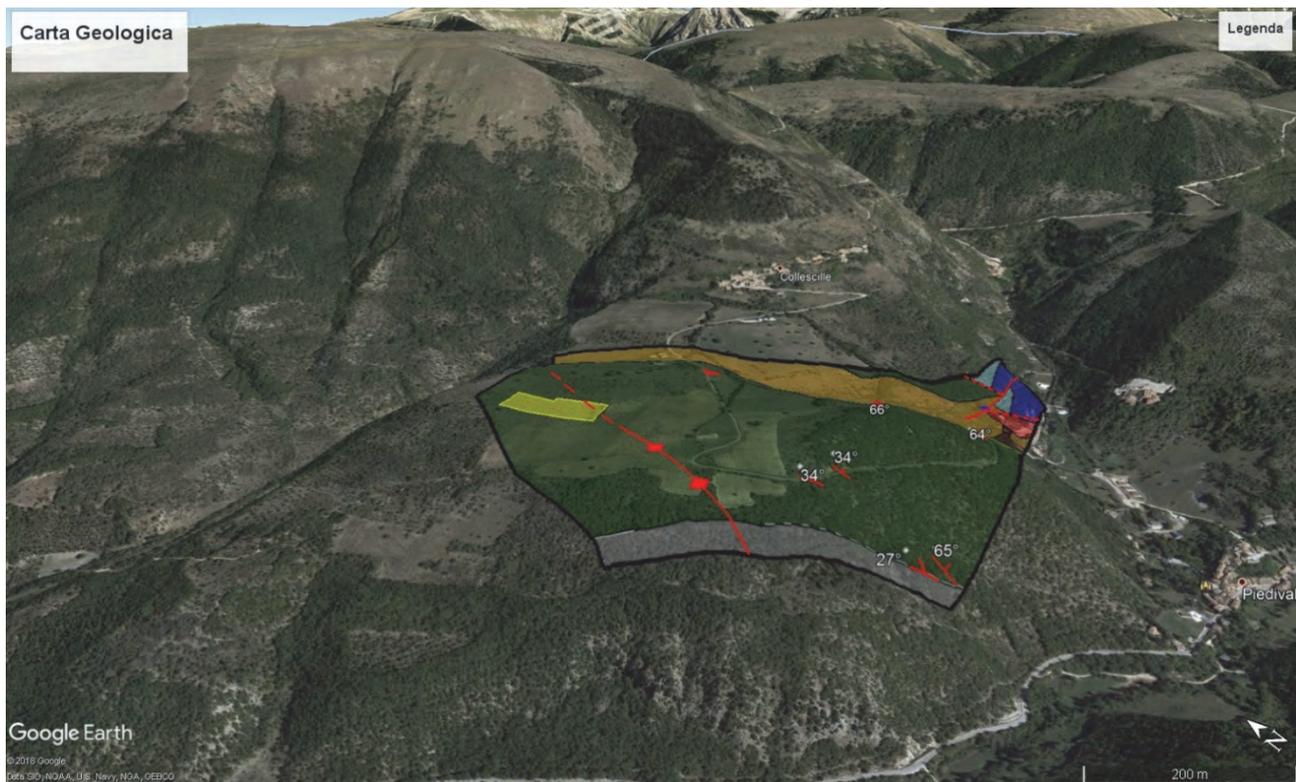
Periodo marzo 2019-febbraio 2020

Dal marzo del 2019 i materiali detritici di vario interesse presenti nella corte interna dell'Abbazia cominciarono ad essere tolti separandoli per grado di importanza e ciò permise di eseguire indagini geognostiche e geofisiche per ricostruire la situazione geologica dell'appoggio fondale delle fondamenta dell'Abbazia e della struttura seminariale.

L'Arcidiocesi di Spoleto-Norcia effettuò i sondaggi geognostici ed il Servizio Geologico regionale, unitamente all'Osservatorio Sismico "Andrea Bina", eseguì le indagini geofisiche. Dall'aprile all'agosto 2019 Il Servizio Geologico regionale analizzò le diverse proposte (3) del Comune di Preci per individuare l'area idonea ad ospitare la delocalizzazione del Cimitero di Sant'Eutizio. Le prime 2 non furono ritenute idonee mentre lo fu la terza di cui si riportano alcuni degli elaborati sintetici.



Carta geologica di dettaglio su base satellite, Google Earth.



Carta geologica di dettaglio su base satellite (Google Earth) con visione 3D.

Legenda della carta geologica.

- La linea nera individua il perimetro dell'area indagata
- In giallo l'area proposta dall'amministrazione comunale
- Colore avana: detrito di falda
- Colore arancione: depositi di travertino
- Colore marrone: Scaglia Cinerea
- Colore verde chiaro: Scaglia Variegata
- Colore verde: Scaglia Bianca e Scaglia Rossa
- Colore grigio: Calcari e Marne a Fucoidi
- Colore blu: Maiolica
- Le linee rosse continue e tratteggiate indicano le faglie
- La linea rossa continua e tratteggiata con il soprassegno romboidale indica l'anticlinale
- Le giaciture degli strati sono indicate con il simbolo rosso con accanto riportata la giacitura degli strati in gradi
- Con il punto blu è indicata la sorgente captata
- Con il colore verde chiaro è indicata un'area, nei pressi della zona segnalata, con la presenza di un suolo di modesto spessore



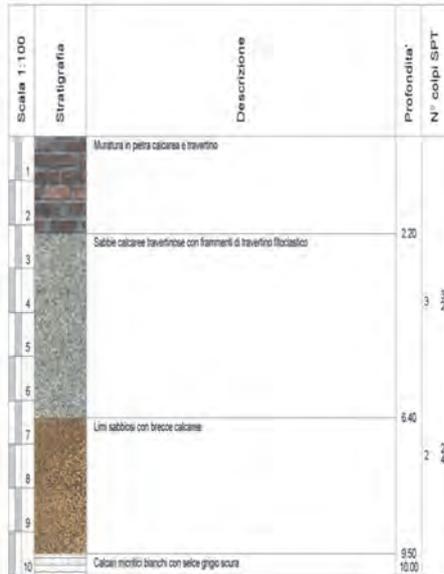
Carta idrogeologica di dettaglio su base satellite, Google Earth.



Carta idrogeologica di dettaglio su base satellite, Google Earth), con visione 3D.

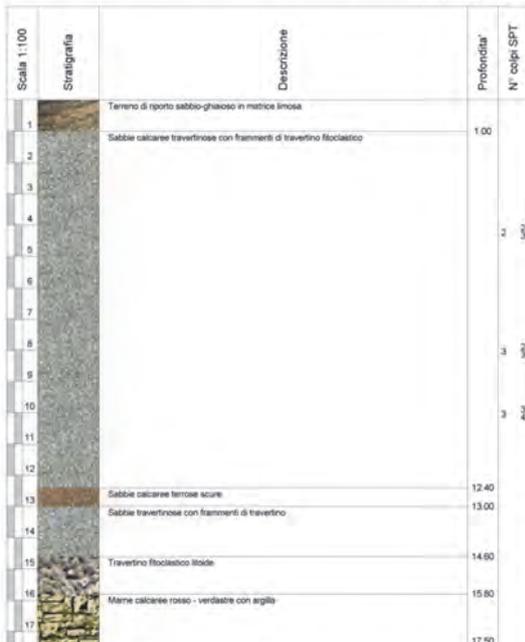
Lo schema idrogeologico dell'area è il seguente: i livelli impermeabili (indicati in colore grigio) sono la base ed intercettano le acque dell'acquifero contenuto nella formazione della Scaglia ed anche la fratturazione e le strutture plicative presenti nell'area contribuiscono ad indirizzare le acque sotterranee; non a caso l'opera di captazione della sorgente è ubicata in tale zona. Tutta l'area a monte dell'opera di presa deve considerarsi come zona di tutela assoluta della sorgente in considerazione anche dell'elevata permeabilità dei litotipi presenti.

Customer	Curia Arcivescovile di Spoleto - Norcia	BOREHOLE	SHEET
Site	ABBAZIA DI SANT' EUTIZIO	3	
Locality	PRECI - GUAITA SANT' EUTIZIO	The geologist	
Initial date	06.02.2019	Final date	Roberto Giorgetti

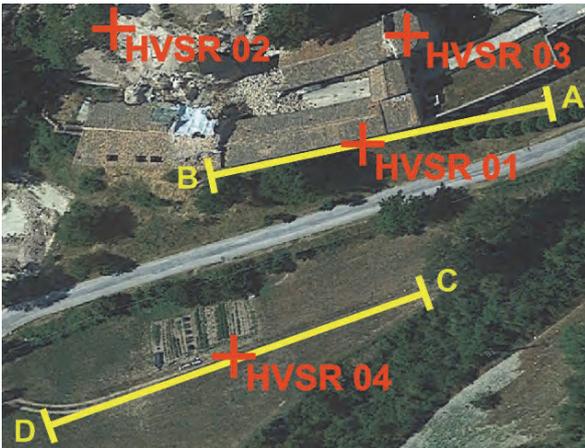


Stratigrafia sondaggio geognostico.

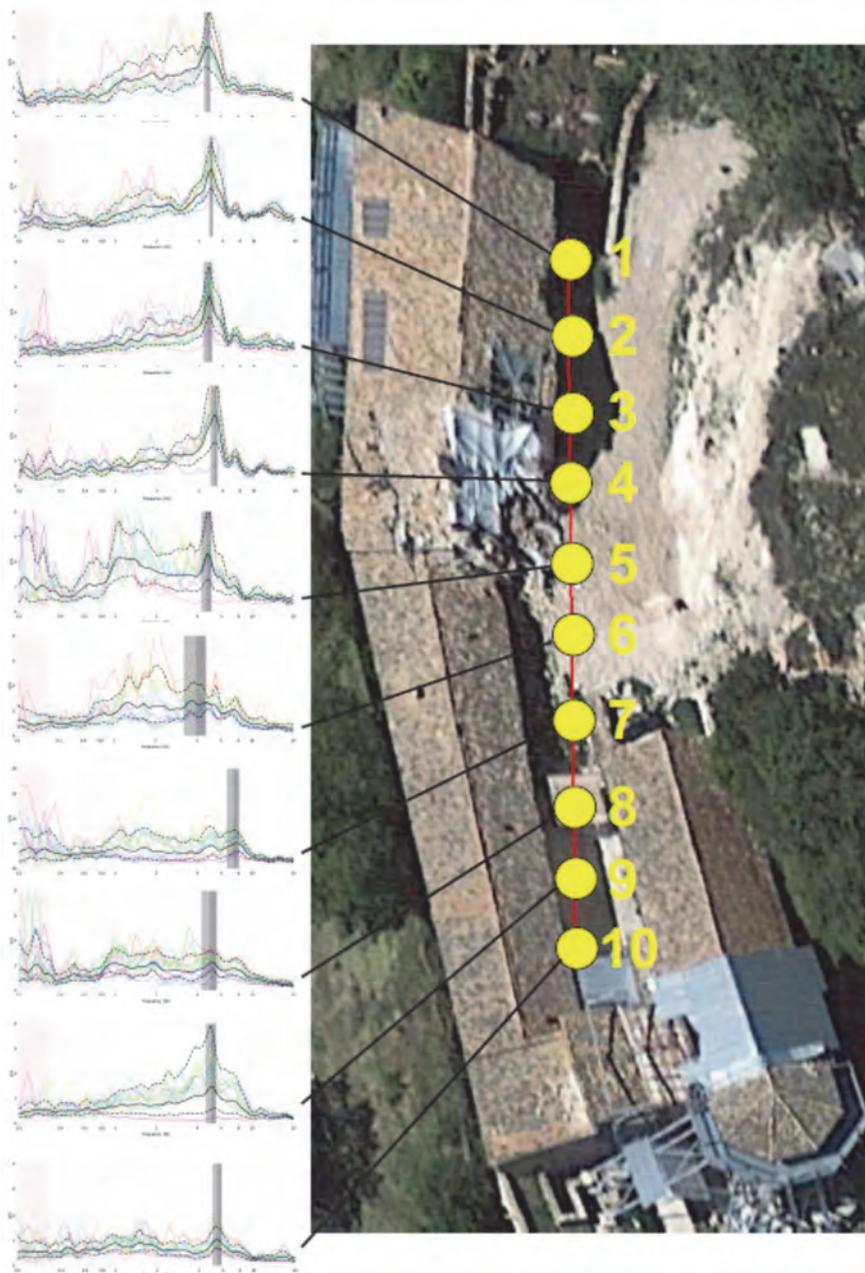
Customer	Curia Arcivescovile di Spoleto - Norcia	BOREHOLE	SHEET
Site	ABBAZIA DI SANT' EUTIZIO	2	
Locality	PRECI - GUAITA SANT' EUTIZIO	The geologist	
Initial date	06.02.2019	Final date	Roberto Giorgetti



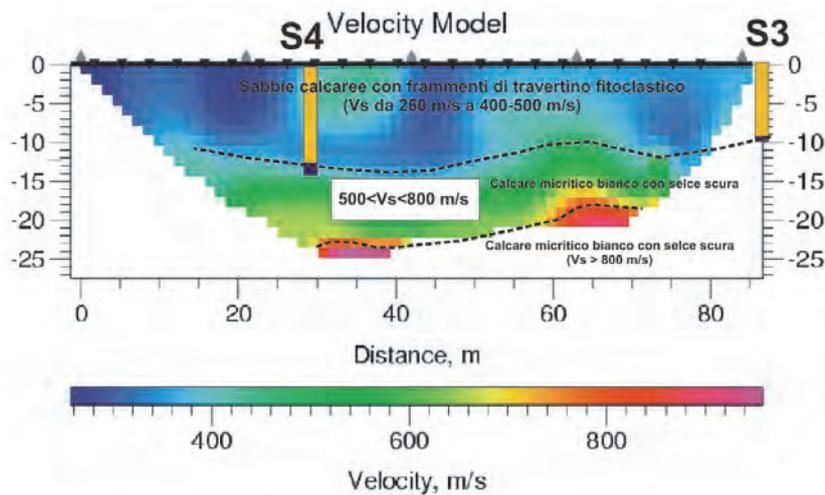
Stratigrafia sondaggio geognostico.



Ubicazioni indagini geofisiche esterne all'Abbazia.



Ubicazioni e risultati parziali delle indagini geofisiche nella corte interna dell'Abbazia.



Interpretazione coordinata di alcune indagini geofisiche con le indagini geognostiche.



Ubicazioni indagini geofisiche e trincea paleosismologica, in giallo.

La trincea fu eseguita il 30 ottobre 2019, esattamente 3 anni dopo la scossa principale del 30 ottobre 2016, e ci furono alcune difficoltà esecutive.



Problemi durante l'esecuzione della trincea paleosismologica.



Problemi durante l'esecuzione della trincea paleosismologica.



Ubicazione trincea tramite volo di drone.



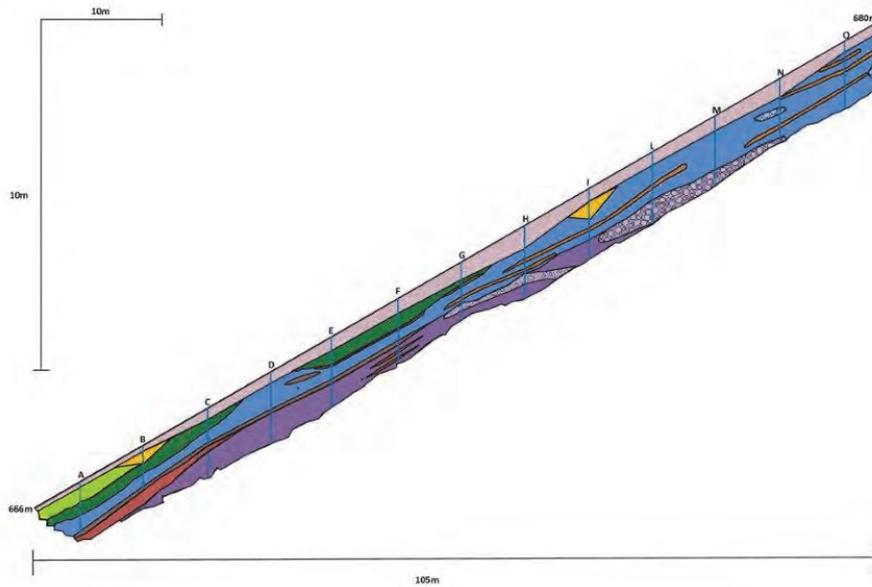
Trincea paleosismologica realizzata.



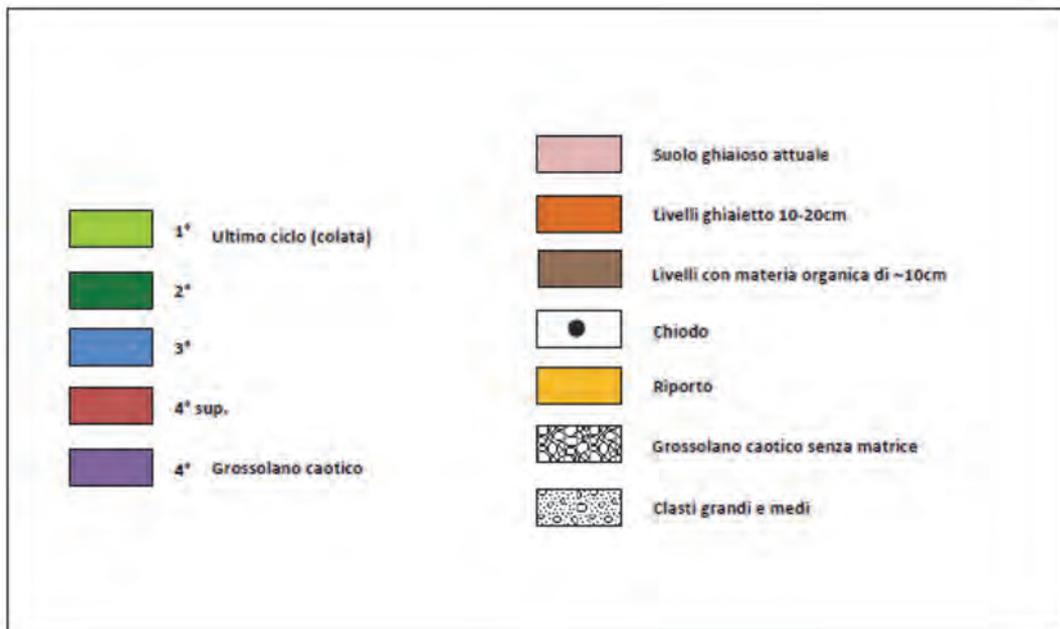
Particolare della trincea paleosismologica.



Particolare della trincea paleosismologica.

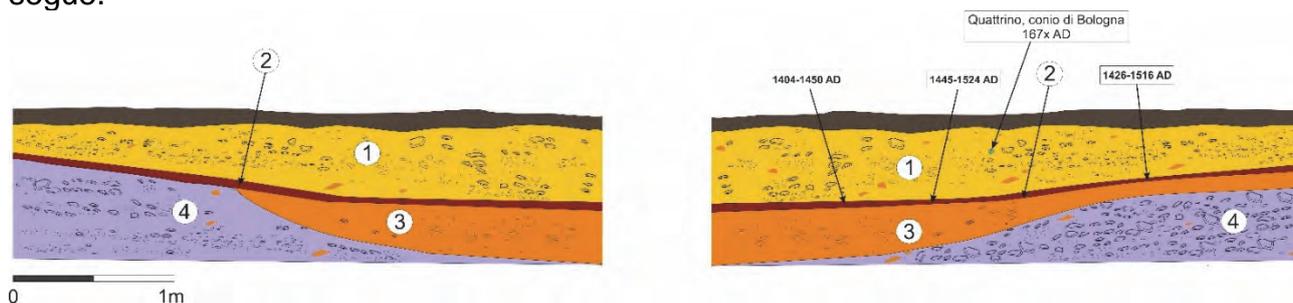


Profilo litologico della trincea.



Legenda del profilo litologico della trincea.

Le determinazioni delle datazioni radiometriche eseguite sono riportate nella figura che segue.



Con il numero di riferimento 1 è indicata l'unità litologica in cui sono contenute 3 colate di detrito, indicate nel profilo litologico della trincea (1°, 2° e 3°); a sinistra la parete sud e a destra la parete nord.

Le analisi eseguite unitamente ai rilievi geologici effettuati non hanno individuato fenomeni di fagliazione superficiale causate dall'elemento tettonico, presente al di sotto della struttura seminariale e associato alla fase tettonica compressiva pre-quadernaria, non più attiva in questo settore della catena appenninica.



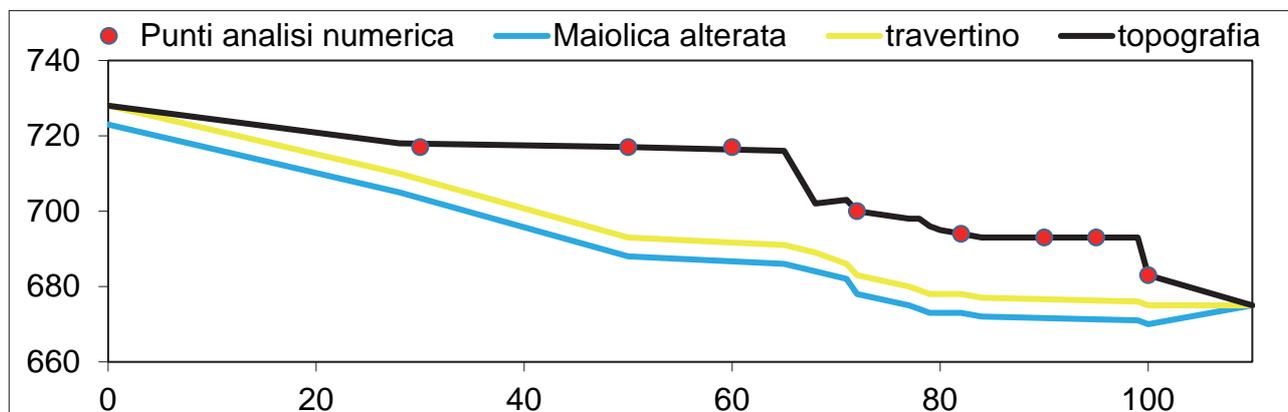
La linea tratteggiata gialla indica un elemento tettonico compressivo e la linea bianca tratteggiata indica un elemento tettonico trascorrente destro.

Le analisi effettuate non hanno rilevato dislocazioni delle sequenze stratigrafiche esposte nella trincea; tali sequenze stratigrafiche attraversano sicuramente il 1703, anno in cui ci fu nel 14 gennaio un evento sismico con $M_w=6.9$, dovuto all'attivazione di una faglia lunga in superficie circa 30 Km e di cui il segmento Campi-Norcia ne è una parte, che ha prodotto una fagliazione superficiale sicuramente di almeno 80 cm.

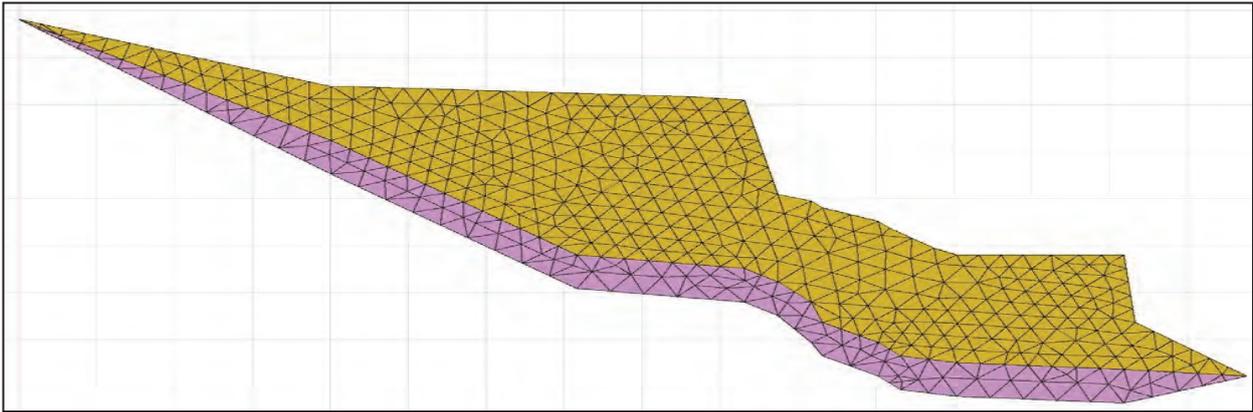
Nel dicembre 2019-febbraio 2020 si sono effettuate modellazioni numeriche finalizzate all'individuazione delle amplificazioni sismiche a Sant'Eutizio di Preci. La parte di modellazione numerica è stata effettuata dalla Prof.ssa Floriana Pergalani del Politecnico di Milano, le altre parti dal Servizio Geologico regionale.



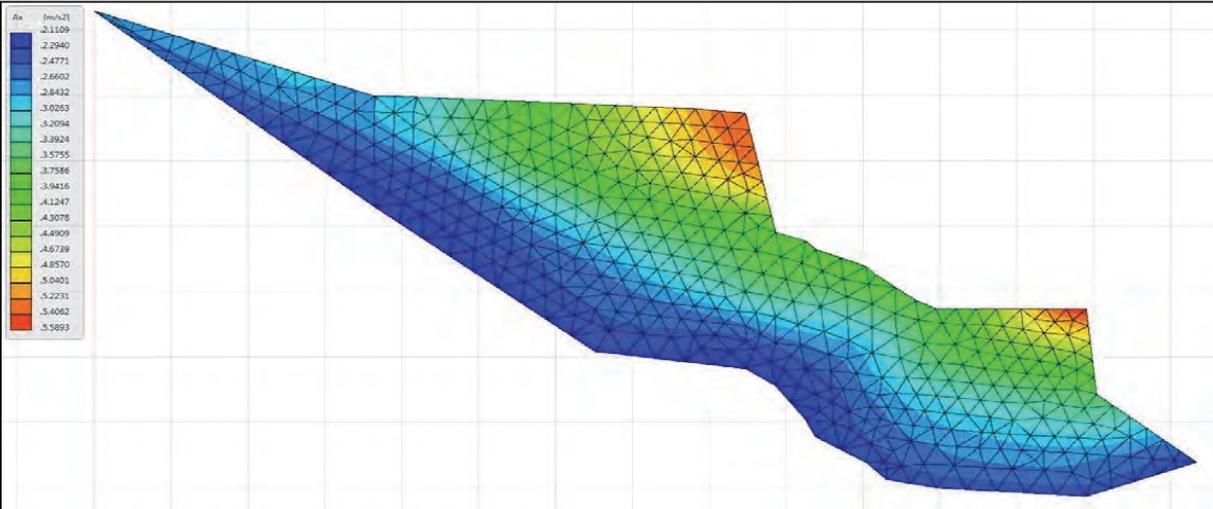
Ubicazione del profilo geofisico.



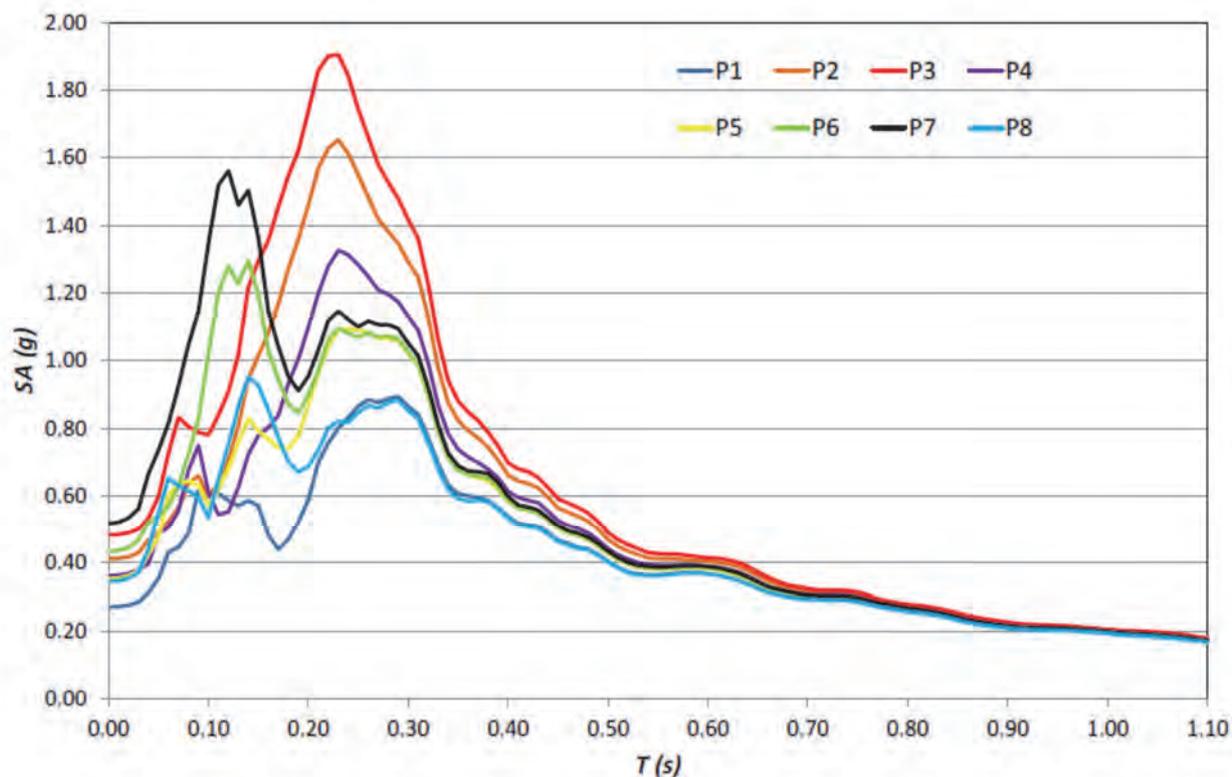
Profilo geologico-geofisico con indicazione della base delle unità geofisiche.



Mesh di analisi.



Andamento delle accelerazioni medie in x.



Spettri di risposta elastici medi per i singoli punti di analisi.

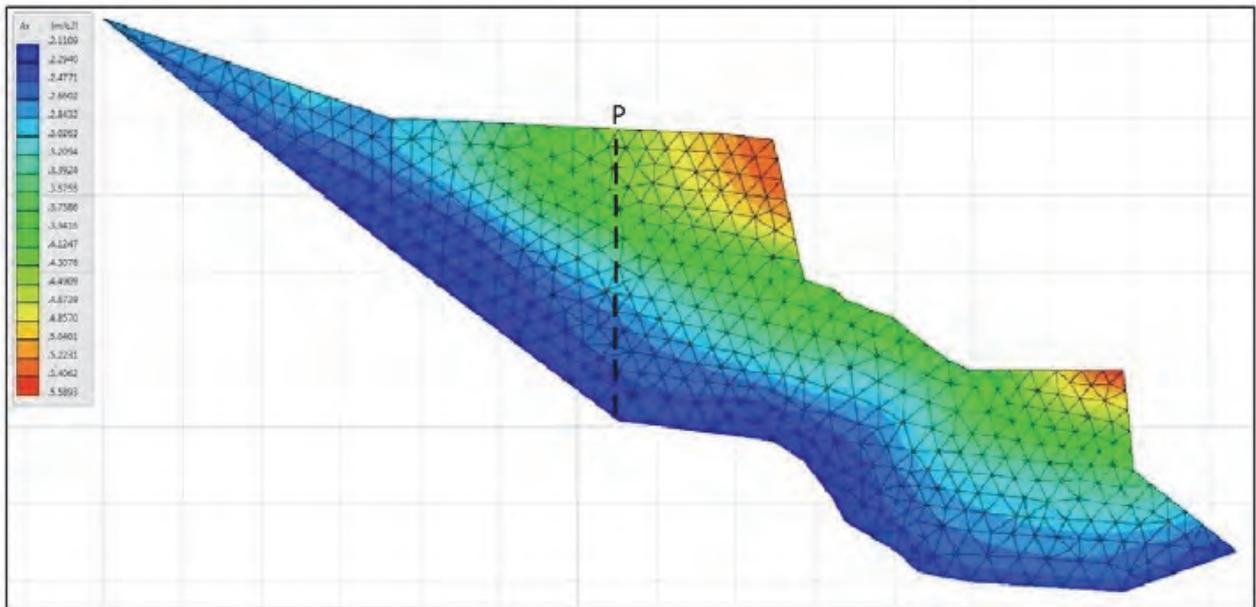
<i>F_a</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>	<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>P8</i>
<i>0.1 – 0.5 s</i>	1.18	1.88	2.15	1.58	1.44	1.62	1.74	1.30
<i>0.4 – 0.8 s</i>	1.10	1.25	1.30	1.19	1.16	1.16	1.17	1.10
<i>0.7 – 1.1 s</i>	1.05	1.11	1.13	1.09	1.07	1.08	1.08	1.05

Valori medi dei fattori di amplificazione per i singoli punti di analisi.

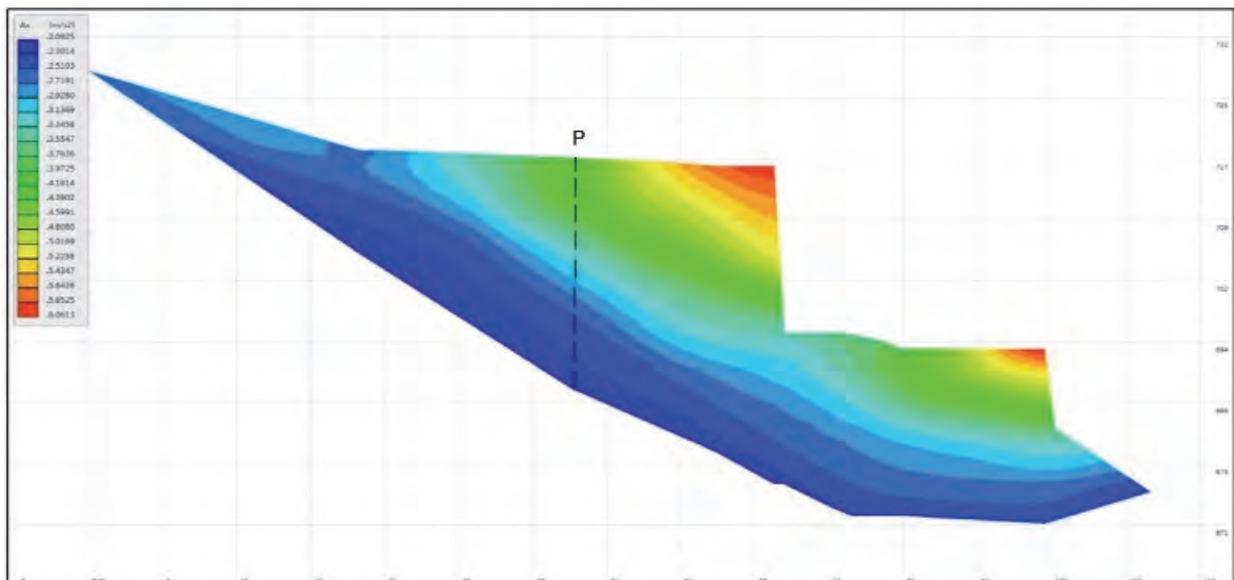
Vi è poi una zona che presenta amplificazioni medie nell'area in cui è fondato il paramento di valle della struttura seminariale.

Nelle figure seguenti sono mostrate le accelerazioni nella situazione attuale e ante sisma 2016 e nelle figure con la lettera P e la linea a tratteggio è indicato il pozzo di grande diametro tirantato.

ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI MEDIE IN X



ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI MEDIE IN X



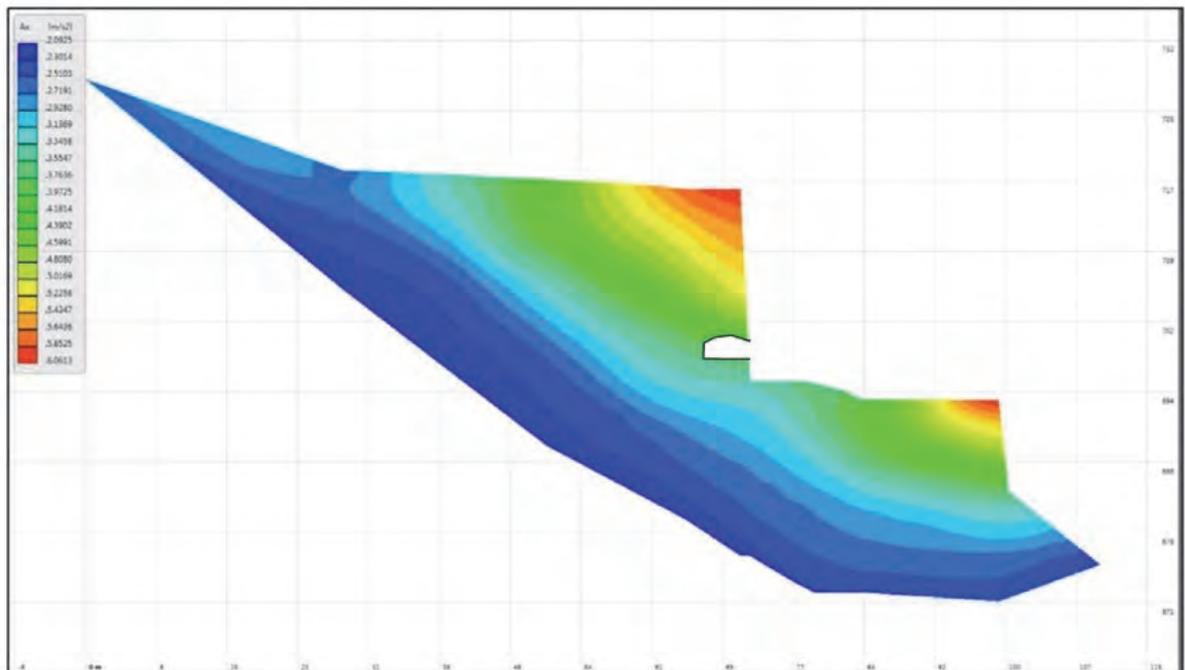
5 - Sintesi e conclusioni

-Le indagini effettuate non hanno individuato elementi che indicano la presenza di una faglia attiva e capace interferente con l'Abbazia di Sant'Eutizio e la struttura seminariale.

-Le indagini e le analisi eseguite hanno definito ed accertato:

- gli interventi ed i monitoraggi da porre in essere in emergenza;
- gli interventi ed i monitoraggi per far operare in sicurezza gli addetti per le diverse fasi di messa in sicurezza;
- le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dell'area;
- le aree idonee ad ospitare la nuova area cimiteriale;
- gli spessori dei depositi di travertino;
- le caratteristiche geofisiche e di amplificazione sismica dei depositi di travertino su cui poggia l'Abbazia e la struttura seminariale di Sant'Eutizio;
- le caratteristiche geofisiche delle formazioni rocciose al disotto dei depositi di travertino;
- l'assenza di dislocazioni delle sequenze stratigrafiche esposte nella trincea paleosismologica; tali sequenze stratigrafiche attraversano sicuramente il 1703, anno in cui ci fu il 14 gennaio un evento sismico con $M_w=6.9$, dovuto all'attivazione di una faglia lunga in superficie circa 30 Km e di cui il segmento Campi-Norcia ne è una parte, che ha prodotto una fagliazione superficiale sicuramente di almeno 80 cm.;
- le caratteristiche della risposta sismica locale;
- la presenza di un elemento tettonico presente al di sotto della struttura seminariale, di tipo compressivo associato alla fase tettonica compressiva pre-quadernaria non più in attiva in questo settore della catena appenninica, che è causa di una risposta sismica differenziata tra il settore più occidentale della struttura seminariale e quello centrale e orientale, come ben rappresentato dalle indagini geofisiche;
- una zona con elevate amplificazioni delle forze sismiche che corrisponde alla parte alta della parete del travertino e del ripiano retrostante alla stessa che presenta amplificazioni molto elevate fino a più del raddoppio del fattore di amplificazione per il periodo compreso tra 0.1-0.5s; inoltre siamo nella situazione in cui le amplificazioni allo stato attuale sono più elevate rispetto alla situazione ante sisma 2016, in cui tutte le strutture che erano presenti sul ripiano crollarono in modo rovinoso sopra l'Abbazia e la struttura seminariale. In tale zona, o in situazioni simili artificialmente ricostruite, qualsiasi struttura in elevazione sarà soggetta agli stessi fenomeni che hanno portato al crollo delle strutture nel 2016;
- una zona che presenta amplificazioni medie nell'area in cui è fondato il paramento di valle della struttura seminariale;
- gli spettri di risposta elastici medi della situazione attuale rispetto alla situazione ante sisma 2016 hanno all'incirca gli stessi valori ma presentano una forma leggermente diversa;
- In ultimo è importante far notare che la grotta che è stata scavata dagli eremiti circa 1500 anni fa e si trova in un'area con accelerazioni molto basse, come riportato nella figura seguente.

ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI MEDIE IN X



6 – Bibliografia

- Regione Umbria-AA.VV.-1998- *D.G.R 31/07/98 n. 4363-Indagini urgenti di microzonazione sismica. Approvazione della relazione conclusiva, degli elaborati e delle tabelle dei coefficienti di amplificazione sismica per i centri abitati sottoposti ad indagine.* Bollettino Ufficiale della Regione Umbria S. O. n. 2 al n. 52 del 19/08/06.
- A.V.-1999- *Lo stato della ricostruzione.* Regione Umbria collana sismica, numero speciale. Grafica Salvi, Perugia.
- A.V.-2000- *La microzonazione sismica speditivi relativa ai terremoti del 1997/98 in Umbria.* RU/CNR. Tipolito Visconti, Terni.
- Regione Umbria-AA.VV.-2002- *Ricostruire la complessità. I PIR e la ricostruzione in Umbria.* Alinea Ed.
- AA. VV.-2008- *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica.* Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della protezione civile-Conferenza delle Regioni e delle Province autonome. Roma, settembre 2008.
- Guarino F., Melelli A., 2008-*Abbazie Benedettine in Umbria.* Ed. Quattroemme.
- Regione Umbria- *D.G.R 08/03/10 n. 377-Criteri per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica.* Bollettino Ufficiale della Regione Umbria S. O. n. 1 al n. 15 del 31/03/10.
- Regione Umbria-Servizio Geologico e Sismico-2013, Cartografia geologica informatizzata vettoriale della Regione Umbria in <http://www.territorio.regione.umbria.it/> e in <http://www.umbriageo.regione.umbria.it>
- Regione Umbria-Servizio Geologico e Sismico-2013, Cartografia geologica della Regione Umbria per Google Earth in http://www.territorio.regione.umbria.it/Static/GeologiaKmz/GeologiaKmz/Index_kmz.htm.
- Regione Umbria-Servizio Geologico e Sismico-2013, Cartografia di pericolosità sismica locale informatizzata vettoriale della Regione Umbria in <http://www.territorio.regione.umbria.it/> e in <http://www.umbriageo.regione.umbria.it>.
- Motti A., Servizio Geologico 2017-*Indicazioni per interventi in emergenza sulla rupe di travertino sovrastante l'Abbazia di Sant'Eutizio.* Rapporto interno Regione Umbria.
- Motti A., Servizio Geologico 2017- *Decreasing the macroseismic intensity of the seismic events of 2016-2017 as a result of knowledge and seismic risk reduction policies implemented over the last 30 years in Umbria.* https://www.researchgate.net/publication/323366176_Decreasing_the_macroseismic_intensity_of_the_seismic_events_of_2016-2017_as_a_result_of_knowledge_and_seismic_risk_reduction_policies_implemented_over_the_last_30_years_in_Umbria .
- Motti A., Console F., Pantaloni M.-2017- *L'intermittenza delle sorgenti del Torbidone nella Piana di Norcia: analisi delle fonti storiche a partire dal XIV secolo.* Rendiconti online della Società Geologica Italiana. Vol. 43, pp. 36-56 (10.3301/ROL.2017.34).
- Regione Umbria - *D.G.R. 23/10/17 n. 1232-Criteri per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica. Adozione delle linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC), da liquefazione (LQ), da instabilità di versante sismoindotte (FR).* Bollettino Ufficiale della Regione Umbria S. O. n. 1 al n. 48 del 08/11/17.
- Motti A., Regione Umbria-Servizio Geologico 2018-*Lo sviluppo delle microzonazioni sismiche in Umbria a cavallo di 2 millenni.* https://www.researchgate.net/publication/329339518_The_development_of_seismic_microzonations_in_Umbria_at_the_turn_of_2_millennia *Lo sviluppo delle microzonazioni sismiche in Umbria a cavallo di 2 millenni* .
- Motti A., Luzi L., Regione Umbria-Servizio Geologico-2019, *Accelerogrammi dei comuni umbri* in <http://www.regione.umbria.it/accelerogrammi-dei-comuni-umbri> .

1 – Introduction

The Abbey of Sant 'Eutizio is a particular place for Christianity since it is the place where western monasticism was born. The seismic events of 1979, 1997 and 2016 seriously hit and damaged the Abbey; the technical interventions carried out by the staff of the regional Geological Survey during and after the 2016 seismic events will be described below. The Abbey of S. Eutizio is one of the oldest monastic complexes in Italy, the place where western monasticism was created.

2 – History

In the 5th and 6th centuries, in the area and throughout the Apennines, there was an intense hermitic movement driven above all by the presence of Syrian monks, who had fled the persecutions and struggles associated with the great councils of the East. These people developed an anachoretic lifestyle, but also cenobitic forms anticipating the Rule of San Benedetto, which would arrive much later.

S. Gregorio Magno, in the "Dialogorum" (drawn up around 593), says that around 450 (at the beginning of the dominion of the Goths) father Spes founded a monastery in Campello, in the valley also called Castoriana, near Norcia, and an oratory dedicated to the Virgin. It certainly refers to the place where, in the fifth century, S. Spes, with a group of other hermits scattered in the area, had settled near a copious spring that still flows nowadays. From the Dialogues it can be deduced that the hermits were organized according to the Rule of San Benedetto which provided for the meeting in "degrees" of 12 hermitages around an oratory where a superior directed them spiritually. Although the term used by Gregorio for those admissions was "monasterium", we must think of poor huts, of very modest proportions, often simple cavities carved out of the rock, in which the penitents lived in absolute poverty, meditation and prayer. Upon the death of Spes, one of his disciples, Eutizio, who led his ascetic life together with his companion Fiorenzo in a hermitage not far in the upper Guaita valley, because of his great virtues became the spiritual guide of the monastery. The community had a significant impulse and in this period the primitive monastery and the church were erected. At the time of his death the remains of S. Eutizio were laid in this very church. When he arrived from his hermitage (not far from the current Eutizio Abbey) he carved his cell between some caves existing in the travertine boulder that are still visible. He then built the church, which underwent successive extensions and renovations and in it collected the remains of Comrade Spes. According to Iacobilli, the monastery was founded in the year 536, when Eutizio became abbot of it "... and for being an expander, it was the monastery named after his name" (Iacobilli). From that date on, the news is very fragmented, but it is likely that already around the year 1000 it was the largest political and economic center in the area. In fact, in the context of great economic and cultural degradation, the Benedictine monks had a decisive role: they directly assumed the ministry of the care of souls and economic salvation of rural populations, develop their social function linked to the rule of the hour and the day, give life to a real work of colonization of the territory on a spiritual, cultural and economic level. Around the Abbey revolved the life of the surrounding communities Acquaro, Valle, Collescille (countries founded by the monks themselves) who together with the monastery constituted a civil and religious organism, the Guaita di S. Eutizio.

The term "guaita", from the Lombard "waita", meant the "villas" built around a monastic oratory, with the function of agricultural production, breeding and exploitation of the forest, but also of defense: in fact the term also means guarding. The inhabitants were organized in communitates with the modern name of Comunanze. Likewise, the monks promoted a considerable number of hermitages and cenobies which would later become oratories, parish churches, chapels.

The lifestyle of these monks had many affinities with the Rule of St. Benedict and later adopted it definitively. Indeed it can be said without any doubts that they were the ones who inspired the lifestyle that then resulted in the Rule of San Benedetto: the childhood and adolescence of the saint, born in 480, was marked by the experience of those monks who lived in the area; S. Spes, had the asceterio in the valley of Monte Cardoso, Sant'Eutizio practiced the hermitage in the caves carved in the travertine of the abbey complex and S. Fiorenzo, and had the hermitage at villa Collescille and all were famous throughout the valley of Norcia. Eutizio died in May 540 and his reputation for holiness had already attracted numerous disciples, leading the monastery to a future of material and spiritual prosperity. Thanks to the numerous donations of the Dukes of Spoleto, after their conversion to Christianity, to the privileges granted by Catholic Emperors, and to papal and episcopal concessions, the territory of influence of the abbey expanded and granted them a strong role in the economic life of the region. The rural landscape was modified: the monastic settlements preferred the banks of the rivers in the valley, the unhealthy areas to be reclaimed, the isolated and difficult to access areas; this location reflected a strategic direction: it is in the impervious rural areas that the separation, inherited from the hermit movement, and the primacy of contemplative life could be affirmed; but at the same time the settlement in the countryside made it possible to exercise control and management of vast territories, the extension of which offered the measure of the temporal power of the monasteries. The monastery was at the same time a large company of antiquity and played a fundamental role in the economic and administrative organization, it promoted the colonization of even vast territories and also exerted political and military pressure. The support that the monastic movement had from the Lombard kings and dukes, after their conversion to Catholicism during the seventh century, constituted a powerful instrument of strength and expansion throughout the area. In 1115 the fief of S. Eutizio had 35 churches in the territory of Spoleto, Ascoli and Teramo as well as numerous other ecclesiastical buildings built under the Eutian title: among them the parish church of Visso, officiated by a "monachus plebanus" directly employed by the 'abbey. The territory subject to the ecclesiastical jurisdiction of S. Eutizio, in the period of its greatest prosperity between the ninth and thirteenth centuries, concerned various areas of central Italy: in Umbria (Norcia, Cascia, Spoleto, Foligno, Nocera Umbra; in Abruzzo (Teramo, L'Aquila, Sulmona); in Sabina (Leonessa and Rieti) and in the Marche, where, going up the valleys of Visso, Ussita, Castelsantangelo, the monks went to Camerino, Jesi, Senigallia and in Ascoli where Farfa ne limited expansion (Paoloni 15). In 1180, the abbot Theodino I, began the work for the restoration and expansion of the church: as attested by the inscription in the lunette of the Romanesque portal, the work was completed in 1236, under the successor Teodino II (Abbot) who built the rose window, typical of the Umbrian Romanesque style, with the symbols of the Evangelists in 1200. Little remains of the ancient structure, only two columns with capitals supporting the vault of the crypt and the columns beam of Ancient tabernacle. The decline of the abbey began with the end of the 12th century and between 1257 and 1259 the last pieced of land were donated to the Municipality of Norcia. In the 14th century the abbey lost its autonomy to the benefit of the Rector of the Duchy Spoletino and after various centuries of vicissitudes the abbey passed to the commendatory abbots in the 15th century, of which the last were the bishops of Norcia. In 1451, the monastery was given in commendation to Niccolò V, although the Benedictines remained there until 1568. At the time of the management of the commendatory abbot Giacomo Crescienzi (1586-1638), some restorians were made to the structure as written in the stone memory set in one of the walls of the square as well as by the coats of arms and decorations of some lintels. Abbot Crescienzi himself, with the approval of Pope Clement VIII, transferred the precious codes kept in the monastic library to the Vallicelliana Library in Rome.

Other codices are now kept by the Pinacoteca di Spoleto, some others at the Episcopal Chancellery of Spoleto. The codes reveal the existence on site of a high-level "scriptorium" and a school of miniaturists particularly active between the tenth and twelfth centuries. Among his documents, an important Italian vernacular text emerged, dating back to 1095 which is much older than the *Laudi dei Disciplinati* and the *Cantico delle Creature di San Francesco*.

The scriptorias were common workshops and represented an organized form of production. The work of copyists and illuminators was divided according to the various tasks; apart from the painters (miniaturres), the masters of calligraphy (antiquarii) and their helpers (scriptores) and the initial painters (rubricatores) were distinguished. The scriptoria employed salaried amanuensis, that is, lay people who worked a little at home in the monastery. To understand the exceptional nature of the monastery's work, it is enough to think that in that period the western world gradually lost not only the conception of the written word but above all the ability to organize time and work. The same preservation of the Latin and Greek texts is due to the ability of the Eutizian monks to know how to organize the division of labor, as a fundamental principle of the production of goods. The library remained intact on site until 1605. The work of the Benedictine monks was not addressed only inside the monastery: they reclaimed the world around them by reclaiming the spirituality, spreading their rule of life and rationality of the division of labor. The monks played a real role of reorganizing the countryside with the creation of a network of connections, the reclamation of degraded areas, the creation of aggregation centers for the life of rural populations. It should also be remembered that the monks of S. Eutizio were also the promoters of an important surgical school that had Preci as its development center and flourished from the thirteenth to the eighteenth century.

3 - Geological notes

The area where the Abbey of Sant'Eutizio stands is part of the central-western sector of the Umbrian-Marche Apennines where only the rocks of the Umbrian-Marchigian carbonate succession, from the *Calcare Massiccio* (lower Lias) to the *Bisciaro* (Miocene inferior). In this sector, the compression structures maintain directions between north-south and north 20° and consist of large box-shaped anticlines, which overlap towards the east on narrow and deep synclines.

In this area, the Apennines are characterized by thrust faults with arched geometry, dislocated by direct faults with a direction between the northnorthwest-southsoutheast and northwest-southeast.

The deformation history of the area reflects that of the entire Apennine chain, divided into three main phases:

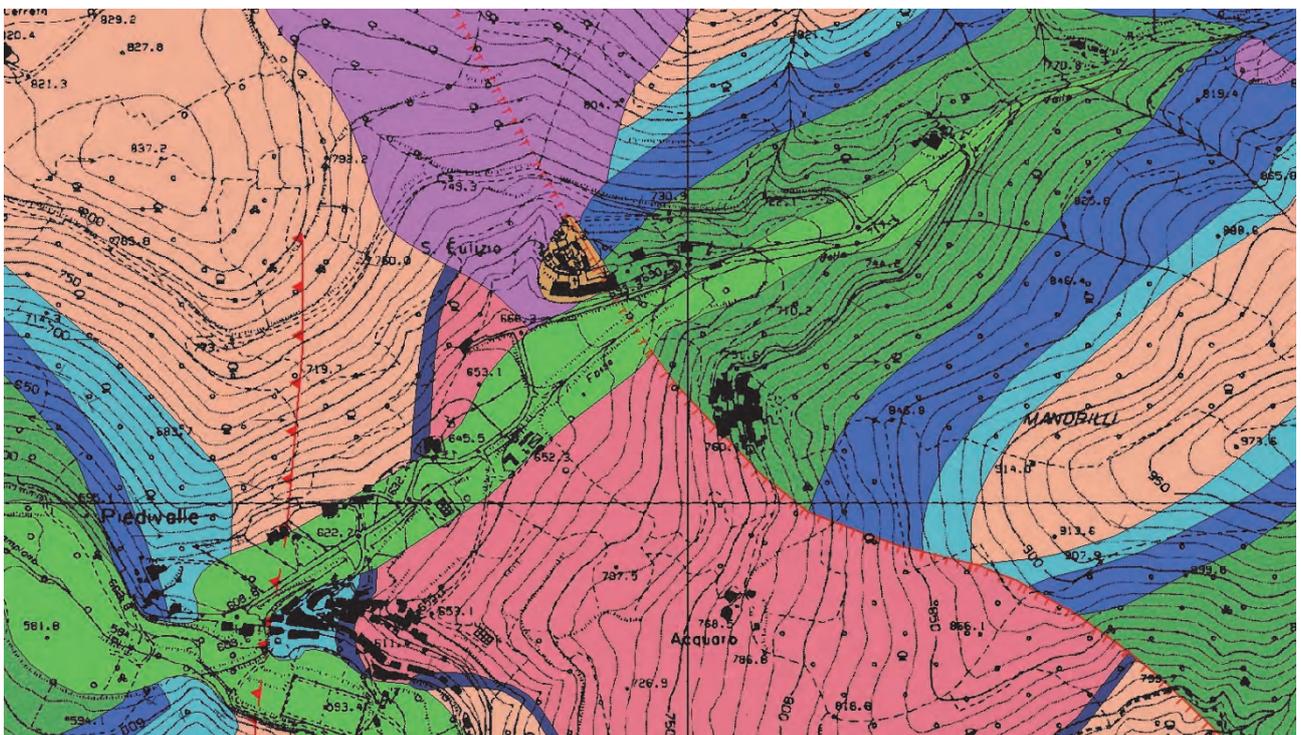
- a sin-sedimentary extensional phase, which accompanies the deposition of the succession of passive continental margin, extending from the Jurassic to the Paleogene;
- a compression phase, responsible for the structuring of the building with folds and thrusts and the foreland basins, datable in this sector to the upper Miocene;
- a recent extensional phase, characterized by fault systems directed with directions from northwest-southeast to northnorthwest-southsoutheast, and direction of maximum anti-Apennine extension (southwest-northeast), which began in the middle Pliocene and is still in progress with average displacement rates measured by satellite of about 2mm/year.

The extensional tectonic phase is still active and the seismogenic structures related to it are responsible for the earthquakes that have affected and affect the Apennine area where the Abbey is located, the last earthquakes in order of time are those that occurred in 1979, 1997 and 2016.

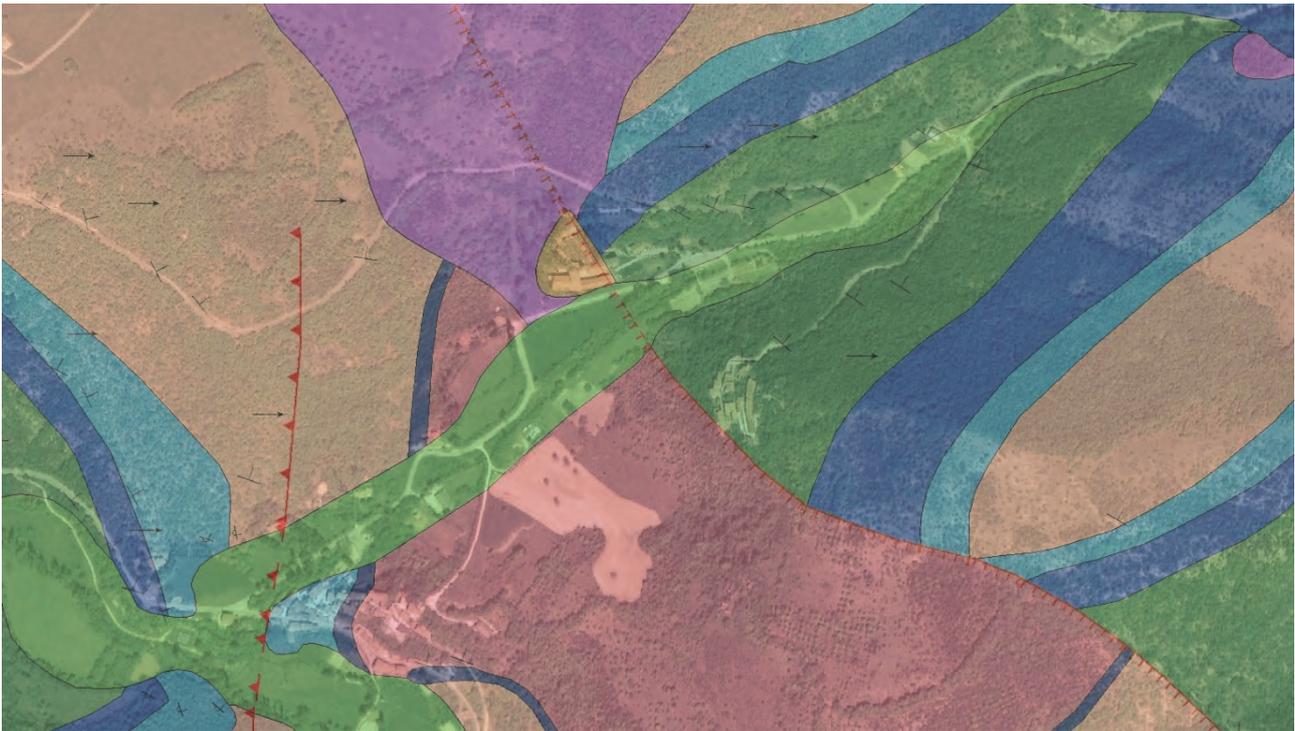
In the Apennine reliefs the relief is strongly conditioned by the folded structure of the inverted anticlines and the narrow synclines that follow one another in the Apennine direction. The ridges show an asymmetrical section with the western slopes, where the franapoggio layers emerge (more inclined than the slope), with a lower slope than the eastern ones, where the outcrop of the over-sliding fronts and the arrangement of the inverted layers with a prevalent support support create the conditions for greater slope acclivity. Along the lines of impluvium of steep and areally limited basins, debris flows occur due to the presence of debris coulters which are frequently found at the base of slopes with limestone substrate (in particular on the rock formations of the Scaglia Bianca, Scaglia Rossa and Majolica).

The hydrographic network shows a general deepening by linear erosion with sunken valleys and the flow rates of the watercourses, substantial and constant, feed, in periods of intense rainfall, extensive floods whose last significant events occurred in the early 1900s. The causes, in addition to periods of high rainfall intensity, seem to be attributable to anthropogenic actions linked to indiscriminate deforestation works that preceded the agricultural use of soils at the beginning of the last century and that increased the processes of erosion and leaching of the soil and the increase in the runoff towards the main manifolds.

There are travertine deposits that have deposited in river environments, in correspondence with steps and jumps of morphotectonic origin (waterfalls) and small lake basins that have developed within the valleys and have now disappeared, while the phenomena, still active, of precipitation are of lesser importance. spring water chemistry, sometimes thermomineral, calcium carbonate supersaturations. They are facies that are mostly phyto-thermal and micro-thermal, with associated large stromatolytic or massive formations, laminar accumulations of calcium carbonates, high-energy phytoclastic facies with sands and lake silt of backwater and / or confined spaces. The thickness of the deposits varies from a few meters to a few tens. Limestone silt can be rich in mollusc associations locally, more rarely with freshwater lamellibranchs.



Extract from the database of regional geological cartography on a CTR basis.



Extract from the database of regional geological cartography on orthophoto basis 2011.

4 - Technical and geological vicissitudes following the 2016 seismic events Activities after August 24, 2016

The 6.0 magnitude earthquake on 24th August 2016, with a hypocenter between Amatrice and Norcia, caused damage to the cemetery above the Abbey, to the bell tower in the cemetery and to the travertine plate with the detachment of some travertine boulders that fell on the underlying roof of the Abbey.

The geologists of the regional Geological Survey immediately intervened, identifying the problems, the failures that occurred and the dangers looming for the structures, securing the place to protect people's safety.

The structures were immediately declared unfit for use and immediate action was taken to eliminate dangerous situations such as the "cerclage" of some funeral constructions in order not to make them fall into the Abbey below.



Funeral shrine circled in unstable equilibrium.



Particular of funeral shrine circled in unstable equilibrium.



Fractures on the base of the bell tower.



Fractures on the base of the bell tower.



Bell tower with fractures.



Fractures on the ground of the Sant'Eutizio cemetery.



Collapse of funeral shrines.



Seminar structure damaged by the collapse of the funeral shrines and part of the travertine plate.

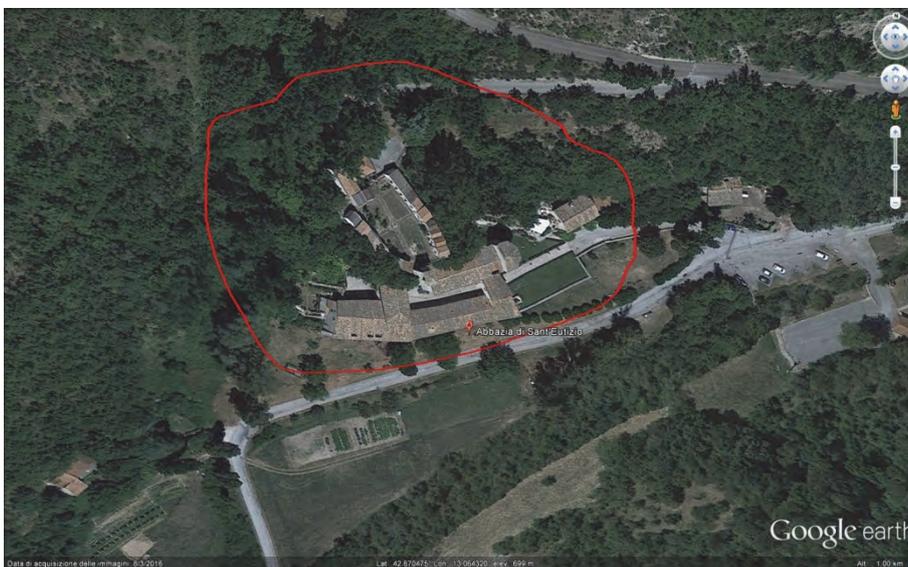
Activities after 30 October 2016 until November 2016

The seismic event of 30 October 2016, of magnitude 6.5 with an epicenter practically near the Abbey of Sant'Eutizio, caused the collapse from the tuff plate on which the bell tower was founded with the catastrophic collapse of the same and most of the cemetery above the seminar structure and the Abbey of Sant'Eutizio. In the following 2 months they tried to immediately define, induced and potential risks, as it was not known how many thousands of travertine cubic meters were about to collapse and the ways in which they could recover about 80 corpses found in the part of a cemetery that had collapsed. There was the need to be able to intervene as soon as possible on site with geologists who were able to work in conditions of high risk and in particular environmental conditions due to the presence of decaying corpses that were mixed with travertine boulders and various debris, also high on the wall that continued to collapse. In the same place in a few hundred square meters there were many critical issues:

- source of supply of the aqueduct of the Municipality of Preci with damaged intake work;
- Sant'Eutizio cemetery with damaged and collapsed funeral constructions;
- half of the cemetery of Sant'Eutizio collapsed together with the bell tower and thousands of cubic meters above the seminary structure;
- collapse of the Abbey of Sant Eutizio;
- definition of the state of incipient collapse for the remaining structures of the Abbey and of the seminary structure;
- travertine pinnacles about to collapse on the remaining seminary and abbey structures;
- structural functionality of the previous consolidation works carried out in the travertine plate to be checked (large diameter well with passive tie rods);
- travertine walls in unstable equilibrium;
- collapse debris mixed with corpses, remains of corpses, debris from the collapse of the Abbey.

All these critical issues involved practically any existing public structure as competence in a very small space not only in an area but also vertically:

- Civil Protection System
- Fire fighters
- Municipality of Preci
- Umbria Region
- Valle Umbra Servizi
- Archaeological Superintendency, Fine Arts and Landscape of Umbria
- Archdiocese of Spoleto-Norcia
- ASL



Saint'Eutizio before 24 August 2016.



Saint'Eutizio after 24 August 2016.



Image taken from a helicopter after 30 October 2016.



View from the east of the collapses which occurred on 30 October 2016.



View from inside the Abbey of the collapses that took place on 30 October 2016.



View from the west inside the area of the collapses that occurred on 30 October 2016.



View from the west inside the area of the collapses that occurred on 30 October 2016.



Remains of corpses within the area of collapses that occurred on 30 October 2016.



Remains of corpses within the area of collapses that occurred on 30 October 2016.

Period December 2016-January 2017

In these two months the possible surveys and monitoring were carried out trying to recover data relating to the interventions for improvement and reclamation of the buildings made in the 2000s. In addition to the technical data that were collected and processed, in real time and with simplified procedures decided immediately on the field, assistance was also provided to the technicians appointed by the Prosecutor of Spoleto who was collecting information. The surveys and monitoring related to the travertine walls that continued to collapse, the verification of the static nature of the large diameter well with passive tie rods and the creation of a reliable topographical base of detail.

As for the reliefs of the travertine walls, which continued to collapse, simple monitoring was immediately put in place by means of fixed points with relief at first daily and then weekly intervals, measured directly on site, in addition to performing a geological-structural survey. The climatic conditions were quite difficult since there were blizzards and strong winds that could also damage the drones used, thus interrupting the acquisition of data until recovery by specialized technicians.



Saint'Eutizio Cemetery.



Drone control station.



drone in flight.



Wire camera control station.

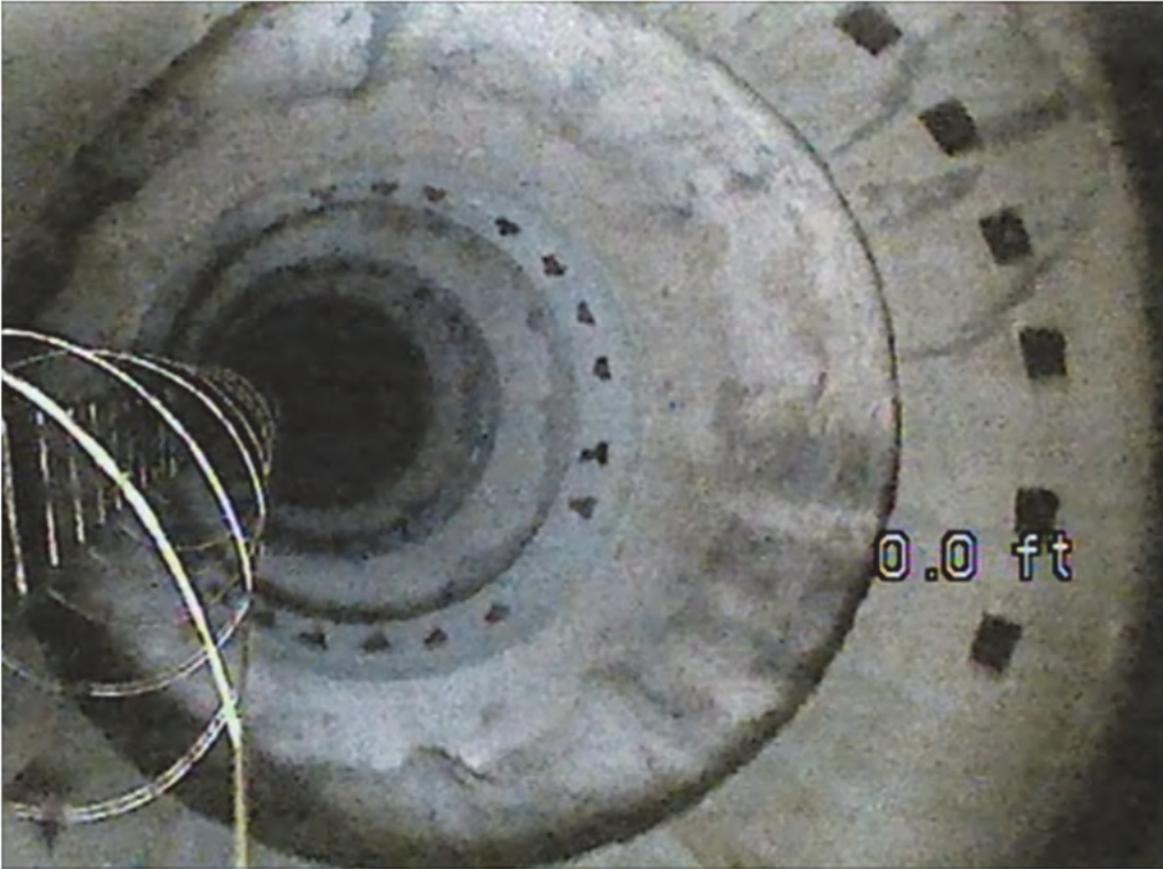


Image of the shot taken inside the large diameter well.



Installation of expedient monitoring in the cemetery area.



Installation of expeditious monitoring inside travertine caves.



Installation of expeditious monitoring on the travertine wall.

Period February-March 2017

In these two months, all the data collected were processed to assess the state of the area and propose further interventions and actions, sharing them with all the Official Institutions. Below are some summaries of the activities carried out.



Working group during emergency activities.

ATTIVITÀ FATTE

- Planimetria ottenuta mediante apposito volo di drone della protezione civile della Regione Umbria;
- Rilievo geologico-strutturale;
- Monitoraggio speditivo continuo delle fratture;
- Calcolo dei volumi crollati;
- Calcolo del volume del pinnacolo roccioso;
- Ispezione del pozzo di grande diametro con telecamera della protezione civile della Regione Umbria;
- Informazioni sul pozzo di grande diametro.

- Planimetry obtained by special drone flight of the civil protection of the Umbria Region;
- Geological-structural survey;
- Continuous rapid monitoring of fractures;
- Calculation of collapsed volumes;
- Calculation of the volume of the rocky pinnacle;
- Inspection of the large diameter well with civil protection camera of the Umbria Region;
- Information on the large diameter well.



PARETE SOTTOSTANTE IL CIMITERO





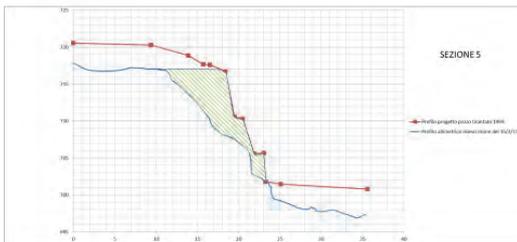
	DATA	A1	A2	A3	B1	B2	B3	PIOVOSITA' mm
1	giovedì 16 febbraio 2017							0
2	venerdì 17 febbraio 2017							0
3	sabato 18 febbraio 2017							0
4	domenica 19 febbraio 2017							0
5	lunedì 20 febbraio 2017							2,4
6	martedì 21 febbraio 2017							0
7	mercoledì 22 febbraio 2017							0
8	giovedì 23 febbraio 2017							0
9	venerdì 24 febbraio 2017							0
10	sabato 25 febbraio 2017							1,4
11	domenica 26 febbraio 2017							0
12	lunedì 27 febbraio 2017							0
13	martedì 28 febbraio 2017							0
14	mercoledì 1 marzo 2017							0,4

Calcoli di volumi crollati e del pinnacolo travertinoso

Con i dati a disposizione sono state fatte le stime di volumi di materiale crollato dalla rupe che sono stati stimati in circa 1.200 metri cubi. Si è eseguito il calcolo del volume del pinnacolo travertinoso che è stato stimato in circa 470 metri cubi.



UBICAZIONE SEZIONI COME DA PROGETTO 1999
BASE ORTOFOTOCARTA RILIEVO DRONE DEL
15 FEBBRAIO 2017



Cause predisponenti dei crolli

A seguito dei rilievi effettuati si sono individuate le cause predisponenti ai crolli maggiori avvenuti oltre alle forze sismiche durante i terremoti. La principale causa che ha innescato i crolli e che ha generato il pinnacolo travertinoso, che si è mosso verso valle, è la presenza della faglia e delle fratture beanti che hanno sicuramente causato il distacco totale del pinnacolo travertinoso. Lungo alcune di queste fratture sono ben visibili le superfici di scivolamento con gli indicatori cinematici. Altra causa predisponente è la disomogeneità della rupe travertinoso composta da due diverse unità con caratteristiche geomeccaniche e geometriche molto diverse e la presenza di accumuli antropici disomogenei aventi spessori di più metri.

Predisposing causes of collapses

Following the findings made, the causes predisposing to the major collapses occurred in addition to the seismic forces during the earthquakes were identified. The main cause that triggered the collapses and that generated the travertine pinnacle, which moved towards the valley, is the presence of pre-existing beanti fractures that certainly caused the total detachment of the travertine pinnacle. Along some of these fractures the sliding surfaces with the kinematic indicators are clearly visible. Another predisposing cause is the lack of homogeneity of the travertine cliff composed of two different units with very different geomechanical and geometric characteristics and the presence of inhomogeneous anthropogenic accumulations having thicknesses of several meters.

Definizione a "giudizio esperto" delle proposte degli interventi da effettuare in sicurezza da parte dei VVF per rimuovere il pinnacolo travertinoso in equilibrio precario ed incombente sull'Abbazia di Sant'Eutizio.

Date le condizioni rilevate ed a seguito del monitoraggio effettuato e delle valutazioni geologico-strutturali è stata indicata la zona che attualmente è a rischio molto elevato per poter fare gli interventi di emergenza. Per poter rimuovere le condizioni di rischio molto elevato vengono indicati gli interventi da effettuare in ordine cronologico:



Intervento 1: rimozione salme ed edicole, rimozione macerie accatastate, smantellamento edicole e bonifica parete sopra la grotta ovest.
Intervento 2: puntellatura grotta ovest, rimozione salme dal piano di inumazione.
Intervento 3: abbassamento parete a monte del pinnacolo mediante completa rimozione del piano di inumazione e successiva rimozione dei livelli travertinosi poco cementati.
Intervento 4: smantellamento parte superiore e mediana del pinnacolo del ripiano creato abbassando la parete.
Intervento 5: rimozione materiale detritico e massi crollati e recupero materiale abbazia.

Durante i lavori di abbassamento della parete si dovrà controllare l'esistenza di altre fratture aperte.

Definition by "expert judgment" of the interventions to be carried out safely by the fire brigade to remove the travertine pinnacle in precarious and impending equilibrium on the Abbey of Sant'Eutizio.

Given the conditions detected and following the monitoring carried out and the geological-structural assessments, considering that the area is currently at a very high risk to carry out emergency interventions it was decided to remove the high risk conditions and the following chronologically listed actions were implemented:

Action 1: removal of corpses and newsstands, removal of stacked rubble, dismantling of newsstands and reclamation of the wall above the west cave.

Action 2: shoring of western cave, removal of corpses from the burial plan.

Action 3: lowering of the wall upstream of the pinnacle by complete removal of the burial plan and subsequent removal of the slightly cemented travertine levels.

Action 4: dismantling the upper and middle part of the pinnacle of the shelf created by lowering the wall.

Action 5: removal of detrital material and collapsed boulders and recovery of the abbey material.

During the lowering of the wall, the existence of other open fractures must be checked.



LEGENDA

-  **Zona a rischio molto elevato per interventi di emergenza**
-  **Intervento 1:** rimozione salme ed edicole, rimozione macerie accatastate, smantellamento edicole e bonifica parete sopra la grotta ovest
-  **Intervento 2:** puntellatura grotta ovest, rimozione salme dal piano di inumazione
-  **Intervento 3:** abbassamento parete a monte del pinnacolo mediante completa rimozione del piano di inumazione e successiva rimozione dei livelli travertinosi poco cementati
-  **Intervento 4:** smantellamento parte superiore e mediana del pinnacolo del ripiano creato abbassando la parete
-  **Intervento 5:** rimozione materiale detritico e massi crollati e recupero materiale abbazia

*Durante i lavori di abbassamento della parete, controllo sull'esistenza di eventuali fratture aperte.
Successivamente dovrà essere controllato l'appoggio sul substrato delle fondazioni dell'Abbazia per l'individuazione della faglia attiva e quindi dovrà essere effettuato uno studio di microzonazione sismica di livello 3

All the Institutions of the inter-institutional working group, which in the meantime had formed, shared the assessments made by the regional Geological Survey. These assessments were taken in charge by the national operational structures of the Fire Brigade for the analysis and preparation of the intervention project.

Period April-October 2017

During this period, the various operating structures of the various Public Authorities assessed the possible activities that could be done; several activities were carried out while others could not be done.

Corpse extumulation (Municipality of Preci), securing access to the Abbey (Archdiocese of Spoleto-Norcia), operational impossibility for the demolition of the travertine pinnacle in precarious equilibrium (Fire Brigade); operational assistance for all the phases envisaged (Regional Geological Survey).

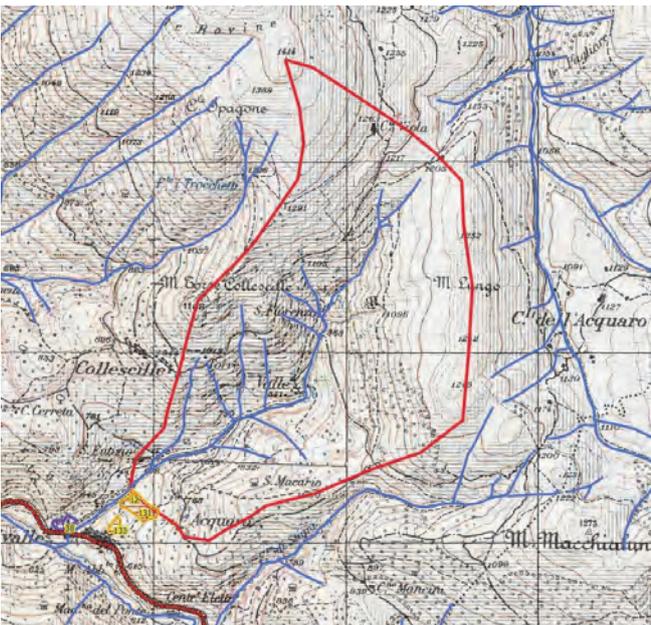
The regional Geological Survey also identified in October areas at risk of flooding and debris flows along the shaft of the valley ditch also through numerical modeling of the flow lines.



Cemetery burial plan after the removal of rubble and corpses.



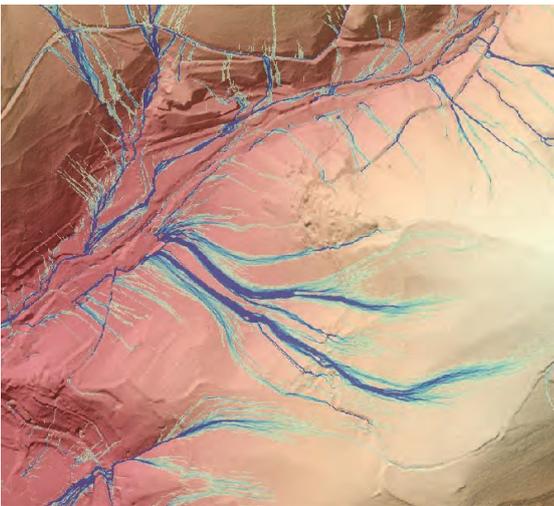
First steps to secure the Abbey of Saint'Eutizio.



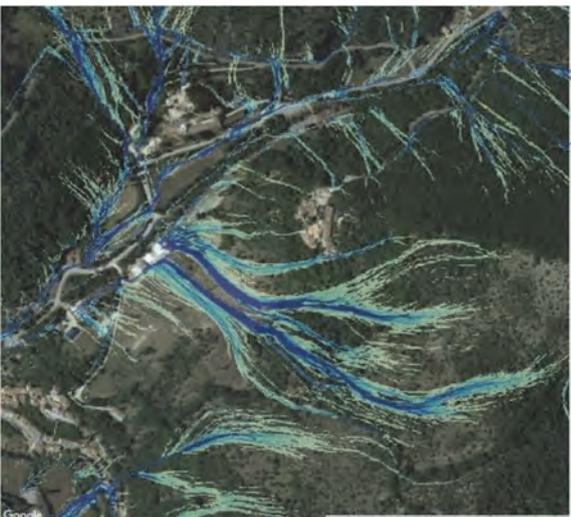
The water catchment area of the Valle ditch.



Debris landslides caused by the seismic event of 30 October 2016.



Flow lines identified by numerical modeling on a dtm basis.



Flow lines identified by numerical modeling on an orthophoto basis.

Period November 2010-June 2018

The Municipality of Preci called for a tender to identify the designer and the company for the safe demolition of the travertine pinnacle in precarious equilibrium which did not allow to carry out all the safety measures. The regional Geological Survey activated a memorandum of understanding with the National Institute of Geophysics and Volcanology defining a specific operational activity for the evaluation of the presence of active faults to capable interferers with the Abbey of Sant'Eutizio. Dangerous funeral niches were demolished by the Municipality of Preci. The Archdiocese of Spoleto-Norcia, with the emergency funds made available, made the first interventions to secure the apse and the external facing of the seminary structure to stop the processes that were leading to the collapse of the structures.



First steps to secure the Abbey of Sant'Eutizio.



Start of activities to avoid the collapse of the external wall facing of the seminar structure.

For the removal of the travertine pinnacle, a monitoring system was installed for the safety of site workers.

The monitoring system was based on a terrestrial interferometric radar capable of providing measurements with millimeter accuracy without the need to install any reflector on the slope and an alert system aimed at generating alarms that would signal the possible occurrence of a deformation event potentially capable to affect the area of demolition operations.



Radar installation point and controlled area.



Walkway installation anchored inside the well of large diameter.

The activation of the alarms would have indicated the need for evacuation of the construction site area by the workers present in this area.



Some of the fixed points for monitoring support checks.

A technical group was created to support the assessment of the stability of the slopes in the construction site area, consisting of representatives of the different realities involved in the cliff safety project (CSE Ing. Marco Balducci; by the legal representative of Geoapp srl, company providing the monitoring system, Dr. Paolo Farina; by the representative of the Geological Survey of the Umbria Region Dr. Andrea Motti and shared on 02/05/2018 with the representatives and workers of the company after performing test tests of operation).

Alarm activation:

A) For the points positioned on the wall (Points 4, 5, 6, 7 and 8) when the following speeds are reached:

- Yellow alarm level: 1.5 mm / h along the LOS
- Red alarm level: 3.0 mm / h along the LOS

B) For the points positioned on the pinnacle (Points 1, 2, 3 and 11 of Figure 4) upon reaching the following speeds:

- Yellow alarm level: 3.0 mm / h along the LOS
- Red alarm level: 5.0 mm / h along the LOS

Warning mode: acoustic signaling (at a volume equal to 120 dB) and visual signaling by means of a siren equipped with LED lights on the sides of the case positioned in the construction site area at a distance of less than 10 m from the operators, with the following differences:

- Yellow alert level: acoustic and visual signal interrupted by pauses lasting 5 seconds each.
- Red alert level: continuous acoustic and visual signaling (without interruptions).

Methods of notification: via email to workers and company representatives, site safety managers, intervention planner, managers of the Umbria Region, managers of the Municipality of Preci and the staff of Geoapp s.r.l.

Duration of the alarm: the alarm will remain active from exceeding the thresholds until the siren is manually deactivated by the workers.

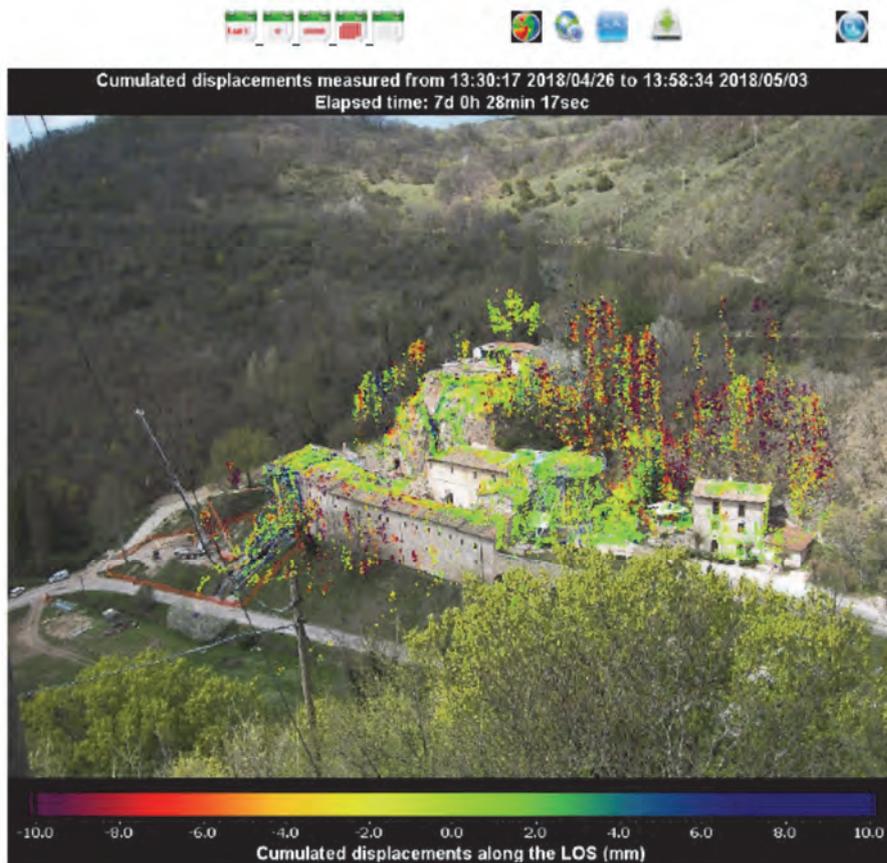
Main alert procedures

- A "collection point" is set up at the site of the site by the site safety manager, near the entrance to the site. This "collection point" is signaled with specific signs.
- At the sound of the siren, which indicates the activation of the alarms of the radar system, both in the event of a yellow alarm (corresponding to acoustic and visual signal interrupted by pauses lasting 5 seconds each) and in the case of a red alarm (acoustic signal and continuous visual) the personnel present within the construction site area must evacuate this area, reaching the "collection point" as soon as possible.
- The end of the alarm phase will take place only after a reply via telephone, followed by confirmation via email, by the "technical group" which will have to evaluate, after careful observation of the radar data and any inspection (in case of red alarm), the level of criticality present on the site or indicate whether it is a possible false alarm.

The demolition work on the pinnacle was carried out on schedule and with maximum monitored safety.

During the monitoring activities, it was discovered that the same could also be used to control the effect of the steel truss of the external wall facing of the seminar structure. This information was made immediately available to designers who would never have thought they could have real-time monitoring of the wall structures while they were carrying out the interventions. The dots in blue indicate that the distance increases and therefore that the facing is pushed by the steel truss that performs its task avoiding collapse.

"Preci Monitoring"



First days of monitoring. Note the blue points at the end of the wall facing of the seminar structure and the red points in the center of the same.



Descent from above of the operators in charge of removing the travertine pinnacle.



Travertine pinnacle in the process of disintegration.



View inside the area after removing the travertine pinnacle.

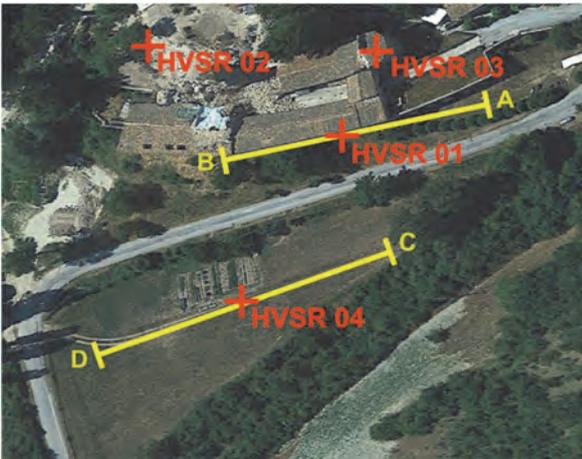


View of the area after the removal of the travertine pinnacle.

Period July 2018-February 2019

From the summer 2018 to the first months of 2019 some activities were carried out pending the debris and rubble present in the internal courtyard of the Abbey to be removed by the Archdiocese of Spoleto-Norcia with the help of the Superintendency (SABAP of Umbria), separating the materials of historical interest from the travertine debris collapsed to the remains of corpses still present. It mainly concerned investigations on the possibility of using the areas and geophysical investigations.

The regional Geological Survey defined in February 2019 that the cemetery area no longer had the technical and safety preconditions for this function and that therefore it had to be definitively delocalized.



Location of geophysical investigations.



Geophysical investigation.

Period March 2019-February 2020

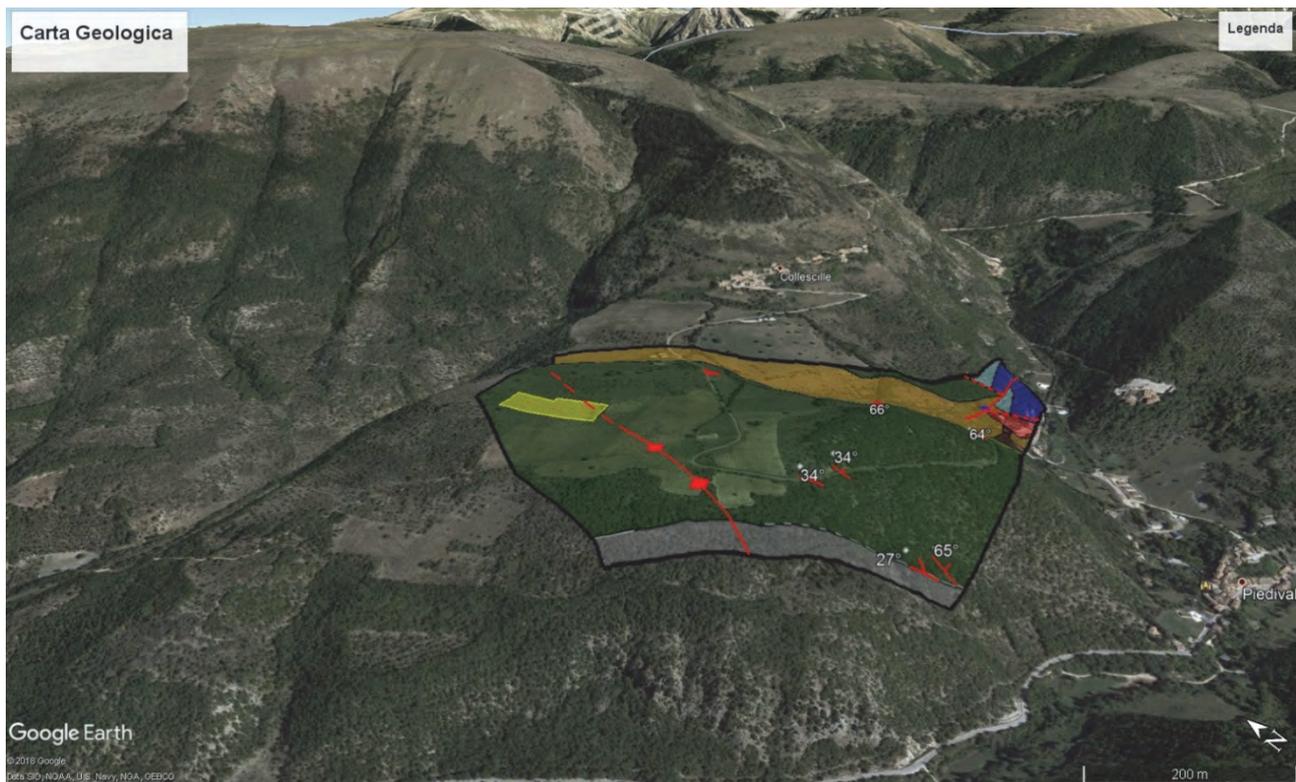
From March 2019 the detrital materials of various origin in the internal courtyard of the Abbey began to be removed and separated according to their importance; this allowed geognostic and geophysical investigations to be carried out to reconstruct the geological situation of the seabed support of the Abbey foundations and of the seminar structure.

The Archdiocese of Spoleto-Norcia carried out geognostic surveys and the regional Geological Survey, together with the "Andrea Bina" Seismic Observatory, carried out geophysical investigations.

From April to August 2019 the regional Geological Survey analyzed the various proposals (3) of the Municipality of Preci to identify the area suitable for hosting the relocation of the Sant'Eutizio Cemetery. The first 2 were not considered suitable while during the third one some of the synthetic works were done.



Detailed geological map on satellite basis, Google Earth.



Detailed geological map on satellite, Google Earth, with 3D vision).

Legenda della carta geologica.

- La linea nera individua il perimetro dell'area indagata
- In giallo l'area proposta dall'amministrazione comunale
- Colore avana: detrito di falda
- Colore arancione: depositi di travertino
- Colore marrone: Scaglia Cinerea
- Colore verde chiaro: Scaglia Variegata
- Colore verde: Scaglia Bianca e Scaglia Rossa
- Colore grigio: Calcari e Marne a Fucoidi
- Colore blu: Maiolica
- Le linee rosse continue e tratteggiate indicano le faglie
- La linea rossa continua e tratteggiate con il soprassegno romboidale indica l'anticlinale
- Le giaciture degli strati sono indicate con il simbolo rosso con accanto riportata la giacitura degli strati in gradi
- Con il punto blu è indicata la sorgente captata
- Con il colore verde chiaro è indicata un'area, nei pressi della zona segnalata, con la presenza di un suolo di modesto spessore



Detailed hydrogeological map on satellite basis, Google Earth.



Detailed hydrogeological map on satellite, Google Earth, with 3D vision.

Lo schema idrogeologico dell'area è il seguente: i livelli impermeabili (indicati in colore grigio) sono la base ed intercettano le acque dell'acquifero contenuto nella formazione della Scaglia ed anche la fratturazione e le strutture plicative presenti nell'area contribuiscono ad indirizzare le acque sotterranee; non a caso l'opera di captazione della sorgente è ubicata in tale zona. Tutta l'area a monte dell'opera di presa deve considerarsi come zona di tutela assoluta della sorgente in considerazione anche dell'elevata permeabilità dei litotipi presenti.

L'area indicata come possibile ubicazione per il nuovo cimitero, trovandosi nel fianco occidentale dell'anticlinale (zona a sinistra rispetto all'elemento lineare con i sovrassegni romboidali), non si trova nella zona che deve essere tutelata per preservare la sorgente che alimenta l'acquedotto.

Acquiferi

- Si sono indicate in colore verde chiaro le aree sede dei possibili acquiferi contenuti nei detriti di falda.
- Si sono indicate in colore verde scuro le aree sede dei possibili acquiferi contenuti nella formazione della Scaglia.
- Si sono indicate in colore blu le aree sede di possibili acquiferi contenuti nella formazione della Maiolica.
- Si sono indicate in colore arancione le aree sede di possibili acquiferi contenuti nei depositi travertinosi.

Acquitardi

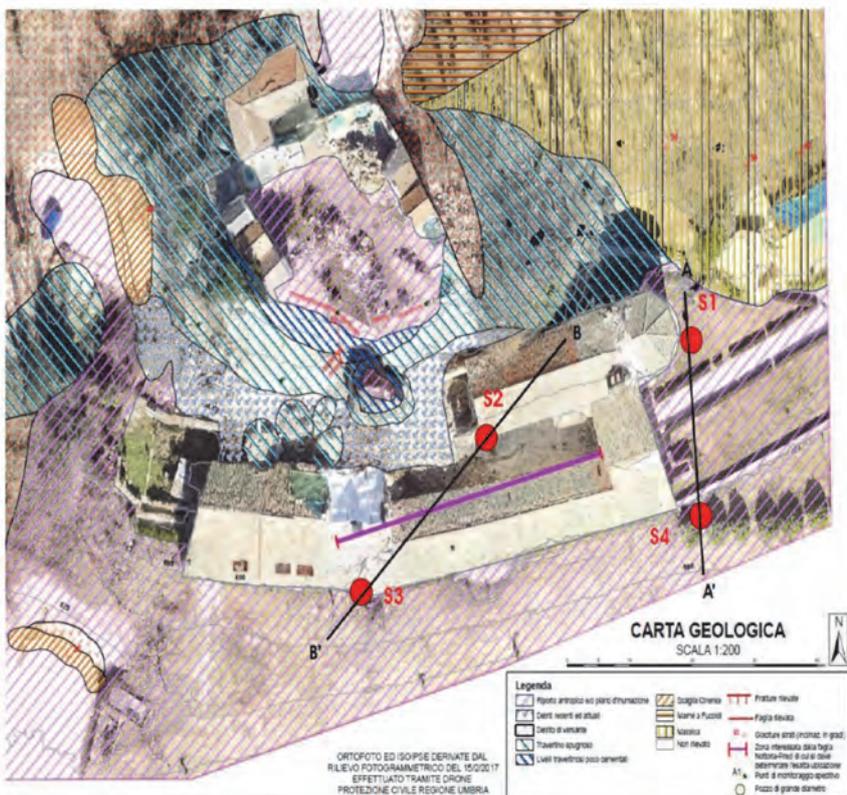
- Si sono indicati in colore grigio i livelli impermeabili appartenenti alla formazione della Scaglia Cinerea.

Elementi puntuali e lineari

- La linea nera individua il perimetro dell'area indagata
- In giallo il perimetro dell'area proposta dall'amministrazione comunale
- Le linee rosse continue e tratteggiate indicano le faglie
- La linea rossa continua e tratteggiata con il sovrassegno romboidale indica l'anticlinale
- Le giaciture degli strati sono indicate con il simbolo rosso con accanto riportata la giacitura degli strati in gradi
- Con il punto blu è indicata la sorgente captata

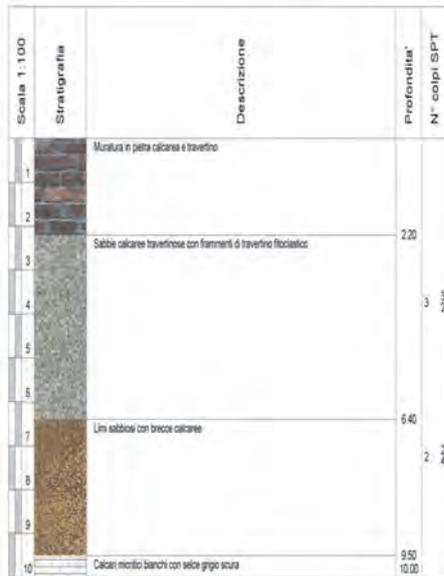
The regional Geological Survey in November defined the thickness of the travertine above the rocky substratum and activated the National Institute of Geophysics and Volcanology for the execution, downstream of the Abbey of Sant'Eutizio, of a paleo-seismological trench. Subsequently, the regional Geological Survey, together with the Polytechnic of Milan, defined the local seismic response of the area through numerical modeling

UBICAZIONE SONDAGGI



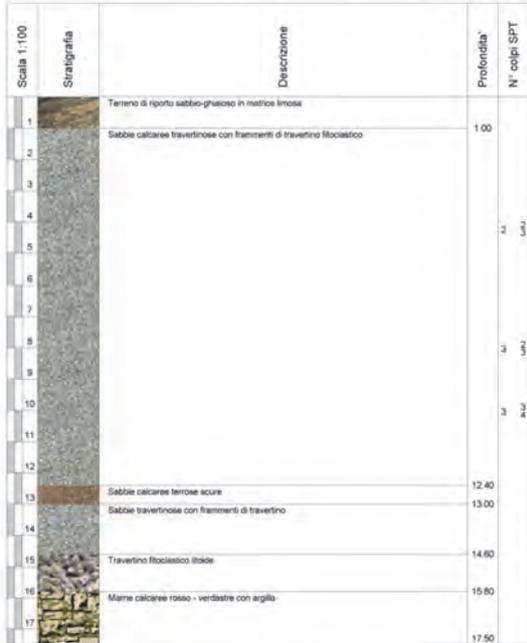
Geognostic survey locations.

Customer	Curia Arcivescovile di Spoleto - Norcia	BOREHOLE	SHEET
Site	ABBAZIA DI SANT' EUTIZIO	3	
Locality	PRECI - GUAITA SANT' EUTIZIO		
Initial date	06.02.2019	The geologist Roberto Giorgetti	
Final date			

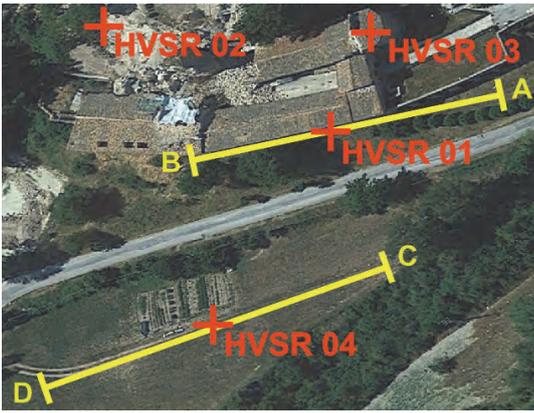


Geognostic survey stratigraphy.

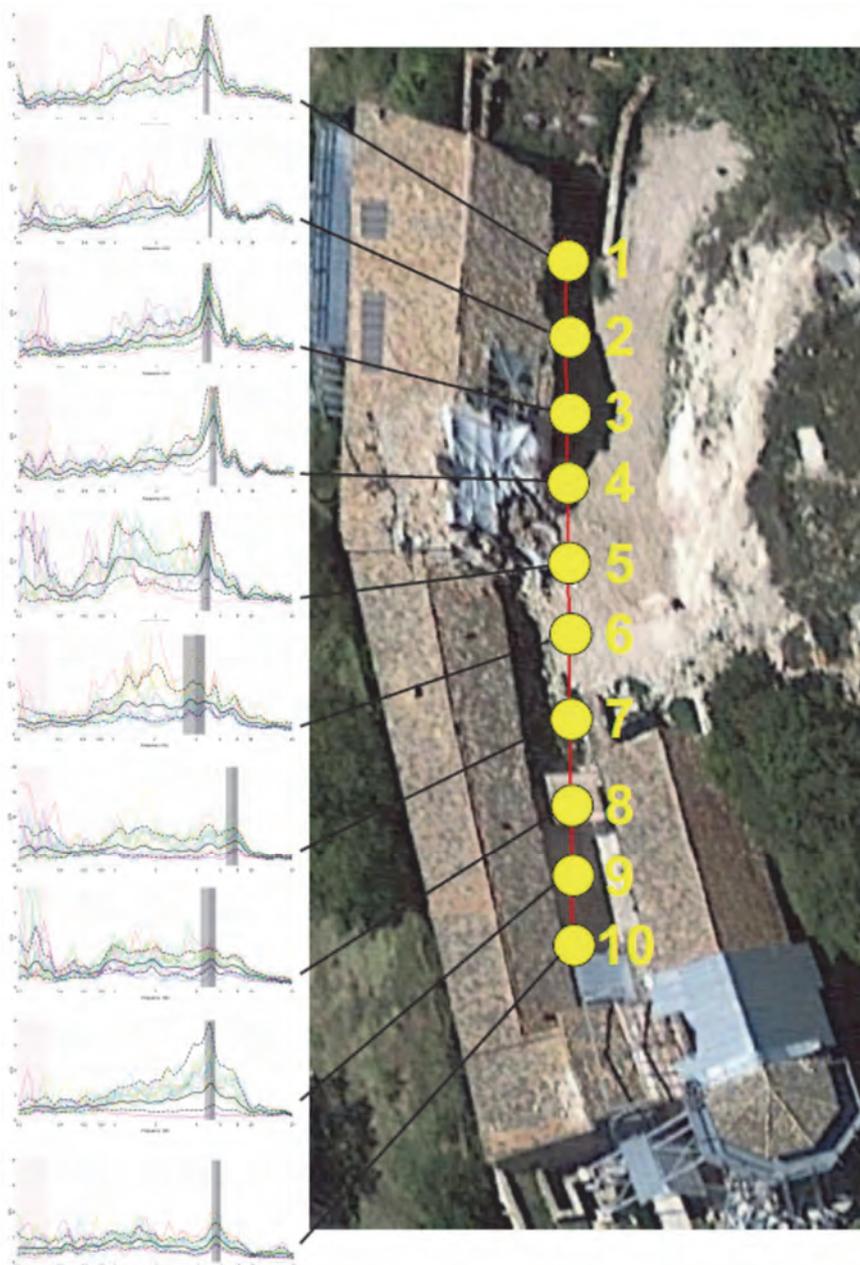
Customer	Curia Arcivescovile di Spoleto - Norcia	BOREHOLE	SHEET
Site	ABBAZIA DI SANT' EUTIZIO	2	
Locality	PRECI - GUAITA SANT' EUTIZIO		
Initial date	06.02.2019	The geologist Roberto Giorgetti	
Final date			



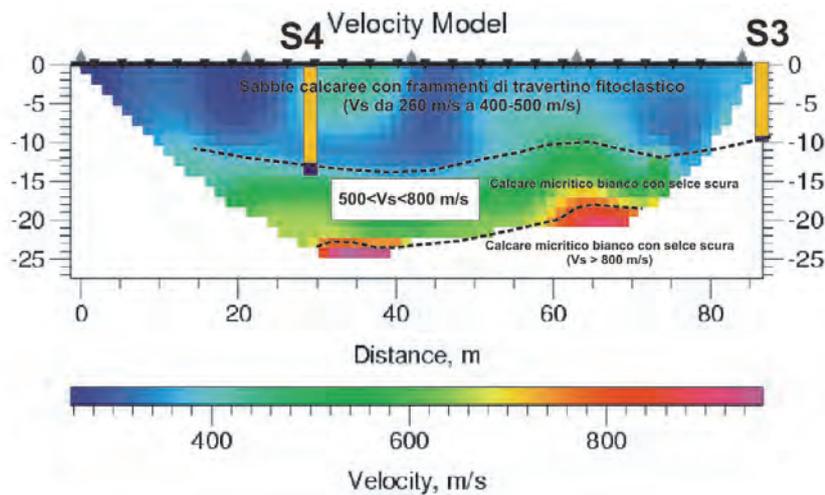
Geognostic survey stratigraphy.



Locations of geophysical investigations outside the Abbey.



Locations and partial results of geophysical investigations in the internal courtyard of the Abbey.



Coordinated interpretation of some geophysical investigations with geognostic investigations.



Geophysical investigations and paleoseismological trench locations, in yellow.

The trench was built out on 30 October 2019, exactly 3 years after the main shock of 30 October 2016, and there were some executive difficulties.



Problems during the execution of the paleo-seismological trench.



Problems during the building of the paleo-seismological trench.



Trench location by drone flight.



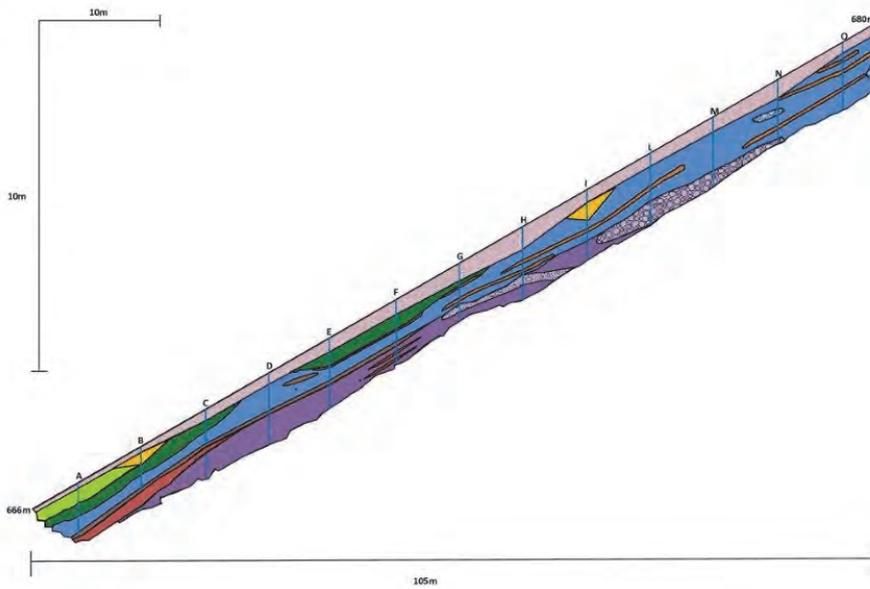
Paleo-seismological trench built.



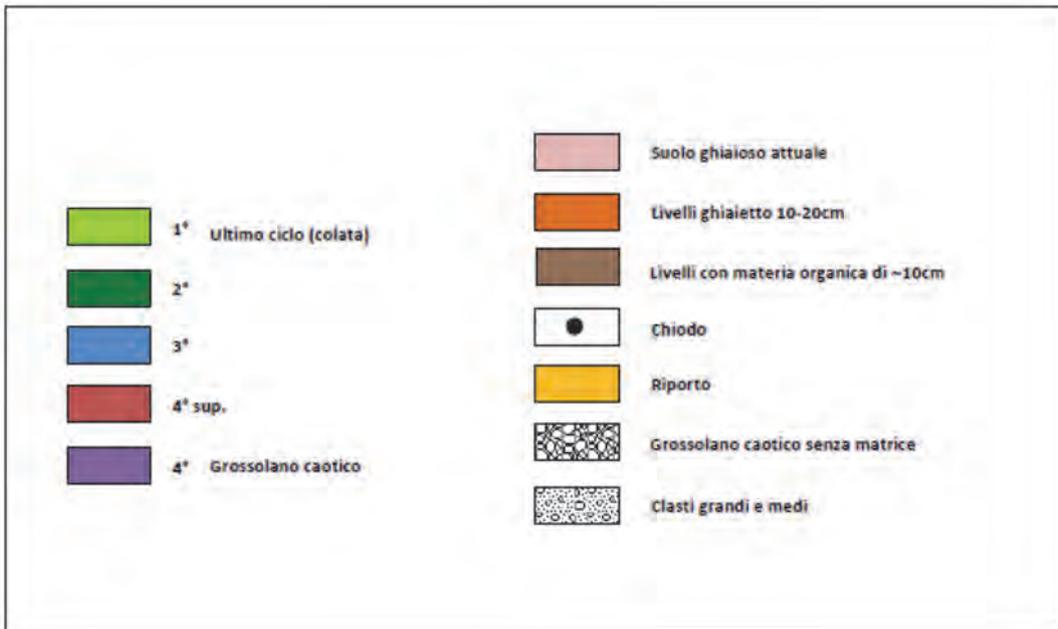
Detail of the paleo-seismological trench.



Detail of the paleo-seismological trench.



Lithological profile of the trench.



Legend of the lithological profile of the trench.

The determinations of the radiometric dating performed are shown in the figure below.



The reference number 1 indicates the lithological unit in which 3 debris flows are contained, indicated in the lithological profile of the trench (1st, 2nd and 3rd); the south wall on the left and the north wall on the right.

The analyzes carried out together with the geological surveys carried out did not identify surface faulting phenomena caused by the tectonic element, present below the seminar structure and associated with the pre-quadernary compression tectonic phase, no longer active in this sector of the Apennine chain.



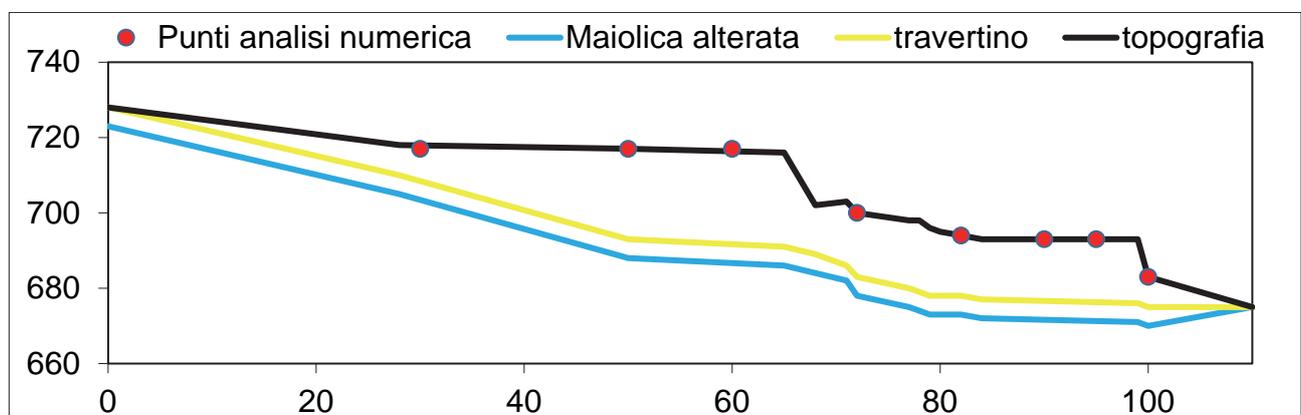
The yellow dotted line indicates a thrust fault and the white dotted line indicates a right transcurrent fault.

The analyzes carried out did not detect any dislocations of the stratigraphic sequences present in the trench; these stratigraphic sequences certainly contain 1703, the year in which there was a seismic event with $M_w = 6.9$ on 14 January, due to the activation of a long fault on the surface of approximately 30 Km and of which the Campi-Norcia segment is a part of it, which has produced a superficial fault surely of at least 80 cm.

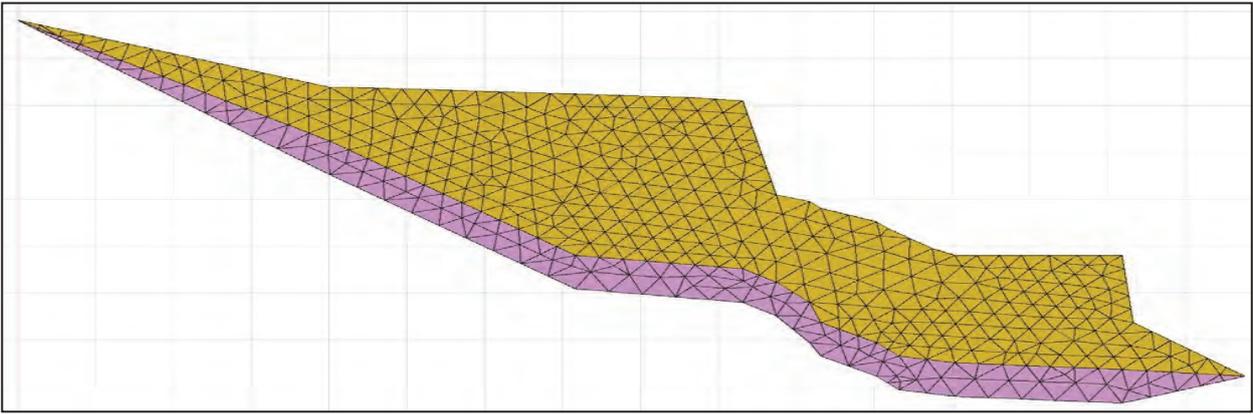
In December 2019-January 2020 numerical modeling was carried out aimed at identifying the seismic amplifications at Sant'Eutizio di Preci. The numerical modeling part was carried out by Prof. Floriana Pergalani of the Politecnico di Milano, the other parts by the Geological Survey of Regione Umbria.



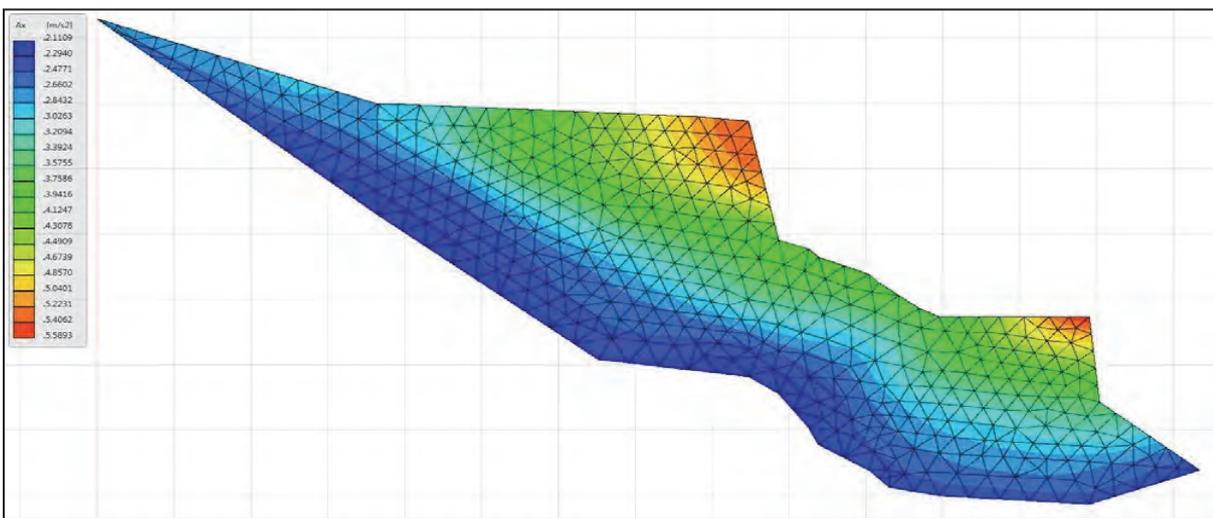
Location of the geophysical profile.



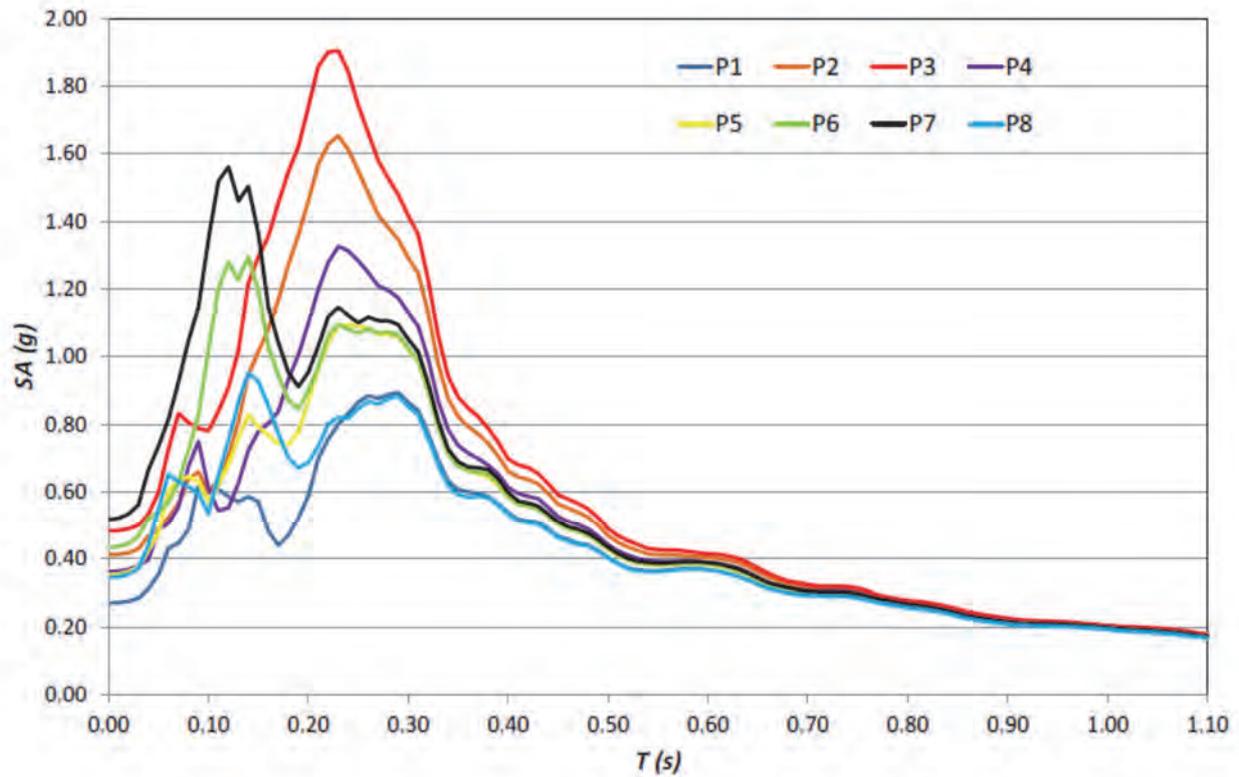
Geological-geophysical profile with indication of the base of the geophysical units.



Analisis mesh.



Trend of the average accelerations in x.



Average elastic response spectra for the individual analysis points.

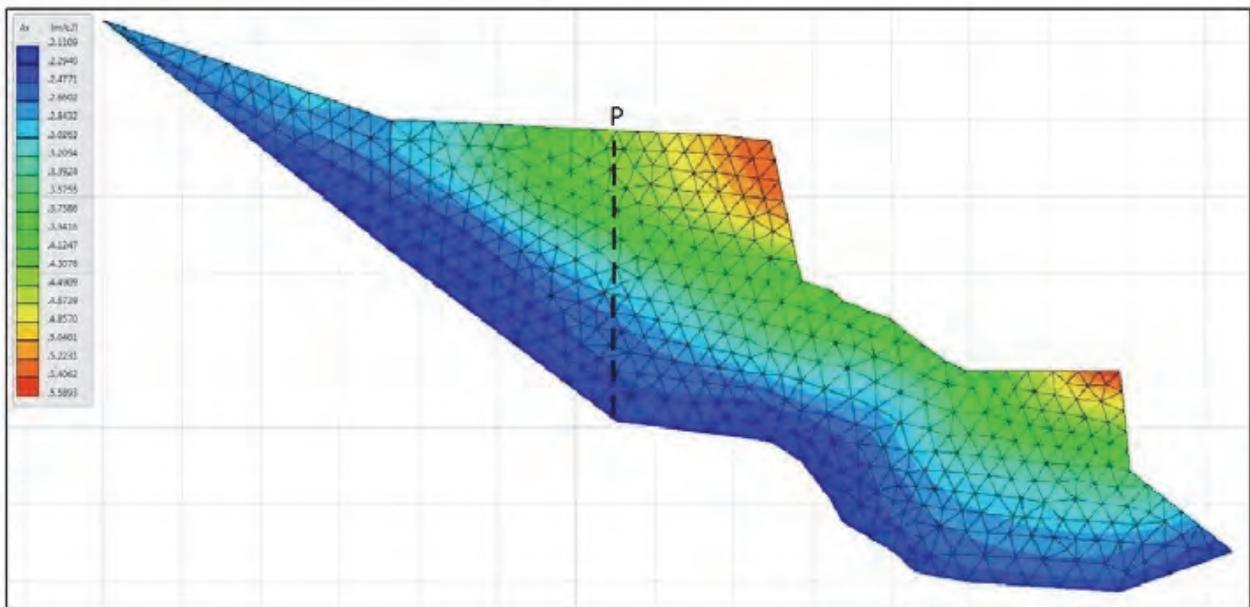
<i>F_a</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>	<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>P8</i>
<i>0.1 – 0.5 s</i>	1.18	1.88	2.15	1.58	1.44	1.62	1.74	1.30
<i>0.4 – 0.8 s</i>	1.10	1.25	1.30	1.19	1.16	1.16	1.17	1.10
<i>0.7 – 1.1 s</i>	1.05	1.11	1.13	1.09	1.07	1.08	1.08	1.05

Average values of the amplification factors for the individual analysis points.

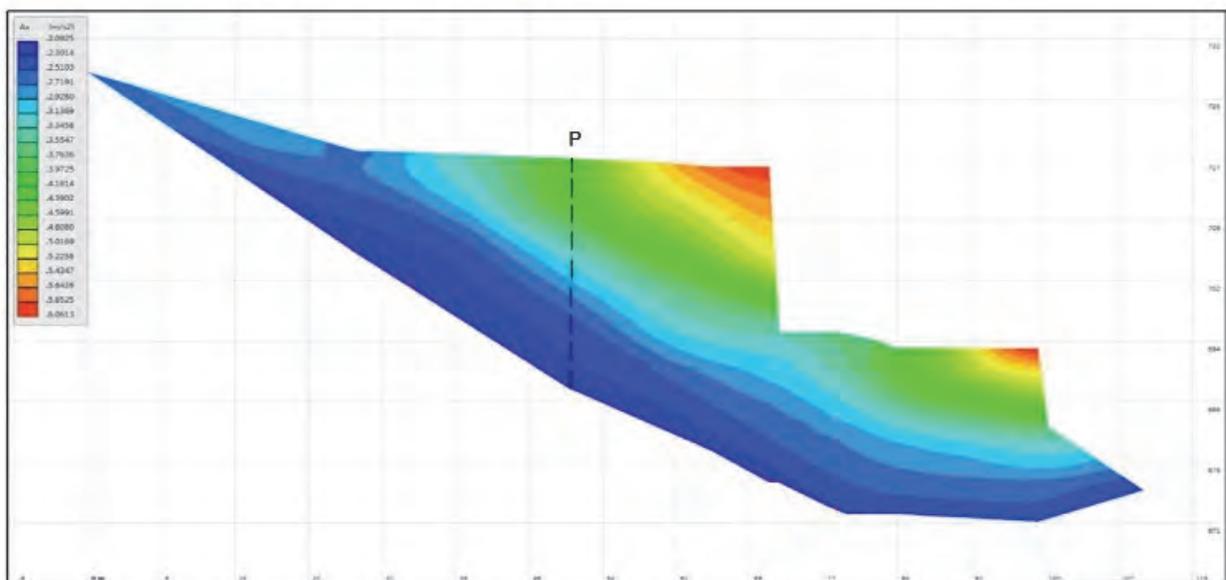
There is also an area with average amplifications in the area where the downstream face of the seminar structure is founded.

The following figures show the accelerations in the current and pre-earthquake situation 2016 and in the figures with the letter P and the dotted line the well of large diameter with tie rods is indicated.

ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI MEDIE IN X



ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI MEDIE IN X



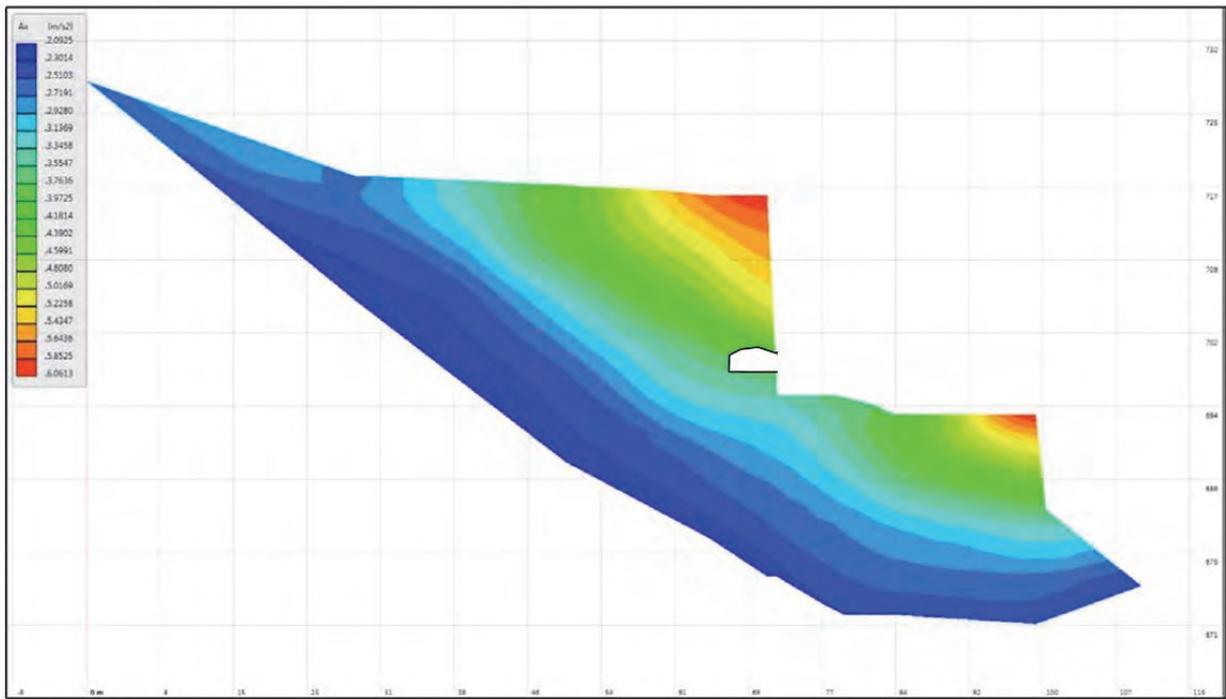
5 - Summary and conclusions

The investigations carried out did not identify elements that indicate the presence of an active and capable fault interfering with the Abbey of Sant'Eutizio the seminary structure.

The investigations and analyzes carried out have defined and ascertained:

- the interventions and monitoring to be carried out in an emergency.
- interventions and monitoring to make workers work safely during the various phases.
- the geological and hydrogeological characteristics of the area.
- areas suitable for hosting the new cemetery area.
- the thicknesses of the travertine deposits.
- the geophysical and seismic amplification characteristics of the travertine deposits on which the Abbey and the seminary structure of Sant'Eutizio rest.
- the geophysical characteristics of the rock formations below the travertine deposits.
- the absence of dislocations of the stratigraphic sequences exposed in the paleo-seismological trench; these stratigraphic sequences certainly cross 1703, the year in which there was a seismic event with $M_w = 6.9$ on 14 January, due to the activation of a long fault on the surface of approximately 30Km and of which the Campi-Norcia segment is a part of it, which has produced a superficial fault surely of at least 80cm.
- the characteristics of the local seismic response.
- the presence of a tectonic element present below the seminar structure, of the compressive type associated with the pre-quaternaly compression tectonic phase no longer active in this sector of the Apennine chain, which is the cause of a seismic response differentiated between the western sector of the seminary structure and the central and eastern one, as well represented by geophysical investigations.
- an area with very high amplifications of seismic forces which corresponds to the upper part of the travertine wall and the shelf surrounding it which has very high amplifications up to more than doubling the amplification factor for the period between 0.1-0.5s; furthermore, we are in the situation where the amplifications at present are higher than the 2016 pre-earthquake situation, in which all the structures that were present on the shelf collapsed in a ruinous way over the Abbey and the seminary structure. In this area, or in similar situations artificially reconstructed, any elevated structure will be subject to the same phenomena that led to the collapse of the structures in 2016.
- an area that has average amplifications in the area where the downstream face of the seminar structure is founded.
- the average elastic response spectra of the current situation compared to the 2016 pre-earthquake situation have roughly the same values but have a slightly different shape.
- Finally, it is important to note that the cave that was excavated by hermits around 1500 years ago, is located in an area with very low accelerations, as shown in the following figure.

ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI MEDIE IN X



6 – Bibliography

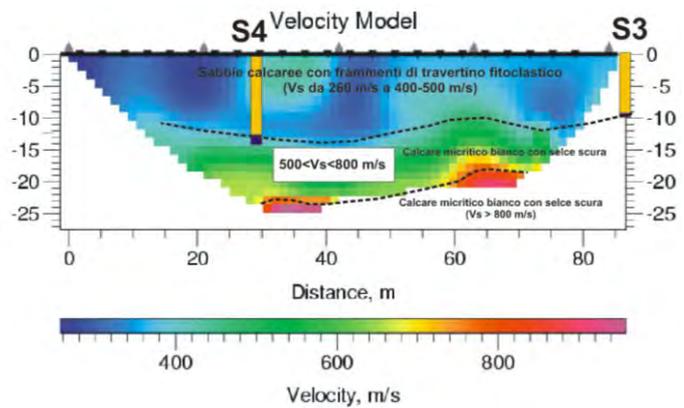
- Regione Umbria-AA.VV.-1998- *D.G.R 31/07/98 n. 4363-Indagini urgenti di microzonazione sismica. Approvazione della relazione conclusiva, degli elaborati e delle tabelle dei coefficienti di amplificazione sismica per i centri abitati sottoposti ad indagine.* Bollettino Ufficiale della Regione Umbria S. O. n. 2 al n. 52 del 19/08/06.
- A.V.-1999- *Lo stato della ricostruzione.* Regione Umbria collana sismica, numero speciale. Grafica Salvi, Perugia.
- A.V.-2000- *La microzonazione sismica speditivi relativa ai terremoti del 1997/98 in Umbria.* RU/CNR. Tipolito Visconti, Terni.
- Regione Umbria-AA.VV.-2002- *Ricostruire la complessità. I PIR e la ricostruzione in Umbria.* Alinea Ed.
- AA. VV.-2008- *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica.* Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della protezione civile-Conferenza delle Regioni e delle Province autonome. Roma, settembre 2008.
- Guarino F., Melelli A., 2008-*Abbazie Benedettine in Umbria.* Ed. Quattroemme.
- Regione Umbria- *D.G.R 08/03/10 n. 377-Criteri per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica.* Bollettino Ufficiale della Regione Umbria S. O. n. 1 al n. 15 del 31/03/10.
- Regione Umbria-Servizio Geologico e Sismico-2013, Cartografia geologica informatizzata vettoriale della Regione Umbria in <http://www.territorio.regione.umbria.it/> e in <http://www.umbriageo.regione.umbria.it>
- Regione Umbria-Servizio Geologico e Sismico-2013, Cartografia geologica della Regione Umbria per Google Earth in http://www.territorio.regione.umbria.it/Static/GeologiaKmz/GeologiaKmz/Index_kmz.htm.
- Regione Umbria-Servizio Geologico e Sismico-2013, Cartografia di pericolosità sismica locale informatizzata vettoriale della Regione Umbria in <http://www.territorio.regione.umbria.it/> e in <http://www.umbriageo.regione.umbria.it>.
- Motti A., Servizio Geologico 2017-*Indicazioni per interventi in emergenza sulla rupe di travertino sovrastante l'Abbazia di Sant'Eutizio.* Rapporto interno Regione Umbria.
- Motti A., Servizio Geologico 2017- *Decreasing the macroseismic intensity of the seismic events of 2016-2017 as a result of knowledge and seismic risk reduction policies implemented over the last 30 years in Umbria.* https://www.researchgate.net/publication/323366176_Decreasing_the_macroseismic_intensity_of_the_seismic_events_of_2016-2017_as_a_result_of_knowledge_and_seismic_risk_reduction_policies_implemented_over_the_last_30_years_in_Umbria .
- Motti A., Console F., Pantaloni M.-2017- *L'intermittenza delle sorgenti del Torbidone nella Piana di Norcia: analisi delle fonti storiche a partire dal XIV secolo.* Rendiconti online della Società Geologica Italiana. Vol. 43, pp. 36-56 (10.3301/ROL.2017.34).
- Regione Umbria-D.G.R 23/10/17 n. 1232-*Criteri per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica. Adozione delle linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC), da liquefazione (LQ), da instabilità di versante sismoindotte (FR).* Bollettino Ufficiale della Regione Umbria S. O. n. 1 al n. 48 del 08/11/17.
- Motti A., Regione Umbria-Servizio Geologico 2018-*Lo sviluppo delle microzonazioni sismiche in Umbria a cavallo di 2 millenni.* https://www.researchgate.net/publication/329339518_The_development_of_seismic_microzonations_in_Umbria_at_the_turn_of_2_millennia *Lo sviluppo delle microzonazioni sismiche in Umbria a cavallo di 2 millenni* .
- Motti A., Luzi L., Regione Umbria-Servizio Geologico-2019, *Accelerogrammi dei comuni umbri* in <http://www.regione.umbria.it/accelerogrammi-dei-comuni-umbri> .



CAMPAGNA DI INDAGINI GEOFISICHE ABBAZIA DI SANT'EUTIZIO (PRECI - PG) (In base a quanto prescritto dalle N.T.C. 17/01/2018)

INDAGINI COMBinate DI:

- 1) SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE SH ED ONDE P;
- 2) INDAGINI M.A.S.W. CONGIUNTE (ONDE DI LOVE E REYLEIGH);
- 3) MISURE DI RUMORE DI FONDO A STAZIONE SINGOLA CON ANALISI HVSR



ATTIVITÀ SVOLTA NELL'AMBITO DEL "CONTRATTO PER L'ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI DELLA RETE SISMICA REGIONALE (RESIR), ESECUZIONE DI STUDI, GEOTEMATISMI E RICERCHE DI MICROZONAZIONE 2018-2020" TRA REGIONE UMBRIA ED OSSERVATORIO SISMICO "A. BINA".



CAMPAGNA DI INDAGINI GEOFISICHE PER LA MESSA IN SICUREZZA DELL'ABBAZIA DI SANT'EUTIZIO (PRECI) (In base a quanto prescritto dalle N.T.C. 17/01/2018)

- Andamento delle velocità delle onde sismiche P ed S fino al bedrock sismico.
- Determinazione della categoria di sottosuolo NTC e del parametro V_{seq} ;
- Ricostruzione geometrica dei livelli sismo stratigrafici
- determinazione dello spettro di risposta (Tr 475 anni) attraverso microzonazione sismica di livello 2

Gruppo di Lavoro



REGIONE UMBRIA

Dott. Geol. **Andrea Motti**
Responsabile

Dott. Geol. **Marco Ogna**

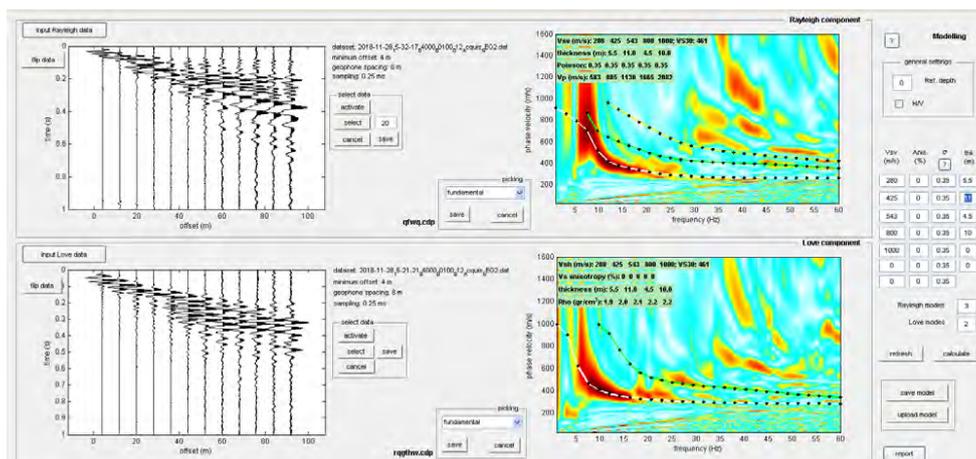


OSSERVATORIO SISMICO "A. BINA"

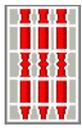
Dott. Padre **Martino Siciliani**

Dott. Geol. **Michele Arcaleni**

Alessandro Sabatini
(stagista Università di Perugia)



- Novembre 2018 PRIMA CAMPAGNA DI INDAGINI
- Ottobre 2019 SECONDA CAMPAGNA DI INDAGINI



INTRODUZIONE

In seguito a direttive dei responsabili del Servizio Geologico della Regione Umbria, vengono realizzate due campagne geofisiche integrate costituite, complessivamente, da n. 3 profili di sismica a rifrazione in onde SH e P (a traccia coincidente), n. 3 profili masw in onde di Rayleigh e di Love (a traccia coincidente) e da n. 14 misure di rumore di fondo a stazione singola con analisi HVSR. Le indagini vengono realizzate all'interno ed all'esterno dell'Abbazia di Sant'Eutizio di Preci, pesantemente danneggiata in seguito alla crisi sismica dell'anno 2016.

Gli scopi principali della campagna geofisica sono quelli di ottenere dati relativi **all'andamento delle velocità delle onde sismiche S fino al bedrock sismico** (attraverso correlazioni con i dati diretti di n. 4 sondaggi messi a disposizione), di fornire una ricostruzione geometrica dei livelli sismostratigrafici e di determinare i parametri necessari per una corretta risposta sismica locale, anche in base a quanto prescritto dalle NTC 17/01/18.

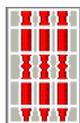
Per raggiungere l'obiettivo prefissato, i profili di sismica a rifrazione in onde P ed SH vengono determinati in tecnica tomografica ed i dati masw vengono determinati in analisi congiunta onde di Rayleigh ed onde di Love.

Si dispone di indagini dirette (n. 4 sondaggi) messi a disposizione dai responsabili della Regione Umbria (Relazione Geologica Geol. Roberto Giorgetti) che hanno permesso la "taratura" del modello sismostratigrafico. **Vengono pertanto attribuite le velocità Vs medie per ogni orizzonte litologico messo in evidenza dai sondaggi.**

Si forniscono inoltre gli spettri di risposta, gli Fa e gli Fv di sito per ogni stato limite, determinati con una microzonazione sismica di livello 2. Tale analisi, effettuata con parametri progettuali relativi ad una classe II (cu 1), Tr 475 anni, assumono, in questa fase, un carattere puramente qualitativo. In seguito alla conoscenza dei parametri progettuali reali della struttura ed alla valutazione degli effetti morfologici, potranno essere effettuate analisi di risposta sismica più mirate (livello 2 e livello 3).

L'attività viene svolta nell'ambito del contratto esistente per gli anni 2018-2020 tra la Regione Umbria e l'Osservatorio Sismico "A. Bina".

Di seguito viene riportato un modello sismostratigrafico che associa i valori di Vs agli orizzonti litostratigrafici emersi dai sondaggi messi a disposizione.



VELOCITA' DELLE ONDE S ASSOCIATE AGLI ORIZZONTI LITOLOGICI

Sismostratigrafia associata al sondaggio S2

Profondità (m)	Velocità onde S (m/s)	Litostratigrafia
da 0.0 a - 1.0	250-260	<i>Terreno di riporto a granulometria grossolana</i>
da -1.0 a -12.4	260-400	<i>Sabbie calcaree terrose scure</i>
da -13.0 a -14.6	260-400	<i>Sabbie calcaree con frammenti di travertino fitoclastico</i>
da -14.6 a -15.8	330-400	<i>Travertino fitoermale litoide</i>
da -15.8 a -17.5	500-600 (bedrock litoide)	<i>Marne bruno verdastre con argilla</i>
*oltre 20	Oltre 800 (bedrock litoide e sismico)	Bedrock sismico

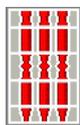
Sismostratigrafia associata al sondaggio S4

Profondità (m)	Velocità onde S (m/s)	Litostratigrafia
da 0.0 a -3.5	250-260	<i>Muratura in pietra calcarea e travertino</i>
da -3.5 a -12.4	260-400	<i>Sabbie calcaree con frammenti di travertino fitoclastico</i>
da -12.4 a -13.5	Oltre 500 (bedrock litoide)	<i>Calcarea micritico bianco con selce scura</i>
*oltre 23	Oltre 800 (bedrock litoide e sismico)	

Sismostratigrafia associata al sondaggio S3

Profondità (m)	Velocità onde S (m/s)	Litostratigrafia
da 0.0 a -2.2	250-260	<i>Muratura in pietra calcarea e travertino</i>
da -2.2 a -6.4	260-400	<i>Sabbie calcaree con frammenti di travertino fitoclastico</i>
da -6.4 a -9.5	400	<i>Limi sabbiosi con breccia calcarea</i>
da -9.5 a -10.0	Oltre 500 (bedrock litoide)	<i>Calcarea micritico bianco con selce scura</i>
*oltre 17	Oltre 800 (bedrock litoide e sismico)	

*determinato sulla base dei dati geofisici

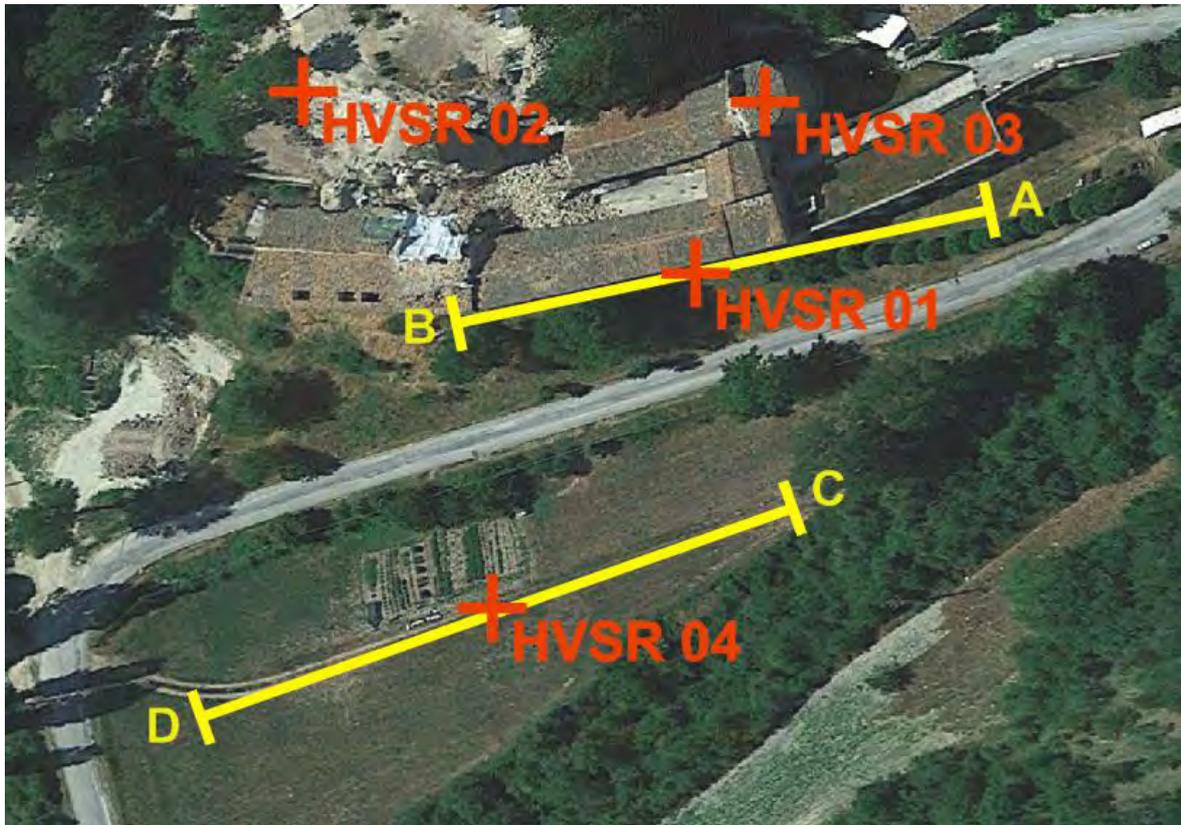


DESCRIZIONE TECNICA RIASSUNTIVA DELLE INDAGINI EFFETTUATE ED APPARECCHIATURE UTILIZZATE

Ambito indagine:	INDAGINI GEOFISICHE EFFETTUATE NELL'AMBITO DELLA MESSA IN SICUREZZA DELL'ABBAZIA DI SANT'EUTIZIO (PRECI)
Tipo di indagini:	<p>SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE SH E P</p> <ul style="list-style-type: none"> - N. 3 PROFILI DI SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE SH di lunghezza 84 m e 96 m, 60 m. Acquisizioni a 12 canali, n. 5 punti di energizzazione per profilo, elaborazione in tecnica tomografica, geofoni orizzontali e verticali da 14 Hz e 4.5 Hz. - N. 3 PROFILO DI SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P a traccia coincidente con i profili in onde SH. <p>M.A.S.W. CONGIUNTA RAYLEIGH E LOVE (tarata con i dati di sismica a rifrazione)</p> <ul style="list-style-type: none"> - N. 3 profili M.A.S.W. in onde di Rayleigh lunghezza 84 e 96, 60 m -N. 3 profili M.A.S.W. in onde di Love con geofoni orizzontali. <p>Le tracce dei profili Masw sono coincidenti con quelle dei profili a rifrazione</p> <p>MISURA DI RUMORE DI FONDO A STAZIONE SINGOLA CON ANALISI HVSR</p> <ul style="list-style-type: none"> - N. 14 punti di misura HVSR (dei quali n. 10 allineati lungo la traccia del profilo sismico A-B 60 m effettuato sul cortile interno dell'Abbazia)
Località:	Abbazia di Sant'Eutizio (Preci)
Strumentazione:	Acquisitore Sara Doremi (sismografo a 24 canali) per Rifrazione; n. 24/12 geofoni orizzontali da 14 Hz; n. 24/12 geofoni verticali da 4.5 Hz,
Software utilizzati	SeisOpt 2D, SeisOpt Picker, WinMasw Pro, Geopsy. Strata



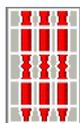
LOCALIZZAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE REALIZZATE



Localizzazione delle indagini geofisiche effettuate durante la **prima campagna** di indagini (novembre 2018). I profili di sismica a rifrazione in onde Sh, P ed i profili masw in onde R e L sono a traccia coincidente.



Traccia dei profili di sismica a rifrazione in onde P, Sh e Masw R e L effettuati all'interno dell'Abbazia durante la **seconda campagna di indagini** (ottobre 2019). Tutti i profili sono stati effettuati con traccia corrispondente).



Localizzazione delle indagini HVSR realizzate sulla traccia del profilo sismico A-B (cortile interno) durante la seconda campagna di indagini.

GEOREFERENZIAZIONE DEI PUNTI DI RIFERIMENTO DEI PRIFILI SISMICI (SISTEMA WGS 84)

Profili di sismica a rifrazione in onde Sh, P, masw L ed R

Linea sismica A-B lunghezza 84 m		
	Latitudine	Longitudine
Punto A	42.870442	13.064956
Punto B	42.870269	13.063951
Linea sismica C-D lunghezza 96 m		
	Latitudine	Longitudine
Punto C	42.870021	13.064579
Punto D	42.869720	13.063478
Linea sismica A-B lunghezza 60 m (cortile interno dell'Abbazia)		
	Latitudine	Longitudine
Punto A	42.870432	13.063653
Punto B	42.870444	13.064370



Fasi di energizzazione in onde Sh.

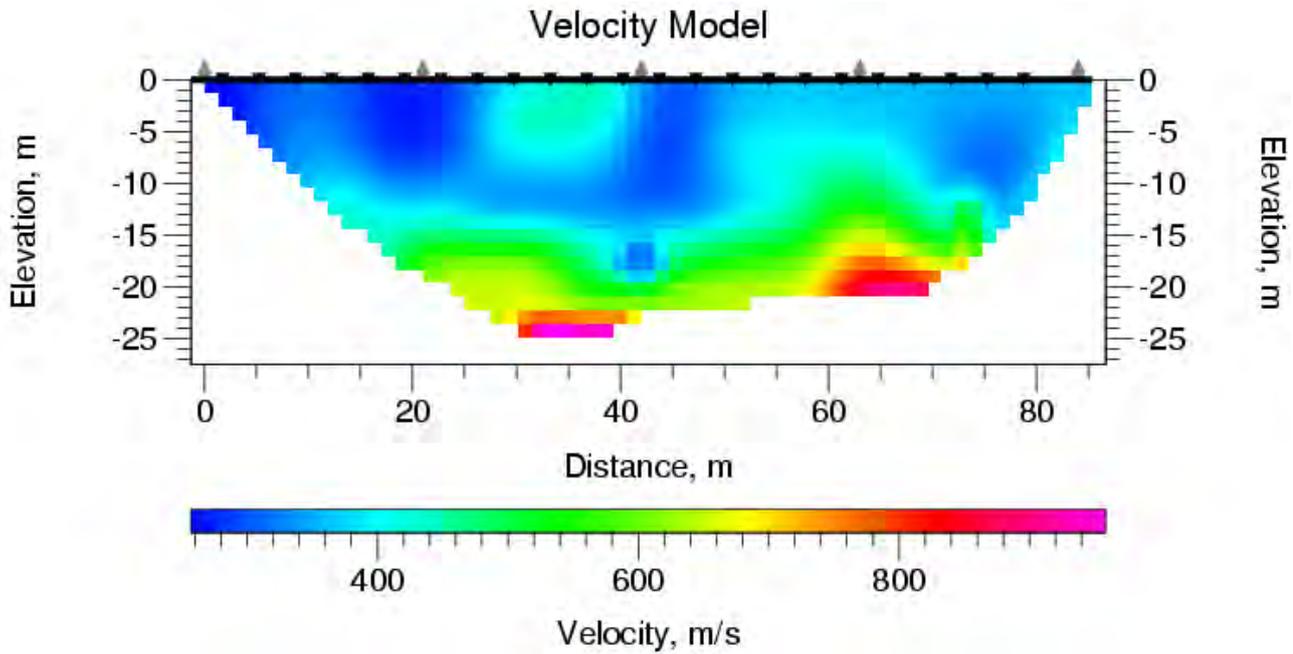


RISULTATI DELLE INDAGINI DI SISMICA A RIFRAZIONE

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE A-B onde SH

A

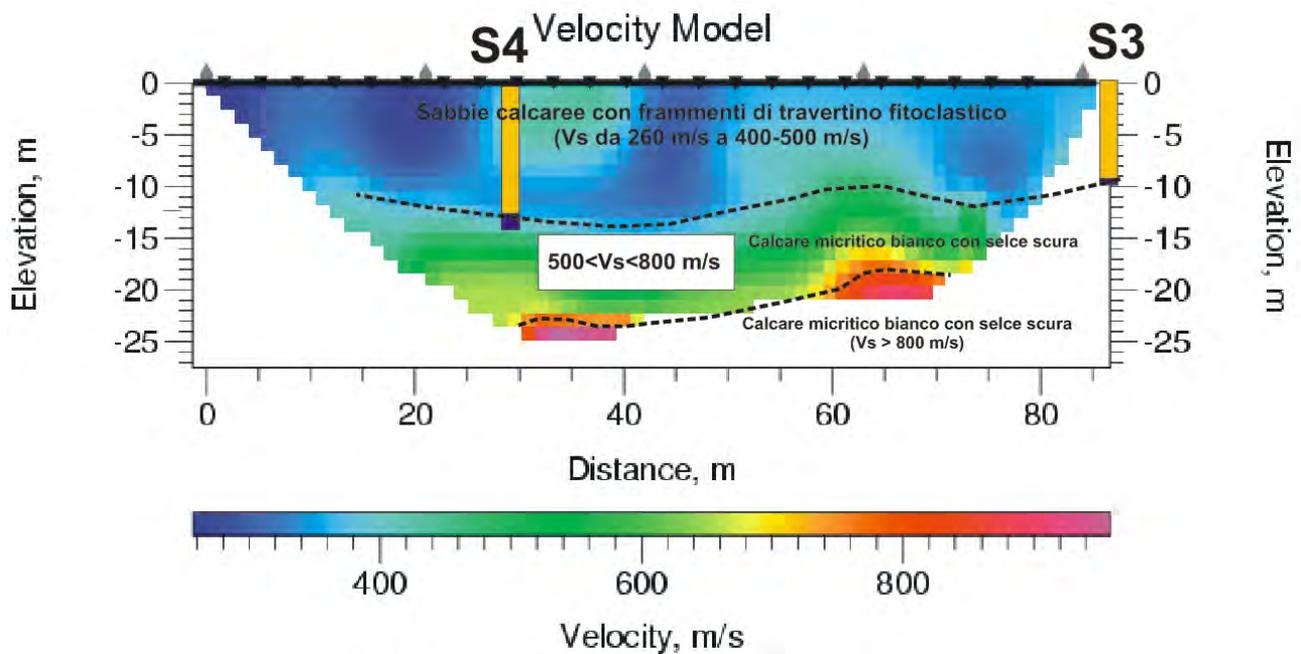
B



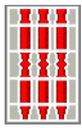
Andamento delle Vs con la profondità.

A

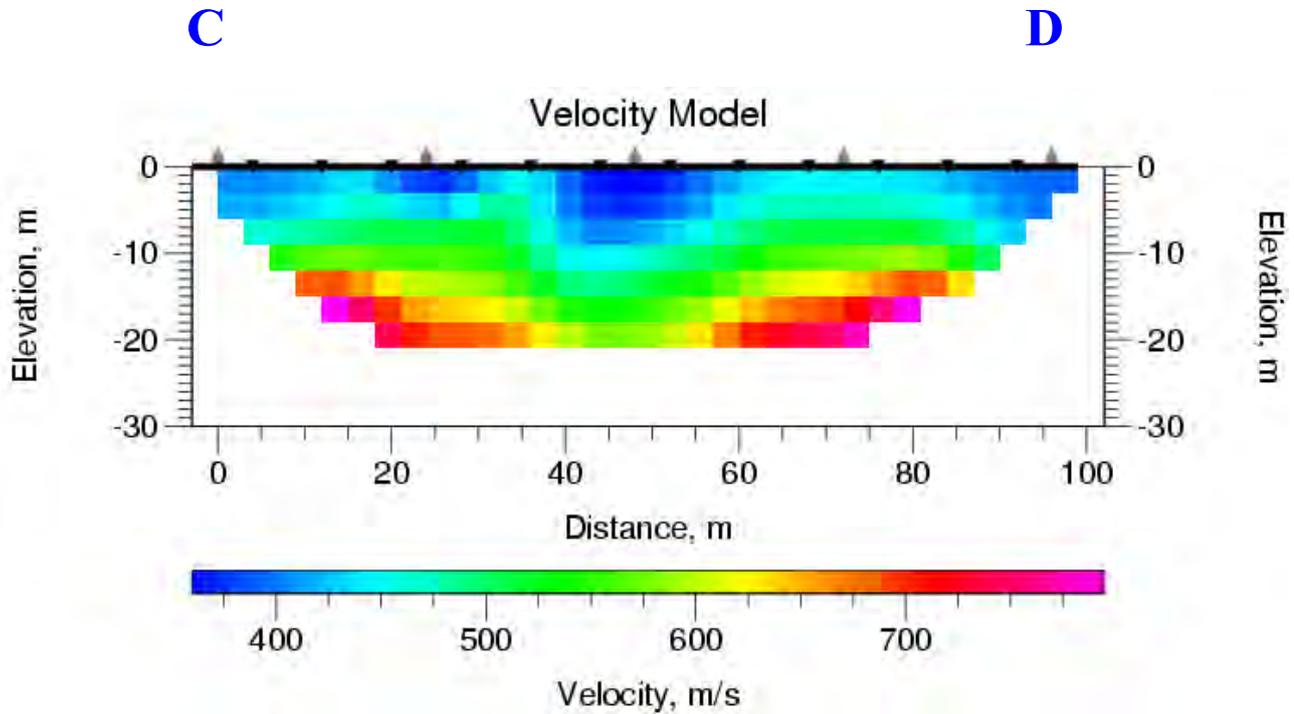
B



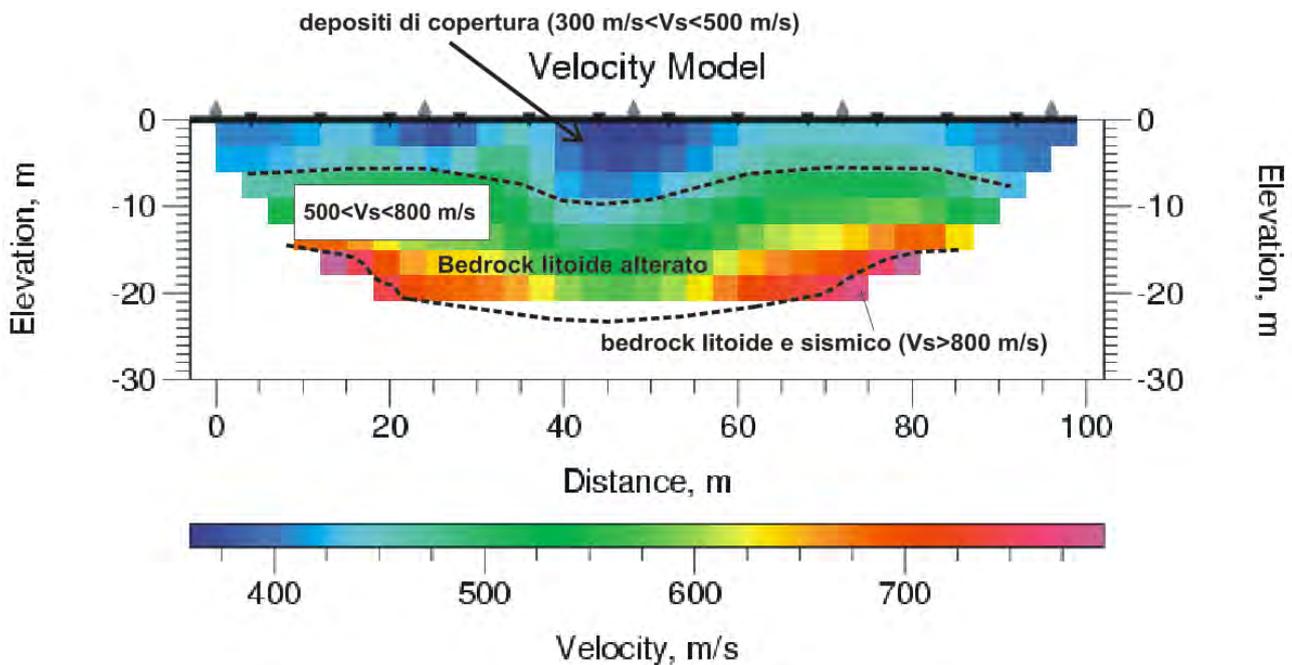
Interpretazione sismostratigrafica in Vs.



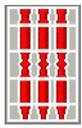
PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE C-D onde SH



Andamento delle Vs con la profondità.



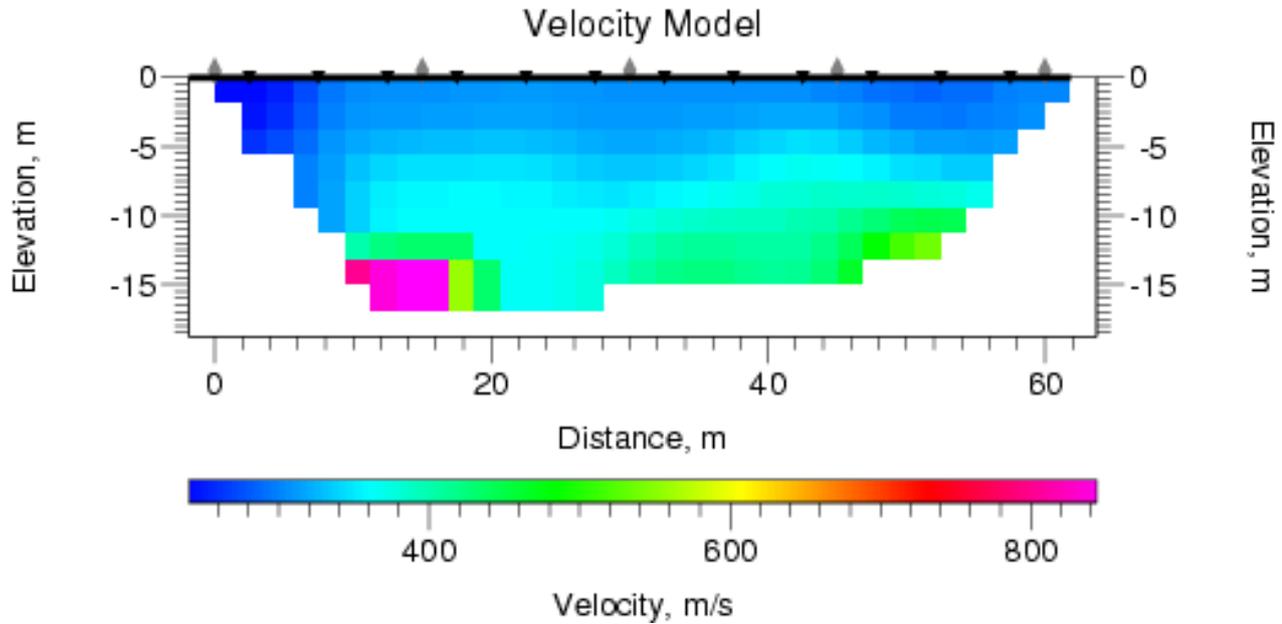
Interpretazione sismostratigrafica in Vs (sulla base, unicamente, dei dati geofisici, non essendo disponibili dati diretti di sondaggi).



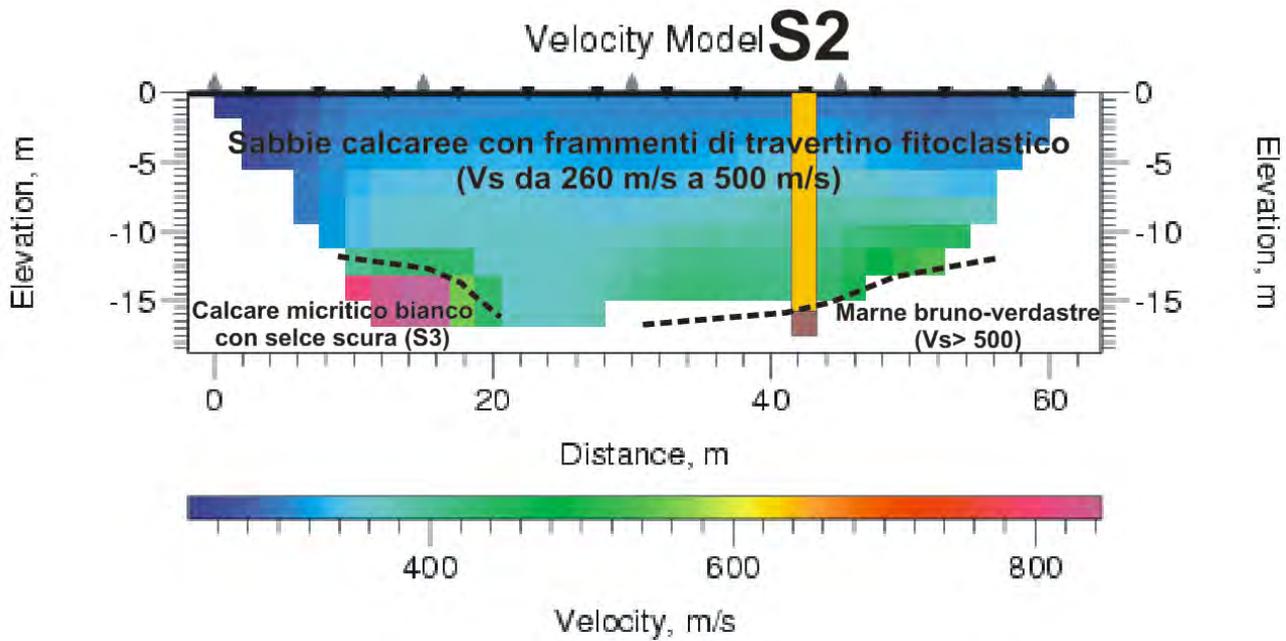
PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE A-B onde SH (cortile interno Abbazia)

A

B



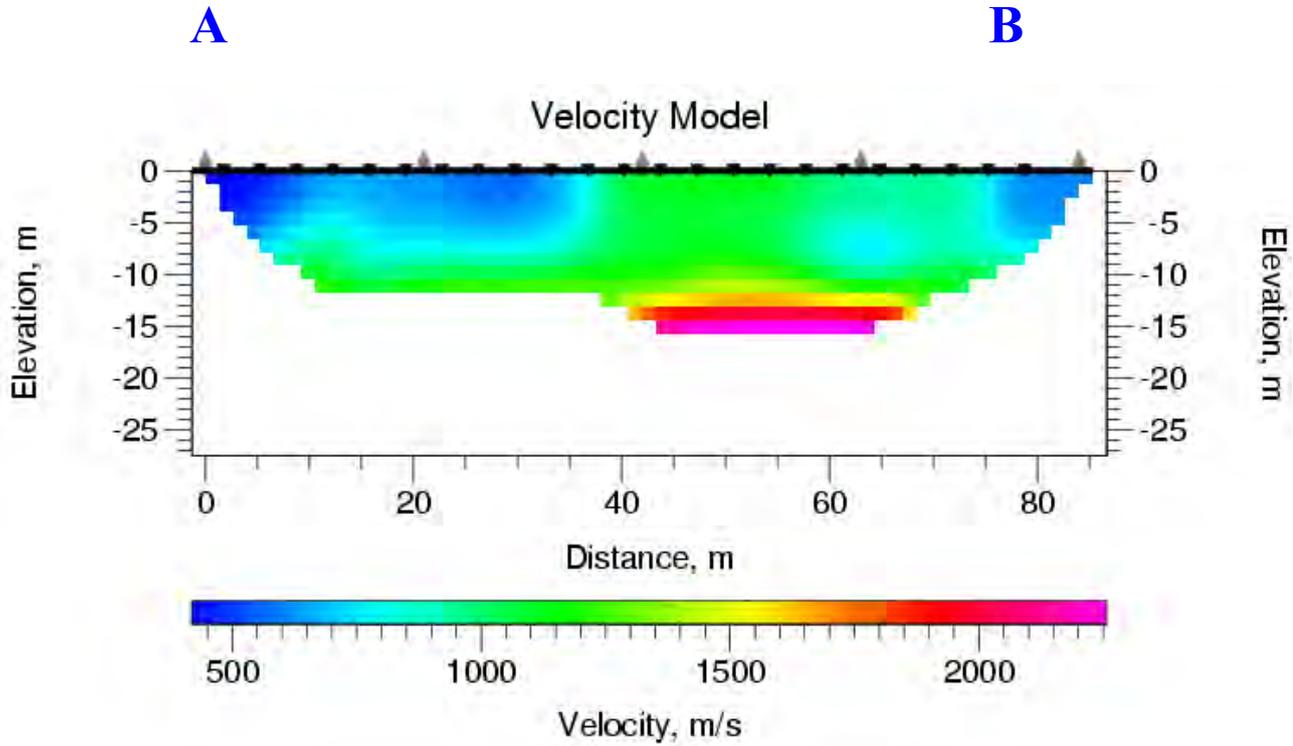
Andamento delle Vs con la profondità



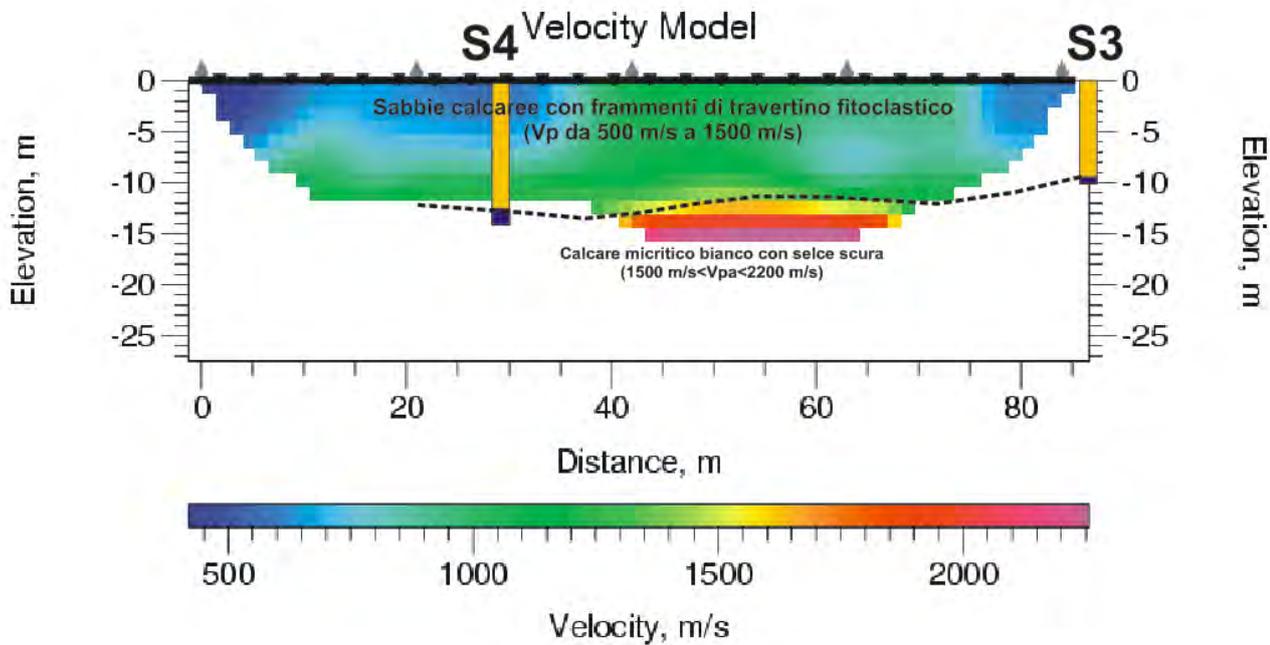
Interpretazione sismostratigrafica in Vs.



PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE A-B onde P



Andamento delle V_p con la profondità.



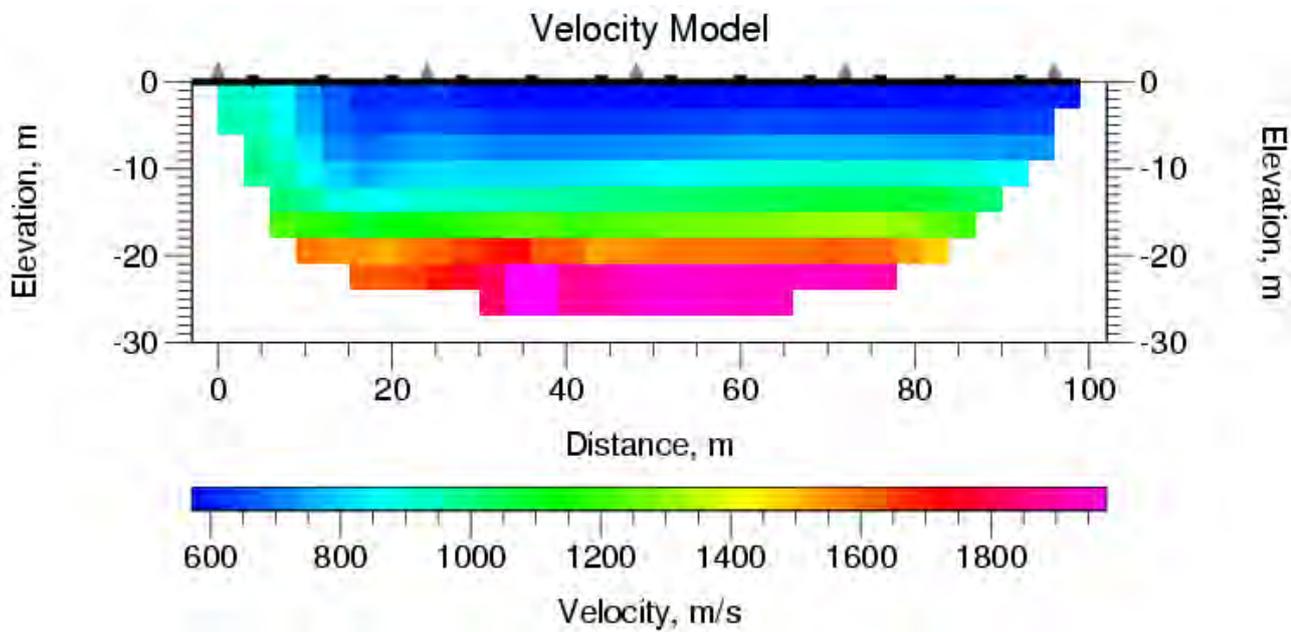
Interpretazione sismostratigrafica in V_p .



PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE C-D onde P

C

D

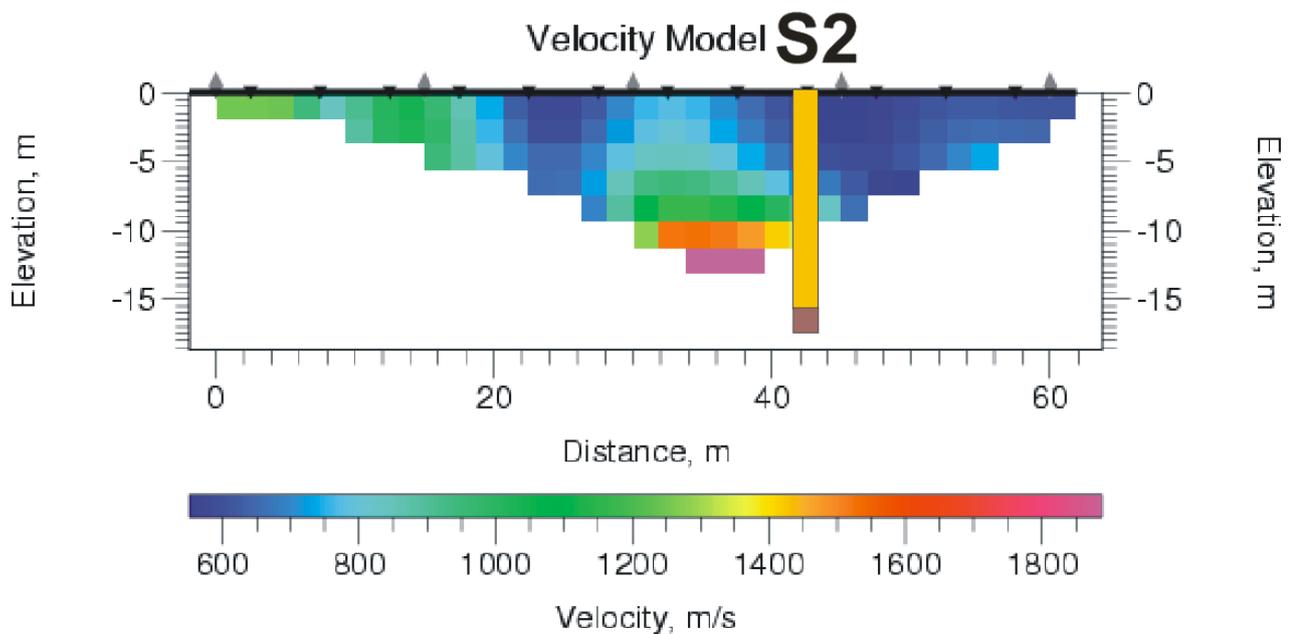


Andamento delle Vp con la profondità

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE A-B onde P (cortile interno)

A

B





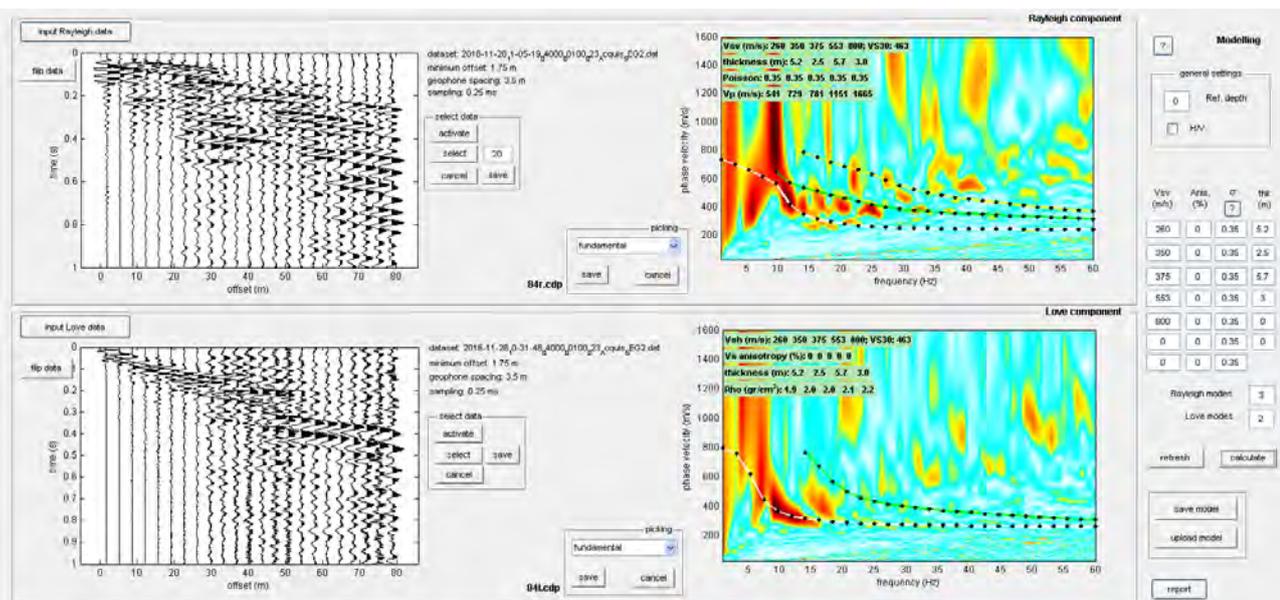
RISULTATI DELLE INDAGINI CON TECNICA M.A.S.W.

Sono state effettuate indagini M.A.S.W (Multichannel Analysis of Surface Waves) in analisi congiunta onde di Rayleigh ed onde di Love, con profili coincidenti con quelli della rifrazione. Lo scopo principale dell'indagine è quello di valutare la corrispondenza tra il modello sismostratigrafico ottenuto con le onde Sh e P con quello ottenuto dalle onde superficiali R e L e di determinare eventuali inversioni di Vs.

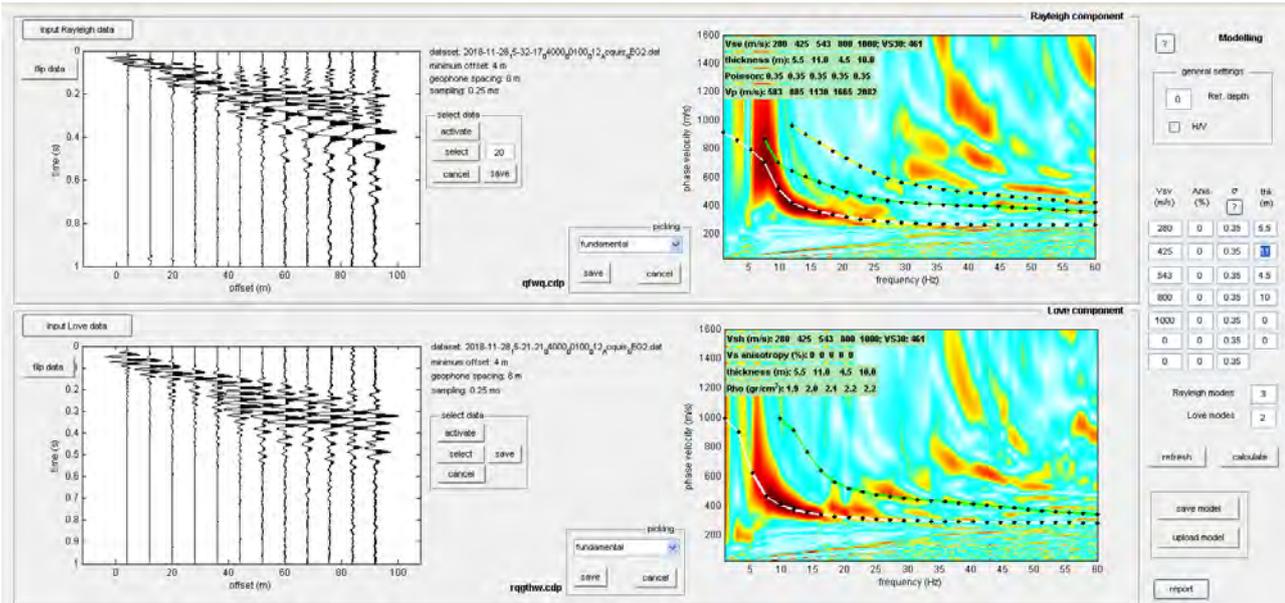
Per acquisire in onde Rayleigh sono stati utilizzati geofoni verticali da 4.5 Hz ed è stato energizzato in verticale. Per le onde di Love sono stati impiegati geofoni orizzontali ed è stato energizzato con base sismica per onde di taglio. Il tempo di acquisizione del segnale (1 secondo) ed il campionamento del segnale (0.25 ms) si sono rilevati idonei per l'analisi delle onde superficiali.

INDAGINE CONGIUNTA RAYLEIGH E LOVE

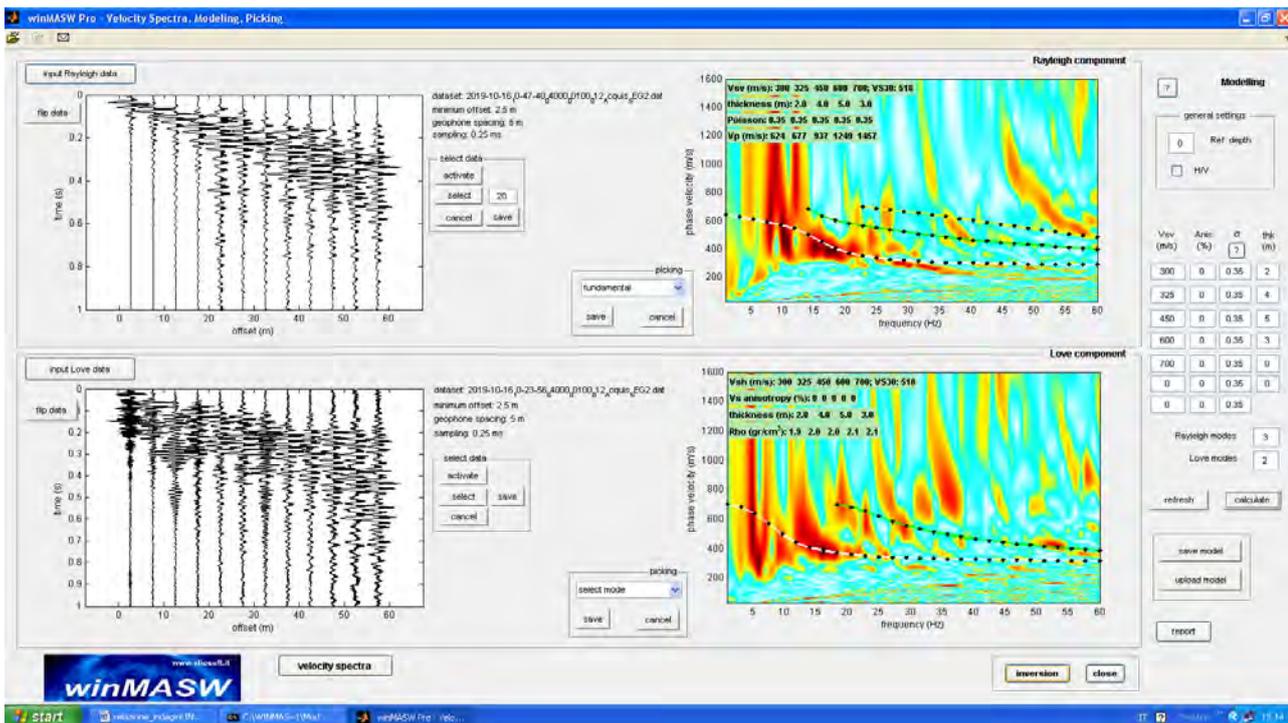
L'elaborazione congiunta dei dati masw in onde di Rayleigh ed in onde di Love, nonostante le semplificazioni ed i limiti scientifici dell'indagine masw (assunzione di strati piano paralleli ed isotropi), si allinea in modo soddisfacente con quanto emerso dai profili di sismica a rifrazione in onde Sh. Si sottolinea che l'analisi masw non è in grado di considerare variazioni laterali di Vs.



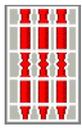
Profilo A-B 84 m. Indagine masw congiunta (onde R+L). A destra dell'immagine è riportato il modello sismostratigrafico semplificato utilizzato per l'analisi.



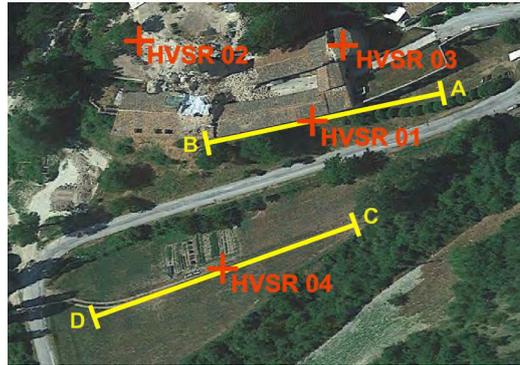
Profilo C-D 96 m. Indagine masw congiunta (onde R+L). A destra dell'immagine è rappresentato il modello sismostratigrafico semplificato utilizzato per l'analisi.



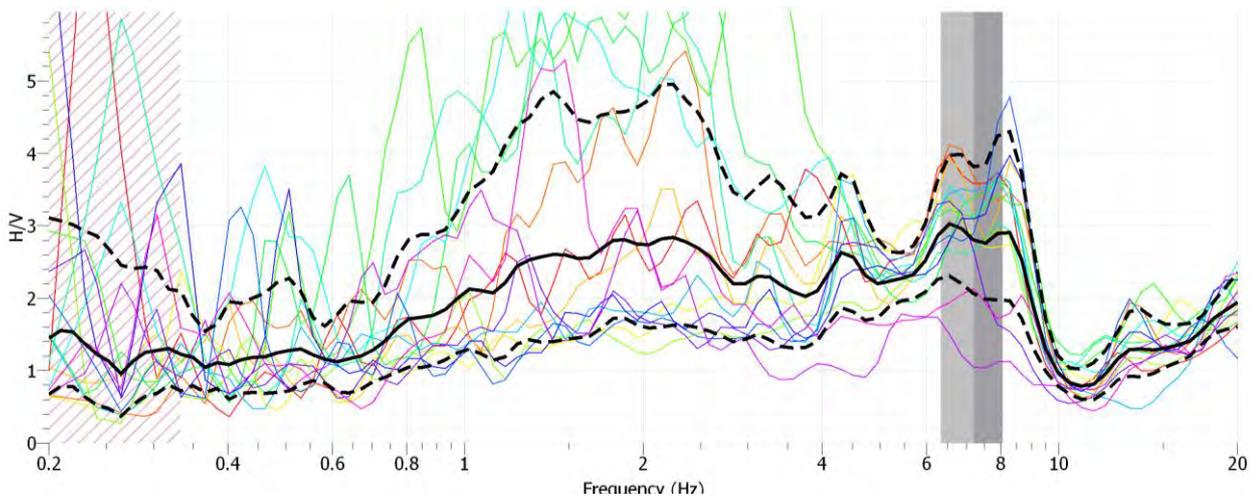
Profilo A-B 60 m (cortile interno Abbazia). Indagine masw congiunta (onde R+L). A destra dell'immagine è riportato il modello sismo stratigrafico semplificato utilizzato per l'analisi.



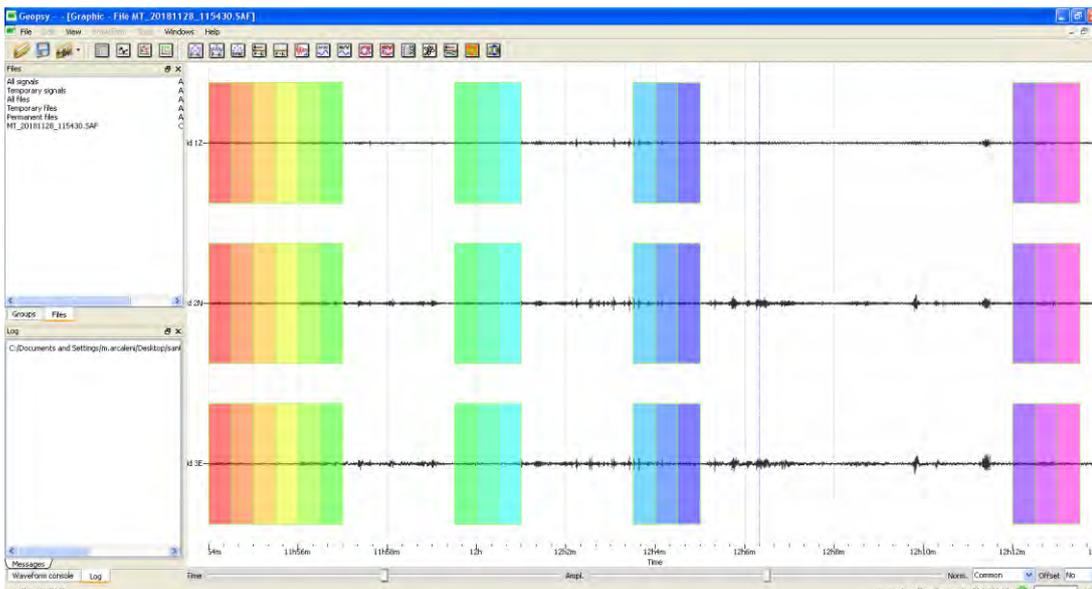
RISULTATI DELLE ANALISI HVSR



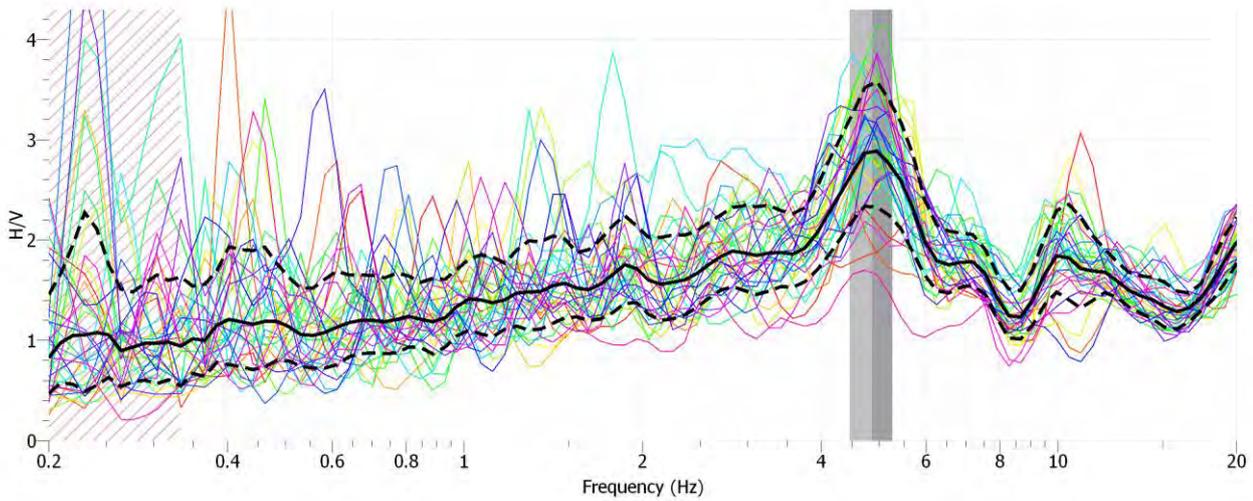
HVSR effettuate nei dintorni dell'Abbazia (HVSR 01, HVSR 02, HVSR 03, HVSR 04)



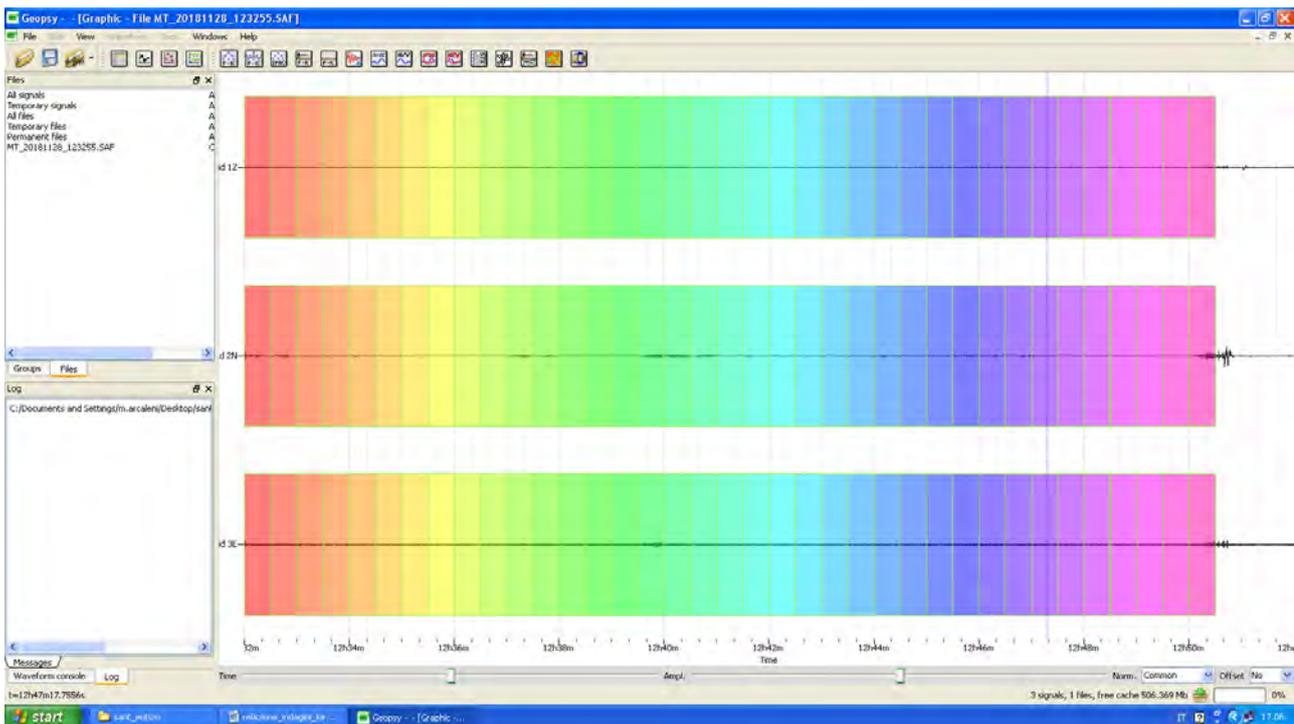
HVSR 01: Grafico F-H/V. Si notano due picchi principali di frequenza. Il primo (frequenza di risonanza) corrisponde alla frequenza di 7.5 Hz ($H/V = 3.5$) ed il secondo è associabile ad un frequenza di 2.0 Hz (rapporto $H/V = 3$)



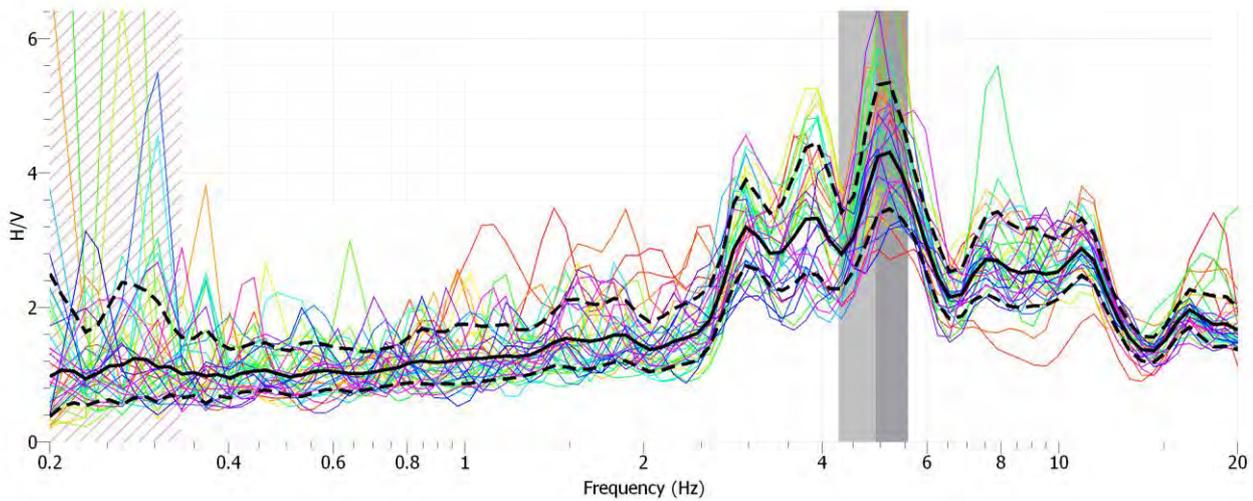
HVSR 01: Sismogramma acquisito e finestre prese in esame per l'HVSR 01



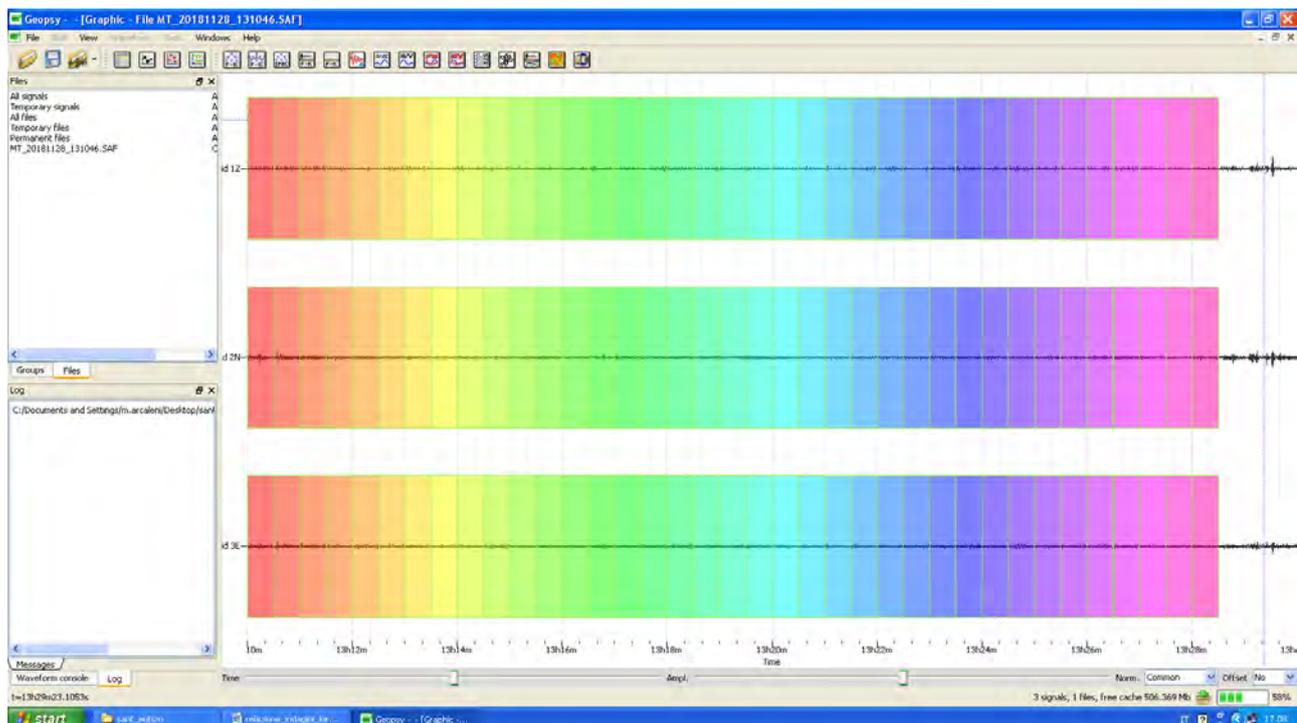
HVSR 02: Grafico F-H/V. La frequenza di risonanza dei depositi sul punto di indagine HVSR 02 risulta di 5.0 Hz. Il rapporto H/V è di poco superiore a 3.



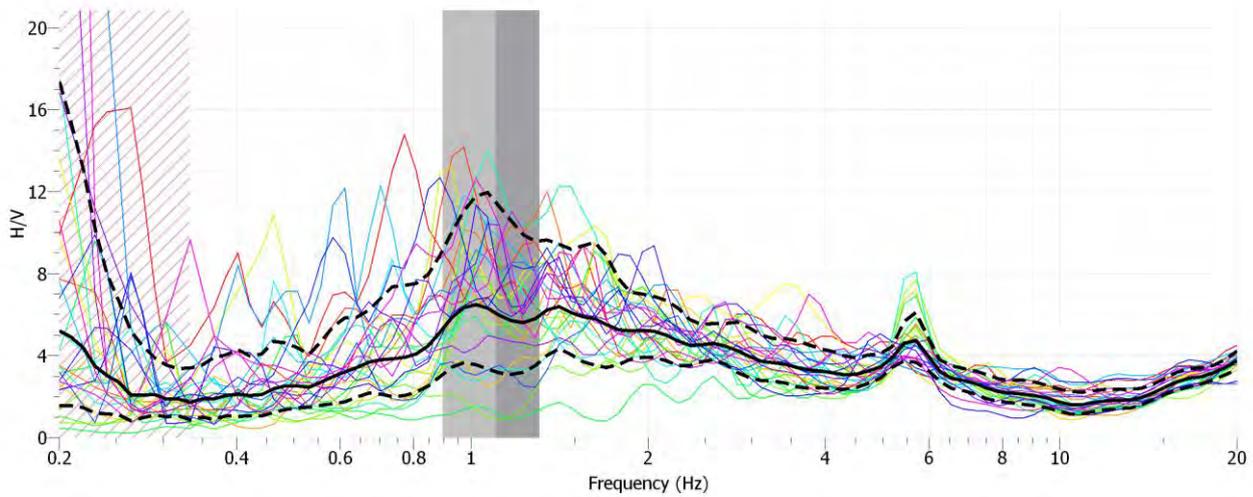
HVSR 02: Sismogramma acquisito e finestre prese in esame per l'HVSR 02



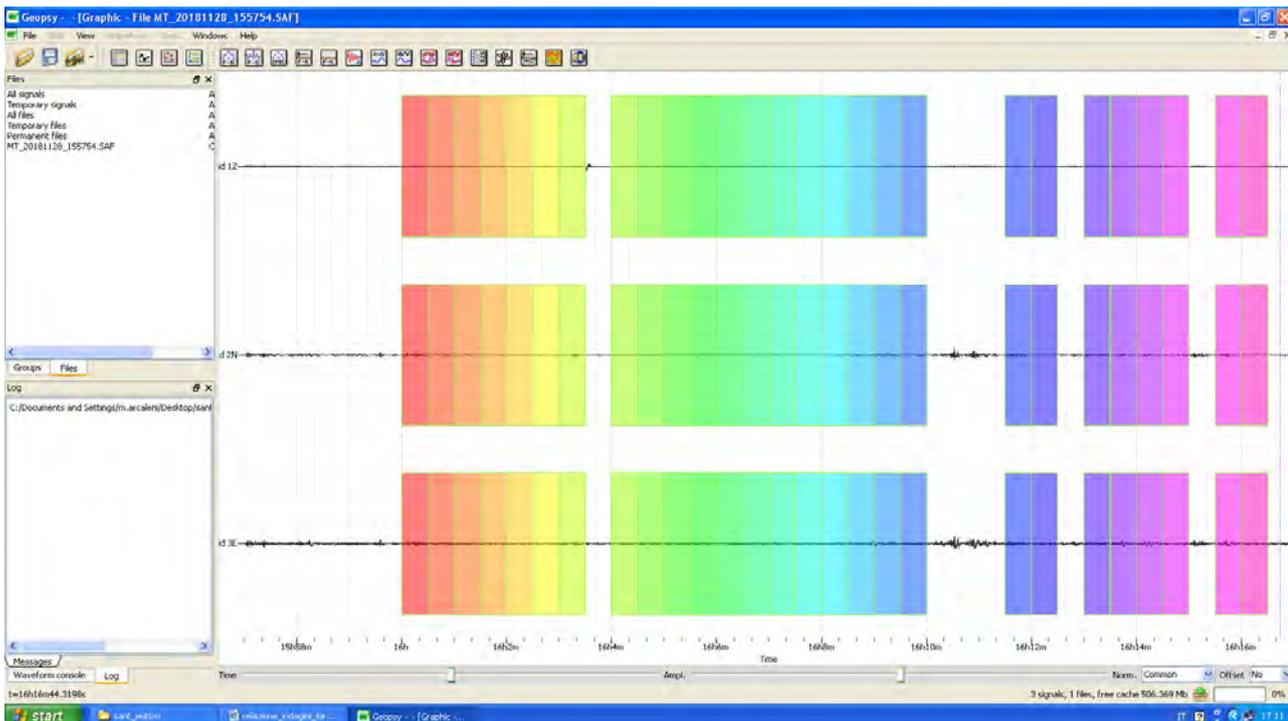
HVSR 03: Grafico F-H/V. Il picco principale di frequenza (frequenza di risonanza) corrisponde a 5 Hz. Per tale picco il rapporto H/V è di poco superiore a 4.



HVSR 03: Sismogramma acquisito e finestre prese in esame per l'HVSR 03



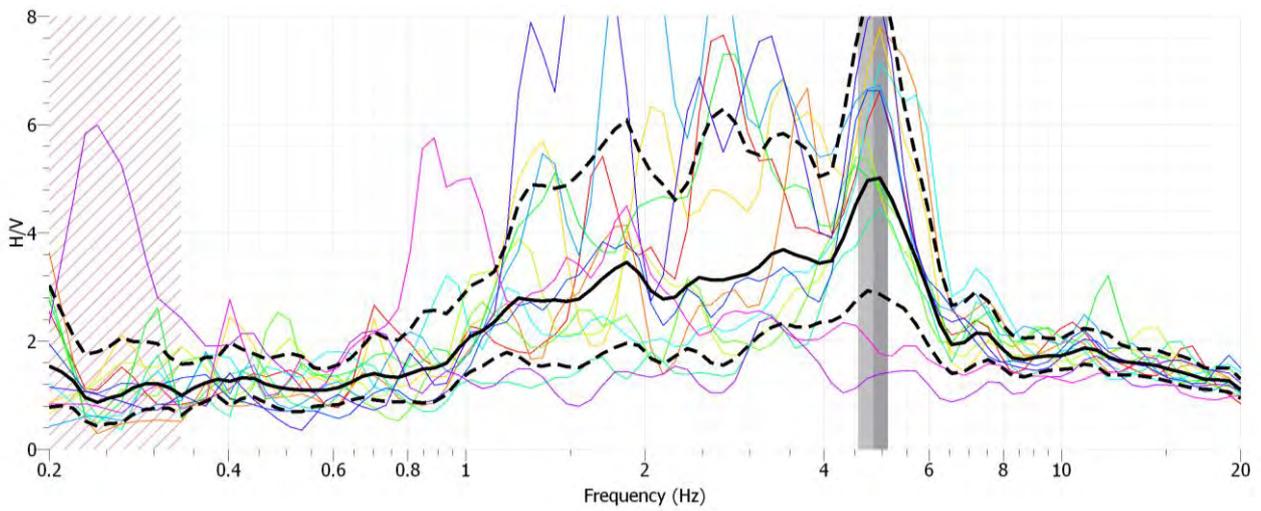
HVSR 04: Grafico F-H/V. Si notano due picchi principali di frequenza. Il primo corrisponde a 1.1 Hz (rapporto H/V = 5.9) ed il secondo è associabile alla frequenza di 5.5 Hz (H/V = 4.5)



HVSR 04: Sismogramma acquisito e finestre prese in esame per l'HVSR 04



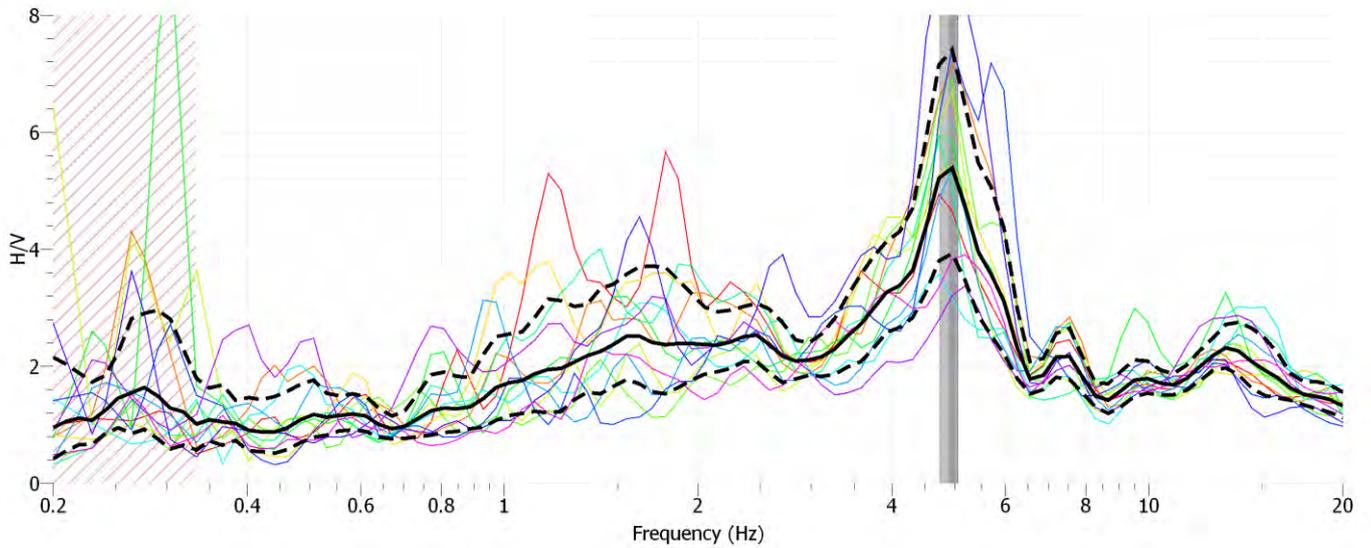
Array di n. 10 HVSR effettuate nel chiostro interno dell'Abbazia



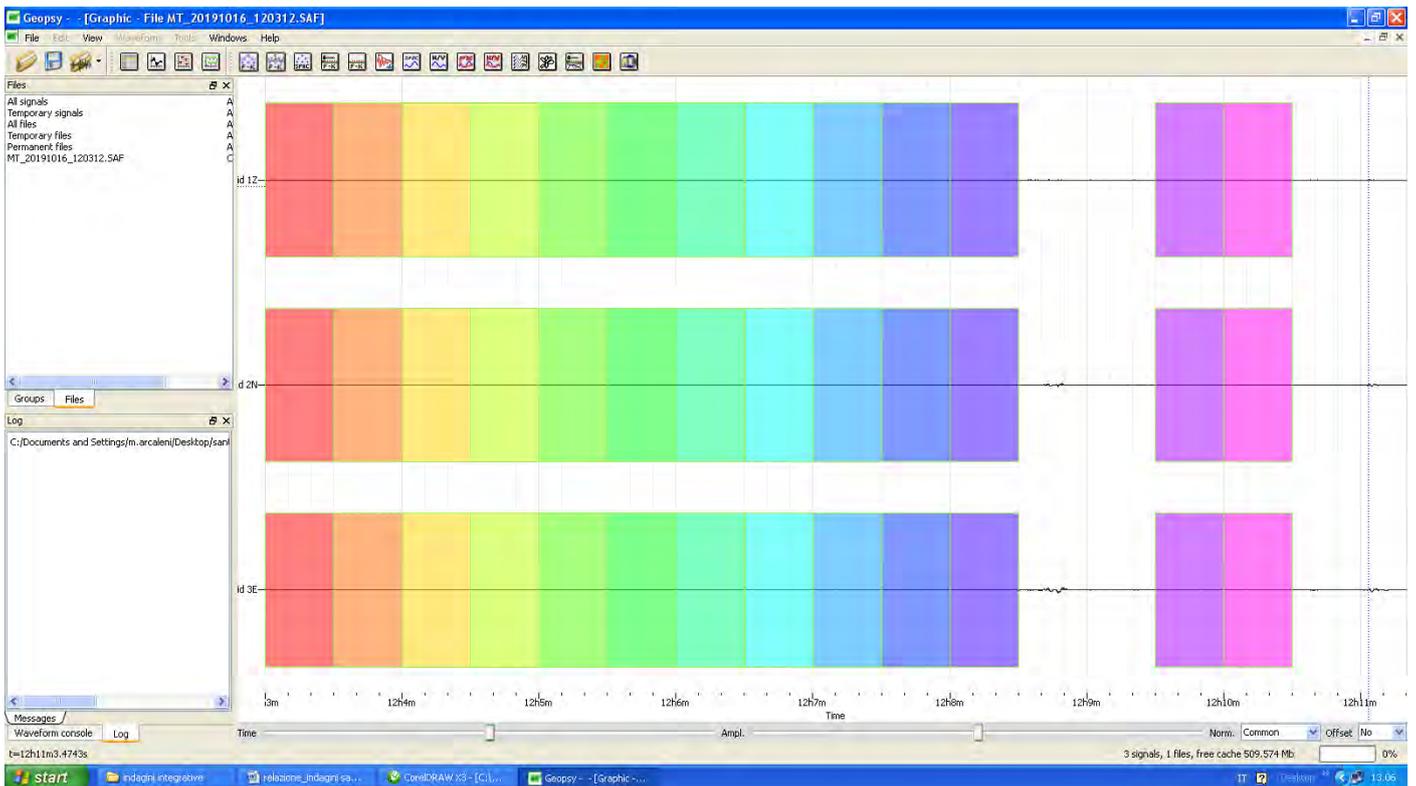
H/V 01: Frequenza di risonanza 4.8 Hz. H/V = 5.0.



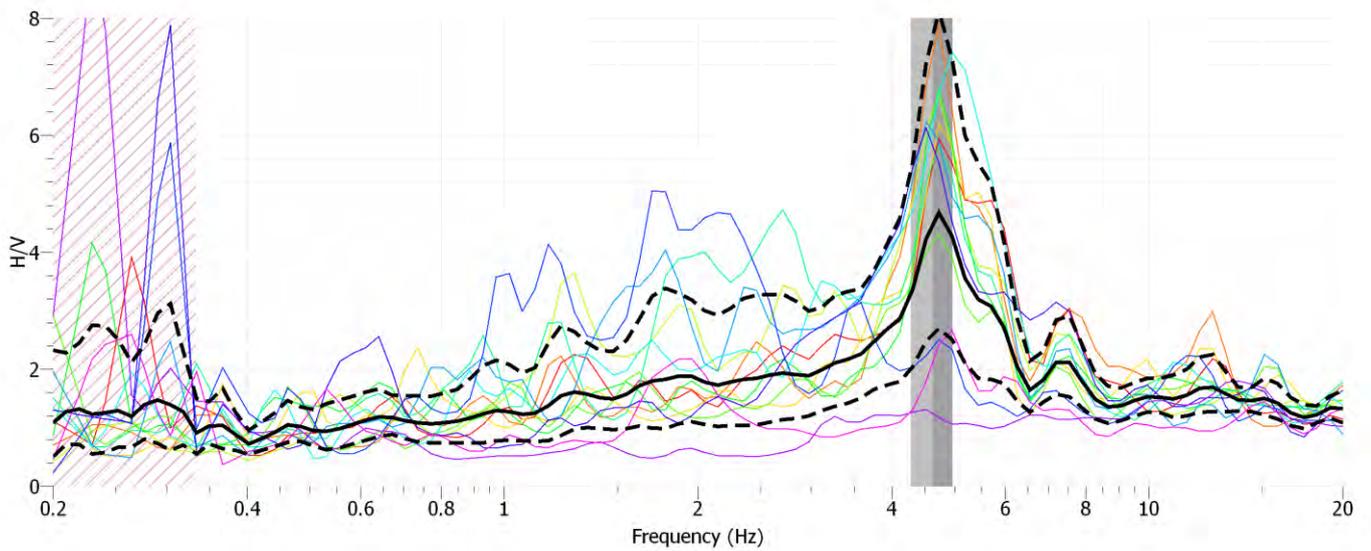
HVSR 01: Sismogramma acquisito e finestre prese in esame per l'HVSR 01



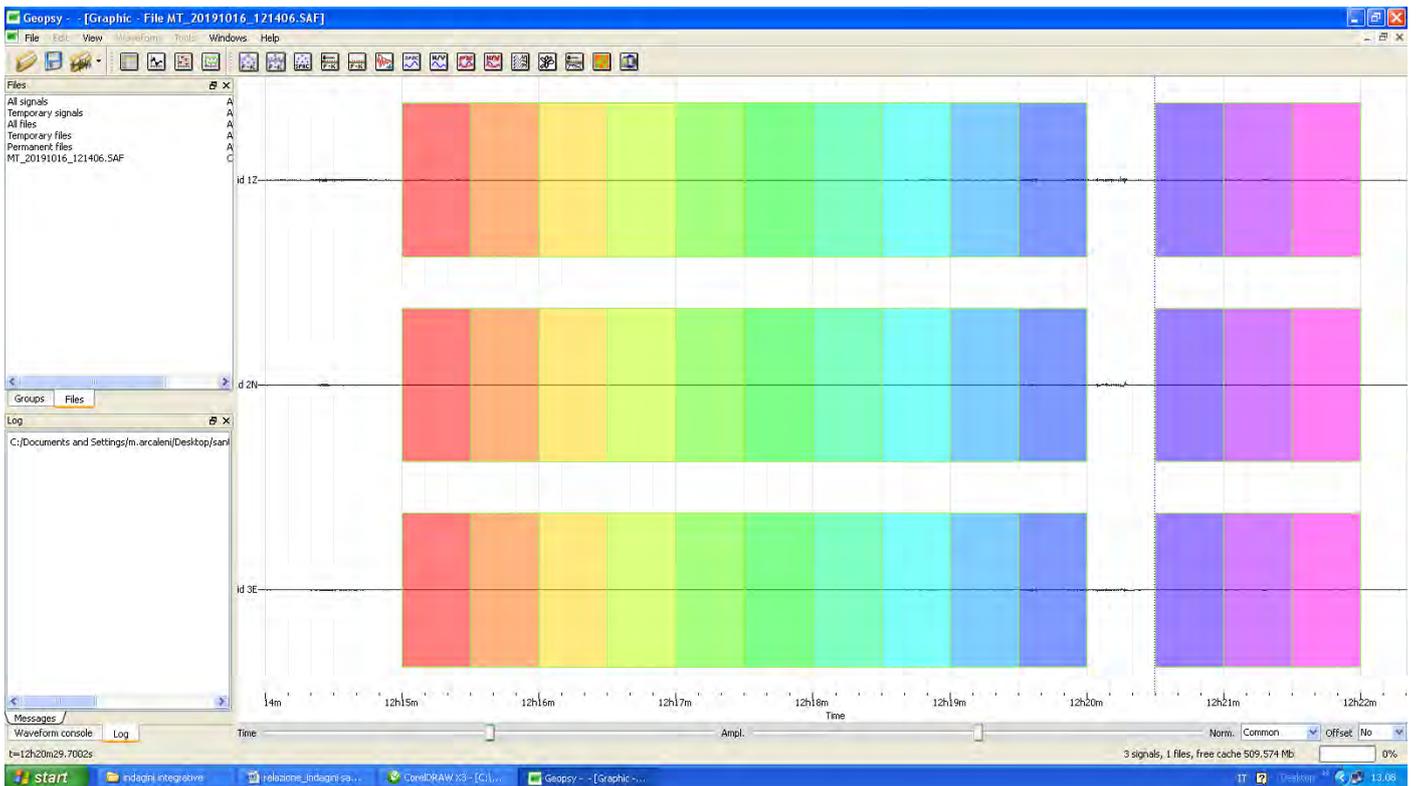
H/V 02: Frequenza di risonanza 4.9 Hz. H/V = 5.3.



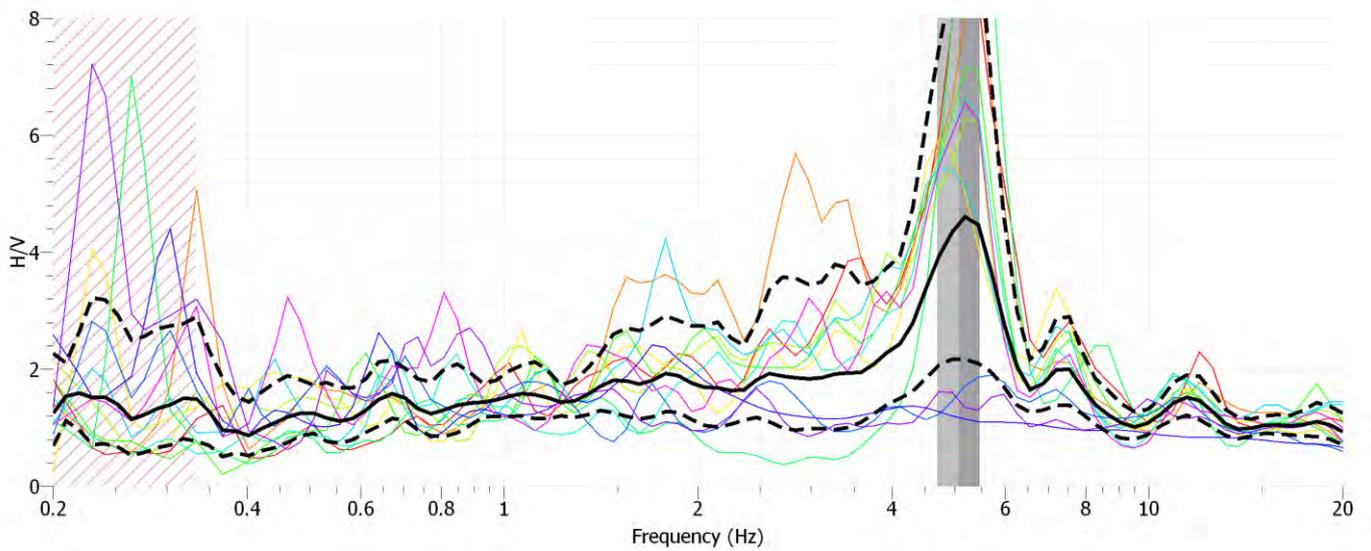
HVSR 02: Sismogramma acquisito e finestre prese in esame per l'HVSR 02



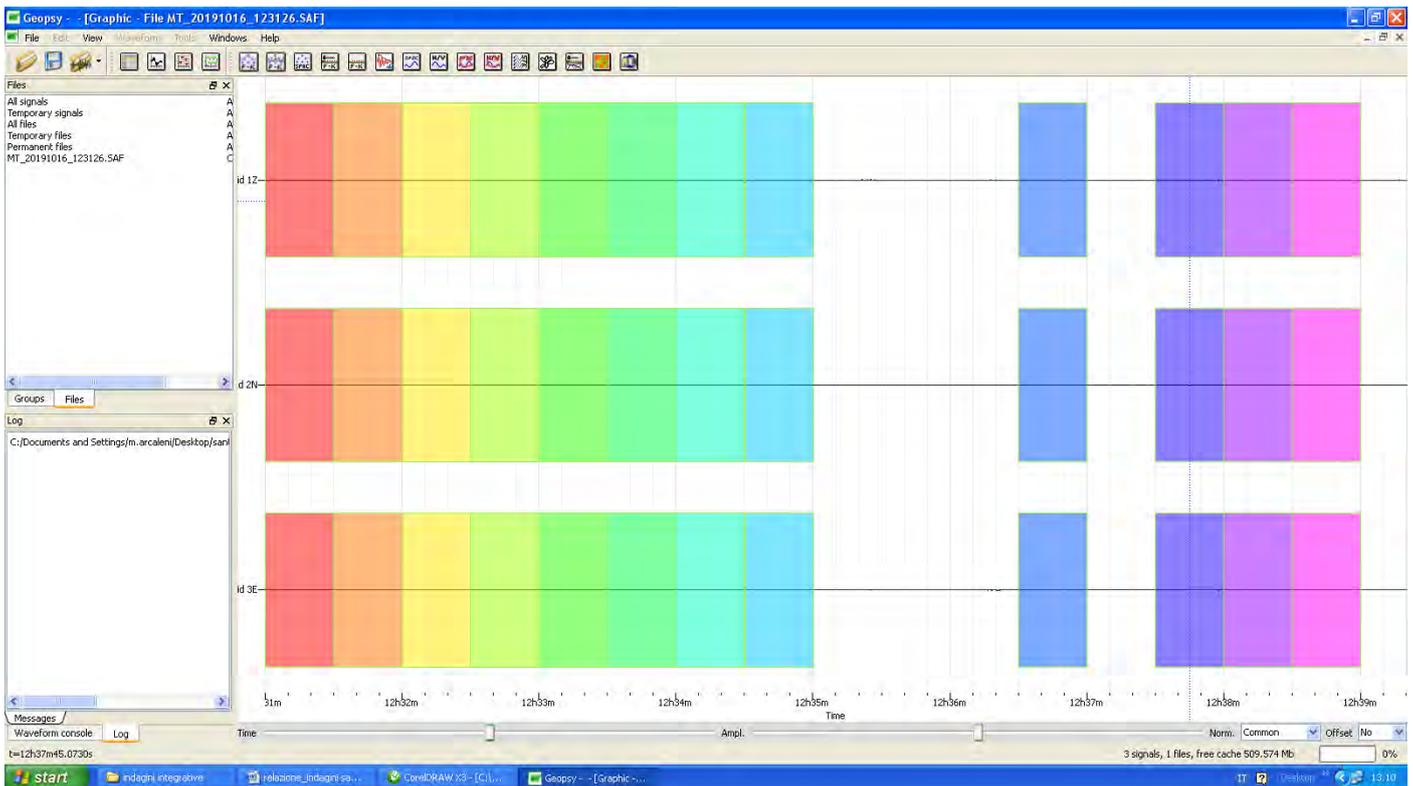
H/V 03: Frequenza di risonanza 4.6 Hz. H/V = 4.5.



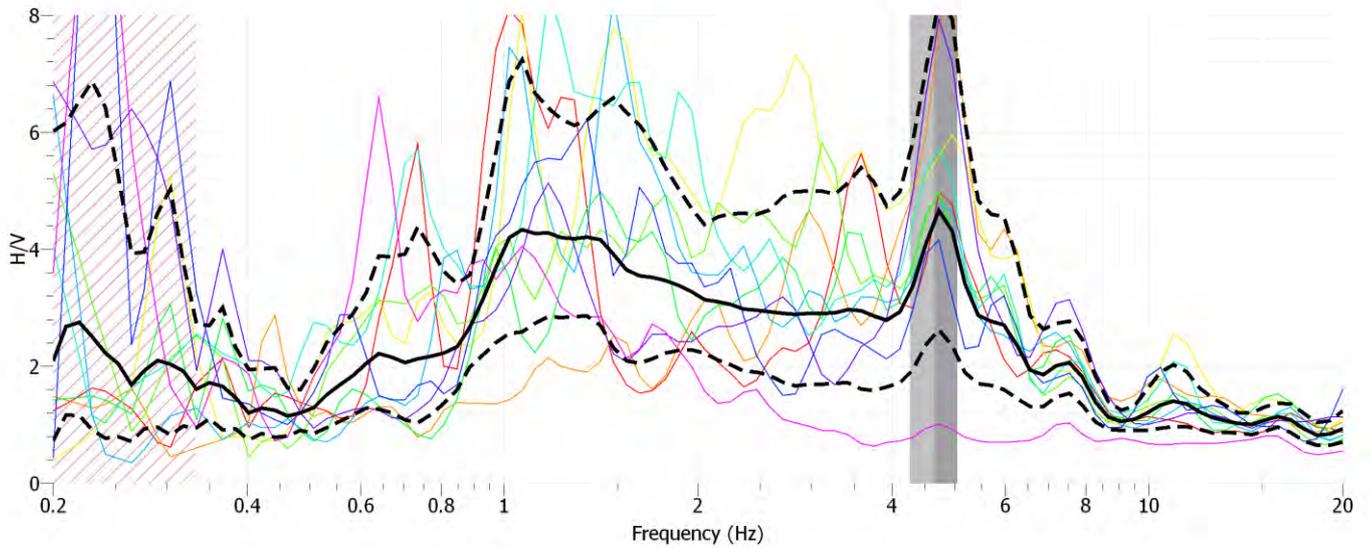
HVSR 03: Sismogramma acquisito e finestre prese in esame per l'HVSR 03



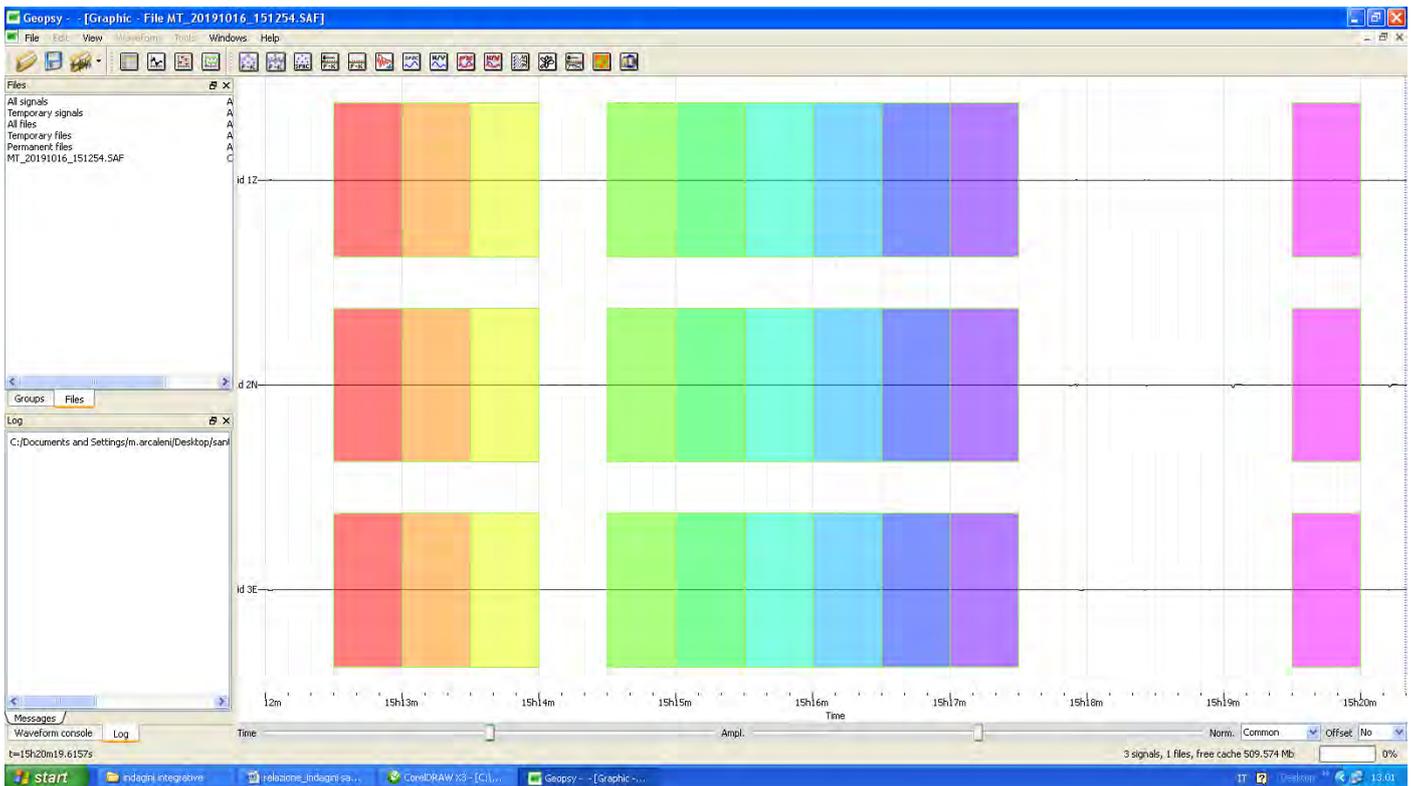
H/V 04: Frequenza di risonanza 5.0 Hz. H/V = 4.4.



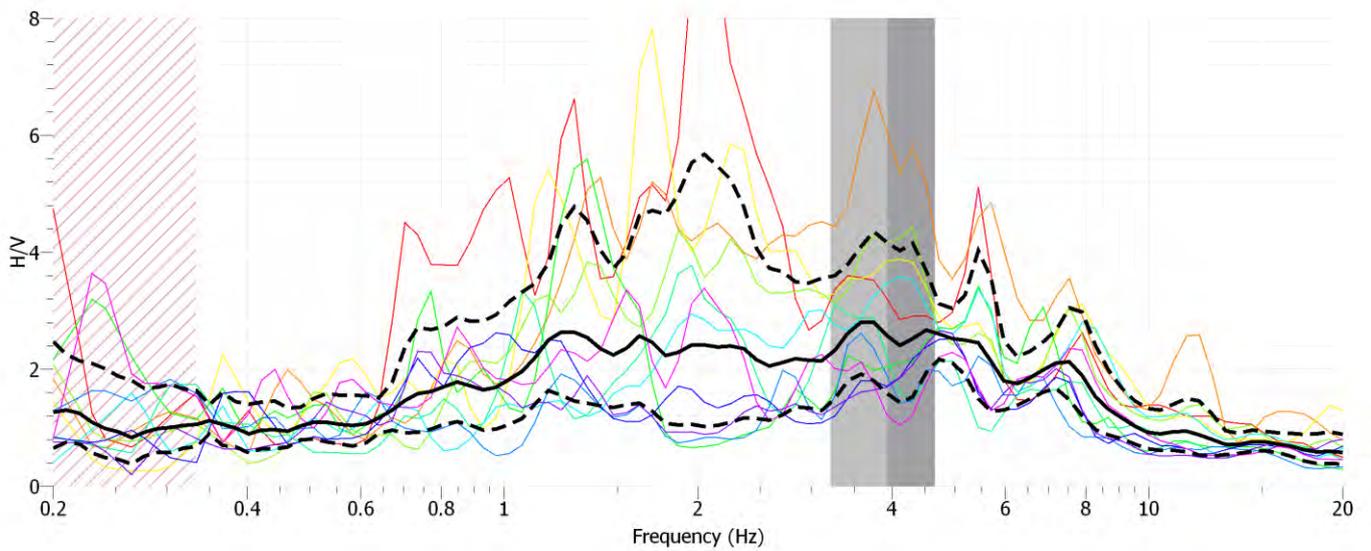
HVSR 04: Sismogramma acquisito e finestre prese in esame per l'HVSR 04



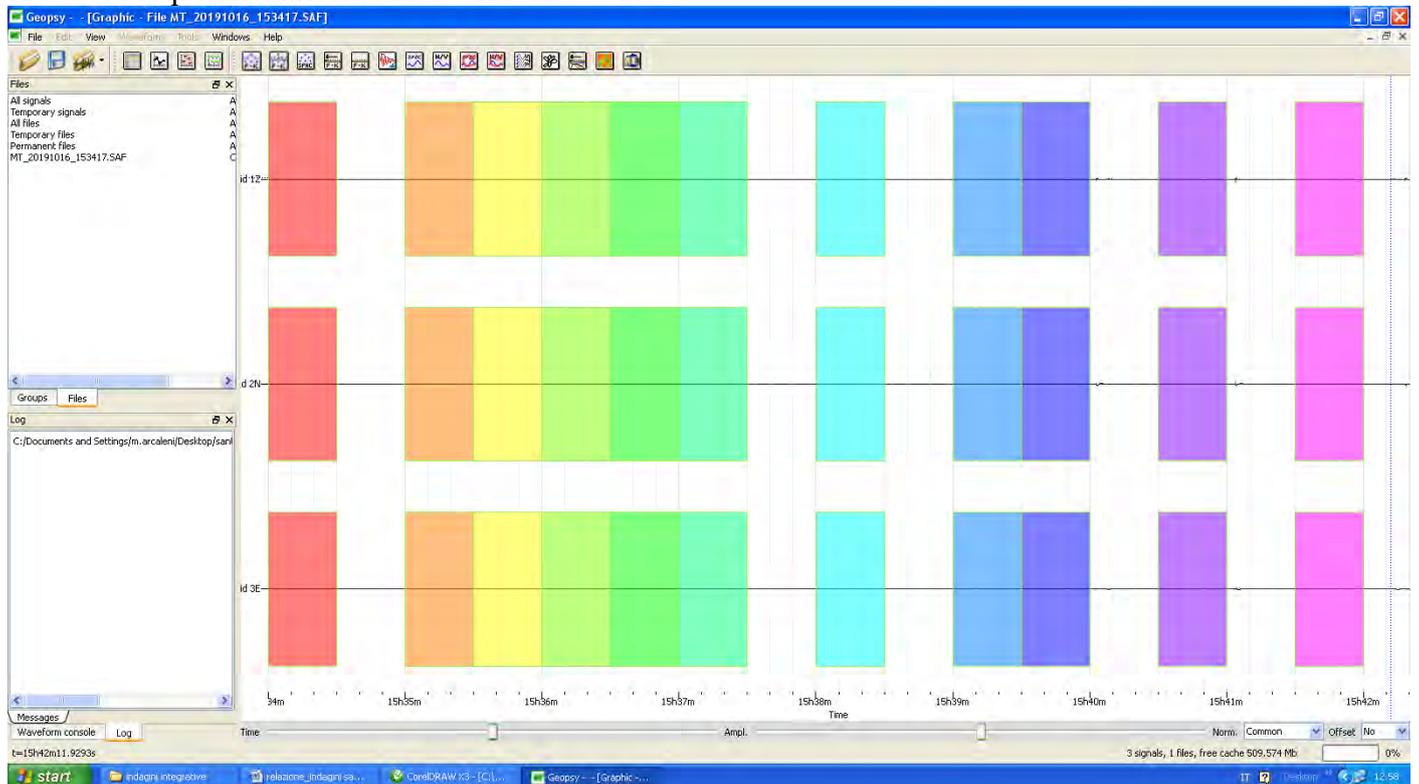
H/V 05: Frequenza di risonanza 4.6 Hz. H/V = 4.5.



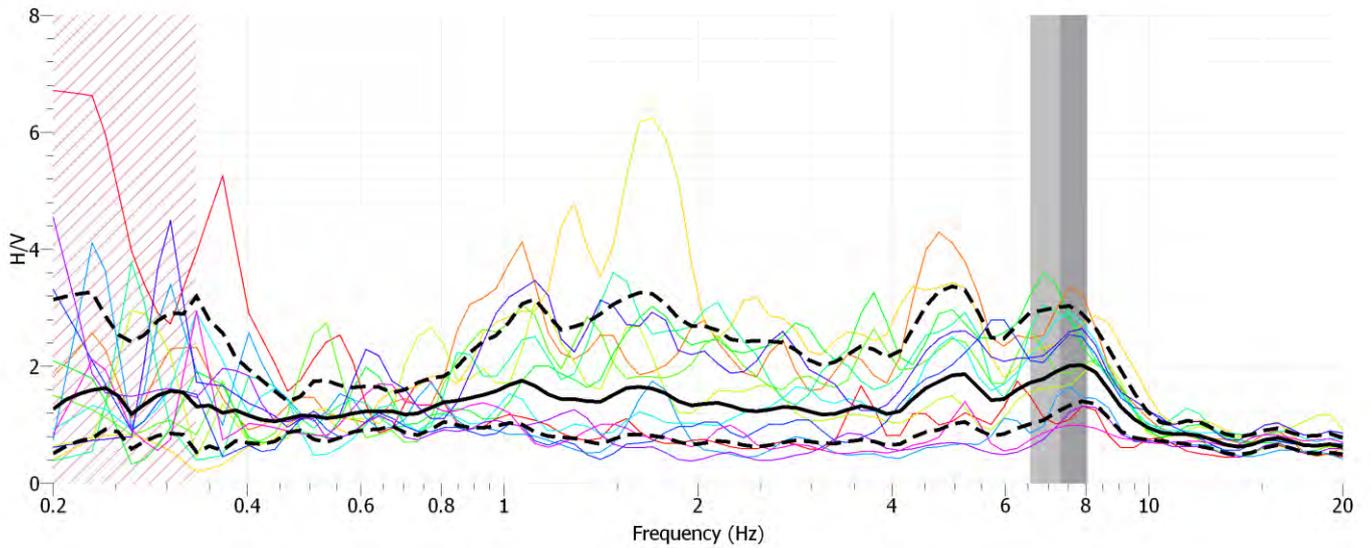
HVSR 05: Sismogramma acquisito e finestre prese in esame per l'HVSR 05



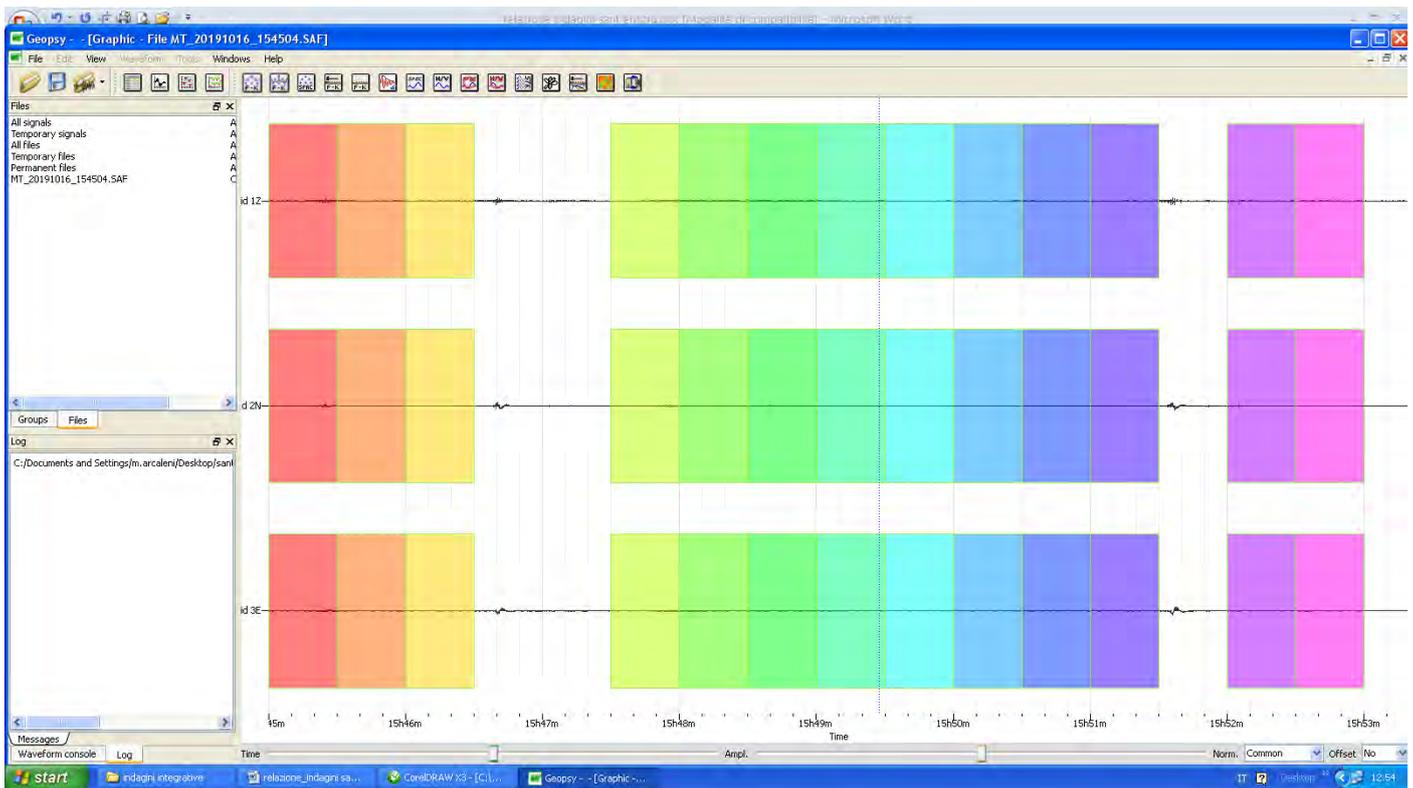
H/V 06: Frequenza di risonanza 4.0 Hz. H/V = 2.6.



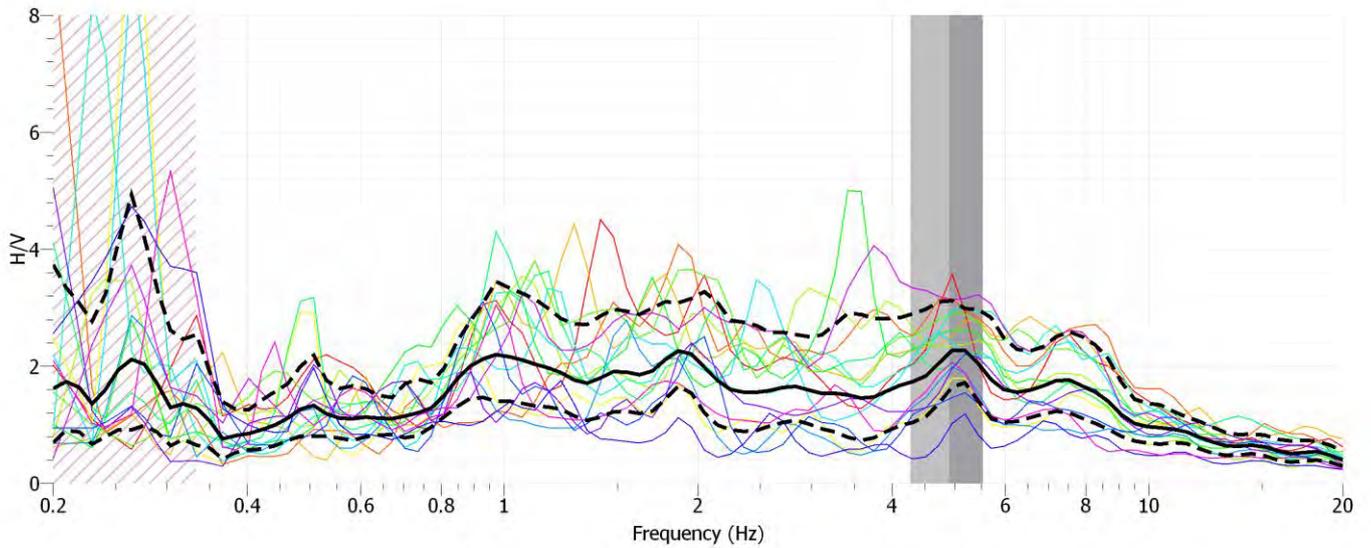
HVSR 06: Sismogramma acquisito e finestre prese in esame per l'HVSR 06



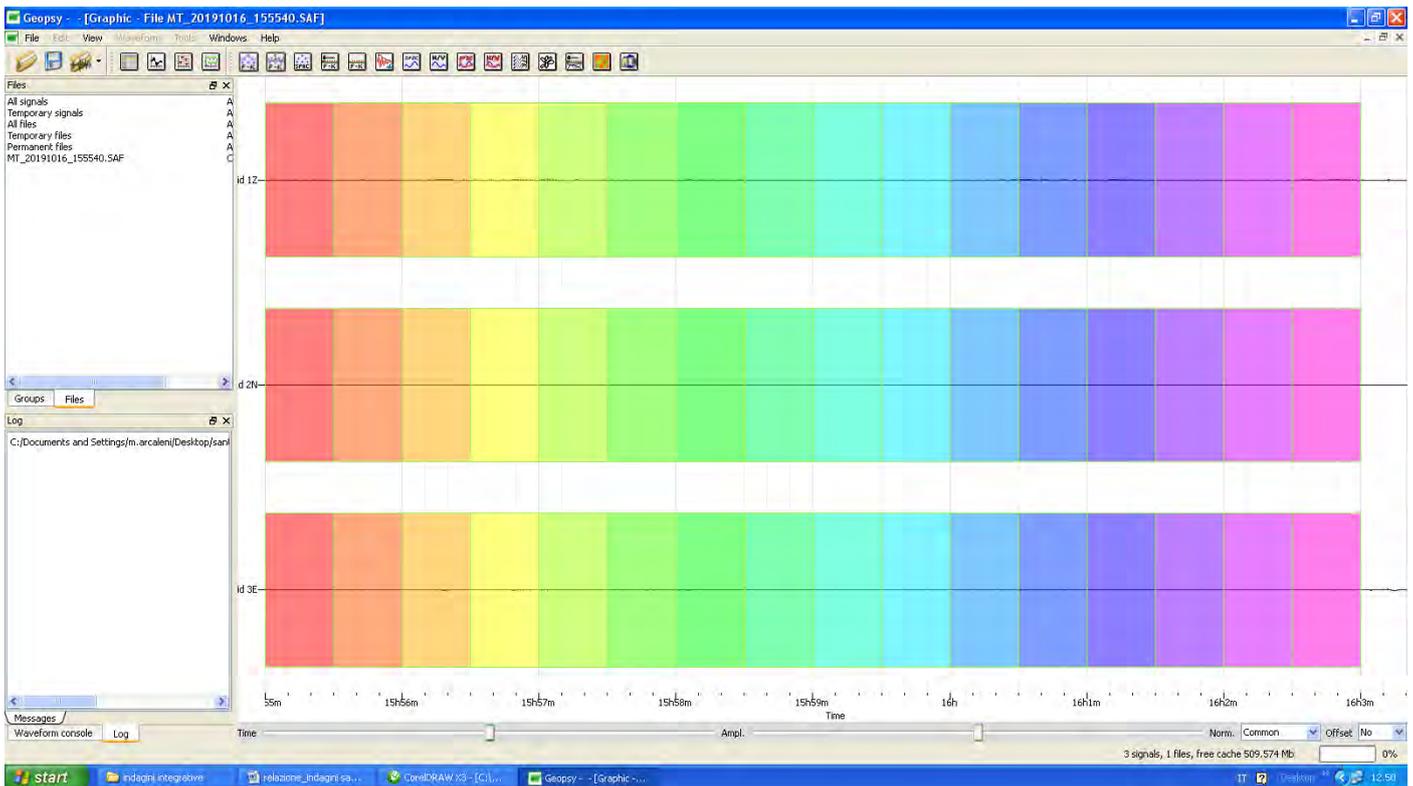
H/V 07: Frequenza di risonanza 7.3 Hz. H/V = 1.9.



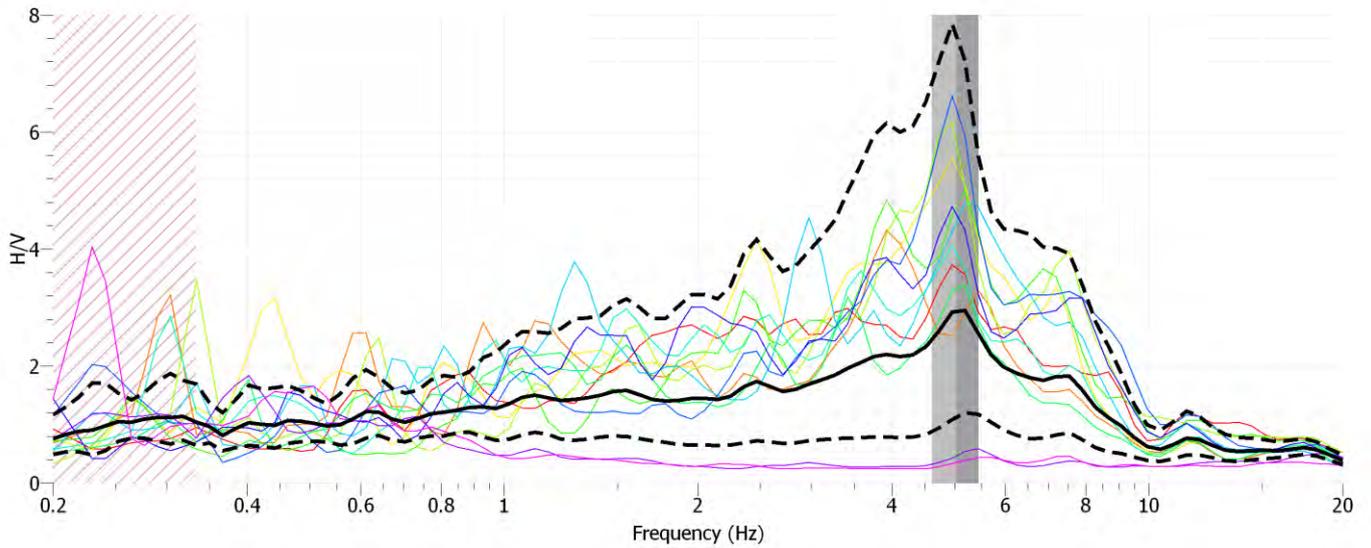
HVSR 07: Sismogramma acquisito e finestre prese in esame per l'HVSR 07



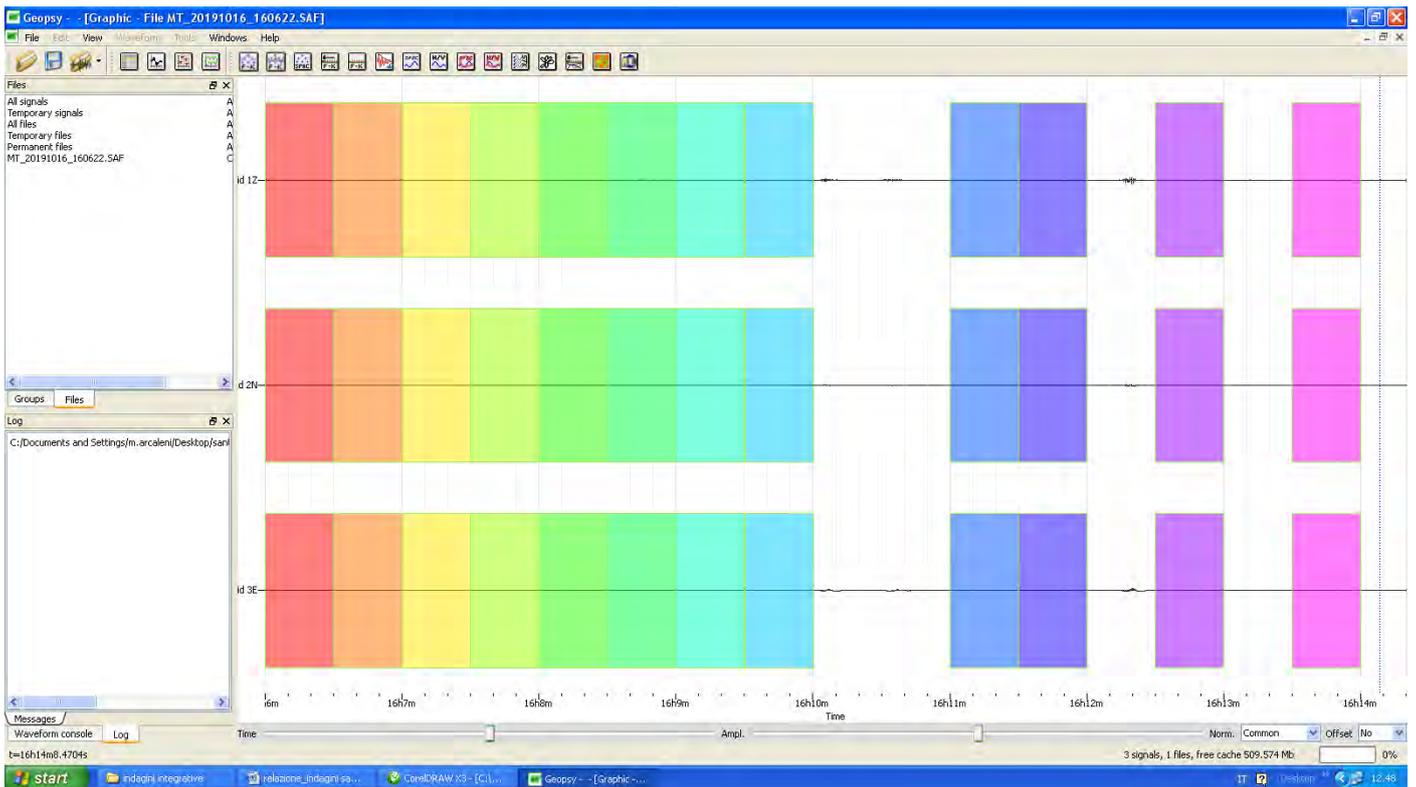
H/V 08: Frequenza di risonanza 4.9 Hz. H/V = 2.2.



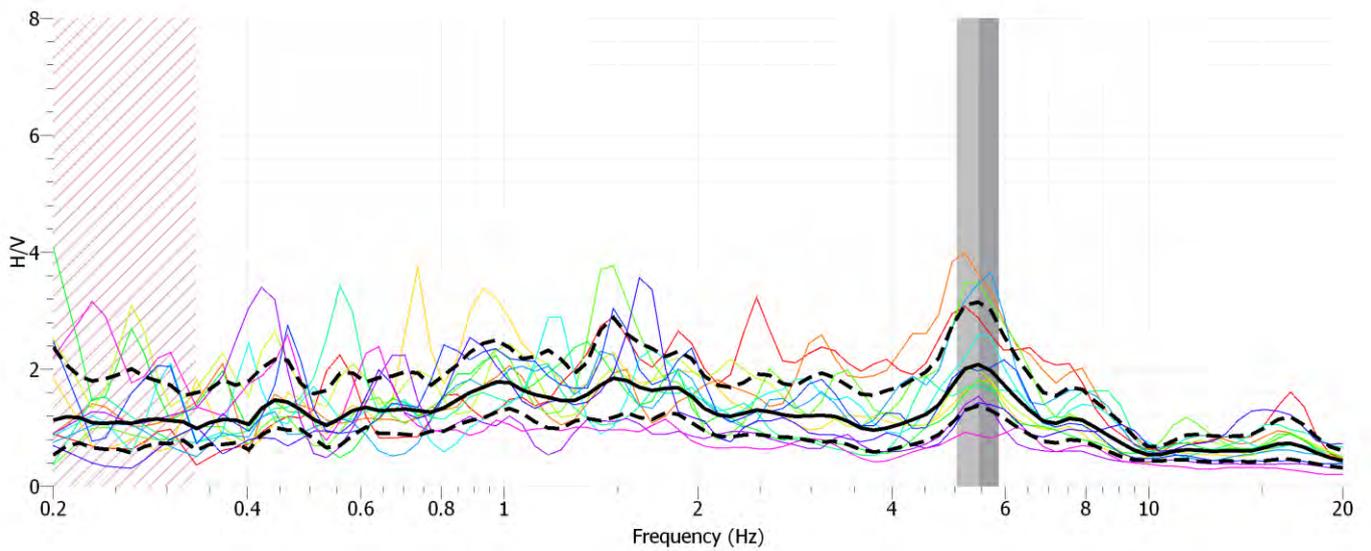
HVSR 08: Sismogramma acquisito e finestre prese in esame per l'HVSR 08



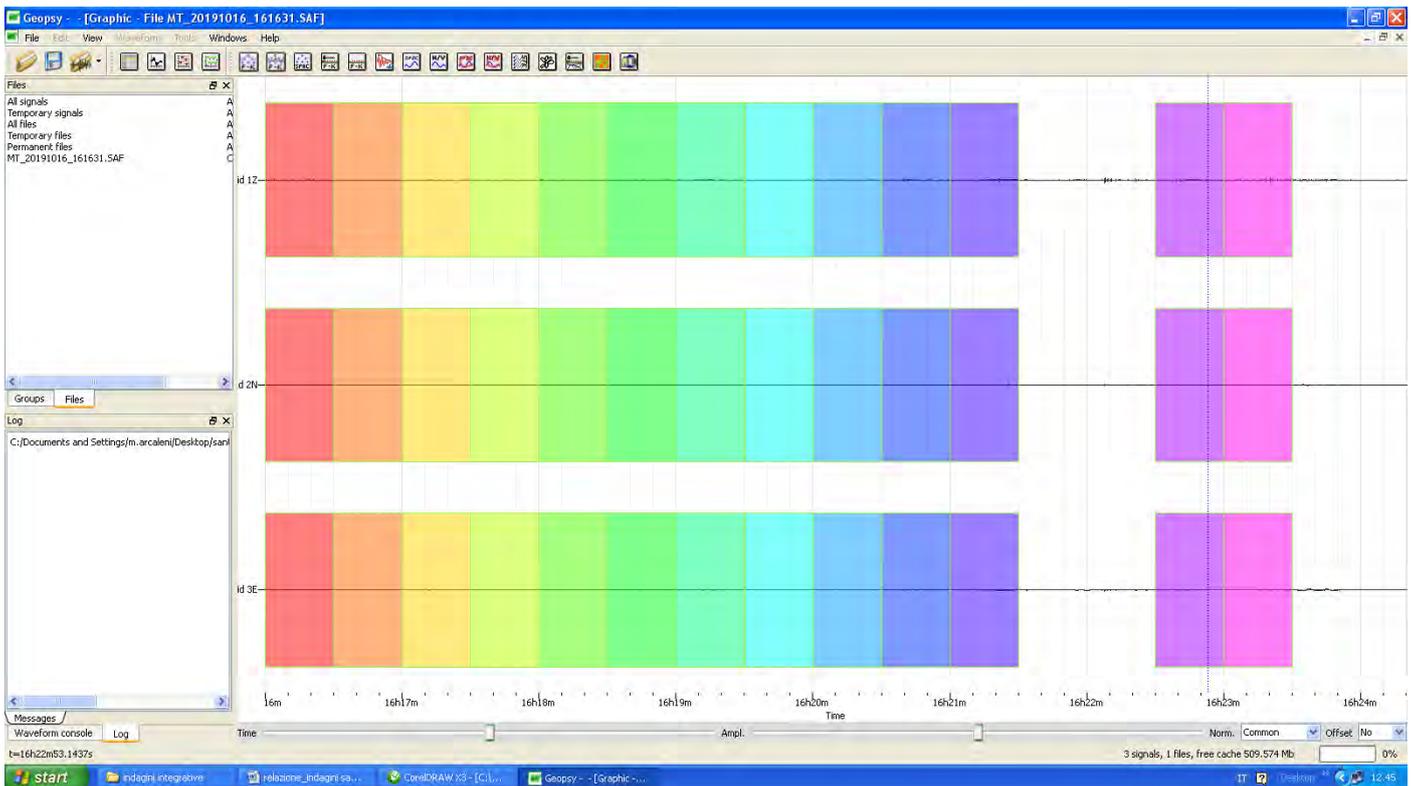
H/V 09: Frequenza di risonanza 5.2 Hz. H/V = 2.4.



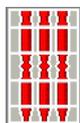
HVSR 09: Sismogramma acquisito e finestre prese in esame per l'HVSR 09



H/V 10: Frequenza di risonanza 5.5 Hz. H/V = 2.1.

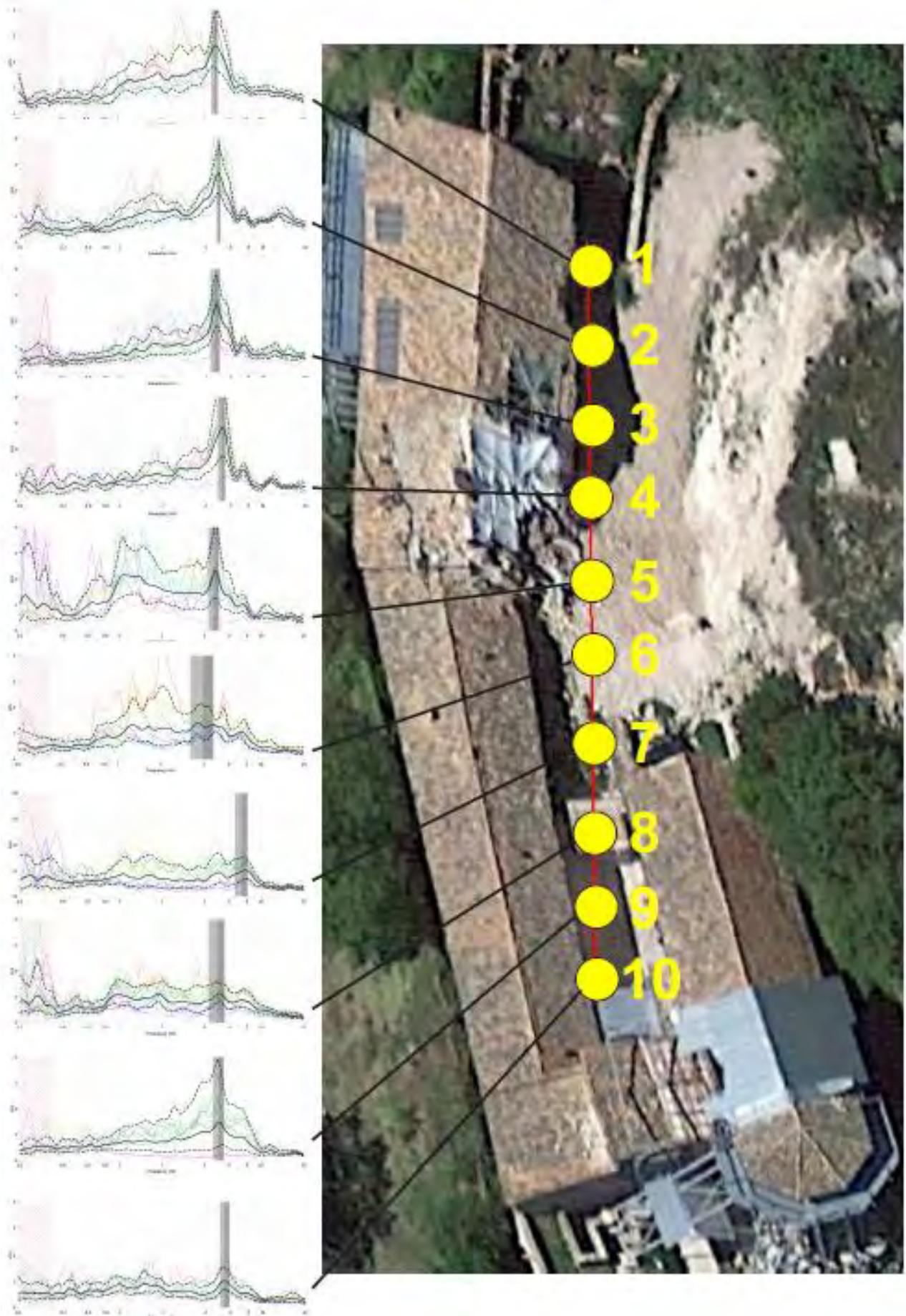


HVSR 10: Sismogramma acquisito e finestre prese in esame per l'HVSR 10

**RESOCONTO DEI DATI HVSR**

Indagine	Frequenza di risonanza dei depositi	Picco di frequenza secondario	Valore H/V
HVSR01	7.5	2.0	3.0
HVSR02	5.0	-	3.2
HVSR03	5.0	-	4.2
HVSR04	1.1	5.5	5.9

Indagine	Frequenza di risonanza dei depositi	Picco di frequenza secondario	Valore H/V
HVSR01	4.8	-	5.0
HVSR02	4.9	-	5.3
HVSR03	4.6	-	4.5
HVSR04	5.0	-	4.4
HVSR05	4.6	-	4.5
HVSR06	4.0	-	2.6
HVSR07	7.3	-	1.9
HVSR08	4.9	-	2.2
HVSR09	5.2	-	2.4
HVSR10	5.5	-	2.1





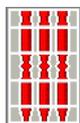
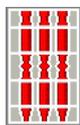


TABELLA DI RIFERIMENTO PER MISURE DI RUMORE DI FONDO CON TECNICA HVSR

RIF. ARCHIVIO: 28/11/2018 16/10/2019		SITO: Sant'Eutizio Abbazia		ORA: dalle 9.00 alle 17.00		
OPERATORE: Siciliani Arcaleni Motti Ogna Sabatini		GPS – SISTEMA DI RIFERIMENTO: WGS 84				
TIPO DI STAZIONE: 24 BIT/GAIA2		TIPO DI SENSORE: LENNARTZ 3D/5S (0.2 Hz)		NOTE: SENSORE CON CERTIFICATO DI CALIBRAZIONE		
STAZ. N.		SENSORE N.				
NOME FILE:				PUNTO: HVSR		
FREQ. DI CAMP. (Hz): 200		INTERVALLO DI CAMP. (ms):		DURATA ACQ.(s): 1200		
CONDIZIONI METEO	VENTO	<input type="checkbox"/> ASSENTE	<input checked="" type="checkbox"/> DEBOLE (>5m/s)	<input type="checkbox"/> MEDIO		
	PIOGGIA	<input checked="" type="checkbox"/> ASSENTE	<input type="checkbox"/> DEBOLE	<input type="checkbox"/> MEDIA	<input type="checkbox"/> FORTE	
TIPO SUOLO (MATERIALE SOTTO IL SENSORE)		<input type="checkbox"/> ARGILLA	<input type="checkbox"/> SABBIA	<input type="checkbox"/> GHIAIA	<input checked="" type="checkbox"/> ROCCIA	
		<input type="checkbox"/> ASFALTO	<input type="checkbox"/> CEMENTO	<input checked="" type="checkbox"/> PAVIMENTO	<input type="checkbox"/> ALTRO:	
		<input checked="" type="checkbox"/> TERRENO ASCIUTTO	<input type="checkbox"/> TERRENO BAGNATO	NOTE:		
ACCOPIAMENTO ARTIFICIALE SENSORE TERRENO <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI, TIPO						
PRESENZA EDIFICI <input type="checkbox"/> NESSUNO <input checked="" type="checkbox"/> RARI <input type="checkbox"/> MOLTI DISTANZA						
TRANSIENTI	NESSUNO	POCHI	MODERATI	MOLTI	MOLTISSIMI	DIREZ/DIST (M)
AUTO			x			
CAMION		x				
PEDONI			x			
ALTRO						
SORGENTI DI RUMORE MONOCROMATICO (pompe, industrie ecc.) <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI, TIPO						
FOTO STAZIONE DI MISURA				OSSERVAZIONI		
 				Deboli e discontinue folate di vento durante le acquisizioni		
 						



MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI E CALCOLO DEL PARAMETRO V_{Seq} (in base a quanto previsto dalle N.T.C. 17/01/2018)

Vseq1 a circa 20 m dal punto A (profilo A-B 84 m)

vs	spessore	h/vs	H substrato	Vseq
270	5	0,0185185	23	385,3728
300	3	0,01		
375	4	0,0106667		
450	4	0,0088889		
550	3	0,0054545		
650	4	0,0061538		
oltre 800	oltre 23 m			

Vseq2 a circa 70 m dal punto A (profilo A-B 84 m)

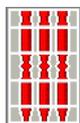
vs	spessore	h/vs	H substrato	Vseq
330	5	0,0151515	17	378,3055
350	5	0,0142857		
400	3	0,0075		
500	4	0,008		
oltre 800	oltre 17 m			

Vseq3 al centro del profilo A-B (cortile interno)

vs	spessore	h/vs	H substrato	Vseq
330	5	0,0151515	20	396,9072
350	3	0,0085714		
420	7	0,0166667		
500	5	0,01		
oltre 800	oltre 20			

Considerazioni

I tre modelli sismostratigrafici sopra riportati, tutti molto simili tra loro, si basano sull'integrazione dei dati di sismica a rifrazione in onde Sh, Masw il onde L ed R e HVSR e sui dati diretti (n. 4 sondaggi). In base al fatto che la profondità del bedrock sismico risulta variabile lungo i profili (dato confermato anche dai dati diretti di sondaggi) vengono stimati tre valori del coefficiente Vseq, lungo tre verticali. I valori del parametro Vseq corrispondenti a profondità del bedrock sismico comprese tra 23 m e 17 m, sono risultati compresi tra i valori di 378 m/s e 397 m/s. Tale valore di Vseq si colloca, solo per pochi m/s, oltre il confine tra un suolo C ed un suolo B. Nel caso di un approccio semplificato per Categorie di sottosuolo, si consiglia quindi di attribuire ai depositi, in via cautelativa, una **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO TIPO E**.



MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO ASSOCIATO AI DEPOSITI EMERSI DAI SONDAGGI (RELAZIONE GEOLOGICA DOTT. GEOL. ROBERTO GIORGETTI)

Sismostratigrafia associata al sondaggio S2

Profondità (m)	Velocità onde S (m/s)	Litostratigrafia
da 0.0 a - 1.0	250-260	<i>Terreno di riporto a granulometria grossolana</i>
da -1.0 a -12.4	260-400	<i>Sabbie calcaree terrose scure</i>
da -13.0 a -14.6	260-400	<i>Sabbie calcaree con frammenti di travertino fitoclastico</i>
da -14.6 a -15.8	330-400	<i>Travertino fitoermale litoide</i>
da -15.8 a -17.5	500-600 (bedrock litoide)	<i>Marne bruno verdastre con argilla</i>
*oltre 20	Oltre 800 (bedrock litoide e sismico)	Bedrock sismico

Sismostratigrafia associata al sondaggio S4

Profondità (m)	Velocità onde S (m/s)	Litostratigrafia
da 0.0 a -3.5	250-260	<i>Muratura in pietra calcarea e travertino</i>
da -3.5 a -12.4	260-400	<i>Sabbie calcaree con frammenti di travertino fitoclastico</i>
da -12.4 a -13.5	Oltre 500 (bedrock litoide)	<i>Calcarea micritico bianco con selce scura</i>
*oltre 23	Oltre 800 (bedrock litoide e sismico)	

Sismostratigrafia associata al sondaggio S3

Profondità (m)	Velocità onde S (m/s)	Litostratigrafia
da 0.0 a -2.2	250-260	<i>Muratura in pietra calcarea e travertino</i>
da -2.2 a -6.4	260-400	<i>Sabbie calcaree con frammenti di travertino fitoclastico</i>
da -6.4 a -9.5	400	<i>Limi sabbiosi con breccia calcarea</i>
da -9.5 a -10.0	Oltre 500 (bedrock litoide)	<i>Calcarea micritico bianco con selce scura</i>
*oltre 17	Oltre 800 (bedrock litoide e sismico)	

*determinato sulla base dei dati geofisici



ATTRIBUZIONE DI MODULI ELASTICI DAI RAPPORTI V_p/V_s

Vengono di seguito determinati, in modo qualitativo, il coefficiente di Poisson ed alcuni moduli elastici (Modulo di Young, Modulo di Taglio, Modulo di Lamé, Modulo di Compressione) relativi ai depositi più superficiali presenti nelle due verticali del profilo A-B modellate. Tali verticali si trovano a circa 20 m ed a circa 70 m dal punto A. Sono state scelte due verticali a causa della notevole variazione laterale di V_s lungo il profilo A-B. Non avendo a disposizione i parametri geotecnici dei terreni, viene assunta una densità dei depositi costante, corrispondente a 18 g/cm^3 .

La modellazione è stata possibile utilizzando correlazioni empiriche che mettono in relazione la velocità delle onde S (ricavate dal profilo di sismica a rifrazione A-B in onde SH), con le velocità delle onde P (ricavate dal profilo A-B in onde P) e la densità.

Sono state quindi messe in relazione le velocità V_p e V_s relative alle celle che rappresentano la verticale al centro di ogni profilo sismico (quindi a 48 m dal punto A, 60 m dal punto C e 30 m dal punto A del profilo effettuato sul cortile interno).

Modulo di Poisson (adimensionale)	$(V_p^2 - 2V_s^2)/[2(V_p^2 - V_s^2)]$
Modulo di Young (in Pa)	$\rho V_s^2(4 - 3k^2)/(1 - k^2)$
Modulo di Taglio (in Pa)	ρV_s^2
Modulo di Lamé λ (in Pa)	$\rho V_s^2(k^2 - 2)$
Modulo di Compressione (in Pa)	$\rho V_s^2(k^2 - 4/3)$

dove:

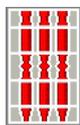
$k = V_p/V_s$ (adimensionale)

$\rho =$ densità (Kg/m^3)

V_s e $V_p =$ velocità onde di taglio e compressionali in m/s

Alcune formule che permettono di determinare empiricamente alcuni moduli geotecnici in funzione di V_p e V_s .

Nota: In linea di massima, una roccia massiccia può avere un rapporto di Poisson da circa 0.15 sino a 0.30 (valori tipici attorno a 0.25), mentre materiali inconsolidati (silt ed argille) hanno tipicamente valori tra 0.35 e 0.45. Le sabbie presentano valori molto variabili (da 0.3 sino quasi al valore massimo teorico di 0.5). L'idea di massima è che tanto più "sciolto" ed "inconsistente" è un materiale tanto più alto è il valore del modulo di Poisson (sino appunto al massimo teorico di 0.5 – valore valido per i fluidi).



Dist. da A (m)	Prof. dal p.c. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Poisson	Young (Mpa)	Shear (Mpa)	Lamè (MPa)
20	Da 0 a 5	650	270	0.39	3663	1312	4981
20	Da 5 a 8	800	300	0.42	4595	1620	8280

Profilo A-B 84 m - correlazione Vp, Vs e parametri elastici (verticale a 20 m da A)

Dist. da A (m)	Prof. dal p.c. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Poisson	Young (Mpa)	Shear (Mpa)	Lamè (MPa)
70	Da 0 a 5	900	330	0.42	5576	1960	10660
70	Da 5 a 8	950	350	0.42	6269	2205	11835

Profilo A-B 84 m - correlazione Vp, Vs e parametri elastici (verticale a 70 m da A)

Dist. da A (m)	Prof. dal p.c. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Poisson	Young (Mpa)	Shear (Mpa)	Lamè (MPa)
30	Da 0 a 5	900	330	0.42	5576	1960	10660
30	Da 5 a 8	950	350	0.42	6269	2205	11835

Profilo A-B 60 m (cortile interno) - correlazione Vp, Vs e parametri elastici (verticale al centro del profilo)

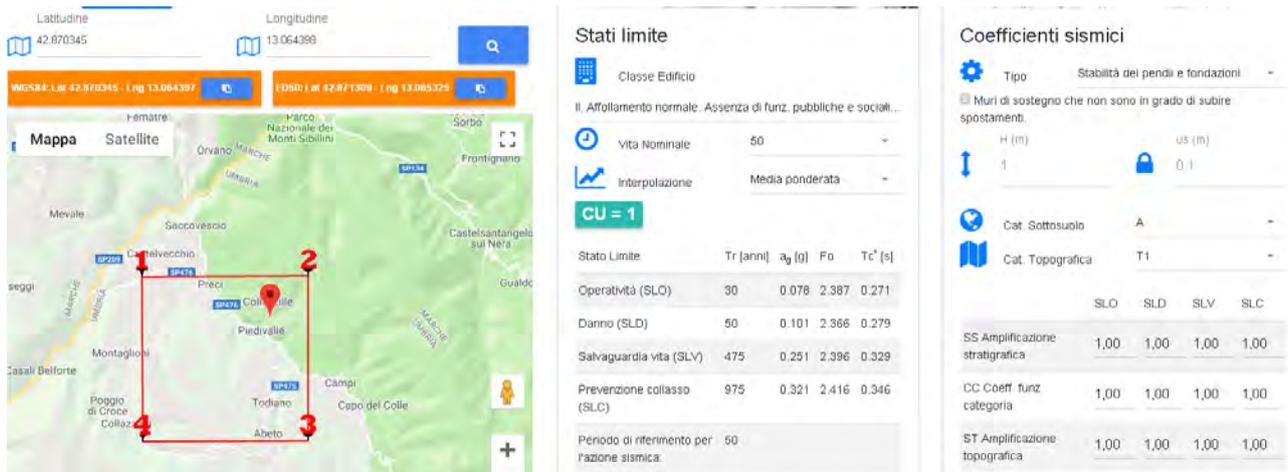


MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2

(COME DA LINEE GUIDA MICROZONAZIONE SISMICA - DPC)

Delle tre verticali sismostratigrafiche ripostate in relazione, viene modellata la verticale centrale del profilo A-B (cortile interno), con profondità del bedrock sismico corrispondente a 20 m (V_{seq} 397 m/s) in quanto tale verticale risulta la più vicina all'Abbazia e quindi quella che meglio approssima i depositi presenti sotto le fondazioni della struttura stessa.

Localizzazione del sito: coordinate ED 50: Lat. 42.8713 Long. 13.065325



Parametri sismici utilizzati: Classe dell'edificio II, $C_u = 1$

Vita nominale: 50

[Anni]

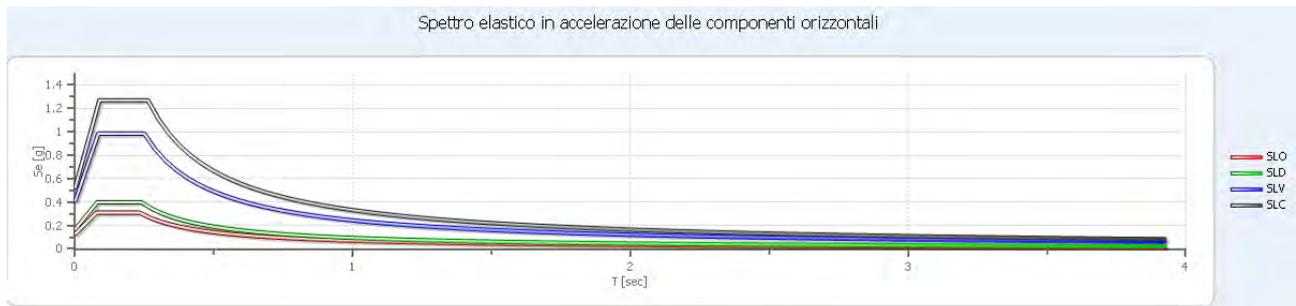
Stato limite	Tr [Anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [sec]
SLO	30	0.078	2.387	0.271
SLD	50	0.101	2.366	0.279
SLV	475	0.251	2.396	0.329
SLC	975	0.321	2.416	0.346



Parametri attribuiti al modello di Vs analizzato

Amplificazione litostratigrafica

Abachi regione: LGMS - DPC
 Litotipo prevalente: Sabbia
 Profilo di velocità: Lineare pendenza massima
 Spessore si sottosuolo: 20.0 [m]
 Vs 23: 397.0 [m/sec]



Stato limite	Tr [anni]	Fa [-]	Fv [-]	ag [g]	ag Abaco [g]	F0 [-]	Tc* [sec]	SAc [g]	SA(TB) [g]	TB [sec]	TC [sec]	TD [sec]
SLO	30	1.670	1.424	0.078	0.060	2.387	0.271	0.186	0.311	0.077	0.231	1.912
SLD	50	1.670	1.424	0.101	0.060	2.366	0.279	0.239	0.399	0.079	0.238	2.004
SLV	475	1.638	1.238	0.251	0.260	2.396	0.329	0.601	0.985	0.083	0.249	2.604
SLC	975	1.638	1.238	0.321	0.260	2.416	0.346	0.776	1.271	0.087	0.262	2.884



CONCLUSIONI RELATIVE ALLE INDAGINI GEOFISICHE

In base a quanto emerso dalla campagna geofisica è stato possibile determinare l'andamento delle velocità delle onde S dal piano di campagna fino al bedrock sismico ed associare tali velocità agli orizzonti litologici emersi dai sondaggi messi a disposizione (Relazione Geologica dott. Geol. Roberto Giorgetti).

In base a quanto prescritto dalle NTC 17/01/18, applicando un approccio semplificato per categorie di sottosuolo, i depositi potrebbero essere associabili ad una categoria di sottosuolo tipo E.

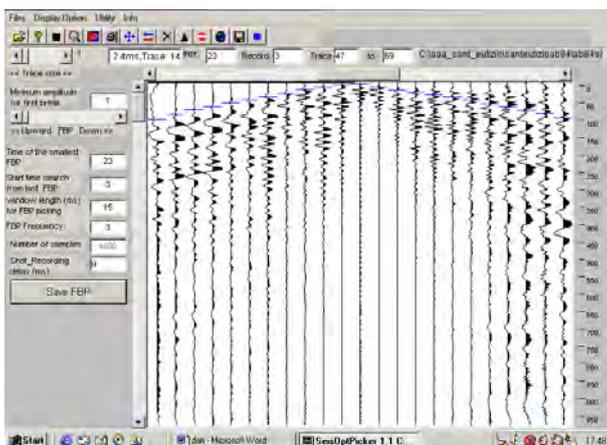
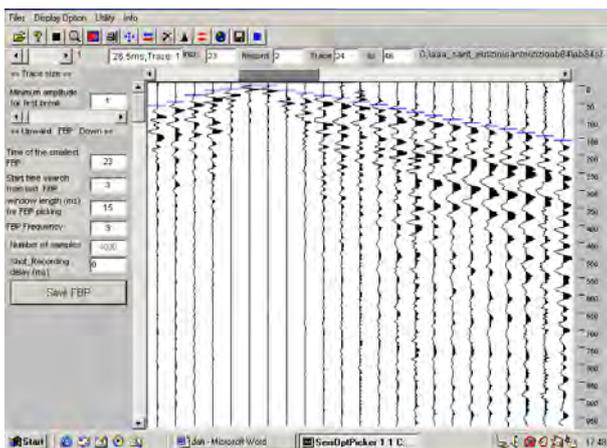
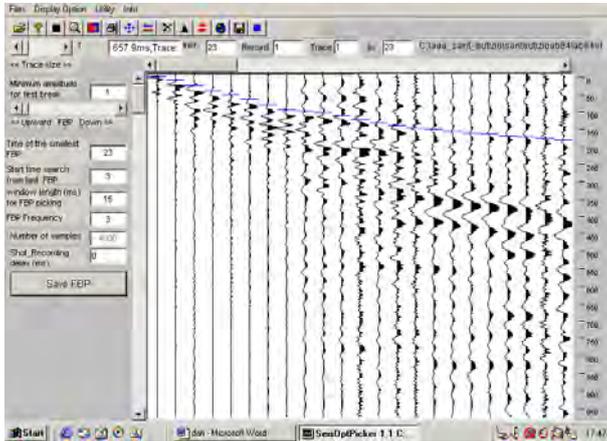
Le analisi HVSR effettuate sulle misure di rumore di fondo a stazione singola, hanno permesso di determinare che i depositi hanno frequenza di risonanza comprese tra 5 e 7.5 Hz. Tali picchi risultano associabili a contrasti di rigidità sismica relativamente superficiali. Tale affermazione trova conferma dai dati emersi dai profili sismici e quindi dall'esistenza di un netto contrasto di rigidità sismica tra le sabbie calcaree con frammenti di travertino fitoclastico ed il sottostante bedrock litoide. Tale bedrock litoide, dopo alcuni metri di alterazione, supera gli 800 m/s in termini di V_s , diventando anche bedrock sismico.

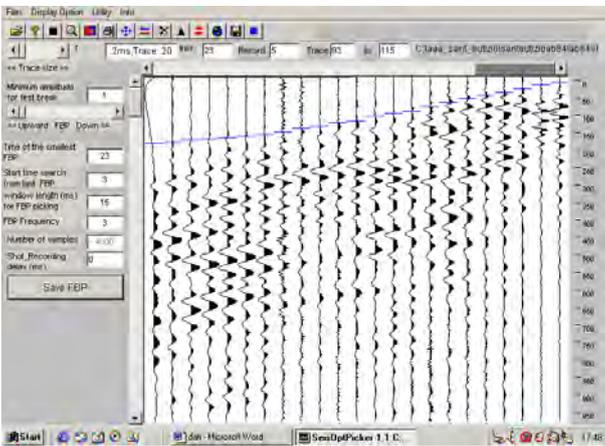
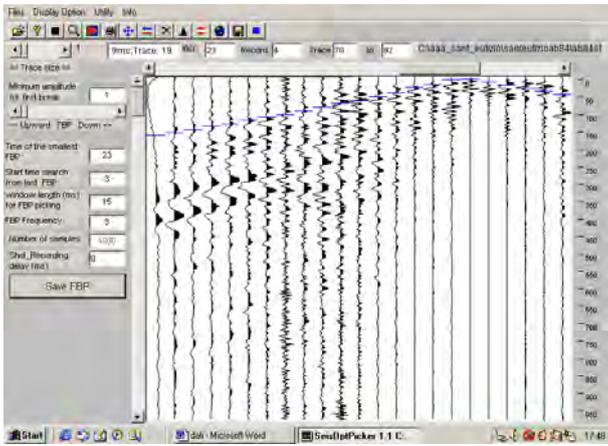
In base alla realizzazione di una microzonazione sismica di livello 2 (che in questa fase assume un carattere puramente qualitativo (differenze tra i parametri progettuali attribuiti alla MS 2 e quelli che il progettista intenderà attribuire alla struttura per la verifica agli stati limite), per SLV sono stati determinati un F_a di 1.6 ed un F_v di 1.2.



SISMOGRAMMI PROFILI DI SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE S E P

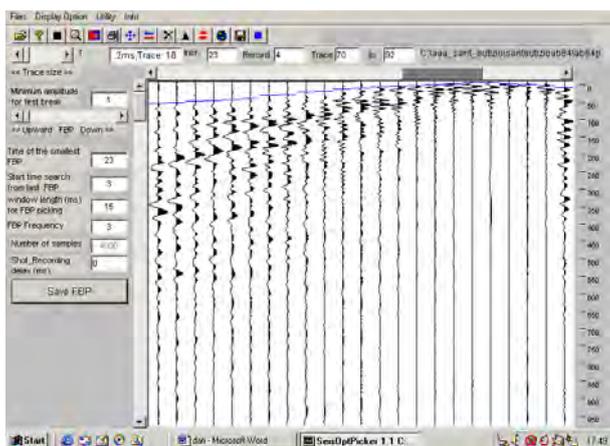
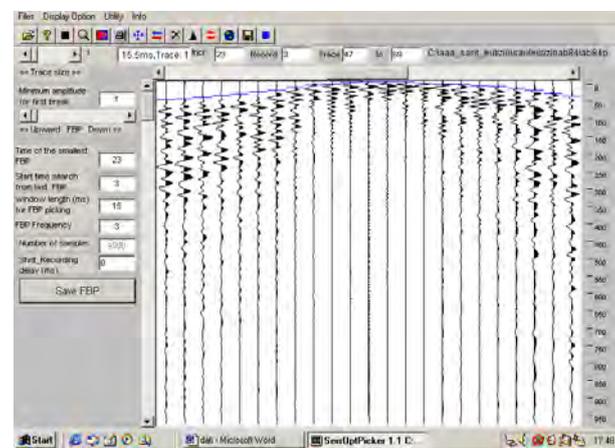
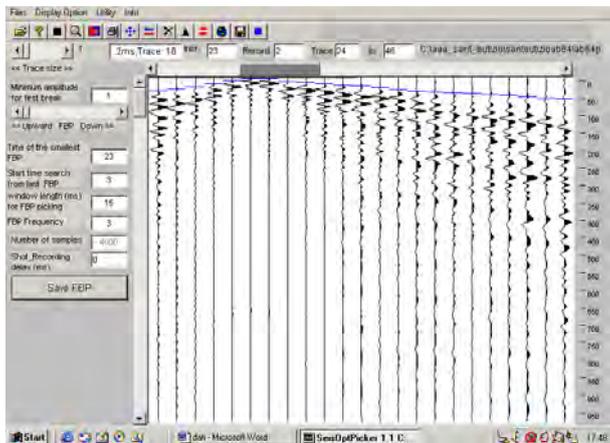
Profilo A-B 84 m onde sh

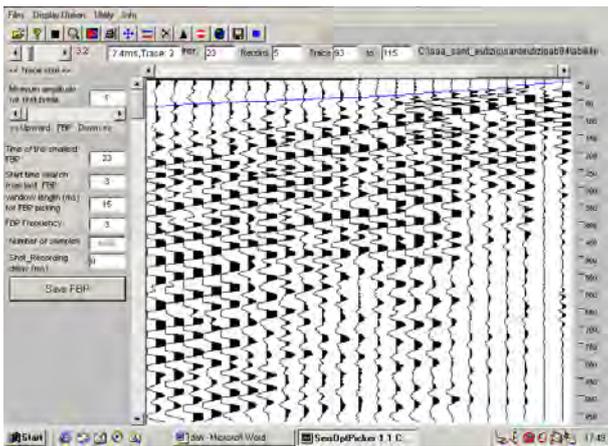




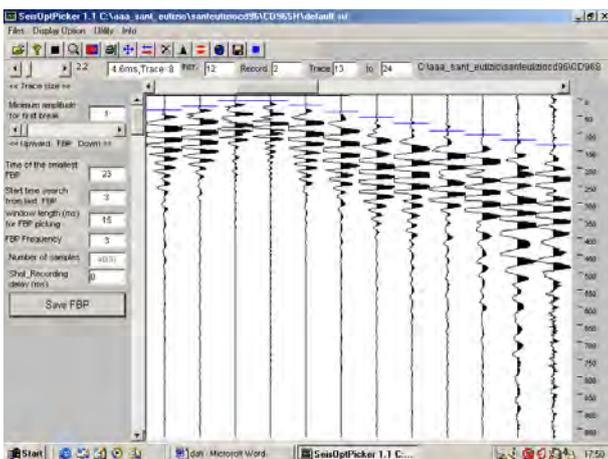
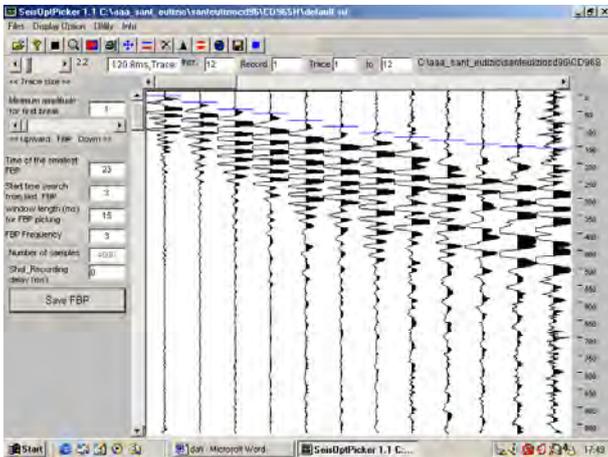


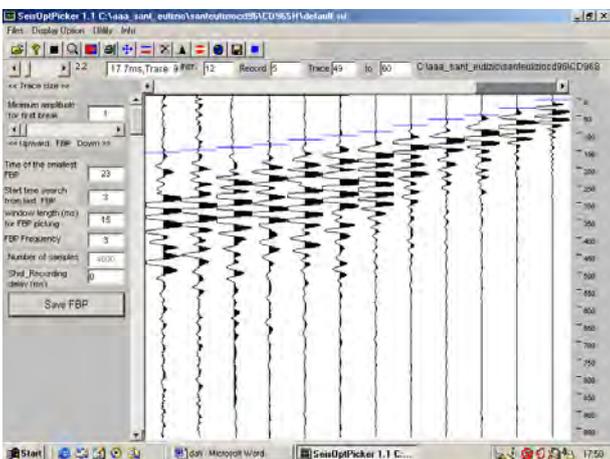
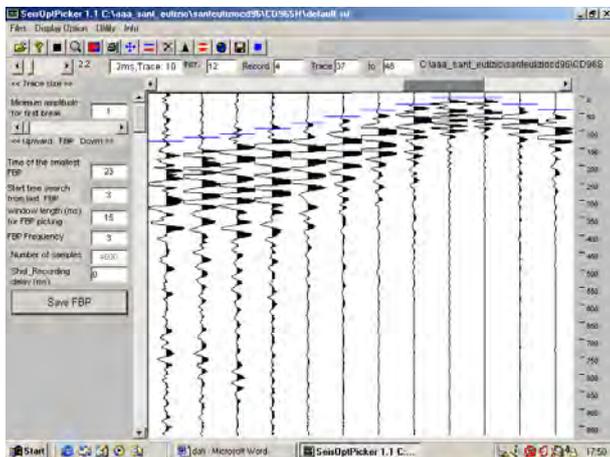
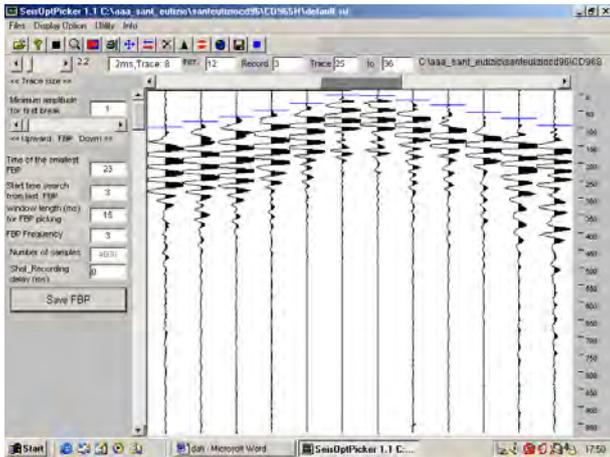
Profilo A-B 84 m onde p





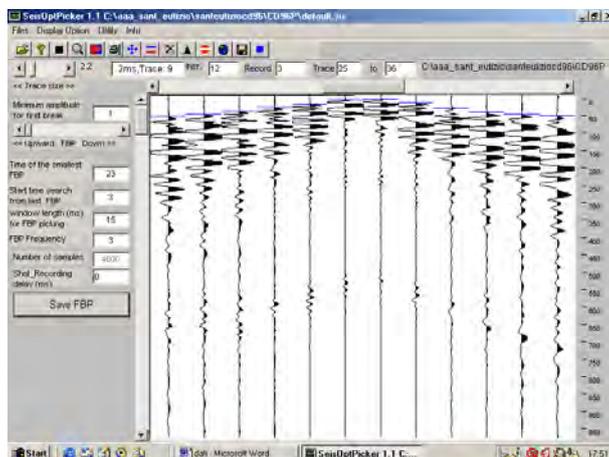
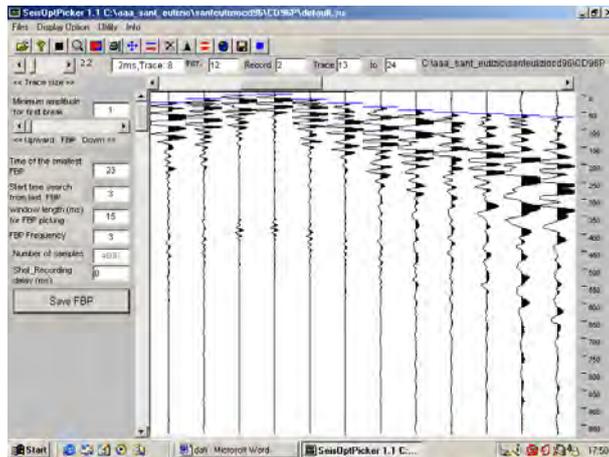
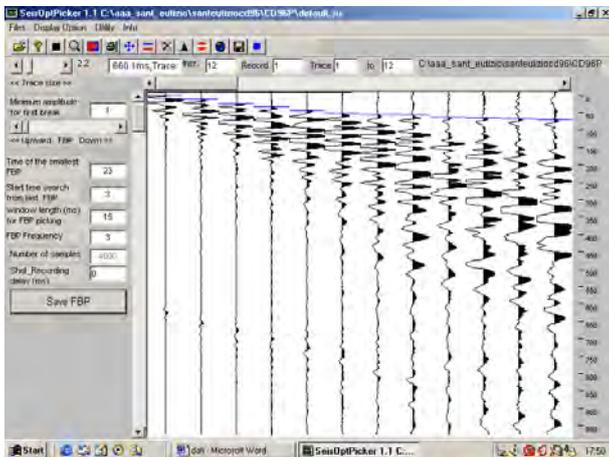
Profilo C-D 96 m onde sh

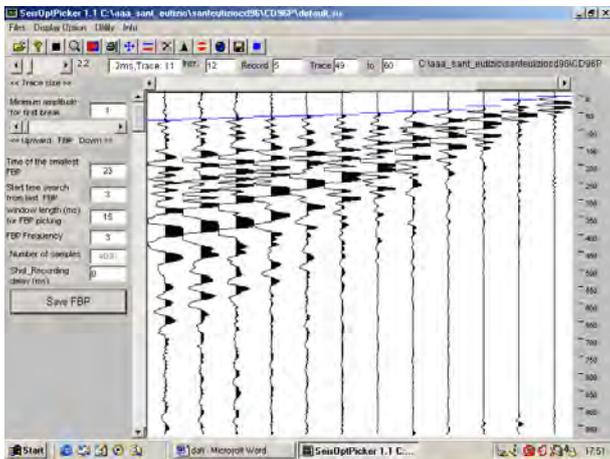
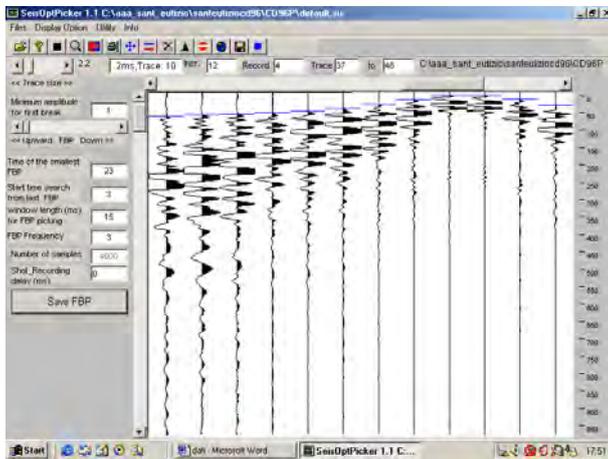
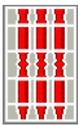






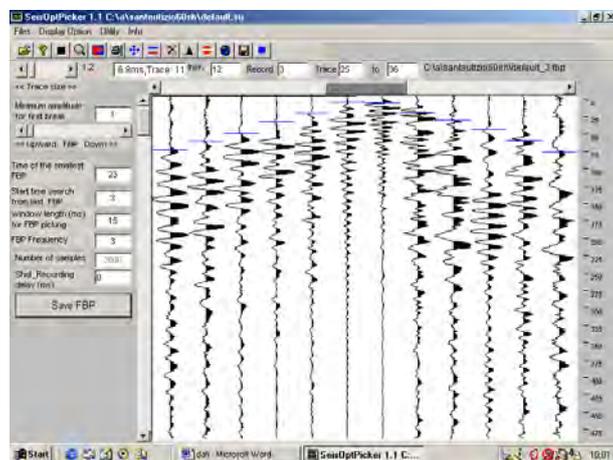
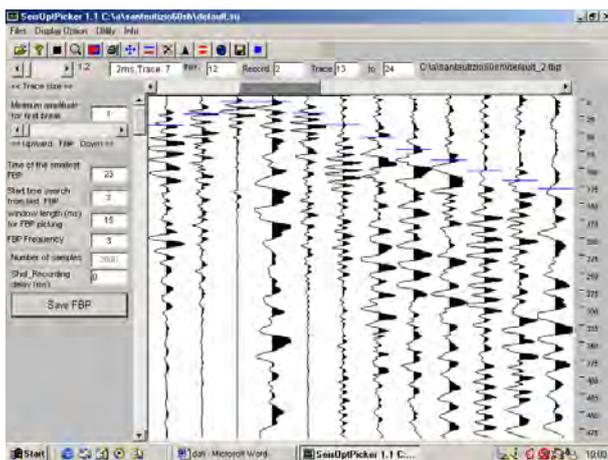
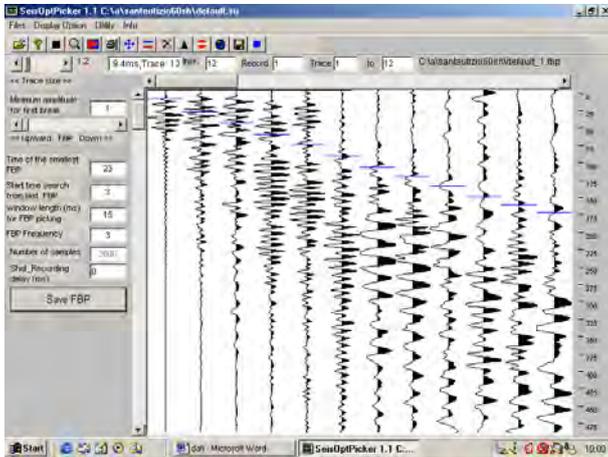
Profilo C-D 96 m onde p

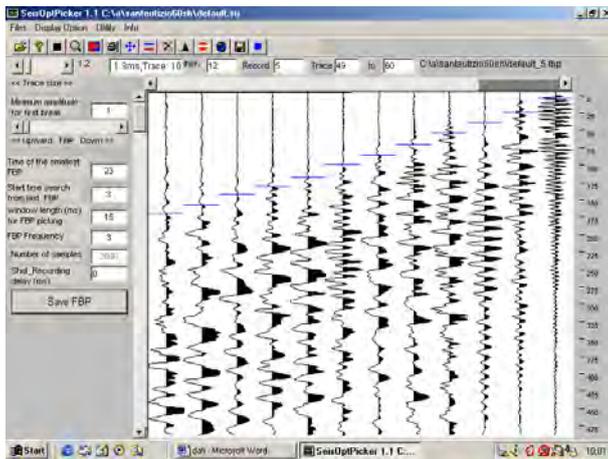
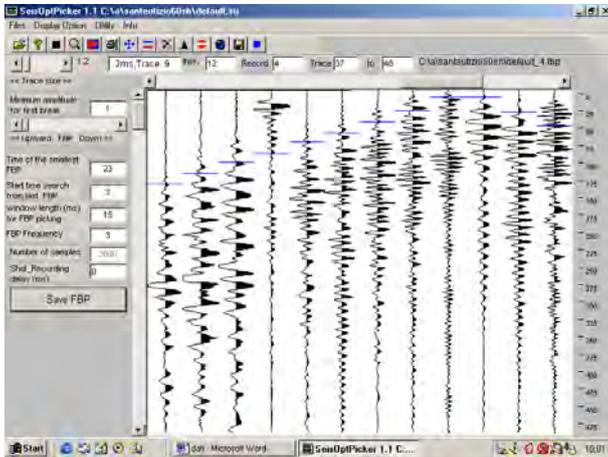






Profilo sismico A-B onde Sh cortile interno Abbazia (i sismogrammi risultano di bassa qualità a causa dei limiti di sito, presenza di lastricato, presenza di vicini edifici, presenza di cantiere con macchinari al lavoro). Onde Sh







DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA









REALIZZAZIONE DI STUDI ATTI ALLA DEFINIZIONE DELLE CRITICITÀ GEOLOGICHE LEGATE ALLA POSSIBILE PRESENZA DI FAGLIE ATTIVE E CAPACI E DEFORMAZIONI GRAVITATIVE PROFONDE DI VERSANTE NEI PRESSI DI PRECI (PG) – SANT'EUTIZIO



Responsabile scientifico: Emanuela Falcucci

Attività svolta da

Emanuela Falcucci ⁽¹⁾, Stefano Gori⁽¹⁾, Fabrizio Galadini⁽¹⁾,
Marco Moro⁽¹⁾, Michele Saroli⁽²⁾⁽¹⁾, Deborah Maceroni⁽²⁾⁽¹⁾.

Con la collaborazione di

Fawzi Doumaz e Girolamo Dixit Dominus

(1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia,
Roma

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

16/03/2020

*Attività operativa nell'ambito del
Protocollo d'Intesa tra INGV e la
Regione Umbria, (Delibera n. 520/2017
del 21/12/2017 – Allegato U al verbale
n. 13/2017 Protocollo n. 0001308 del
31/01/2018)*

Indice

1. Introduzione	pag.1
2. Informazioni geologiche e sismotettoniche dalla letteratura	pag. 6
2.1 Inquadramento geologico regionale	pag. 6
2.2 Tettonica quaternaria	pag. 7
2.3 Tettonica attiva e paleosismologia	pag. 8
2.4 Sismotettonica	pag.11
2.5 Movimenti gravitativi profondi di versante	pag.13
3. Assetto strutturale dell'area di Sant'Eutizio da dati di letteratura	pag.13
4. Indagini geologiche e geomorfologiche	pag.18
5. . Indagini paleosismologiche	pag.28
6. Conclusioni	pag.49
Bibliografia	pag. 53

1. Introduzione

Il 24 agosto 2016, il terremoto di Mw 6.0 localizzato nei pressi di Accumoli (RI) (es. Chiaraluca et al., 2017) ha segnato l'inizio di una sequenza sismica che ha colpito l'Appennino centrale. Tale evento, infatti, è stato seguito poche settimane più tardi da un terremoto di Mw 5.9, il 26 ottobre 2016, localizzato nella zona di Visso (MC), e successivamente da un evento di Mw 6.5, il più energetico di tutta la sequenza, avvenuto il 30 ottobre 2016, con epicentro localizzato poco a NE di Norcia (es. Chiaraluca et al., 2017) (Fig. 1).

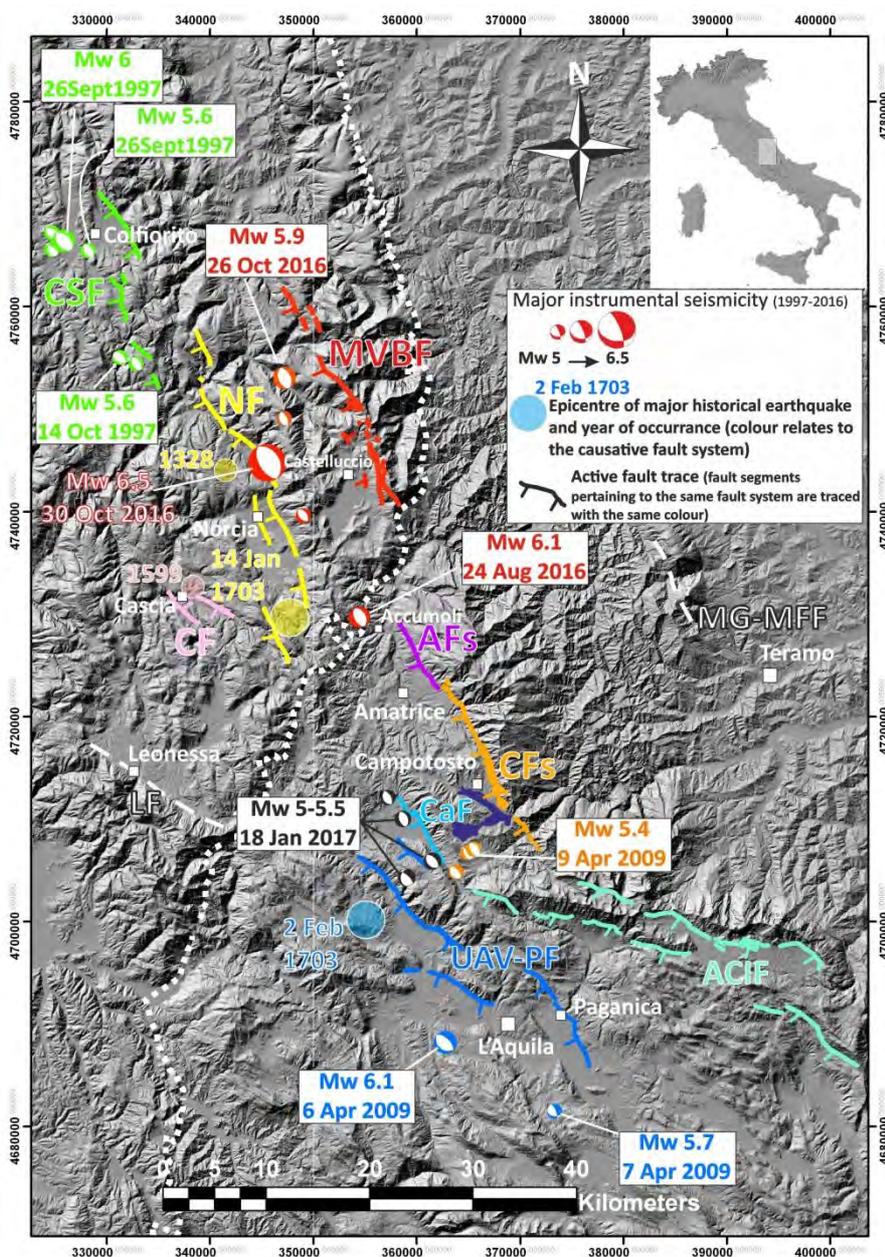


Fig. 1. Mappa (modello digitale di terreno) sulla quale vengono riportati i principali sistemi di faglie attive dell'area compresa fra le Regioni Umbria, Marche, Lazio e Abruzzo (modificata da Galadini et al., 2018). Vengono indicati gli epicentri dei principali eventi sismici che hanno interessato l'area a partire dalla sequenza sismica dell'Umbria-Marche del 1997 e i principali eventi sismici storici. Faglie: Colfiorito e Sellano, CSF; M. Vettore-M. Bove, MVBF; Norcia, NF; Cascia, CF; Amatrice, AFs; Campotosto, CFs; Capotignano f, CaF; Alta Valle dell'Aterno-Paganica, UAV-PF; Leonessa, LF; Monti Gemelli-Montagna dei Fiori fault, MG-MFF. Il fronte di sovrascorrimento inattivo è indicato dalla linea bianca tratteggiata.

A seguito di questa sequenza sismica molti comuni del centro Italia hanno subito gravi danni alle infrastrutture ed al patrimonio edilizio, sia su quello civile che quello di valenza artistico-culturale e

religiosa. Fra questi, la scossa del 30 ottobre 2016 ha fortemente danneggiato l'Abbazia di Sant'Eutizio (Fig. 2a), oggetto del presente studio, situata nell'area del comune di Preci.

Nell'ambito delle operazioni riguardanti il restauro post-sisma dell'Abbazia di Sant'Eutizio, le attività di sopralluogo hanno messo in luce che l'Abbazia sarebbe collocata lungo la traccia di una faglia attiva e capace (FAC), segnatamente il segmento di faglia "Campi-Preci" (Fig. 2b) che potrebbe rappresentare, insieme agli altri segmenti del sistema di faglie attivo di Norcia, l'espressione superficiale della sorgente sismogenetica responsabile della scossa di Mw=6.92 del 14 gennaio della sequenza sismica del 1703, che ha avuto come epicentro macrosismico la zona di Norcia (Rovida et al., 2019) (Fig. 3).

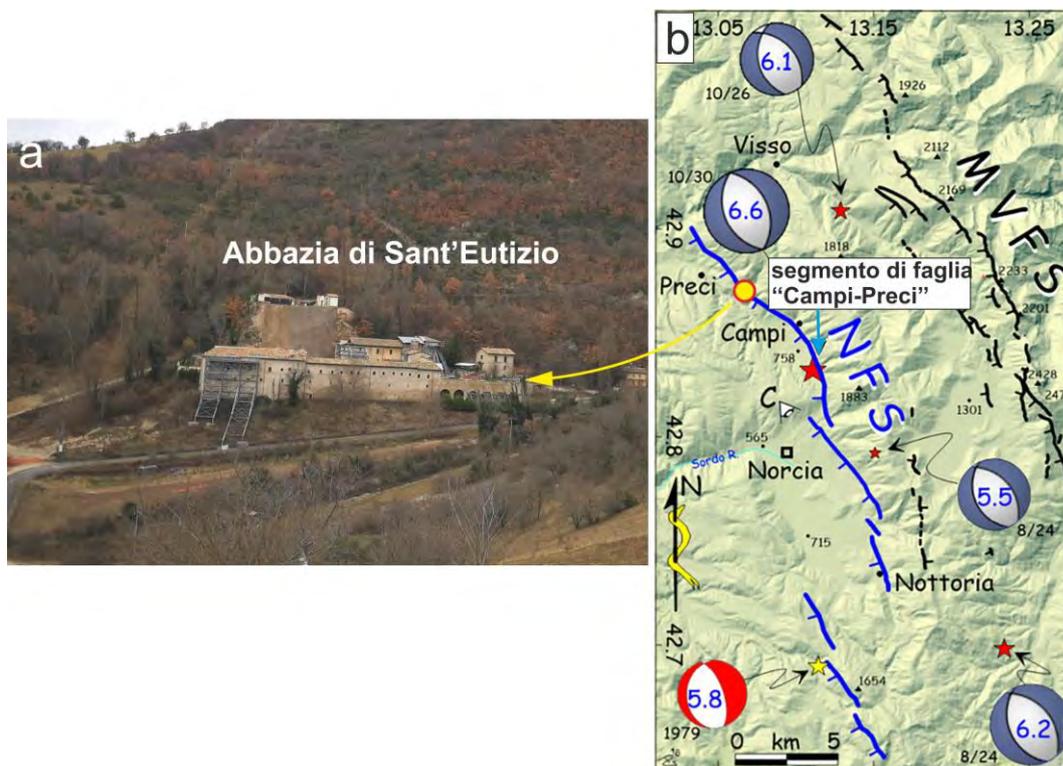


Fig. 2. a) Vista panoramica (da Sud verso Nord) dell'Abbazia di Sant'Eutizio. b) Schema sismotettonico dei sistemi di faglia del M. Vettore e di Norcia (modificata da Galli et al., 2019).

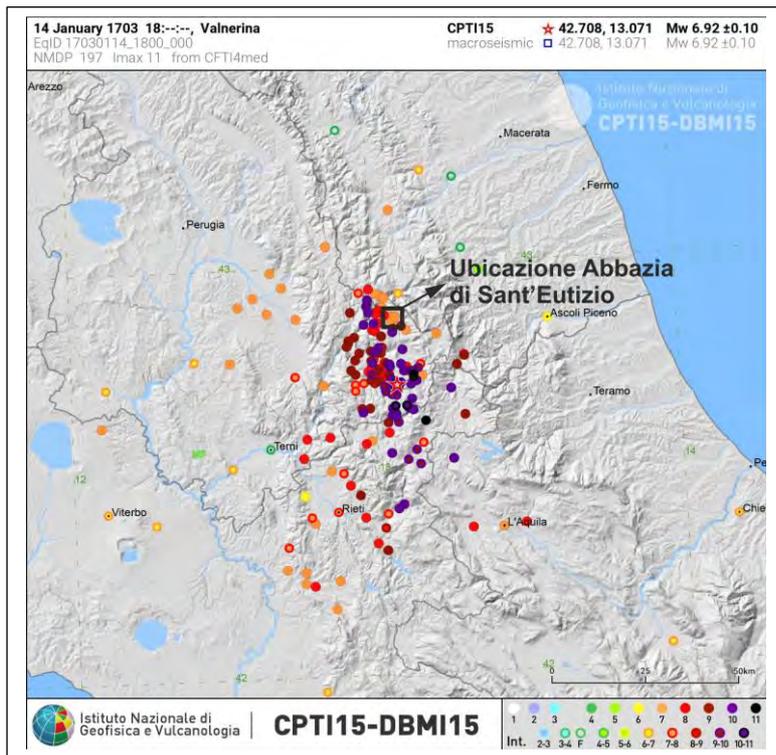


Fig. 3. Distribuzione delle Intensità relative all'evento sismico del 14 gennaio 1703 (da Rovida et al., 2019).

Con la stipula della presente attività operativa tra l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e la Regione Umbria-Servizio Geologico le parti hanno inteso collaborare per la realizzazione di studi atti alla definizione delle criticità geologiche legate alla possibile presenza di faglie attive e capaci e deformazioni gravitative profonde di versante nei pressi di Preci (PG) – Sant'Eutizio. A tal fine, INGV si è impegnato a svolgere la seguente attività:

- 1) rilevamento geologico finalizzato all'individuazione di criticità geologiche ed elementi di fragilità geologica di superficie, con particolare riferimento a faglie attive (e capaci) e a movimenti gravitativi di versante;
- 2) indagini paleosismologiche realizzate al fine di indentificare o escludere la presenza di dislocazioni tettoniche in prossimità del sito oggetto dello studio.

Questo intervento si è reso necessario in virtù della possibile presenza di una Faglia Attiva e Capace (FAC) distensiva nell'area interessata dalla struttura edilizia. Una faglia a cinematica non definita è in effetti riportata dalla Cartografia Geologica d'Italia, Foglio 132 "Norcia" (scala 1:100.000) (Fig. 4a); una faglia normale o trastensiva è presente nella Carta Geologica dell'Umbria (scala 1:10.000) (Fig. 4b); nel Catalogo delle faglie capaci in Italia "Italy HAZards from CApable faults" (ITHACA) dell' Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) (Fig. 5) è riportata una faglia normale capace (appartenente alla faglia di Norcia), che mostra attività

nell'Olocene, con evidenze di attività in superficie non definite e come faglia responsabile del terremoto del 14 gennaio del 1703 e della scossa del 19 settembre del 1979.

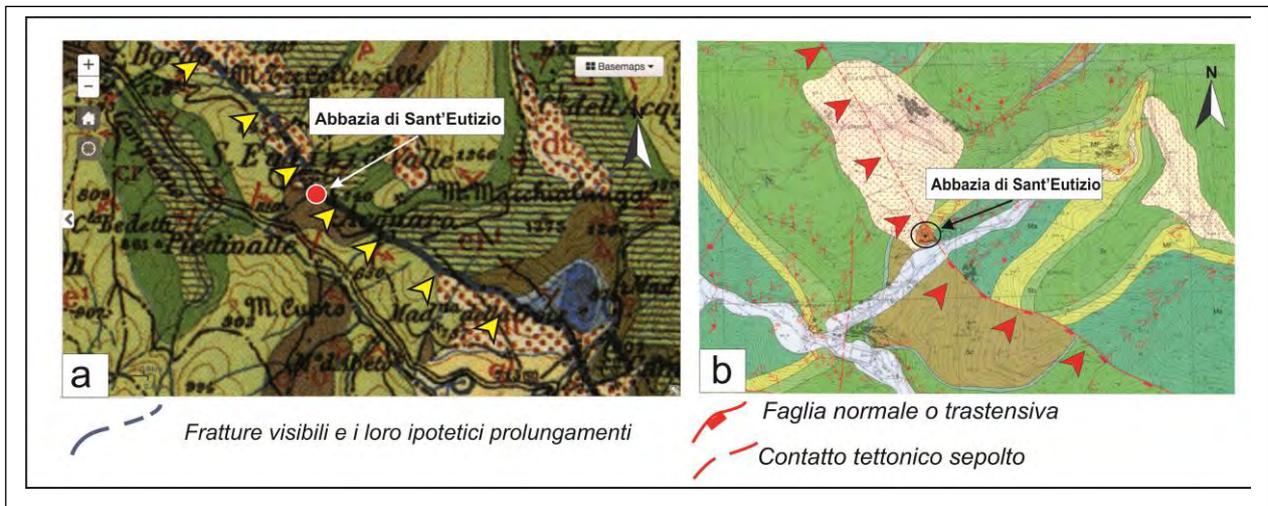


Fig. 4. a) Stralcio della Cartografia Geologica d'Italia, alla scala 1:100.000, del Foglio 132 "Norcia", della zona dell'Abbazia di Sant'Eutizio.; i triangoli gialli indicano la possibile traccia dei un elemento strutturale nella zona dell'Abbazia. b) Stralcio della Carta Geologica dell'Umbra, alla scala 1:10.000; i triangoli rossi indicano la possibile traccia della faglia estensionale nella zona dell'Abbazia.

Al fine di individuare eventuali piani di taglio riconducibili alla faglia sopra citata nell'area occupata dall'Abbazia – considerata la direzione NW-SE di questa – si è ritenuto opportuno procedere alla realizzazione di uno scavo geognostico, con asse NE-SW, in un'area adiacente l'Abbazia, che coprisse l'intera lunghezza dell'edificio, ad andamento, quindi, ortogonale alla presunta faglia (Fig. 6).

La presente relazione tecnico-scientifica è organizzata come segue: dopo alcuni capitoli dedicati alla descrizione delle caratteristiche geologiche e sismotettoniche dell'area, verranno presentate le informazioni disponibili circa la possibile faglia attiva e capace che interesserebbe l'area di Sant'Eutizio. Di seguito, un capitolo verrà dedicato all'analisi dei dati geologici raccolti mediante rilevamento geologico e geomorfologico nelle aree circostanti l'Abbazia. Un altro capitolo verrà dedicato alla descrizione dei dati ottenuti mediante le indagini geognostiche eseguite per mezzo della trincea. Nel capitolo finale verranno discussi i dati e verranno riassunte le conclusioni alle quale le indagini eseguite permettono di giungere.

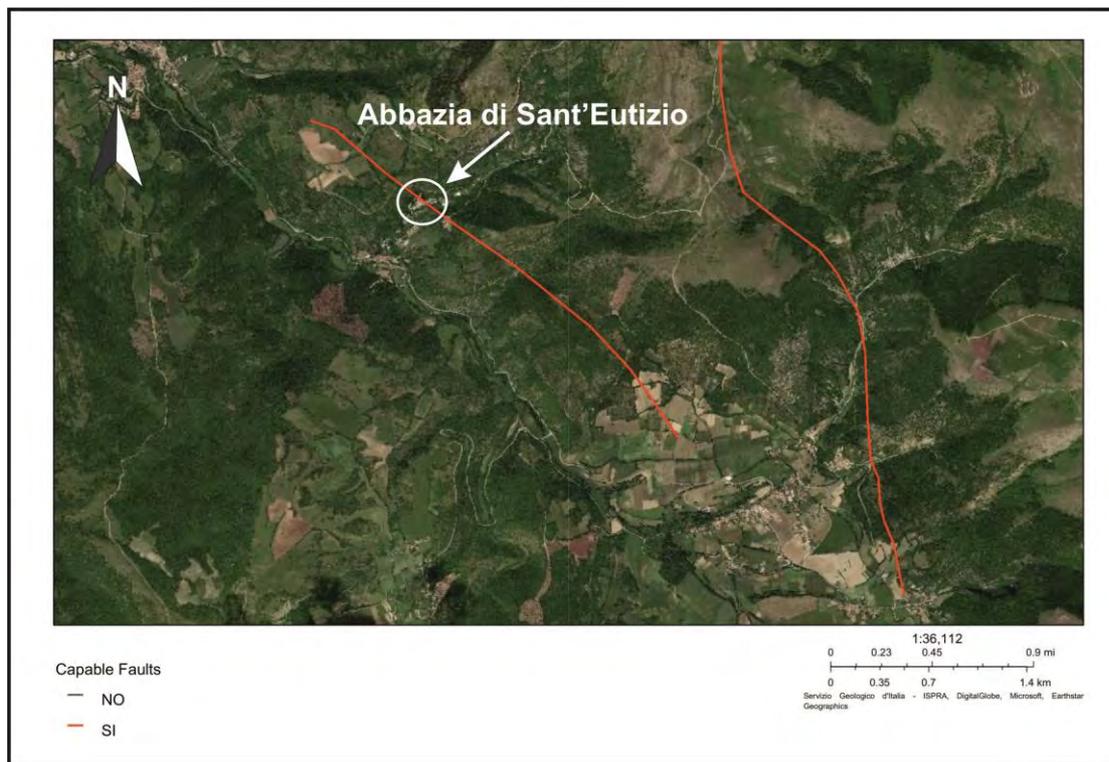


Fig. 5. Stralcio della mappa relativa al Database ITHACA in cui è riportata la traccia (linea rossa) della faglia capace ipotizzata nella zona dell'Abbazia di Sant'Eutizio.



Fig. 6. Fase di esecuzione dello scavo geognostico realizzato nell'area adiacente (a Sud) all'Abbazia di Sant'Eutizio.

2. Informazioni geologiche e sismotettoniche dalla letteratura

Di seguito vengono riassunte le informazioni ottenute dall'analisi della letteratura disponibile sulle caratteristiche della tettonica quaternaria, della tettonica attiva e paleosismologia, della sismotettonica e dei movimenti gravitativi profondi di versante nell'area nursina e zone circostanti, compresa l'area dove è localizzata l'Abbazia di Sant'Eutizio.

2.1 Inquadramento geologico regionale

L'Abbazia di Sant'Eutizio è ubicata nel settore sud-orientale dell'Umbria, all'interno dell'area comunale di Preci, un comune montano con altitudini che vanno da circa 400 a circa 1500 m s.l.m., confinante con i comuni di Castelsantangelo sul Nera (MC), Cerreto di Spoleto (PG), Norcia (PG) e Visso (MC).

Quest'area si inquadra nel contesto geologico-strutturale dell'Appennino umbro-marchigiano, cui rilievi sono costituiti da unità sedimentarie tipiche di ambiente pelagico, deposte tra il Giurassico inferiore e il Miocene (es. Cosentino et al., 2010). L'Appennino umbro-marchigiano viene coinvolto nell'orogenesi appenninica tra il Miocene superiore e il Pliocene inferiore, portando alla formazione di diversi fronti di sovrascorrimento, in direzione NNE-SSW, come il *thrust* della Valnerina e il *thrust* dei Monti Sibillini, determinando il tipico assetto geologico a pieghe e sovrascorrimenti della catena appenninica.

La Carta Geologica dell'Umbra, n° 325090 "Preci", alla scala 1:10.000 mette in evidenza la presenza nell'area di unità cretacico-mioceniche passanti da calcari micritici stratificati, appartenenti alla Formazione della Maiolica (Aptiano inf. – Albiano sup.), ai calcari marnosi e marne argillose appartenenti alla successione delle scaglie (Albiano sup. – Oligocene inf.) (Fig. 4b). Alla base dei versanti sono presenti conoidi alluvionali o da *debris flow*, alimentati da valli che incidono trasversalmente i versanti, detriti di falda più o meno recenti. Fra i depositi continentali quaternari, nell'area di Sant'Eutizio affiorano depositi di travertino (Fig. 4b). Secondo studi recenti, la deposizione dei travertini dell'Appennino centrale, in particolare dell'Umbria, delle Marche e dell'Abruzzo, è avvenuta nel tardo Quaternario durante l'alternanza dei periodi glaciali e interglaciali del Pleistocene medio e superiore (Faccenna et al., 1994; Tuccimei et al., 2001), riconoscendo tre grandi periodi di deposizione: 220 – 240 ka, 120 – 140 ka e 60 – 70 ka (Minissale, 2002). Sono età correlabili a fasi di riscaldamento globale che seguono una fase più fredda favorendo la precipitazione di carbonato di calcio e la deposizione di travertino (Dramis, 1999). La rupe sui cui è edificata l'Abbazia di Sant'Eutizio è costituita proprio da un bancone di travertino.

L'area oggetto di studio è localizzata nel settore occidentale del gruppo montuoso dei Monti Sibillini e si trova a nord-ovest di due bacini intermontani, quelli di Castelluccio di Norcia e

Norcia,

la cui formazione è fortemente connessa all'attività di faglie normali, a direzione NW – SE, che si sono formate ad opera del regime tettonico estensionale che coinvolge l'area interna della catena appenninica a partire dal Pliocene (Fig. 1). Tale regime tettonico ha determinato la formazione di faglie e sistemi di faglia estensionali che hanno disseccato l'edificio strutturale ereditato dalla tettonica compressiva. L'attività di tali sistemi distensivi ha guidato l'apertura dei bacini intermontani con evoluzione strutturale tipo *semi-graben*, all'interno dei quali, nel corso del Quaternario, si sono deposte sequenze continentali riferibili ad ambienti di tipo lacustre, fluviale e di versante (es. Bosi et al., 2003; Centamore et al., 2003).

L'attività di molti di questi sistemi di faglia normali prosegue per tutto il Quaternario. La loro attività tardo pleistocenico-olocenica è stata dimostrata da diversi studi geomorfologici e paleosismologici (e.g. Galli et al., 2008) e dall'occorrenza di terremoti storici associati ad alcune di queste faglie.

2.2 Tettonica quaternaria

Informazioni sulle caratteristiche della tettonica quaternaria del settore nursino e dell'Umbria meridionale sono riportate nei lavori di Calamita et al. (1979; 1982), Blumetti et al. (1990a), Blumetti e Dramis (1992), Calamita e Pizzi (1992). Da questi lavori si evince che le depressioni di Norcia, Campi e Cascia si sono originate per l'azione di faglie normali che le bordano.

Le informazioni geomorfologiche e morfotettoniche acquisite nel corso del P.F. Geodinamica sono riassunte in Calamita et al. (1979) e Calamita et al. (1982). Il quadro di evoluzione tettonica quaternaria proposto nei due articoli è da considerarsi tuttora valida, alla luce dei lavori più recenti che ne hanno sostanzialmente confermato le conclusioni principali.

Secondo gli autori citati, una fase di "stasi" tettonica successiva all'orogenesi, tra il Pliocene medio e il Pleistocene inferiore, avrebbe determinato la formazione di un paleo-paesaggio cui tracce oggi sono rappresentate dalla cosiddetta "paleosuperficie sommitale", ad opera di processi morfogenetici areali.

A partire dal Pleistocene inferiore-medio, la paleosuperficie sarebbe stata successivamente dislocata lungo le faglie che hanno portato alla formazione delle depressioni intermontane presenti in questo settore di catena appenninica. Blumetti et al. (1990a) e Blumetti e Dramis (1992) forniscono un inquadramento neotettonico della conca di Norcia, sostanziato da dati di stratigrafia del Quaternario, con evidenze di dislocazioni tettoniche distensive.

Calamita e Pizzi (1992; 1994) analizzano il quadro geologico-strutturale e le caratteristiche geometriche e cinematiche delle faglie ad attività quaternaria di un ampio settore dell'Appennino umbro-marchigiano. Al sistema di faglie Preci-Norcia (definito M. Fema-Norcia nel lavoro citato)

gli autori hanno attribuito un rigetto superiore ai 1000 m. Esso sarebbe costituito da più segmenti disposti *en-echelon*. Il rigetto del sistema si annullerebbe, verso nord, in prossimità del Monte Fema; verso sud, il rigetto diminuisce subito a SE del M. Alvagnano. I bacini di Campi e Norcia si sviluppano al tetto delle faglie. Il primo dei due si pone nella porzione centrale del sistema, quella caratterizzata da più elevato rigetto verticale.

L'attività recente delle faglie nursine sarebbe anche testimoniata dall'analisi strutturale delle deformazioni che interessano i ciottoli di un deposito fluvio-glaciale probabilmente riferibile al Pleistocene medio, a ridosso della faglia M. Castello-M. Cardosa (ad est della faglia che borda il bacino di Norcia) (Invernizzi e Pizzi, 1995).

Pizzi e Scisciani (2000) evidenziano che la faglia di Norcia è stata caratterizzata da attività estensionale pre-neogenica. Il rigetto totale (stratigrafico) è, lungo la faglia, variabile tra i 1200 e i 2500 m. Tuttavia, secondo gli autori, il rigetto Quaternario potrebbe corrispondere, al massimo, al 50% del rigetto totale. Tale osservazione deriva dalla valutazione dell'entità della dislocazione minima del c.d. paleopaesaggio sommitale, variabile tra i 450 e i 900 m. Assumendo un'età per l'inizio dell'attività recente della faglia pari a 1.1-1.2 Ma, il tasso di movimento di lungo periodo risulterebbe dell'ordine di 0.6-0.9 mm/a. Tale valore è anche riportato in Calamita et al. (2000a), mentre valori più elevati (fino a 1.5 mm/anno) erano stati precedentemente definiti in Calamita e Pizzi (1994).

La dislocazione del suddetto paleopaesaggio sommitale e il rapporto morfo-stratigrafico fra questo e i depositi quaternari affioranti lungo i versanti che bordano ad est la depressione nursina consentono a Gori et al. (2007) di stimare un tasso di movimento del sistema di faglie compreso fra 0.25 e 1.15 mm/anno.

2.3 Tettonica attiva e paleosismologia

Informazioni sulla tettonica attiva e dati paleosismologici sono riportati in Blumetti (1995), Barchi et al. (2000), Galadini e Galli (2000), Galli et al. (2005; 2018).

In generale, la storia tettonica recente dell'area nursina è stata condizionata dalla presenza del c.d. sistema di faglia di Norcia, costituito da cinque segmenti di faglia principali, definiti come Monte Alvagnano, Cascia (o Oricchio), Norcia, Campi-Preci (Barchi et al., 2000; Galadini et al., 2000; Galadini e Galli, 2000). Tale struttura si sviluppa per una lunghezza in superficie di circa 30 km, tra Preci e Cittareale, con direzione media circa NW-SE e pendenze dei piani di faglia in superficie variabili tra i 50° e i 75° verso WSW. Il rigetto massimo desumibile dalla dislocazione delle Marne a Fucoidi è dell'ordine dei 1600 metri. La cinematica che caratterizza i vari segmenti è di tipo sia puramente normale (dip-slip) che obliqua sinistra. Secondo i menzionati autori lo spessore dello

strato sismogenetico in questa zona, dunque la profondità massima raggiunta dalla faglia in profondità, sarebbe dell'ordine degli 11 km (mentre Tondi, 2000, riporta un valore di 12-15 km). La massima magnitudo attesa è pari a 6.8-6.9, applicando le equazioni di Wells e Coppersmith (1994) a partire dalla lunghezza dell'espressione superficiale della sorgente sismogenetica.

Blumetti (1995) descrive alcune caratteristiche geomorfologiche della faglia di Norcia, come evidenze di attività riferibile al Pleistocene superiore. In particolare, lungo la scarpata più occidentale della gradinata di scarpate associate a diversi rami di faglia che costituisce l'espressione superficiale della faglia, l'autrice riporta il contatto per faglia tra depositi ghiaiosi del Pleistocene medio e depositi colluviali in prevalenza riferibili al Pleistocene superiore. L'attività recente di questa faglia sarebbe evidenziata anche dalla dislocazione cosismica osservata a seguito del terremoto del 1979. Tale evidenza consisteva in una frattura lunga alcune decine di metri e larga alcuni centimetri. L'altezza della scarpata occidentale viene valutata in circa 20 m. Essa si sarebbe formata negli ultimi 230.000 anni, Tuttavia, secondo l'autrice, l'aspetto della scarpata indicherebbe un'età molto più recente, probabilmente inferiore a 0,1 Ma. In base a ciò, il tasso di movimento minimo sarebbe dell'ordine di 0,09-0,2 mm/anno. Quest'ultimo valore sembra consistente con l'entità della dislocazione, superiore a 100 m, che interessa le ghiaie alluvionali del Pleistocene medio lungo la faglia bordiera del bacino di Norcia e riferite a ca. 0,5 Ma. Tuttavia, la procedura adottata dall'autrice per valutare il tasso di movimento è stata considerata non propriamente attendibile da Galadini e Galli (2000).

Sempre lungo la faglia occidentale, il rinvenimento di un cuneo colluviale (ovvero, il prodotto dell'erosione di una scarpata cosismica in superficie) alimentato dalla scarpata è stato riferito, da Blumetti (1995), ad un evento di fagliazione con rigetto dell'ordine del metro. Tale cuneo colluviale è stato attribuito alla formazione e successiva erosione di una scarpata in occasione della scossa del 14 gennaio della sequenza sismica del 1703.

Galli et al. (2005) hanno effettuato indagini paleosismologiche mediante l'analisi di pareti di uno scavo realizzato attraverso la scarpata più occidentale del sistema di Norcia, a ridosso dell'abitato (Fig. 7).



Fig. 7. Parete della trincea paleosismologica eseguita da Galli et al. (2005) attraverso uno dei rami di faglia attiva nei pressi dell'abitato di Norcia.

Gli autori ipotizzano l'occorrenza di almeno quattro eventi di dislocazione negli ultimi 27.000 anni circa. Di questi eventi, il più antico sarebbe avvenuto precedentemente all'Ultimo Massimo Glaciale (cioè prima di circa 15000-25000 anni fa) e sarebbe responsabile della formazione di un cuneo colluviale. Un altro evento sarebbe successivo alla data sopra riportata, ma precedente al VI secolo a.C. Il penultimo evento sarebbe avvenuto dopo il VI secolo a.C. ma prima del III-I secolo a.C., in base all'età dei materiali ceramici trovati nell'unità dislocata. L'evento più recente sarebbe invece occorso dopo il XV-XVII secolo, poiché questo è stato responsabile della dislocazione di unità stratigrafiche contenenti ceramica tipo "maiolica tardo-gotica". Esso sarebbe associabile, pertanto, al terremoto del 14 gennaio 1703. In un recente lavoro, Galli et al., (2018) confermano sostanzialmente i risultati delle indagini paleosismologiche precedenti. Gli autori attribuiscono il penultimo evento di dislocazione al I secolo a.C., probabilmente avvenuto nell'anno 99 a.C.

Le evidenze paleosismologiche, nel loro complesso, unite alla distribuzione del danneggiamento desunto da dati di sismologia storica (Rovida et al., 2019) confermerebbero l'attivazione cosismica della faglia di Norcia in occasione del terremoto del 14 gennaio 1703 e il fatto che l'energia associata all'evento deve essere stata tale da permettere l'occorrenza di fagliazione di superficie, con rigetti in superficie dell'ordine del metro o superiore. Tale fenomeno geologico cosismico nella catena appenninica si verifica, in genere, in caso di terremoti con $M > 6.0 \pm 0.2$ (Falcucci et al., 2016).

2.4 Sismotettonica

L'area di studio è tra le regioni dell'Appennino centrale a più elevata sismicità, sia per quanto riguarda l'energia rilasciata per singolo terremoto (es. l'evento del 14 gennaio del 1703), sia per la frequenza di occorrenza degli eventi sismici. Di seguito vengono riportate informazioni sugli eventi principali originatisi nell'area nursina, derivate dai cataloghi macrosismici disponibili DOM4.1 (Monachesi e Stucchi, 1998), CFTI1 (Boschi et al., 1995) e CFTI2 (Boschi et al., 1997). Le Maw riportate per ognuno degli eventi trattati sono state desunte dal catalogo CPTI15 (Rovida et al., 2019).

Il terremoto di Norcia del 01/12/1328 (Mw 6.49) ha interessato prevalentemente il settore settentrionale dell'area indagata, con danni valutabili in intensità MCS fino al grado X a Preci e Montesanto. Lo stesso livello di danno è attribuibile a Norcia. La distribuzione dei punti di intensità dall'VIII al IX grado MCS chiarisce, tuttavia, che l'area epicentrale dell'evento è da collocarsi in prossimità della Valnerina, quindi nel settore più settentrionale del sistema di faglie di Norcia.

Il terremoto di Cascia del 05/11/1599 (Mw 6.07) è stato responsabile di danni significativi (fino al grado VIII-IX MCS) negli abitati intorno al centro menzionato, tra Chiavano (a sud) e la Valnerina a nord.

Il terremoto dell'Appennino reatino del 14/01/1703 (Mw 6.92) che ha interessato l'intera Umbria meridionale, la provincia di Rieti e l'Abruzzo settentrionale è da considerarsi l'evento più significativo dell'area di studio. I danni ad esso attribuibili (fino all'XI MCS) sono distribuiti su una zona molto ampia, tra Cittareale a sud e Mevale a nord.

Il terremoto di Norcia del 12/05/1730 (Mw 6.04) ha colpito un patrimonio edilizio ancora provato dagli effetti della scossa del 1703. I danni maggiori sembrerebbero concentrati tra Campi e Nottoria (intensità fino al IX grado MCS).

Il terremoto di Norcia del 22/08/1859 (Mw 5.73) ha causato danni fino al grado VIII-IX della scala MCS a Campi, Norcia, Casali di Serravalle, Capo del Colle e Sant'Angelo.

Il terremoto della Valnerina del 19/09/1979 (Mw 5.83) è stato responsabile di danni significativi nel settore meridionale dell'area nursina, con danni fino al grado IX MCS a Trimezzo, Chiavano, Civita e Castel Santa Maria.

Per quest'ultimo terremoto sono disponibili i dati strumentali relativi alla scossa principale e a parte della sequenza degli aftershock (Deschamps et al., 1984). Questi confermano l'attivazione di un segmento sismogenetico compatibile con la faglia del M. Alvagnano, ovvero il segmento più meridionale del sistema di faglie di Norcia. Il meccanismo focale proposto in Deschamps et al. (1984) presenta una sensibile componente di movimento trascorrente. Lo stesso meccanismo viene ripresentato in Brozzetti e Lavecchia (1994). Questi ultimi, in base a sezioni strutturali ed alla

proiezione sulle stesse degli ipocentri della sequenza, attribuiscono le repliche che hanno interessato la Piana di Norcia all'attivazione della faglia del Monte Vettore, ad est del bacino, mentre la faglia di Norcia sarebbe responsabile delle repliche che hanno interessato l'area tra Cittareale e Castel Santa Maria. La soluzione focale del Centroide Momento Tensore (CMT) (Dziewonski e Woodhouse, 1983) evidenzia, a differenza di Deschamps et al. (1984), una cinematica prevalentemente distensiva della rottura del 1979.

Informazioni sulle caratteristiche sismotettoniche dell'area norcina sono derivabili da Brozzetti e Lavecchia (1994), Blumetti (1995), Cello et al. (1998), Galadini et al. (1999), Galli e Galadini (1999) e Barchi et al. (2000). Nel primo dei lavori citati viene osservata la sostanziale coassialità tra il tensore regionale definito su basi geologico-strutturali e quello inferito sulla base dei dati sismologici relativo a soluzioni focali di 35 eventi della sequenza del 1979.

Blumetti (1995) e Cello et al. (1998) attribuiscono al sistema di faglia di Norcia i terremoti del 1703 e del 1979. Tuttavia, Cello et al. (1998) (si veda anche Tondi et al., 1997, al proposito) inseriscono la sorgente sismogenetica in un quadro di cinematica attiva dell'Appennino centrale (Cello et al., 1997) caratterizzato dalla presenza di lunghe faglie ad andamento circa N-S con movimenti prevalentemente trascorrenti sinistri.

Nei lavori citati, gli autori propongono ipotesi sismogenetiche per i vari terremoti principali che hanno interessato l'area. Tutti gli eventi sarebbero legati ad un unico sistema di faglia che interessa l'area indagata, tra Cittareale a sud e Preci a nord, tra Cascia a ovest e il bordo dei bacini di Norcia, Campi e Preci a est. In particolare, secondo gli autori, l'evento del 1703 sarebbe il risultato dell'attivazione dell'intero sistema di faglia. Il terremoto del 1328 sarebbe dovuto all'attivazione del segmento di Preci; quello del 1599 deriverebbe dall'attivazione della faglia di Cascia (in alcuni lavori riportata come faglia di Ocrichio); il terremoto del 1730 risulterebbe dall'attivazione del solo segmento che borda il bacino di Norcia; quello del 1859 sarebbe dovuto all'attivazione del segmento di faglia che borda il bacino di Campi; l'evento del 1979 risulterebbe dall'attivazione della faglia Cittareale-Monte Alvagnano. Le ipotesi sono basate sul confronto tra la distribuzione del danno dovuto ai vari terremoti e la geometria dei segmenti di faglia ritenuti attivi.

In sintesi, l'attivazione dell'intero sistema di faglie di Norcia avrebbe causato il terremoto del 14 gennaio 1703, mentre gli eventi di magnitudo minore sarebbero stati causati dall'attivazione dei singoli segmenti del sistema. Tale comportamento sismogenetico è anche ipotizzato da Tondi (2000).

2.5 Movimenti gravitativi profondi di versante

In diversi settore dell'area nursina e nelle are circostanti sono note in letteratura osservazioni che hanno suggerito la presenza di movimenti gravitativi profondi di versante, alcuni dei quali hanno mostrato evidenze di ri-attivazione o accelerazioni del loro movimento in occasione di terremoti storici. Informazioni al proposito sono riportate nei lavori di Blumetti et al. (1990b), Blumetti (1995) e Galadini (2006).

Blumetti et al. (1990b) e Blumetti (1995) attribuiscono a fenomeni gravitativi le trincee osservate nel settore sommitale del Monte Alvagnano, al margine meridionale del bacino di Norcia. Secondo gli autori, l'elemento geomorfologico più evidente è rappresentato da una grande trincea, in alcuni tratti ampia fino a più di 200 m, ubicata all'incirca in prossimità di una faglia diretta che ribasserebbe verso NE il rilievo. All'interno di questa depressione sarebbero ubicate trincee minori. Tali trincee sarebbero l'effetto di spandimento laterale della parte più alta del monte. L'evidenza di attivazione in occasione del terremoto del 14 gennaio 1703, attestata da fonti storiche (Blumetti, 1995), suggerisce che l'evoluzione della deformazione gravitativa sia in gran parte riferibile a movimenti condizionati dall'occorrenza di forti eventi sismici.

Galadini (2006) analizza la relazione tra l'attività recente della faglia del Monte Alvagnano e i movimenti gravitativi che interessano il rilievo montuoso. Evidenze geomorfologiche di movimenti gravitativi profondi (trincee e scarpate in contropendenza) sono state individuate nel letto della faglia del Monte Alvagnano, nella zona sommitale del rilievo montuoso, nei luoghi già segnalati da Blumetti (1995). Le trincee gravitative si sviluppano per una lunghezza dell'ordine dei 700 m. Le forme derivate dai movimenti gravitativi suggeriscono l'occorrenza di deformazioni tipo "*sackung*". Ulteriori evidenze morfologiche di movimenti gravitativi profondi sono state riscontrate nel settore SW del Monte Alvagnano (Galadini, 2006). In quest'area è stato individuato un movimento franoso profondo tipo "rock slide", con larghezza valutabile in circa 500 m, lunghezza pari a 400 m e profondità superiore ai 100 m.

3. Assetto strutturale dell'area di Sant'Eutizio da dati di letteratura

La sezione n. 325090 "Preci" della Carta Geologica dell'Umbria in scala 1:10.000 (www.repositories.dst.unipi.it) mostra la presenza di un elemento tettonico distensivo a direzione appenninica, NW-SE, ed immergente verso SW che attraversa la zona dell'Abbazia di Sant'Eutizio, e che interessa il versante a oriente dell'abitato di Piedivalle. La traccia di tale elemento tettonico risulta invece incerta nella sua prosecuzione verso NW in quanto sepolta nei pressi del paese di Collescille da una coltre di depositi di frana probabilmente tardo-quadernaria (Fig. 8).

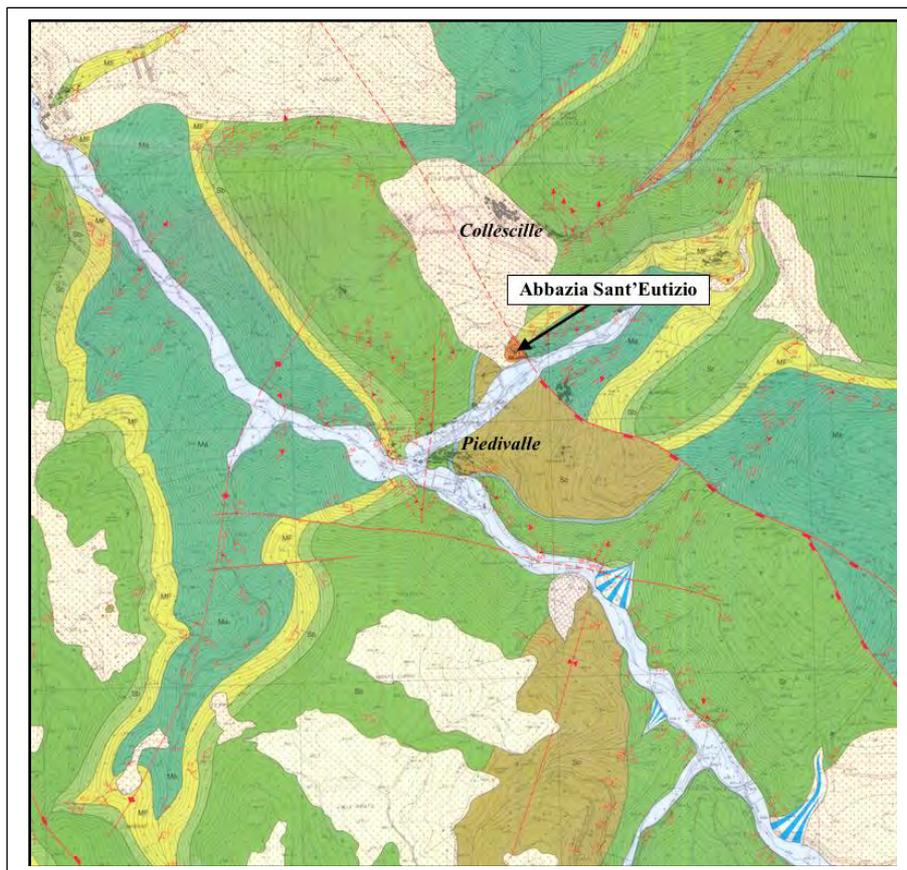


Fig. 8. Stralcio della Carta Geologica dell'Umbra, alla scala 1:10.000.

A seguito dell'ordinanza 24/2017 del "Commissario straordinario per la ricostruzione dei territori danneggiati dal sisma del 24 Agosto 2016" e per incarico del Comune di Preci, alcune località sono state oggetto di studi di Microzonazione Sismica di livello 3 (MZS 3).

Tali studi riportano la presenza del succitato elemento tettonico a direzione NW-SE passante per l'area dell'Abbazia di Sant'Eutizio, che viene classificato come Faglia Potenzialmente Attiva e Capace (FPAC) incerta (Fig. 9), la cui incertezza secondo gli autori non è legata all'effettiva esistenza della stessa, ma al suo posizionamento planimetrico, in quanto non è stato possibile individuare affioramenti che mostrino il piano o i piani di faglia. Una sezione geologica (Fig. 10) realizzata in direzione NE-SW in corrispondenza dell'abitato di Acquaro, a SW dell'Abbazia, per gli studi di MZS 3 mostra il contatto tettonico tra Formazioni del substrato geologico ad opera dell'attività dell'elemento tettonico succitato.

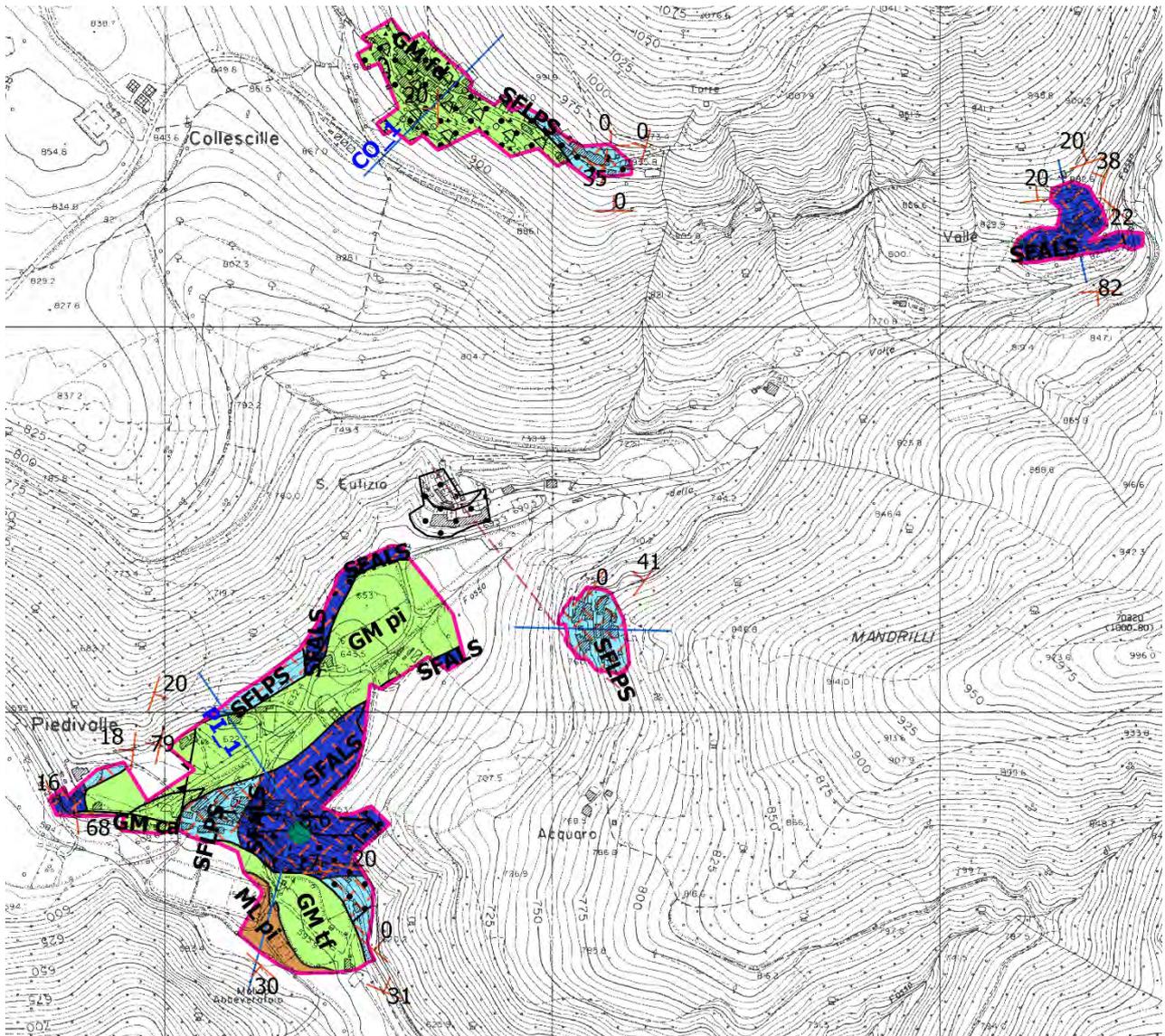


Fig. 9. Stralcio della Carta Geologico-Tecnica degli studi di MZS 3. La linea viola tratteggiata indica la traccia della presunta faglia potenzialmente attiva e capace incerta passante per l'area dell'Abbazia di Sant'Eutizio. La linea celeste indica la traccia della sezione geologica riportata in Figura 10.

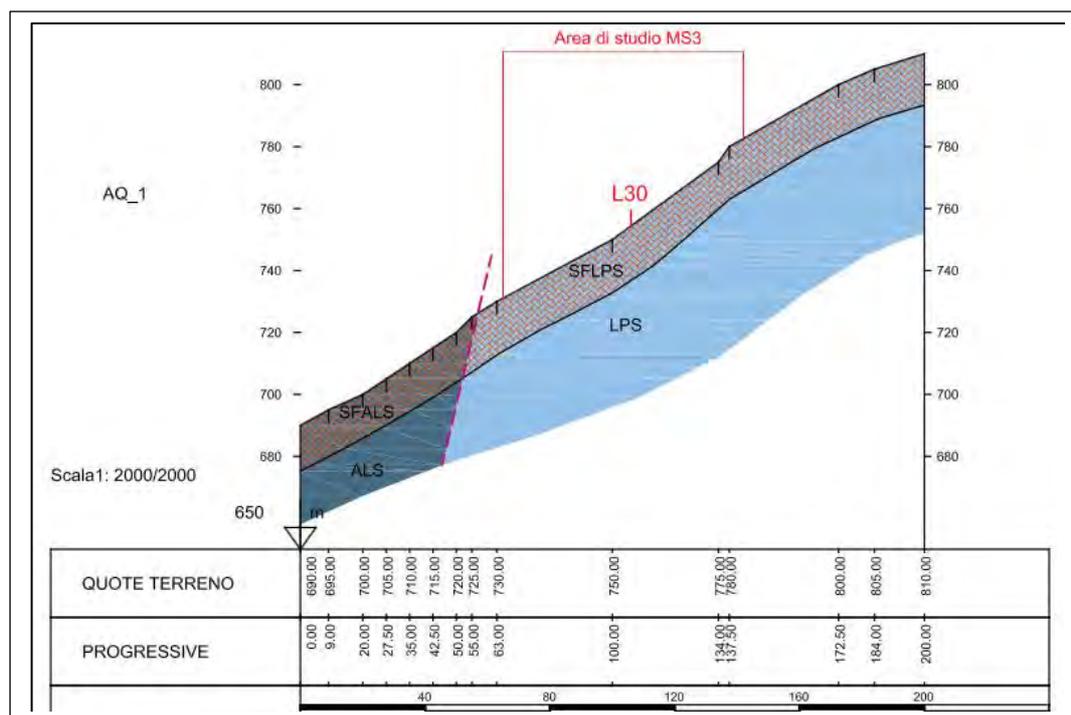


Fig. 10. Sezione geologica realizzata per gli studi di MZS 3 lungo la traccia celeste (vedi Figura 9) riportata nella carta Geologico-Tecnica, passante per l'abitato di Acquaro. La sezione indica il contatto tettonico tra diverse Formazioni del substrato geologico, ad opera della presunta faglia estensionale.

Come mostra la Carta delle Indagini, sono state realizzate diverse analisi geofisiche (Fig. 11) tra cui prove lineari di tipo MASW e indagini di sismica a rifrazione, e prove puntuali quali misure di *noise* sismico ambientale, analizzate con il metodo HVSR. Tali indagini sono state eseguite e circoscritte all'interno delle aree degli abitati di Piedivalle e Acquaro, e risultano essere assenti in corrispondenza dell'Abbazia di Sant'Eutizio.

Le “Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci” definiscono una Faglia Attiva e Capace (FAC) quella faglia che mostra evidenze di attivazione almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una dislocazione della superficie. Una Faglia Potenzialmente Attiva e Capace (FPAC) è invece una faglia per la quale gli studi dimostrano un coinvolgimento dei terreni del Pleistocene medio – superiore, ma non necessariamente di depositi più recenti di 40.000 anni. Per chiarire la capacità di un elemento tettonico le Linee Guida prescrivono come massimo livello di approfondimento le indagini paleosismologiche.

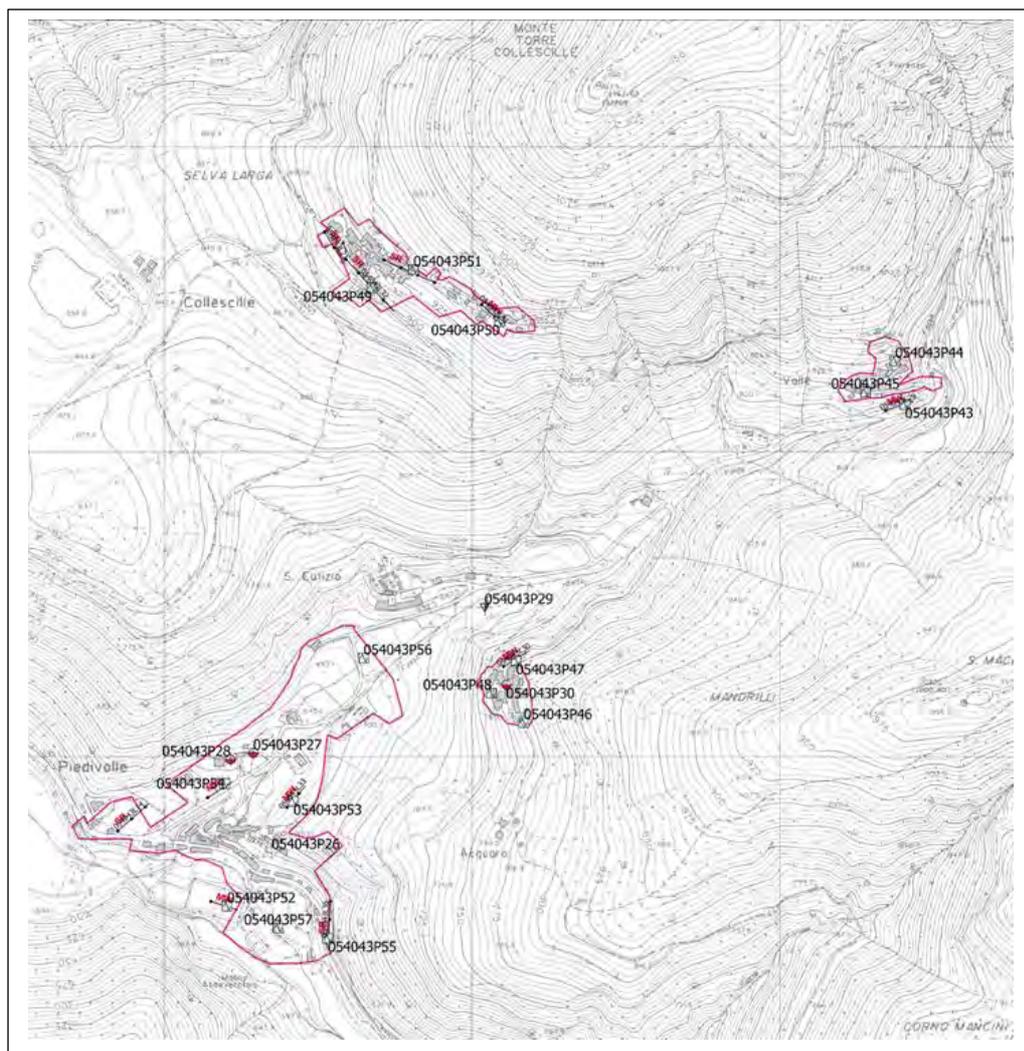


Fig. 11. Stralcio della Carta delle Indagini degli studi di MZS 3 del settore dell'Abbazia di Sant'Eutizio e zone circostanti.

La presenza di una faglia capace in corrispondenza di Sant'Eutizio è indicata anche nel Catalogo ITHACA dell'ISPRA (Fig. 5). Il catalogo, infatti, riporta un elemento tettonico distensivo capace, che rappresenta un segmento lungo circa 3.5 km del sistema di faglie capaci di Norcia, responsabile, insieme agli altri segmenti del sistema, del terremoto del 14 gennaio 1703. La traccia di questa faglia capace è leggermente diversa rispetto alla faglia riportata nella Carta Geologica della Regione Umbria e nella MZS 3. Comunque, anche nel caso del database ITHACA, questo elemento tettonico attraverserebbe l'area dell'Abbazia di Sant'Eutizio.

4. Indagini geologiche e geomorfologiche

In questo paragrafo vengono descritti i risultati delle indagini condotte per il presente studio, finalizzate a chiarire la presenza o l'assenza di una faglia attiva e capace in corrispondenza dell'area dell'Abbazia di Sant'Eutizio.

Sono state acquisite informazioni mediante l'analisi e l'interpretazione delle fotografie aeree, allo scopo di individuare elementi morfo-tettonici possibilmente correlati alla presenza di una faglia attiva e capace e all'individuazione di siti idonei all'approfondimento di indagine sul terreno, in particolare per ciò che riguarda l'effettiva presenza e l'eventuale attività tardo-quadernaria di elementi tettonici.

L'indagine aerofotogeologica ha coadiuvato la mappatura della scarpata di faglia relativa il segmento Campi-Preci del sistema di faglie di Norcia, nonché di elementi geomorfologici che suggeriscono la presenza in quest'area di movimenti gravitativi profondi di versante. Il rilevamento geologico, geomorfologico e strutturale è stato effettuato in un areale ampio attorno all'area dell'Abbazia, segnatamente nell'area compresa tra Preci e Piè La Rocca, rispettivamente a nord e a sud del complesso monastico (Fig. 12).

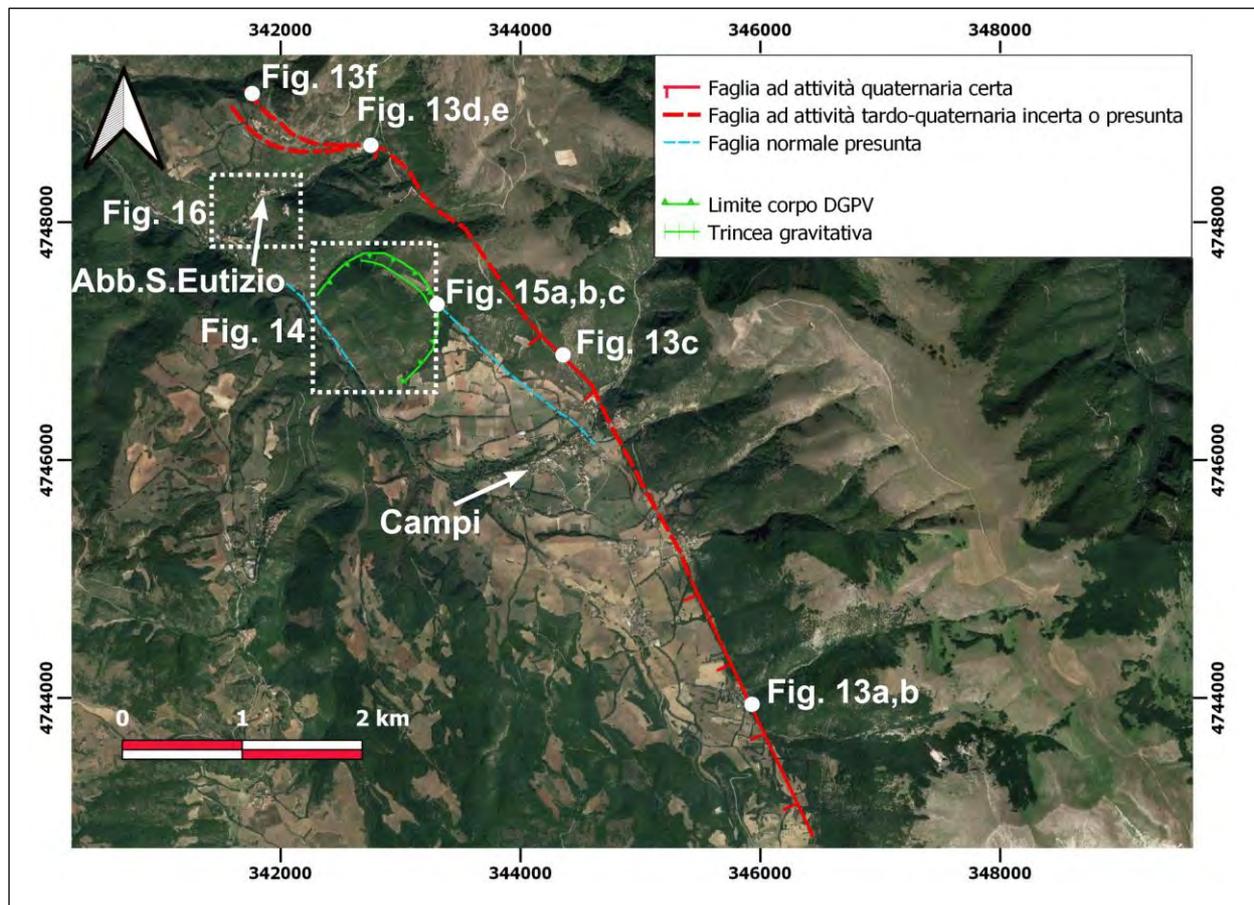


Fig. 12. Mappa morfo-strutturale dell'area dell'Abbazia di Sant'Eutizio e dell'area del bacino di Campi.

Nel suo tratto meridionale, la letteratura concorda nel riportare la traccia del segmento di faglia al piede dei versanti che bordano ad oriente la piana di Campi. Il rilevamento geologico condotto in quest'area ha messo in luce la presenza di alcuni piani di faglia alla base di un carcata scolpita sul substrato carbonatico nei pressi di Piè La Rocca e Campi, con direzione N140°-150° e immergenti verso SW.

Poco a sud dell'abitato di Piè La Rocca, è stato individuato il contatto fra il substrato carbonatico e depositi di versante ad opera dell'attività della faglia. I depositi, al tetto della struttura tettonica, risultano trascinati lungo il piano di faglia e interessati da piani di taglio secondari (Fig. 13a, b). L'età dei depositi è indefinita. Tuttavia, il contesto geomorfologico e la loro relazione morfostratigrafica con il versante attuale suggerisce un'età riferibile al tardo Quaternario.

Verso NW, il piano della faglia è esposto nuovamente in prossimità della frazione di Campi Vecchio. Il piano in roccia carbonatica è visibile con continuità per diverse decine di metri (Fig. 13c). Ancora verso NW, lungo la prosecuzione del lineamento tettonico, sono state individuate zone in cui il substrato carbonatico si presenta fortemente tettonizzato, con piani di clivaggio coerenti geometricamente e cinematicamente con il segmento di faglia. In questi ultimi due siti, tuttavia, non è stato possibile osservare l'eventuale coinvolgimento di sedimenti quaternari nel movimento della faglia. Cosa, questa, che è stata osservata più a NW, in località Valle, posta diverse centinaia di metri a est dell'Abbazia di Sant'Eutizio.

Qui, infatti, è stato osservato il contatto fra il substrato carbonatico con depositi di versante (Fig. 13d). In corrispondenza del contatto, il substrato si presenta fortemente tettonizzato, con piani di taglio e clivaggio orientati circa E-W, coerenti con la geometria della scarpata di faglia in quel settore. I depositi di versante si presentano trascinati lungo la zona di taglio (Fig. 13e), assumendo una giacitura e un'inclinazione non riferibile alla loro deposizione primaria. Questi risultano essere interessati da alcuni piani di taglio secondari (Fig. 13e).

Le caratteristiche sedimentologiche e il rapporto con la morfologia dei versanti permette di correlare questi sedimenti ai depositi detritici noti in letteratura come "falda detritica ordinata" o "*éboulis ordonné*" o "*grèzes litée*", attribuiti a sedimentazione in ambienti periglaciali riferibili all'Ultimo Massimo Glaciale (Coltorti e Dramis, 1988). Il loro coinvolgimento nella deformazione tettonica corroborerebbe dunque l'attività nel tardo Quaternario del segmento di faglia Campi-Norcia il quale, alla luce di queste osservazioni, potrebbe localizzarsi in quest'area più a est di quanto riportato nelle cartografie sopra citate e nel catalogo ITHACA.

Verso NW, la traccia della faglia risulta più incerta. Considerando l'orientazione della zona di taglio osservata in località Valle e l'affioramento di alcuni piani di faglia che interessano il

substrato carbonatico (orientati da circa E-W a N110°), individuati a nord dell'abitato di Collescille (Fig. 13f), è possibile ipotizzare che in questo settore la faglia assuma in pianta un andamento parallelo al versante sul quale è ubicata questa frazione.

Il rilevamento di terreno, corroborato dall'analisi aerofotogeologica, ha inoltre permesso di individuare elementi geomorfologici quali trincee e scarpate contro-monte associate alla presenza di deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV) nell'area compresa fra gli abitati di Piedivalle e Campi, a SE dell'Abbazia di Sant'Eutizio. Qui, infatti, è stata riconosciuta una depressione allungata in direzione NW-SE (trincea), ampia diverse decine di metri (Fig. 12).

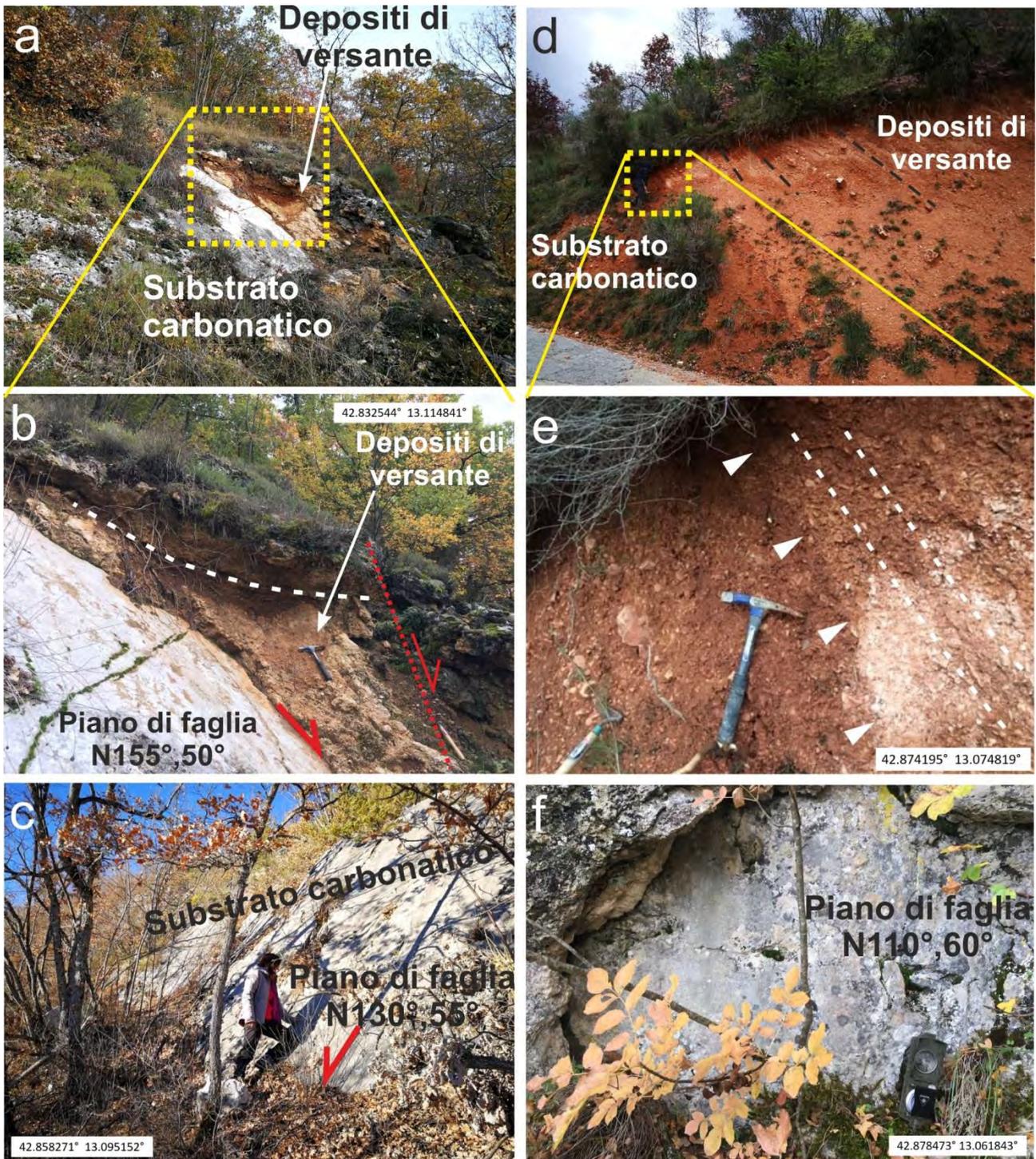


Fig. 13. a) Contatto per faglia estensionale fra il substrato carbonatico, al letto, e depositi di versante, al tetto. b) Dettaglio della figura (a) in cui sono mostrati piani di taglio estensionali secondari (linea tratteggiata rossa) e il trascinato lungo la faglia normale principale (linea tratteggiata bianca) che interessa i depositi di versante. c) Piano di faglia in roccia affiorante alla base della scarpata in roccia a Nord dell'abitato di Campi. d) Contatto per faglia estensionale fra il substrato carbonatico, al letto, e depositi di versante, al tetto, riferibili al Pleistocene Superiore-Olocene; le linee tratteggiate nere indicano la giacitura dei depositi che risulta sempre più inclinata verso la zona di taglio. e) Dettaglio della zona di deformazione della figura (d); i triangoli bianchi indicano un piano di taglio che interessa i depositi di versante, mentre le linee bianche tratteggiate indicano la zona di deformazione associata al piano di taglio e che interessa i depositi di versante. f) Piano di faglia in roccia carbonatica affiorante a Nord dell'abitato di Collescille.

Questo elemento morfologico è localizzato nel settore sommitale di una porzione di versante carbonatico che mostra una forma convessa verso l'alto e che risulta leggermente avanzata al piede rispetto ai settore di versante più a nord e a sud (Fig. 12; Fig. 14). Ai suoi estremi, la trincea termina in corrispondenza di due incisioni ad andamento curvilineo (in pianta), che delimitano la porzione di versante con rigonfiamento al piede (Fig. 12; Fig. 14). Tale assetto geomorfologico suggerisce che tale settore sia interessato da una DGPV i cui movimenti sono responsabili della nucleazione della trincea gravitativa, nonché del rigonfiamento al piede del versante. La trincea gravitativa potrebbe essersi impostata in corrispondenza di un elemento tettonico (Fig. 12), il quale potrebbe aver svolto il ruolo, nel suo tratto più superficiale, di piano di scivolamento preferenziale per il movimento gravitativo.

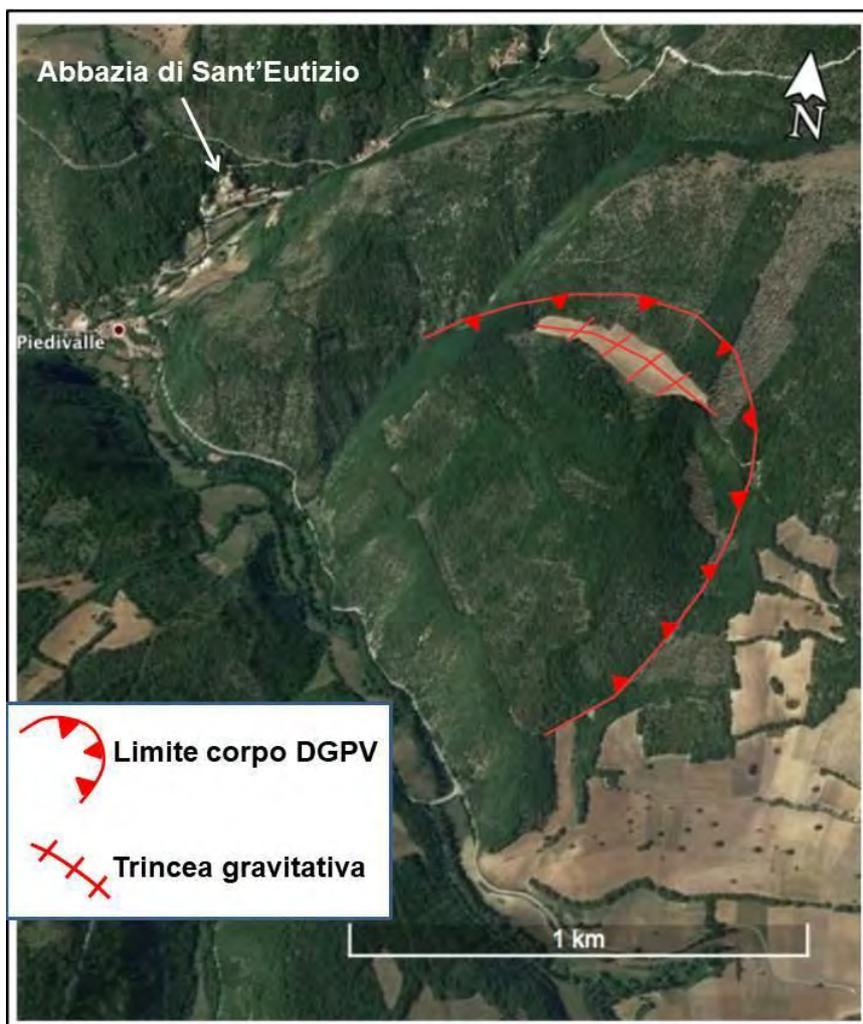


Fig. 14 - Immagine satellitare (tratta da Google Earth), con vista prospettica verso Nord, in cui viene evidenziato il corpo della DGPV a Sud-Est dell'abitato di Piedivalle e la trincea gravitativa che interessa la parte alta del corpo roccioso gravitativamente instabile.

Nell'area della trincea è stata riconosciuta la presenza di alcuni piani di taglio che interessano depositi di versante per caratteristiche sedimentologiche del tutto analoghi a quelli sopra descritti,

associati ai cosiddetti *grèzes litée* (Fig. 15a, b, c). Tali piani di taglio sono stati individuati in corrispondenza della terminazione meridionale della trincea gravitativa. Questi sono con tutta probabilità da associarsi al movimento gravitativo dell'ammasso roccioso instabile e alla progressiva apertura della trincea. Tuttavia, non è possibile escludere totalmente che il movimento di tali piani possa avere anche una componente tettonica, associata al movimento del suddetto possibile ramo di faglia in corrispondenza del quale potrebbe essersi enucleata la trincea gravitativa.

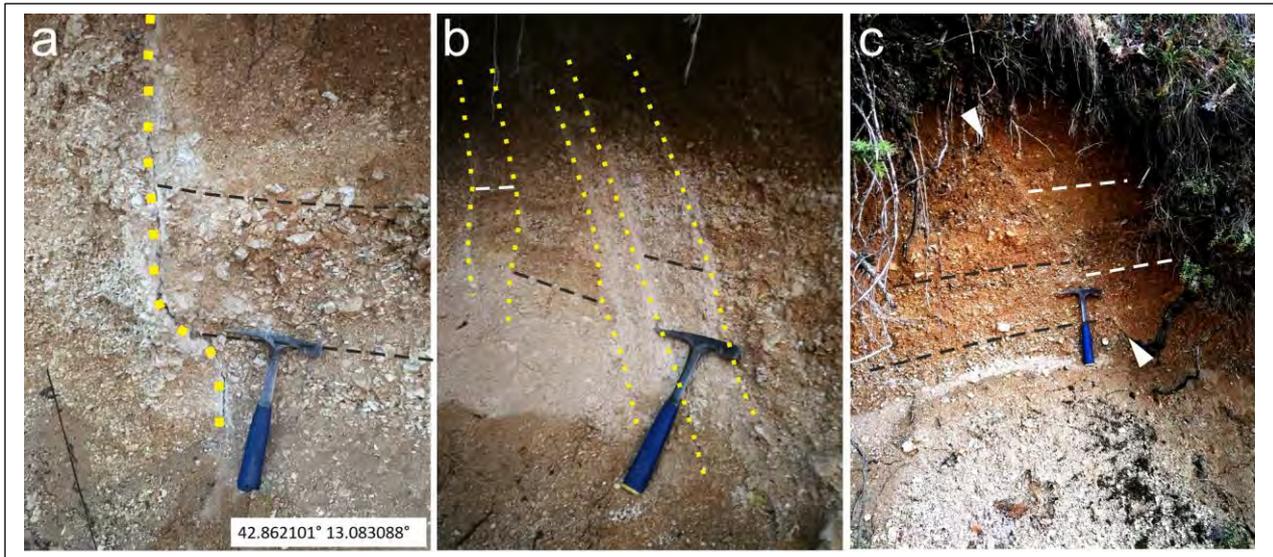


Fig. 15. a), b), c) Evidenze di piani di taglio, indicati dalle linee gialle tratteggiate in (a) e (b) e da triangoli bianchi in (c), che interessano depositi di versante relativi al Pleistocene Superiore-Olocene. Alcuni livelli dislocati dei depositi di versante sono marcati dalle linee bianche e nere tratteggiate.

E' stato condotto un rilevamento geologico di dettaglio nell'area di Sant'Eutizio per analizzare la zona di contatto fra le Formazioni del substrato carbonatico in corrispondenza del quale la cartografia sopra citata indica la presenza di un elemento tettonico distensivo, riportato come Faglia Potenzialmente Attiva e Capace nella MZS 3 e come faglia capace nel Catalogo ITHACA.

Lungo il taglio settentrionale della strada che passa appena a nord dell'Abbazia è stata osservato il contatto fra la Formazione della Maiolica e della Marne a Fucoidi con la Scaglia Cinerea (Fig. 16).

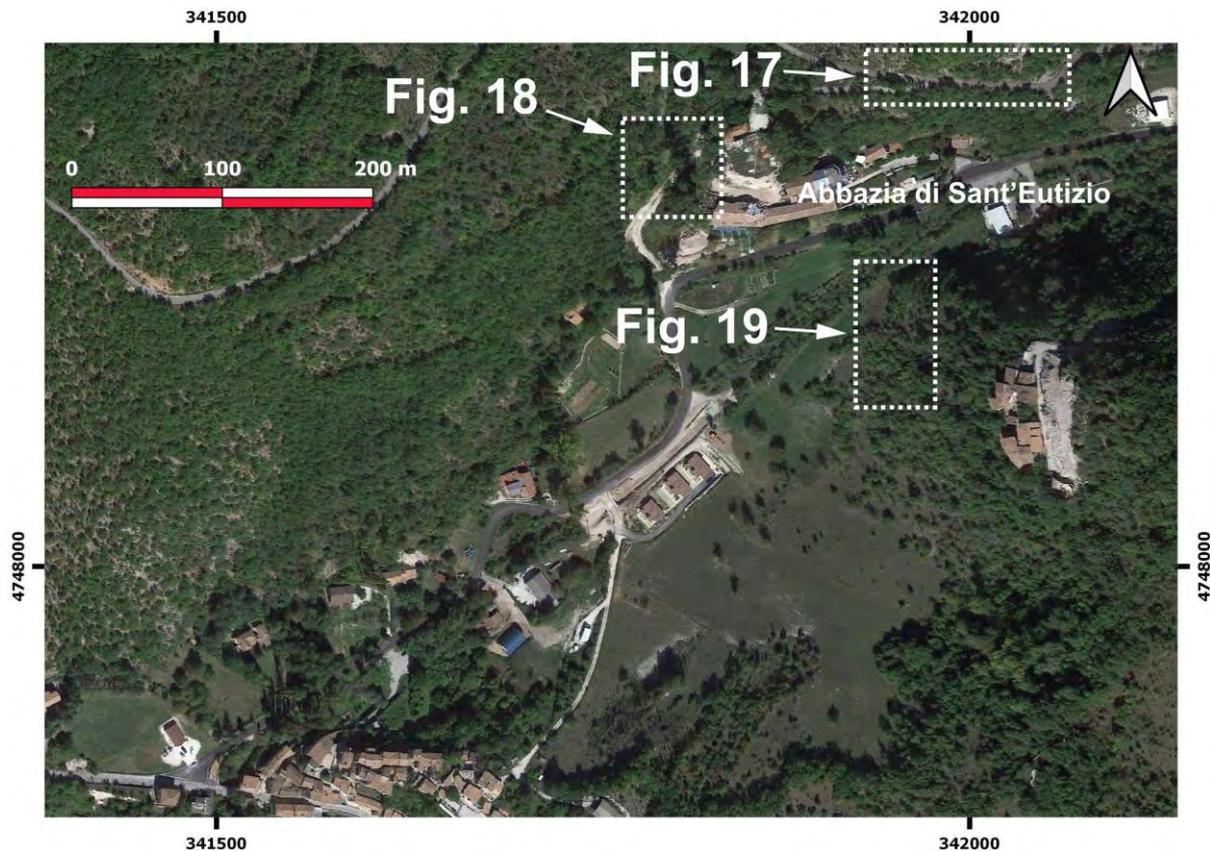


Fig. 16. Vista satellitare (in pianta) dell'area dell'Abbazia di Sant'Eutizio. I rettangoli bianchi tratteggiati indicano le aree in cui sono stati effettuate le osservazioni geologico-strutturali descritte nel testo.

Avvicinandosi al contatto, la Maiolica mostra un incremento nella deformazione di tipo compressivo. Infatti, questa è interessata da pieghe con fianchi sempre più stretti andando verso W (Fig. 17a), (localmente pieghe a *chevron* coricate, come mostrato in Fig. 17b) che in corrispondenza della zona di contatto sono disarticolate da piani di faglia inversi (Fig. 17c, d). In alcuni punti, la Maiolica sembra essere localmente sovrascorsa sulle Marne a Fucoidi. Nella zona di deformazione non sono stati osservati elementi cinematici distensivi che si sono sovrapposti o hanno tagliato gli elementi compressivi.

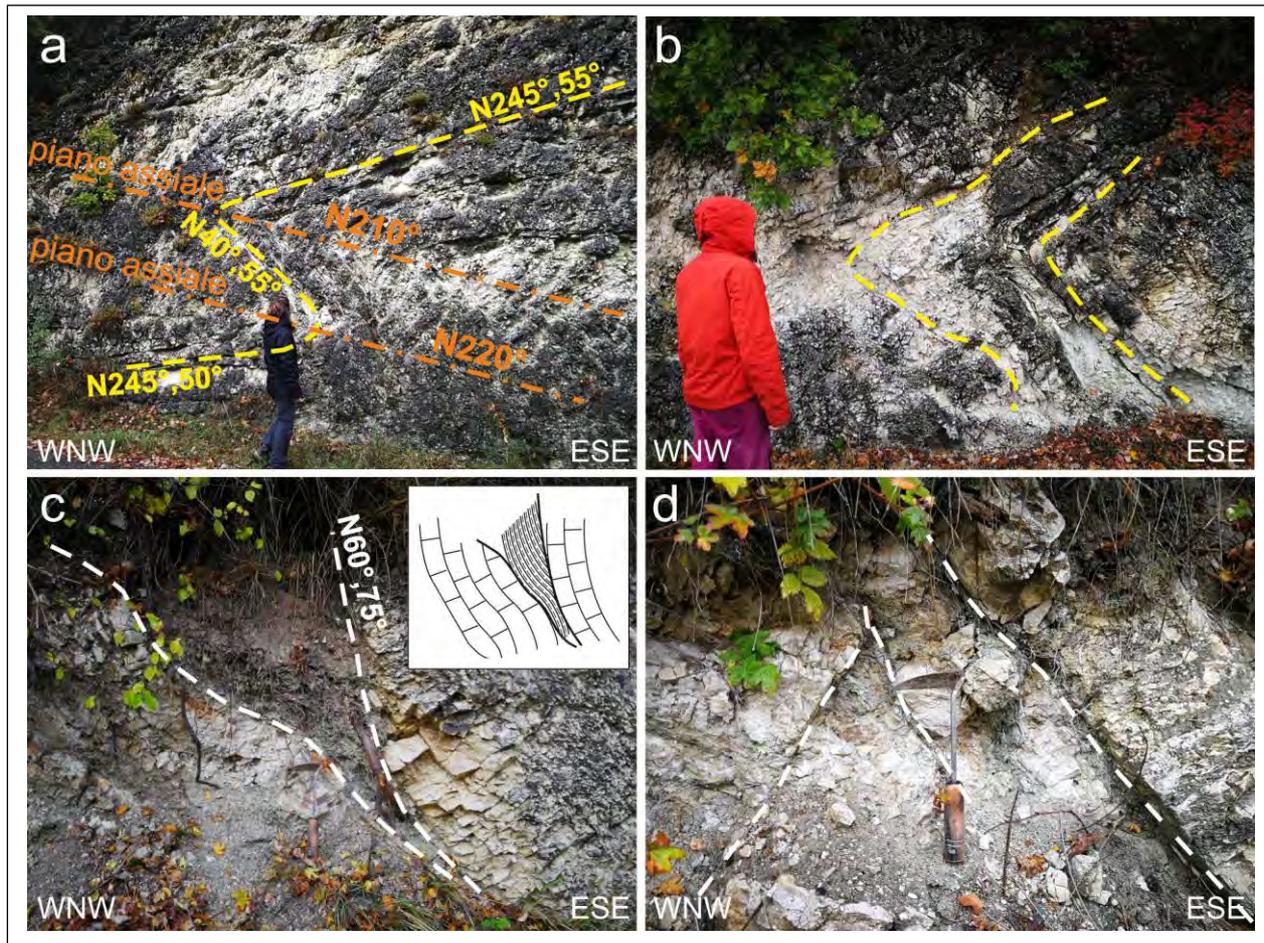


Fig. 17 . a) Pieghe coricate Ovest-vergenti (i fianchi sono marcati dalla linea gialla tratteggiata, mentre i piani assiali dalle linee arancioni tratto-punto) osservate a Nord dell'Abbazia. b) Evidenze di pieghe a *chevron* coricate (le linee gialle marcano i fianchi) osservate a Nord dell'Abbazia. c), d) piani di taglio inversi (linee bianche tratteggiate) che interessano la Formazione della Maiolica. Nell'inset di (c) è riportato uno schema strutturale alla meso-scala.

Evidenze di deformazione compressiva sono stati individuate anche nelle rocce del substrato carbonatico, segnatamente la Formazione della Scaglia Cinerea, che affiorano in corrispondenza dell'estremo occidentale della Abbazia, al di sotto della placca di travertino (Fig. 18a, b). Qui, infatti, sono stati identificati piani di scivolamento sub-orizzontali (con strie in ricristallizzazioni di calcite che indicano una cinematica compressiva) con una giacitura di poco divergente rispetto alla giacitura della Scaglia Cinerea (Fig 18c, d). Verso nord, in particolare, il set di piani di taglio si dispone progressivamente con un'inclinazione sub-verticale (Fig. 18a) in direzione circa E-W (direzione dei piani di clivaggio variabile fra N70° e N110°, inclinazione 50°-70°; Fig. 18e). Qui le strie si dispongono orizzontali, paralleli al piano di taglio, indicando un movimento locale di tipo trascorrente o traspressivo destro (Fig. 18e, f). Anche in questo caso non sono stati individuati elementi strutturali che indichino la presenza di strutture estensionali che hanno dislocato o si sono sovrapposte alle deformazioni compressive.

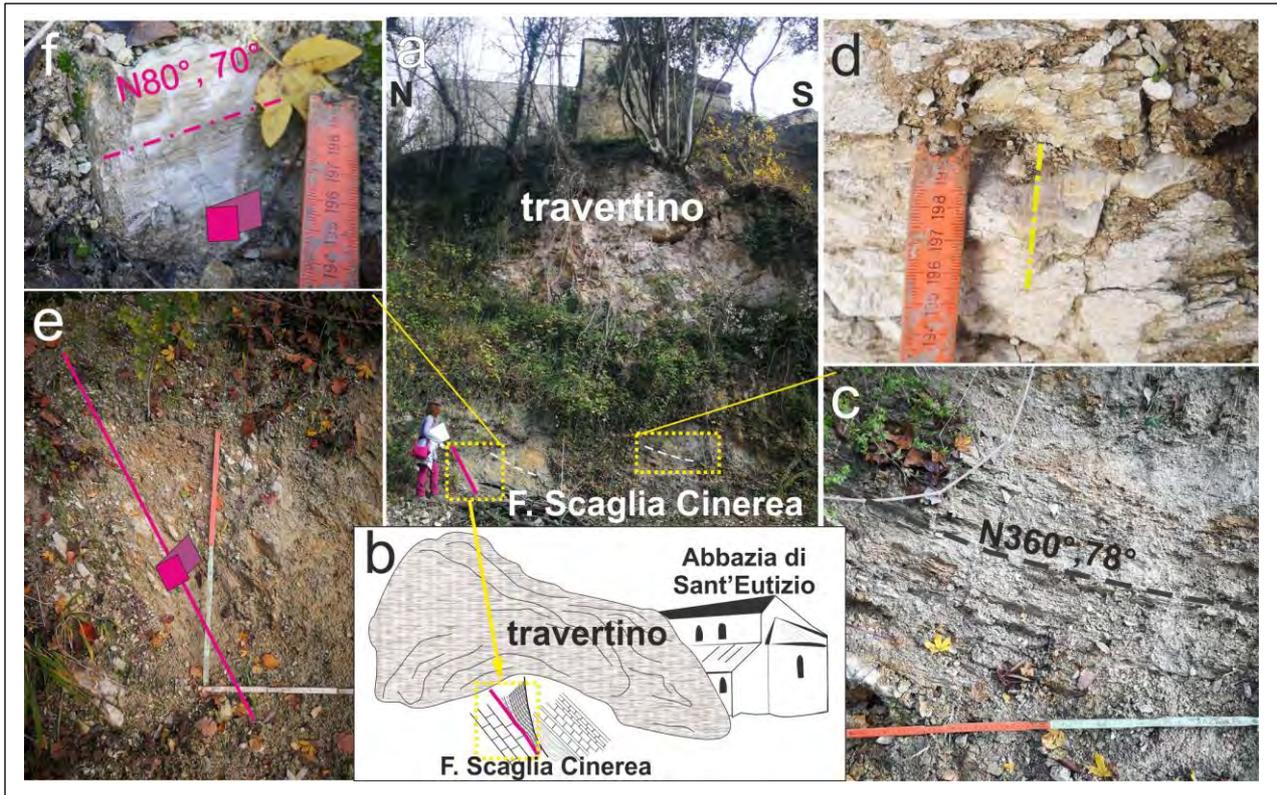


Fig. 18 . a) Sovrapposizione del travertino su rocce della Formazione della Scaglia Cinerea in corrispondenza della terminazione verso Ovest dell'Abbazia (le linee bianche tratteggiate indicano la giacitura della Scaglia Cinerea). b) Schema morfo-strutturale della zona di taglio che interessa la Scaglia Cinerea al di sotto del travertino. c) Dettaglio della Scaglia Cinerea e della giacitura della Formazione (linea nera tratteggiata; è indicata in figura la giacitura). d) Piano di taglio suborizzontale con strie (la linea gialla tratto-punto ne indica la direzione) in gradini di calcite osservati lungo piani di taglio inversi che interessano la Scaglia Cinerea. e) Zona di deformazione ad alto angolo (indicata dalla linea rosa) che interessa la parte più settentrionale dell'affioramento della Scaglia Cinerea, associata ad una struttura trascorrente o traspressiva. f) Strie in gradini di calcite (la linea tratto-punto rosa ne marca la direzione) individuate lungo uno dei piani di taglio ad alto angolo trascorrente (sono indicate in figura la direzione e l'inclinazione del piano).

L'elemento tettonico a direzione circa E-W e con cinematica trascorrente o traspressiva potrebbe essere un locale elemento di disgiunzione cinematica che ha accomodato movimenti differenziali a cavallo dell'elemento tettonico compressivo.

Anche lungo il fianco sinistro della valle di Sant'Eutizio, alla base del versante, lungo la possibile traccia dell'elemento tettonico distensivo, sono state individuate evidenze di deformazioni compressive. Anche qui, infatti, sono visibili pieghe che interessano la Formazione della Maiolica (Fig. 19a) e piani di taglio inversi (Fig. 19b) in corrispondenza della scarpata. A valle di questa affiora la Scaglia Cinerea. Come per i due siti descritti in corrispondenza dell'Abbazia, non sono presenti evidenze strutturali di elementi tettonici distensivi che si sono sovrapposti o hanno dislocato le deformazioni e i piani di taglio compressivi.

Alla luce di quanto sopra, è possibile ipotizzare che il contatto laterale fra rocce del substrato carbonatico appartenenti alle Formazioni della Maiolica e Marne a Fucoidi da un lato, e Scaglia Cinerea dall'altro possa essere legato all'attività di una struttura compressiva vergente verso W, e immergente verso E, definibile come retroscorrimento (Fig. 20) (si consideri che i fronti compressivi appenninici hanno una vergenza verso E e NE).

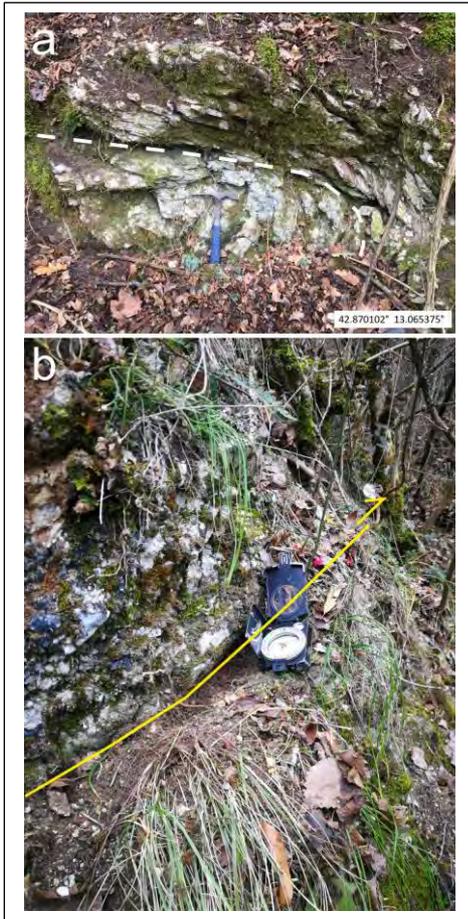


Fig. 19 . a) Deformazione plicativa (marcata dalla linea bianca tratteggiata) che interessa la Formazione della Maiolica. b) Piano di taglio inverso (marcato dalla linea gialla) con direzione di movimento verso Ovest, che interessa la Formazione della Maiolica.

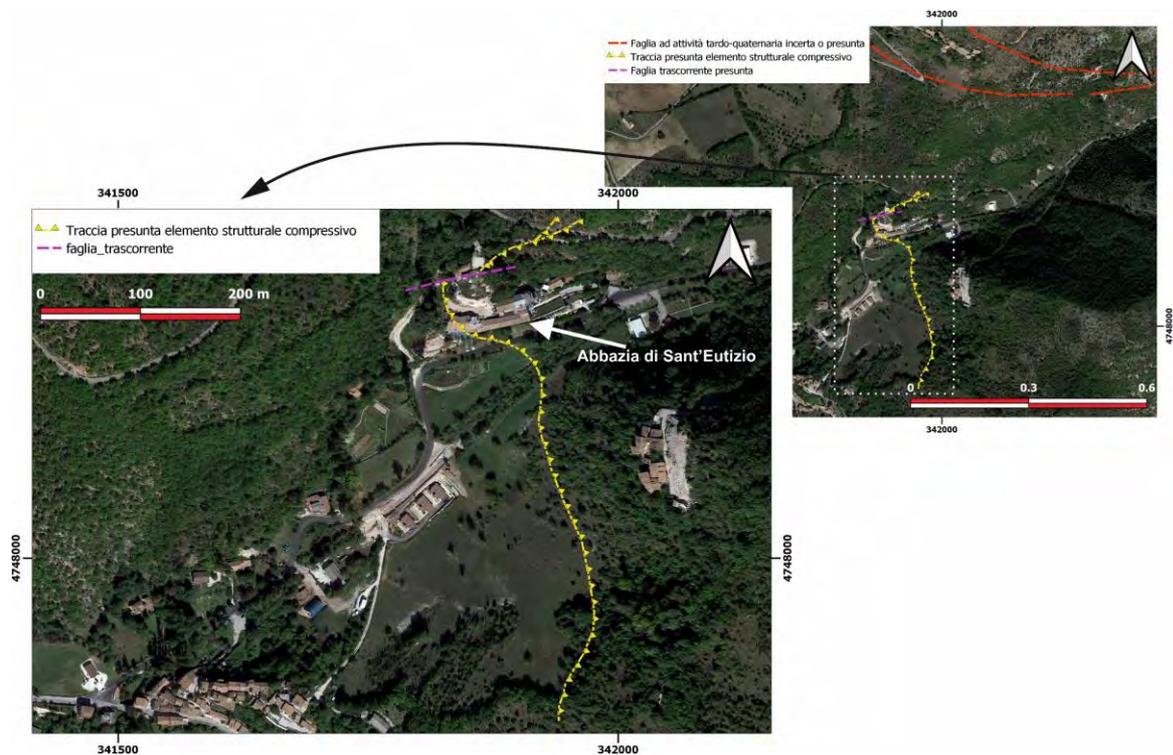


Fig. 20. Immagine satellitare (in pianta) dell'area di Sant'Eutizio. La linea gialla tratteggiata indica la traccia presunta del possibile fronte di sovrascorrimento ipotizzato nel presente studio. La linea viola tratteggiata indica la traccia dell'elemento trascorrente descritto nel testo, che potrebbe localmente articolare l'elemento tettonico compressivo.

Per verificare comunque la presenza di un elemento tettonico attivo e capace in corrispondenza dell'area dell'Abbazia sono state effettuate delle indagini geognostiche nei pressi della struttura monastica, mediante lo scavo di una trincea per una lunghezza che comprende tutta il sito dell'Abbazia, le cui pareti sono state analizzate con una metodologia propria dell'indagine paleosismologica. I risultati di tale analisi sono descritti nel paragrafo successivo.

5. Indagini paleosismologiche

In questo paragrafo vengono descritti i risultati delle indagini paleosismologiche effettuate in corrispondenza dell'Abbazia di Sant'Eutizio. A tale fine è stata realizzata per mezzo di scavatore meccanico una trincea geognostica in un ampio terreno posto appena a sud dell'area di sedime dell'edificio. La profondità dello scavo è stata condizionata dalla necessità di mantenere ampi margini di sicurezza per la prevista analisi paleosismologica, una volta fissata la larghezza dello scavo, a sua volta condizionata dallo spazio a disposizione, al netto del volume necessario all'accumulo dei terreni asportati dall'escavatore e dello spazio minimo di sicurezza legato alla presenza di un'incisione torrentizia presente poco a sud dell'Abbazia. In sintesi, considerati i vari

vincoli sopra richiamati, lo scavo eseguito era lungo circa 120 m (di cui circa 3 metri alla terminazione orientale sono stati impegnati per la realizzazione di una piccola rampa di accesso), largo circa 2,5 m e presentava profondità variabile tra 2 e 2,5 m (Fig. 21).

Non è stato possibile interessare con lo scavo il settore più a NE del terreno per motivi di sicurezza, perché troppo vicino all'alveo attuale del torrente che scorre in direzione NE-SW, nella valle entro la quale sorge l'Abbazia. Tuttavia, tale tratto non interessato dallo scavo risulta appena oltre il limite nord-orientale dell'edificio.

L'analisi delle pareti dello scavo è stata effettuata dopo la necessaria pulizia manuale mediante l'impiego di "scraper", e realizzazione di un reticolato di riferimento con picchetti infissi nei sedimenti con passo regolare pari a 2 m. L'impianto di questo sistema di riferimento è stato propedeutico all'interpretazione e alla rappresentazione delle unità stratigrafiche, delle geometrie e della natura (se erosiva o meno) dei loro limiti e della loro estensione laterale.

Lo scavo ha esposto una sequenza sedimentaria alluvionale-colluviale la cui deposizione è legata alla dinamica torrentizia della valle e alla progressiva erosione dei fianchi della valle stessa (Fig. 22). Le due pareti dello scavo presentavano stratigrafie confrontabili. La sequenza stratigrafica è stata distinta in diverse unità di seguito descritte in dettaglio.



Fig. 21. Ortofoto (da immagini riprese da drone) dell'area dell'Abbazia di Sant'Eutizio. Il rettangolo tratteggiato giallo indica l'area interessata dalle indagini paleosismologiche.



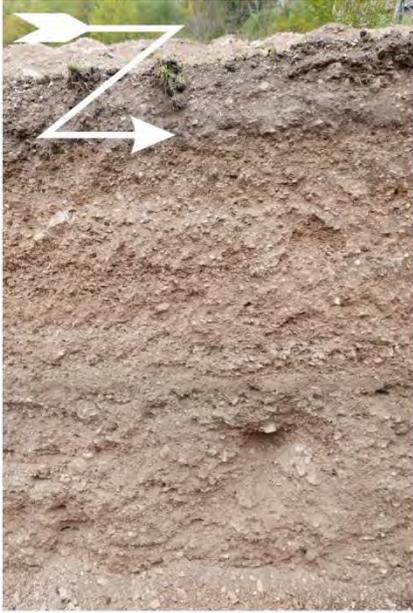
Fig. 22. Ripresa fotografica (fotomosaico) della parte centrale della parete Nord dello scavo geognostico (a seguire la serie fotografica completa – 120 m di lunghezza – della parete Nord dello scavo, in sequenza da Est a Ovest).



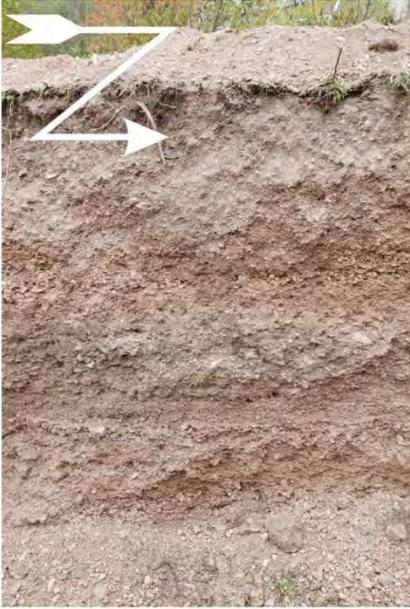








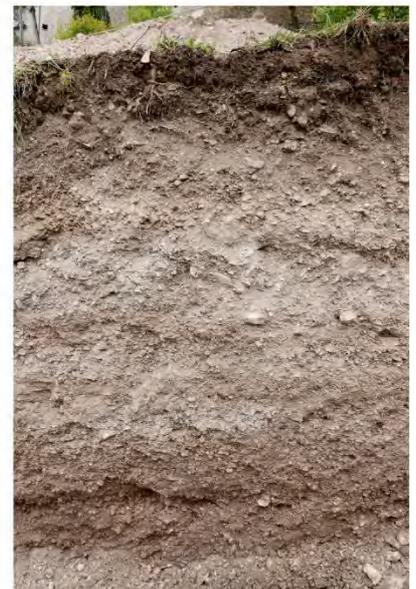






















Partendo dall'unità più antica affiorante nella parte più profonda dello scavo, sono state distinte quattro unità principali, nominate progressivamente dalla Unità 4 alla 1.

L'Unità 4 era costituita da un deposito alluvionale costituito da clasti decimetrici (dimensioni medie) da sub-angolosi a sub-arrotondati in prevalenza calcarei e di selce, con una giacitura sub-orizzontale leggermente inclinata verso SW. Il deposito di presentava privo di matrice (*clast-supported*) e caratterizzato a luoghi da strutture canalizzate, indicanti una deposizione anche per mezzo di canali. L'origine dell'Unità è, appunto, alluvionale in un quadro di deposizione rapida (anche *debris flow*). All'interno sono stati individuati rari frammenti di materiale fittile fluitato (Fig. 23a).

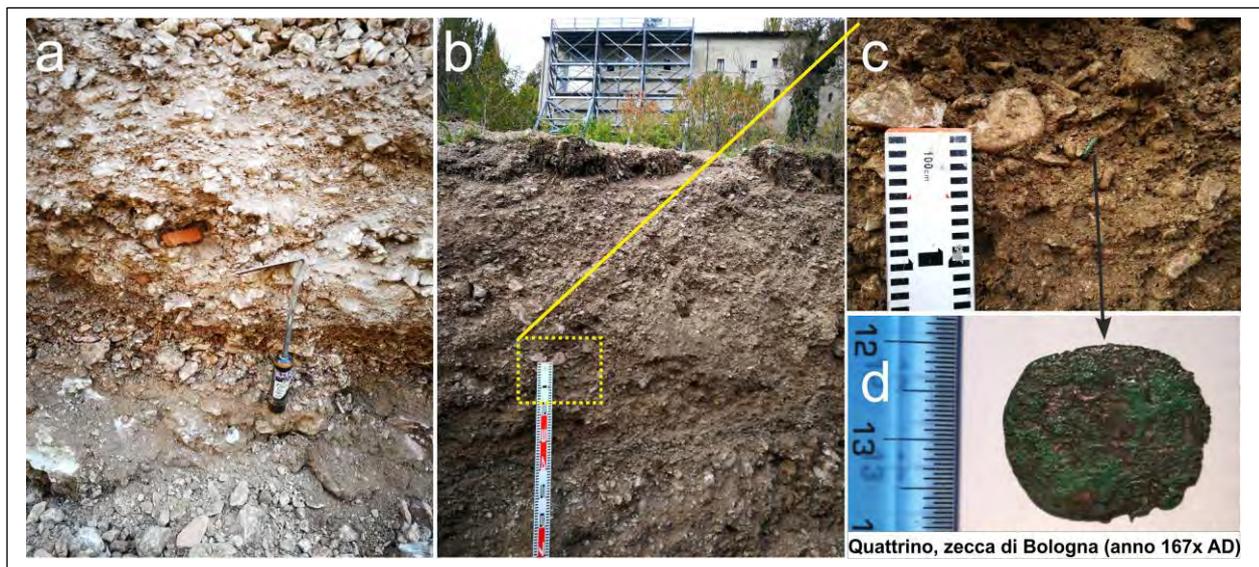


Fig. 23 . a) Dettaglio dell'Unità 4 in cui è visibile un frammento di materiali fittile fluitato. b), c) Dettaglio dell'Unità 1, in cui è stata rinvenuta la moneta. d) Fotografia della moneta eseguita successivamente alla sua pulitura.

Al di sopra dell'Unità 4, in discordanza angolare marcata da una superficie di erosione, è stata distinta l'Unità 3. Anche questa è di origine alluvionale, costituita da clasti carbonatici e di selce da sub-angolosi a sub-arrotondati, da centimetrici a decimetrici, con struttura clasto-sostenuta, caratterizzata da una giacitura sub-orizzontale, debolmente inclinata verso SW. All'interno sono stati individuati rari frammenti di materiale fittile fluitato.

L'Unità 2 era rappresentata da un livello fine, costituito da un silt argilloso di colore marrone-beige. Lo spessore era pressoché uniforme, di qualche cm. Questo, unitamente all'assenza di superfici di erosione che la hanno interessato, suggerisce che lo spessore individuato rappresenti lo spessore primario di deposizione dell'Unità. Inoltre, considerando le sue caratteristiche sedimentologiche, tale Unità potrebbe essersi formata *in loco*, in risposta ad un periodo di stasi della dinamica torrentizia, caratterizzato da bassa energia e un inizio di processo di pedogenesi dei corpi sedimentari sottostanti. Tale ipotesi sembrerebbe corroborata dal fatto che all'interno di questa Unità sono stati individuati numerosi frammenti di carbone, a suggerire la presenza di una copertura vegetale impostata su questo livello di pedogenesi incipiente. Alcuni frammenti di dimensioni più significative raccolti all'interno dell'Unità 2 sono stati campionati per la realizzazione di analisi di laboratorio necessarie all'ottenimento di datazione col metodo del radiocarbonio (campioni **EUT1**, **EUT2** e **EUT3**). Le analisi sono state effettuate dal laboratorio Beta Analytic (i report analitici sono riportati di seguito alla presente relazione tecnico-scientifica). I campioni hanno restituito le seguenti datazioni:

EUT1: età radiocarbonio 490 ± 30 BP; età calibrata (95.4%) 1404 - 1450 cal. d.C.

EUT2: età radiocarbonio 420 ± 30 BP; età calibrate (87.8%) 1426 - 1516 cal. d.C./ (7.6%) 1597 - 1618 cal d.C.

EUT3: età radiocarbonio 380 ± 30 BP; età calibrata (61.5%) 1445 - 1524 cal. D.C./ (33.9%) 1558 - 1632 cal. d.C.

Poiché l'Unità 2, entro la quale sono stati raccolti i carboni analizzati, è caratterizzata da una bassa energia di deposizione e non ha subito significativi processi erosivi, i carboni non devono essere stati a loro volta interessati da una marcata rielaborazione, essendo dunque in deposizione primaria. Questo è anche suggerito dal bassissimo o nullo grado di arrotondamento dei frammenti campionati, indicando che le datazioni ottenute dai campioni sono molto prossime all'età di

deposizione dell'Unità che li conteneva. All'interno dell'Unità 2 sono stati individuati frammenti di materiale fittile e ceramici fluitati.

Infine, l'Unità 1 era costituita da un deposito a tessitura matrice-sostenuta, con clasti carbonatici a spigoli vivi di dimensioni medie centimetriche, in una matrice sabbiosa con all'interno abbondanti frammenti ceramici e di materiale fittile fluitati. Trattasi di un deposito di origine colluviale, localmente caratterizzato da una sedimentazione rapida di tipo alluvionale. Anche in questo caso, l'Unità conteneva frammenti di materiale fittile e ceramico. Inoltre, è stata rinvenuta una moneta (Fig. 23b, c, d) la cui determinazione è stata eseguita dalla Dott.ssa Maria Cristina Molinari, Responsabile Medagliere Sovrintendenza Capitolina ai Beni Culturali. Questa è stata definita come un Quattrino di conio bolognese, relativo agli anni settanta del XVII secolo. Le datazioni ottenute dai carboni della sottostante Unità 2, la determinazione numismatica della moneta e le caratteristiche sedimentologiche dell'Unità 1 suggeriscono che questa si sia deposta in un momento successivo al XV-XVI secolo d.C., probabilmente durante la Piccola Età Glaciale. Tale evento climatico ha infatti determinato l'ultima significativa produzione detritica dai versanti appenninici (es. Giraudi, 2005).

In termini paleosismologici, le pareti dello scavo non hanno mostrato nessun piano di taglio o deformazione che interessasse le unità sedimentarie sopra descritte. Queste, infatti, mostravano una continuità laterale dei diversi livelli, interrotta soltanto localmente da strutture trattive o da superfici di erosioni a bassa pendenza (Fig. 24).

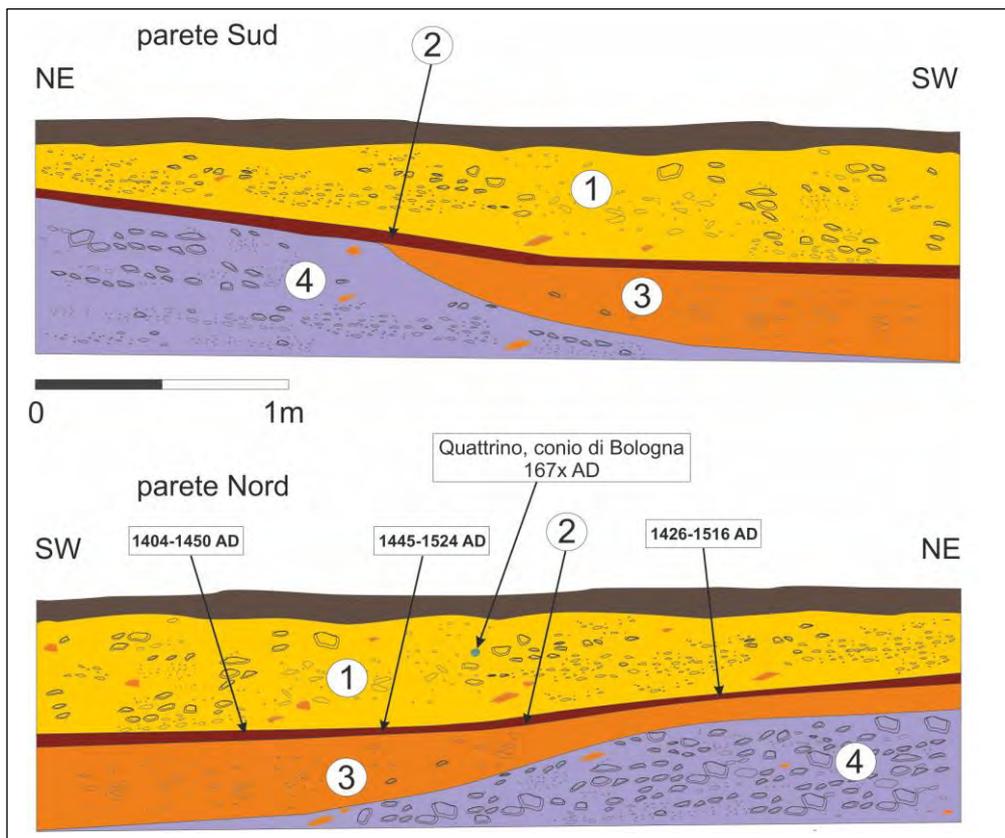


Fig. 24. Schema stratigrafico delle pareti dello scavo geognostico. I numeri indicano le Unità stratigrafiche distinte, mentre le frecce indicano l'ubicazione dei frammenti di carbone datati col metodo del radiocarbonio (ciascuna datazione radiocarbonio è indicata in figura) e della moneta settecentesca.

Quindi, è possibile affermare che l'eventuale elemento tettonico presente in corrispondenza dell'Abbazia di Sant'Eutizio non abbia determinato dislocazione o deformazione delle unità stratigrafiche esposte dallo scavo geognostico.

6. Conclusioni

I risultati delle indagini geologiche condotte nell'area dell'Abbazia di Sant'Eutizio e nei settori circostanti, finalizzate all'individuazione di una faglia attiva e capace in corrispondenza dell'area dell'Abbazia, permettono di giungere alle seguenti conclusioni scientifico-operative.

Lo scavo geognostico realizzato nell'area adiacente all'edificio, per tutta la sua lunghezza (circa 120 metri), ha esposto una sequenza stratigrafica alluvionale-colluviale la cui deposizione è legata alla dinamica torrentizia della valle sul cui versante destro sorge l'Abbazia, nonché all'erosione dei fianchi della valle stessa. La continuità laterale delle varie unità stratigrafiche individuate nello scavo geognostico, osservabile sia nella rappresentazione grafica schematica delle pareti di scavo

analizzate, sia nella sequenza delle riprese fotografiche dello stesso scavo, chiarisce l'assenza di piani di taglio e discontinuità connessi a eventi di dislocazione successivi alla sedimentazione.

In termini cronologici, le età numeriche ottenute mediante l'applicazione del metodo del radiocarbonio su frammenti di carboni prelevati nell'Unità 2 esposta dallo scavo (campioni EUT1, EUT2 e EUT3) e l'attribuzione cronologica della moneta rinvenuta all'interno dell'Unità 1, permettono ragionevolmente di escludere l'accadimento di fagliazione di superficie nel corso delle ultime centinaia di anni, in particolare in ragione dell'età numerica ottenuta da EUT1 (1404-1450 AD) che ha restituito l'età più antica fra i campioni analizzati. In termini stratigrafici, va tenuto in considerazione che l'età numerica sopra ricordata deve essere ritenuta come un limite cronologico inferiore per la deposizione dell'unità stratigrafica che la include. Inoltre, la presenza di frammenti di materiale fittile nei livelli stratigrafici più profondi, dunque più antichi tra quelli esposti con lo scavo, suggerisce che tali livelli siano da riferirsi ad un periodo precedente ma comunque storico. Considerando i vincoli cronologici ottenuti e le caratteristiche sedimentologico-stratigrafiche, è ragionevole ipotizzare che il corpo alluvionale-colluviale soprastante l'unità 2, da cui sono stati prelevati i carboni, si sia messo in posto durante la Piccola Età Glaciale (Giraudi, 2005), fase climatica che ha determinato l'ultima significativa produzione detritica dai versanti appenninici.

Secondo le Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci per studi di microzonazione sismica, redatte dal Dipartimento della Protezione Civile Nazionale nel 2015, l'intervallo cronologico entro il quale una faglia deve mostrare evidenze di attività per essere considerata come attiva e capace è definito come gli ultimi 40.000 anni. Di conseguenza, le età numeriche ottenute e la determinazione cronologica numismatica non permettono di escludere che in corrispondenza del sito investigato vi sia comunque una faglia attiva e capace la cui terminazione verso l'alto è sigillata dalle unità stratigrafiche esposte dallo scavo. Ciò in ragione del fatto che la stratigrafia esposta nella trincea – e non interessata da piani di taglio e discontinuità – risulta essersi deposta in un intervallo cronologico molto più recente del suddetto limite dei 40.000 anni.

Tuttavia, sulla base delle osservazioni geologiche effettuate nell'area dell'Abbazia, possono essere fatte alcune considerazioni e valutazioni sismotettoniche che riguardano la scossa del 14 gennaio della sequenza sismica del 1703, che ha colpito l'area nursina e un ampio settore appenninico circostante, e la faglia responsabile di tale evento sismico.

Nello specifico, sono state condotte indagini geologiche lungo l'elemento tettonico localizzato in corrispondenza dell'Abbazia, riportato nella Carta Geologica della Regione Umbria, negli studi di Microzonazione Sismica di III Livello e nel Catalogo delle Faglie Capaci "ITHACA". Questa letteratura definisce per tale struttura un'attività con cinematica distensiva, considerando la giustapposizione di Formazioni diverse del substrato carbonatico meso-cenozoico, interpretando

tale giustapposizione come un contatto da faglia normale o distensiva. Il rilevamento geologico realizzato per questa attività scientifico-operativa ha evidenziato per questo lineamento tettonico una storia cinematica molto più complessa. In particolare, grazie alle osservazioni geologico-strutturali sembrerebbe che questo elemento tettonico sia stato interessato da movimenti di tipo compressivo, quindi associati alla fase tettonica compressiva pre-quadernaria e attualmente non più attiva in questo settore di catena appenninica centrale. Ciò è testimoniato dalle evidenze di pieghe e piani di taglio a cinematica inversa in corrispondenza della zona di contatto delle suddette Formazioni del substrato carbonatico (segnatamente, le Formazioni della Maiolica e delle Marne a Fucoidi, da un lato, e la Formazione della Scaglia Cinerea, dall'altro). I dati acquisiti, infatti, suggeriscono che tale contatto tettonico-stratigrafico sia da attribuirsi prevalentemente a movimenti di tipo compressivo, che hanno sollevato Formazioni carbonatiche più antiche, al tetto dell'elemento tettonico, e le hanno poste a contatto con Formazioni carbonatiche più recenti, al letto dell'elemento tettonico (contatto fra le Formazioni della Maiolica-Marne a Fucoidi e la Formazione della Scaglia Cinerea).

Inoltre, le indagini geologiche condotte lungo la traccia della faglia attiva di Campi-Preci nota in letteratura hanno permesso di ipotizzare che, in realtà, tale elemento tettonico interessi il settore più a oriente rispetto all'Abbazia. Quindi, la prosecuzione in quest'area della traccia del segmento di faglia attiva di Campi-Preci sembrerebbe non localizzarsi in corrispondenza dell'area occupata dal complesso monastico.

A tale proposito, la letteratura disponibile indica che la faglia attiva di Campi-Preci rappresenti uno dei segmenti del sistema di faglie di Norcia. Le indagini paleosismologiche condotte lungo questo sistema nel settore nei pressi dell'abitato di Norcia (Galli et al., 2005; 2018), nonché il confronto fra l'ubicazione e la sua geometria con la distribuzione delle intensità della scossa del 14 gennaio 1703 (Mw 6.9; Rovida et al., 2019), hanno permesso agli autori di definire che l'attivazione di tutta la faglia di Norcia, lunga circa 30 km in superficie, sia stata all'origine dell'evento sismico, producendo significativa fagliazione di superficie (rigetto minimo superficiale 80 cm) lungo i rami della faglia investigati.

Considerando le età dei depositi esposti dallo scavo geognostico effettuato in corrispondenza della possibile traccia dell'elemento tettonico che potrebbe interessare l'area dell'Abbazia, è possibile definire che la sequenza stratigrafica rinvenuta attraversi cronologicamente l'evento del 1703, non mostrando tuttavia evidenze di dislocazioni possibilmente causate da questo evento. Ciò potrebbe corroborare (ma non escludere del tutto, come detto in precedenza) l'assenza di elementi tettonici capaci in corrispondenza dell'area dell'Abbazia.

Infine, si ritiene opportuno evidenziare che se pur non univocamente riferibile alla presenza di una faglia normale attiva e capace, non si può escludere che l'elemento tettonico presente nell'area di interesse possa comunque rappresentare un elemento di fragilità, in termini di possibili deformazioni della superficie topografica, per un duplice aspetto:

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

2) non si può escludere che il contatto fra Formazioni del substrato carbonatico a competenza e caratteristiche litologiche molto diverse fra loro possa causare movimenti differenziali fra il tetto e il letto della struttura tettonica in esame per questioni di tipo geotecnico. Ovvero, le Formazioni carbonatiche a contatto potrebbero avere un comportamento meccanico disomogeneo in caso di scuotimento sismico.

Bibliografia

- Barchi M., Galadini F., Lavecchia G., Messina P., Michetti A.M., Peruzza L., Pizzi A., Tondi E., Vittori E., 2000. Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia centrale. CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, 62 pp.
- Blumetti A.M., 1995. Neotectonic investigations and evidence of paleoseismicity in the epicentral area of the January-February 1703, Central Italy, earthquakes. In: Serva, L., Slemmons, D. B. (a cura di), Perspectives in paleoseismology. Ass. of Eng. Geol. spec. publ. 6, 83- 100.
- Blumetti A.M., Dramis F., 1992. Il Pleistocene inferiore nell'area nursina. Studi Geol. Cam., vol. spec. 1992/1, 55-64.
- Blumetti A.M., Coltorti M., Dramis F., Farabollini P., 1990a. Due sezioni stratigrafiche nel Pleistocene medio della conca di Norcia; implicazioni geomorfologiche e neotettoniche. Rend. Soc. Geol. It., 13, 17-26. 38
- Blumetti A.M., Dramis F., Gentili B., Pambianchi G., 1990b. La struttura di Monte Alvagnano-Castel Santa Maria nell'area nursina: aspetti geomorfologici e sismicità storica. Rend. Soc. Geol. It., 13, 71-76.
- Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G., Valensise G., 1995. Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980. INGSGA, Bologna, Italy 973 pp.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G., Gasperini P., 1997. Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990, 2. ING-SGA, Bologna, 644 pp.
- Bosi C., Galadini F., Giaccio B., Messina P., Sposato A. 2003. Plio-Quaternary continental deposits in the Latium-Abruzzi Apennines: the correlation of geological events across different intermontane basins. Il Quaternario, 16(1Bis), 55-76.
- Brozzetti F., Lavecchia G., 1994. Seismicity and related extensional stress field: the case of the Norcia Seismic Zone (Central Italy). Annales Tectonicae 8, 36-57
- Calamita F., Pizzi A., 1992. Tettonica quaternaria nella dorsale appenninica umbro-marchigiana e bacini intrappenninici associati. Studi Geol. Cam., vol. spec. 1992/1, 17-25.
- Calamita F., Pizzi A., 1994. Recent and active extensional tectonics in the southern Umbro-Marchean Apennines (central Italy). Mem. Soc. Geol. It., 48, 541-548
- Calamita F., Cantalamessa G., Centamore E., Deiana G., Dramis F., Micarelli A., Pieruccini U., Potetti M., Romano A., 1979. Dati preliminari sulla neotettonica del foglio 132 (Norcia), 124 (Macerata; III e IV quadrante), 115 (Città di Castello; I e II quadrante). In CNR-PFG, Nuovi contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, pubbl. 251 del Progetto Finalizzato Geodinamica, 179-215.
- Calamita F., Coltorti M., Deiana G., Dramis F., Pambianchi G., 1982. Neotectonic evolution and geomorphology of the Cascia and Norcia depression (Umbria-Marche Apennine). Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 5, 263-276.

Calamita F., Coltorti M., Piccinini D., Pierantoni P.P., Pizzi A., Ripepe M., Scisciani V., Turco E., 2000a. Quaternary faults and seismicity in the Umbro-Marchean Apennines (Central Italy): evidence from the 1997 Colfiorito earthquake. *J. Geodynamics* 29, 245-264.

Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 Foglio 132 – Norcia. ISPRA - Servizio Geologico d'Italia, Roma. Cartografia realizzata dal Servizio Geologico D'Italia Organo cartografico dello Stato (legge 2/2/1960 N. 68).

Carta geologica dell'Umbria alla scala 1:10.000, sezione 325090 - Preci – http://storicizzati.territorio.regione.umbria.it/Static/GeologiaKmz/GeologiaKmz/Index_kmz.htm.

Cello G., Mazzoli S., Tondi E., Turco E., 1997. Active tectonics in the central Apennines and possible implication for seismic hazard analysis in peninsular Italy. *Tectonophysics* 272, 443– 460.

Cello G., Mazzoli S., Tondi E., 1998. The crustal fault structure responsible for the 1703 earthquake sequence of central Italy. *J. Geodynamics*, 26, 443-460.

Centamore E., Dramis F., Fubelli G., Molin P., Nisio P., 2003. Elements to correlate marine and continental sedimentary successions in the context of the neotectonic evolution of the central Apennines. *Il Quaternario*, 16 (1bis), 77-87.

Chiaraluce, L., Di Stefano, R., Tinti, E., Scognamiglio, L., Michele, M., Casarotti, E., Cattaneo M., De Gori P., Chiarabba C., Monachesi G., Lombardi A., Valoroso L., Latorre D., Marzorati S., 2017. The 2016 central Italy seismic sequence: A first look at the mainshocks, aftershocks and source models. *Seismological Research Letters*, 88(3), 757–771. <https://doi.org/10.1785/0220160221>

Coltorti M., Dramis F., 1988. The significance of stratified slope-waste deposits in the Quaternary of Umbro-Marchean Apennines (Central Italy). *Zeit. Geom.*, NF, suppl.bd 71, 59-70.

Cosentino, D., Cipollari, P., Marsili, P., & Scrocca, D. (2010). Geology of the central Apennines: A regional review. In: Beltrando M, Peccerillo A, Mattei M, Conticelli S, Doglioni C (eds). *The Geology of Italy: Tectonics and life along plate margins*. *Journal of the Virtual Explorer*, 36(paper 11), 1–37.

Deschamps A., Iannaccone G., Scarpa R., 1984. The Umbrian earthquake (Italy) of 19 September 1979. *Annales Geophysicae*, 2, 29-36.

Dramis F., Materazzi M., Cilla G., 1999. Influence of climatic changes on freshwater travertine deposition. A new hypothesis. *Phys. Chem. Earth (A)*, vol. 24, no. 10, pp. 893 – 897.

Dziewonski A.M., Woodhouse, J.H., 1983. Studies of the seismic source using normal mode theory, in Kanamori, H. and E. Boschi, (a cura di), *Earthquakes: observation, theory, and interpretation: notes from the International School of Physics “Enrico Fermi” (1982: Varenna, Italy)*, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, pp. 45-137.

Faccenna C., Funicello R., Montone P., Parotto M., Voltaggio M., 1994. Late Pleistocene strike – slip tectonic in the Acque – Albule basin (Tivoli, Latium). *Memorie descrittive della carta geologica d'Italia* 49, 37 – 50.

- Faccenna, C., Becker, T. W., Auer, L., Billi, A., Boschi, L., Brun, J. P., Capitanio, F. A., Funicello, F., Horv ath, F., Jolivet, L., Piromallo, C., Royden, L., Rossetti, F., and Serpelloni, E., 2014. Mantle dynamics in the Mediterranean, *Reviews of Geophysics*, 52, 283–332. Falcucci E., Gori S.,
- Galadini F., Fubelli G., Moro M., Saroli G., 2016. Active faults in the epicentral and mesoseismal Ml 6.0 24, 2016 Amatrice earthquake region, central Italy. *Annals of Geophysics*, 59, Fast Track 5, 2016; DOI: 10.4401/ ag-7266
- Fialko Y., Sandwell D., Agnew D., Simons M., Shearer P., Minster B., 2002. Deformation on nearby faults induced by the 1999 Hector Mine earthquake, *Science*, 297, 1858–1862, doi:10.1126/science.1074671.
- Galadini F., 2006. Quaternary tectonics and large-scale gravitational movements with evidence of rock-slide displacements in the Central Apennines (central Italy). *Geomorphology*, 82, 201–228
- Galadini F., Falcucci E., Gori S., Zimmaro P., Cheloni D., Stewart J.P., 2018. Active faulting in source region of 2016–2017 central Italy event sequence. *Earthquake Spectra*, 34(4), 1557-1583.
- Galadini F., Galli P., 2000. Active tectonics in the Central Apennines (Italy) - Input data for seismic hazard Assessment. *Natural Hazards*, 22, 225- 270.
- Galadini F., Galli P., Leschiutta I., Monachesi G., Stucchi M., 1999. Active tectonics and seismicity in the area of the 1997 earthquake sequence in central Italy: a short review. *Journal of Seismology* 3, 167-175.
- Galadini F., Meletti C., Vittori E., 2000. Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie. In: F. Galadini, C. Meletti, A. Rebez (a cura di) "Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosit  sismica (1996-1999). Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 107-136.
- Galli P., Galadini F., 1999. Seismotectonic framework of the 1997-1998 Umbria-Marche (central Italy) earthquakes. *Seismological Research Letters* 70, 417-427.
- Galli P., Galadini F., Calzoni F., 2005. Surface faulting in Norcia (central Italy): a "paleoseismological perspective". *Tectonophysics*, 403, 117- 130.
- Galli P., Galderisi A., Ilardo I., Piscitelli S., Scionti V., Bellanova J., Calzoni F., 2018. Holocene paleoseismology of the Norcia fault system (Central Italy). *Tectonophysics*, 745. DOI - 10.1016/j.tecto.2018.08.008
- Galli P., Galadini F., Pantosti D., 2008. Twenty years of paleoseismology in Italy. *Eart. Sci. Rev.*, DOI: 10.1016/j.earseirev.2008.01.001
- Gori S., Dramis F., Galadini F., Messina P., 2007. The use of geomorphological markers in the footwall of active faults for kinematic evaluation: examples from the central Apennines. *Boll Soc Geol It* 126:365-374.
- Invernizzi C., Pizzi A., 1995. Mesostructural analysis in a conglomeratic deposit along the Mt. Castello-Mt. Cardosa normal fault zone in the southern Umbria-Marches Apennines (central Italy). *Il Quaternario*, 8, 229-234.

ITHACA Working Group (2019). ITHACA (ITaly HAZard from CApable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019.

ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal
<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>

Minissale A., 2002. Geochemistry of Quaternary travertines in the region north of Rome (Italy): structural, hydrologic and paleoclimatic implications. *Earth and Planetary Science Letters* 203 (2002) 709 – 728.

Monachesi G., Stucchi M., 1998. DOM 4.1 an intensity database of damaging earthquakes in the Italian area. <http://emidius.itim.mi.cnr.it/DOM/home.html>

Pizzi A., Scisciani V., 2000. Methods for determining the Pleistocene-Holocene component of displacement on active faults reactivating pre-Quaternary structures: examples from the Central Apennines (Italy) - *J. of Geodynamics*, 29, 445-457.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2019. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
<https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>

Tondi E., 2000. Geological analysis and seismic hazard in the Central Apennines (Italy). *J. Geodynamics* 29, 517-533.

Tondi E., Cello G., Mazzoli S., 1997. Strutture sismogenetiche in Appennino centrale: potenziale sismico, analisi frattale e processi di crescita. *Il Quaternario*, 10, 411-416.

Tuccimei P., Conforti M., Funicello R., Soligo M., 2001. Datazioni U/Th delle placche travertinosi di Fiano Romano e Pian Paradiso (Lazio, Italia) e tettonica tardo – Quaternaria. *Proc. Geoitalia*, 124 – 125.

Wells D. L., Coppersmith K. J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bull. Seism. Soc. of Am.* 84, 974-1002.

Di seguito il report del laboratorio BETA ANALYTIC delle datazioni dei campioni prelevati nella trincea realizzata in prossimità dell'Abbazia di Sant'Eutizio.

Il campione nominato EUT1 nella relazione corrisponde al campione EUT 5 nel report

Il campione nominato EUT 2 nella relazione corrisponde al campione EUT 6 nel report

Il campione nominato EUT 3 nella relazione corrisponde al campione EUT 8 nel report



Beta Analytic
TESTING LABORATORY

Beta Analytic Inc
4985 SW 74 Court
Miami, Florida 33155
Tel: 305-667-5167
Fax: 305-663-0964
info@betalabservices.com

ISO/IEC 17025:2005-Accredited Testing Laboratory

Dr. Stefano Gori
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata 605
Roma, Vermont 00143
Italy

RE: Radiocarbon Dating Results

Dear Dr. Gori,

Enclosed are the radiocarbon dating results for five samples recently sent to us. As usual, the method of analysis is listed on the report with the results and calibration data is provided where applicable. The Conventional Radiocarbon Ages have all been corrected for total fractionation effects and where applicable, calibration was performed using 2013 calibration databases (cited on the graph pages).

The web directory containing the table of results and PDF download also contains pictures, a cvs spreadsheet download option and a quality assurance report containing expected vs. measured values for 3-5 working standards analyzed simultaneously with your samples.

Reported results are accredited to ISO/IEC 17025:2005 Testing Accreditation PJLA #59423 standards and all chemistry was performed here in our laboratory and counted in our own accelerators here. Since Beta is not a teaching laboratory, only graduates trained to strict protocols of the ISO/IEC 17025:2005 Testing Accreditation PJLA #59423 program participated in the analyses.

As always Conventional Radiocarbon Ages and sigmas are rounded to the nearest 10 years per the conventions of the 1977 International Radiocarbon Conference. When counting statistics produce sigmas lower than +/- 30 years, a conservative +/- 30 BP is cited for the result. The reported d13C values were measured separately in an IRMS (isotope ratio mass spectrometer). They are NOT the AMS d13C which would include fractionation effects from natural, chemistry and AMS induced sources.

When interpreting the results, please consider any communications you may have had with us regarding the samples.

The cost of analysis was previously invoiced. As always, if you have any questions or would like to discuss the results, don't hesitate to contact us.

Sincerely,

Digital signature on file

Ronald E. Hatfield President



ISO/IEC 17025:2005-Accredited Testing Laboratory

REPORT OF RADIOCARBON DATING ANALYSES

Stefano Gori

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Laboratory Number	Sample Code Number	Conventional Radiocarbon Age (BP) or Percent Modern Carbon (pMC) & Stable Isotopes	
		Calendar Calibrated Results: 95.4 % Probability High Probability Density Range Method (HPD)	
Beta - 551888	EUT6	420 +/- 30 BP	IRMS $\delta^{13}C$: -22.3 o/oo
	(87.8%)	1426 - 1516 cal AD	(524 - 434 cal BP)
	(7.6%)	1597 - 1618 cal AD	(353 - 332 cal BP)
	Submitter Material: Charcoal Pretreatment: (charred material) acid/alkali/acid Analyzed Material: Charred material Analysis Service: AMS-Standard delivery Percent Modern Carbon: 94.91 +/- 0.35 pMC Fraction Modern Carbon: 0.9491 +/- 0.0035 D14C: -50.94 +/- 3.54 o/oo $\Delta^{14}C$: -58.94 +/- 3.54 o/oo (1950:2020) Measured Radiocarbon Age: (without d13C correction): 380 +/- 30 BP Calibration: BetaCal3.21: HPD method: INTCAL13		

Results are ISO/IEC-17025:2005 accredited. No sub-contracting or student labor was used in the analyses. All work was done at Beta in 4 in-house NEC accelerator mass spectrometers and 4 Thermo IRMSs. The "Conventional Radiocarbon Age" was calculated using the Libby half-life (5568 years), is corrected for total isotopic fraction and was used for calendar calibration where applicable. The Age is rounded to the nearest 10 years and is reported as radiocarbon years before present (BP), "present" = AD 1950. Results greater than the modern reference are reported as percent modern carbon (pMC). The modern reference standard was 95% the ^{14}C signature of NIST SRM-4990C (oxalic acid). Quoted errors are 1 sigma counting statistics. Calculated sigmas less than 30 BP on the Conventional Radiocarbon Age are conservatively rounded up to 30. $d^{13}C$ values are on the material itself (not the AMS $d^{13}C$). $d^{13}C$ and $d^{15}N$ values are relative to VPDB-1. References for calendar calibrations are cited at the bottom of calibration graph pages.



ISO/IEC 17025:2005-Accredited Testing Laboratory

REPORT OF RADIOCARBON DATING ANALYSES

Stefano Gori

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Laboratory Number	Sample Code Number	Conventional Radiocarbon Age (BP) or Percent Modern Carbon (pMC) & Stable Isotopes	
		Calendar Calibrated Results: 95.4 % Probability High Probability Density Range Method (HPD)	
Beta - 551889	EUT8	380 +/- 30 BP	IRMS $\delta^{13}C$: -25.0 o/oo
	(61.5%)	1445 - 1524 cal AD	(505 - 426 cal BP)
	(33.9%)	1558 - 1632 cal AD	(392 - 318 cal BP)
	Submitter Material: Charcoal		
	Pretreatment: (charred material) acid/alkali/acid		
	Analyzed Material: Charred material		
	Analysis Service: AMS-Standard delivery		
	Percent Modern Carbon: 95.38 +/- 0.36 pMC		
	Fraction Modern Carbon: 0.9538 +/- 0.0036		
	D14C: -46.20 +/- 3.56 o/oo		
	$\Delta^{14}C$: -54.25 +/- 3.56 o/oo (1950:2020)		
	Measured Radiocarbon Age: (without d13C correction): 380 +/- 30 BP		
	Calibration: BetaCal3.21: HPD method: INTCAL13		

Results are ISO/IEC-17025:2005 accredited. No sub-contracting or student labor was used in the analyses. All work was done at Beta in 4 in-house NEC accelerator mass spectrometers and 4 Thermo IRMSs. The "Conventional Radiocarbon Age" was calculated using the Libby half-life (5568 years), is corrected for total isotopic fraction and was used for calendar calibration where applicable. The Age is rounded to the nearest 10 years and is reported as radiocarbon years before present (BP), "present" = AD 1950. Results greater than the modern reference are reported as percent modern carbon (pMC). The modern reference standard was 95% the ^{14}C signature of NIST SRM-4990C (oxalic acid). Quoted errors are 1 sigma counting statistics. Calculated sigmas less than 30 BP on the Conventional Radiocarbon Age are conservatively rounded up to 30. $\delta^{13}C$ values are on the material itself (not the AMS $\delta^{13}C$). $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ values are relative to VPDB-1. References for calendar calibrations are cited at the bottom of calibration graph pages.



ISO/IEC 17025:2005-Accredited Testing Laboratory

REPORT OF RADIOCARBON DATING ANALYSES

Stefano Gori

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Laboratory Number	Sample Code Number	Conventional Radiocarbon Age (BP) or Percent Modern Carbon (pMC) & Stable Isotopes	
		Calendar Calibrated Results: 95.4 % Probability High Probability Density Range Method (HPD)	
Beta - 551891	EUT5	490 +/- 30 BP	IRMS $\delta^{13}C$: -25.2 o/oo
	(95.4%)	1404 - 1450 cal AD	(546 - 500 cal BP)
	Submitter Material: Charcoal Pretreatment: (charred material) acid/alkali/acid Analyzed Material: Charred material Analysis Service: AMS-Standard delivery Percent Modern Carbon: 94.08 +/- 0.35 pMC Fraction Modern Carbon: 0.9408 +/- 0.0035 D14C: -59.18 +/- 3.51 o/oo $\Delta^{14}C$: -67.11 +/- 3.51 o/oo (1950:2020) Measured Radiocarbon Age: (without d13C correction): 490 +/- 30 BP Calibration: BetaCal3.21: HPD method: INTCAL13		

Results are ISO/IEC-17025:2005 accredited. No sub-contracting or student labor was used in the analyses. All work was done at Beta in 4 in-house NEC accelerator mass spectrometers and 4 Thermo IRMSs. The "Conventional Radiocarbon Age" was calculated using the Libby half-life (5568 years), is corrected for total isotopic fraction and was used for calendar calibration where applicable. The Age is rounded to the nearest 10 years and is reported as radiocarbon years before present (BP), "present" = AD 1950. Results greater than the modern reference are reported as percent modern carbon (pMC). The modern reference standard was 95% the ^{14}C signature of NIST SRM-4990C (oxalic acid). Quoted errors are 1 sigma counting statistics. Calculated sigmas less than 30 BP on the Conventional Radiocarbon Age are conservatively rounded up to 30. $d^{13}C$ values are on the material itself (not the AMS $d^{13}C$). $d^{13}C$ and $d^{15}N$ values are relative to VPDB-1. References for calendar calibrations are cited at the bottom of calibration graph pages.

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: $\delta^{13}C = -22.3$ o/oo)

Laboratory number **Beta-551888**

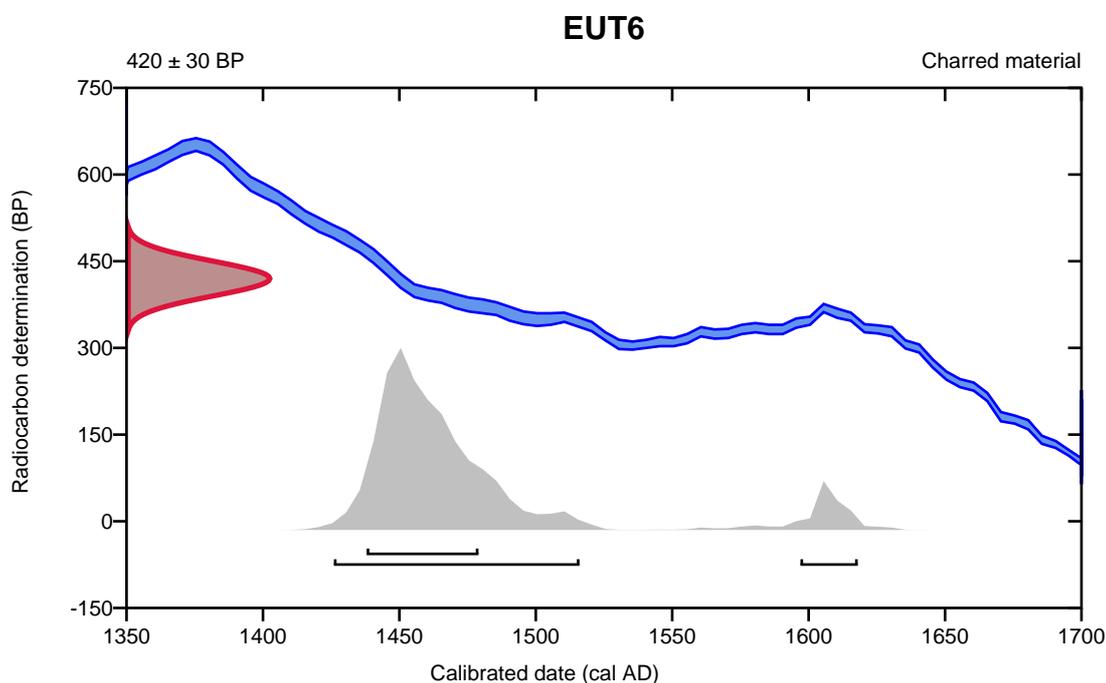
Conventional radiocarbon age **420 ± 30 BP**

95.4% probability

(87.8%)	1426 - 1516 cal AD	(524 - 434 cal BP)
(7.6%)	1597 - 1618 cal AD	(353 - 332 cal BP)

68.2% probability

(68.2%)	1438 - 1479 cal AD	(512 - 471 cal BP)
---------	--------------------	--------------------



Database used
INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, *Radiocarbon*55(4).

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: $\delta^{13}C = -25.0$ o/oo)

Laboratory number **Beta-551889**

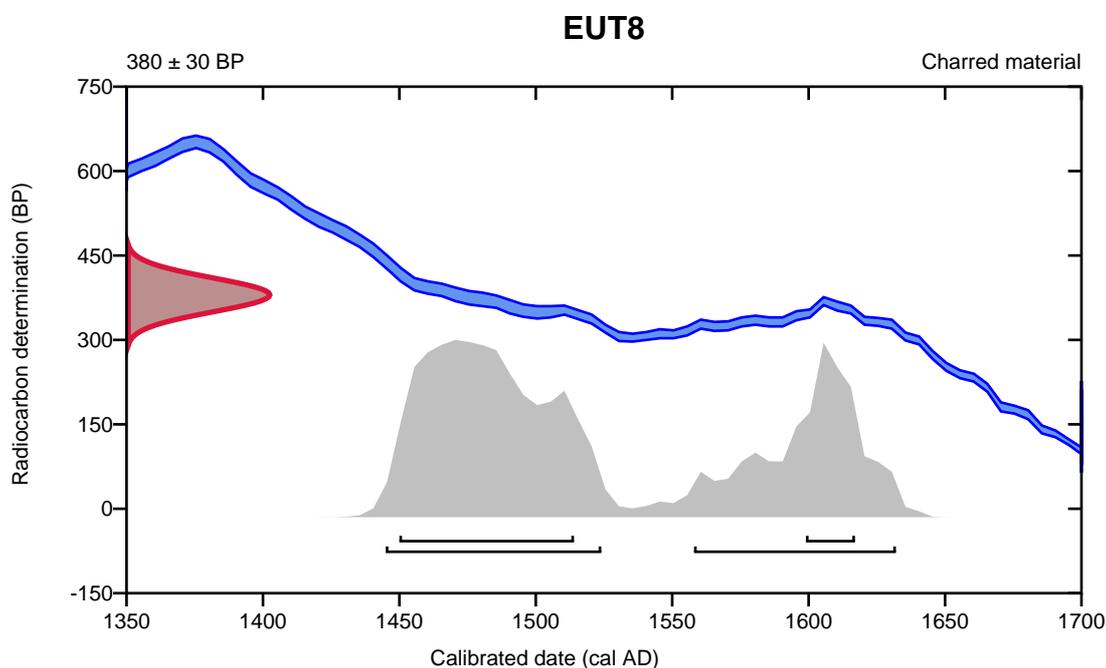
Conventional radiocarbon age **380 ± 30 BP**

95.4% probability

(61.5%)	1445 - 1524 cal AD	(505 - 426 cal BP)
(33.9%)	1558 - 1632 cal AD	(392 - 318 cal BP)

68.2% probability

(53.6%)	1450 - 1514 cal AD	(500 - 436 cal BP)
(14.6%)	1599 - 1617 cal AD	(351 - 333 cal BP)



Database used
INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, *Radiocarbon*55(4).



Quality Assurance Report

This report provides the results of reference materials used to validate radiocarbon analyses prior to reporting. Known-value reference materials were analyzed quasi-simultaneously with the unknowns. Results are reported as expected values vs measured values. Reported values are calculated relative to NIST SRM-4990B and corrected for isotopic fractionation. Results are reported using the direct analytical measure percent modern carbon (pMC) with one relative standard deviation. Agreement between expected and measured values is taken as being within 2 sigma agreement (error x 2) to account for total laboratory error.

Report Date: February 20, 2020
Submitter: Dr. Stefano Gori

QA MEASUREMENTS

Reference 1

Expected Value: 0.447 +/- 0.04 pMC

Measured Value: 0.45 +/- 0.04 pMC

Agreement: Accepted

Reference 2

Expected Value: 129.41 +/- 0.06 pMC

Measured Value: 129.46 +/- 0.39 pMC

Agreement: Accepted

Reference 3

Expected Value: 96.69 +/- 0.50 pMC

Measured Value: 96.50 +/- 0.36 pMC

Agreement: Accepted

COMMENT: All measurements passed acceptance tests.

Validation:


Digital signature on file



Regione Umbria

Servizio Geologico

ESECUZIONE DI MODELLAZIONI NUMERICHE FINALIZZATE ALL'INDIVIDUAZIONE DELLE AMPLIFICAZIONI SISMICHE A SANT'EUTIZIO DI PRECI

La finalità dell'attività è la valutazione degli effetti di amplificazione a Sant'Eutizio di Preci. In particolare sulla base dei dati geologici, geomorfologici, geofisici e geotecnici raccolti sono state effettuate analisi numeriche atte a quantificare i fenomeni di amplificazione legati alle particolari condizioni litologiche e morfologiche dell'area. Il programma di lavoro ha previsto le seguenti attività:

1. Definizione del moto sismico di input al bedrock secondo le normative più recenti.
2. Definizione del profilo geologico e geofisico e delle caratteristiche geofisiche.
3. Valutazione della risposta sismica locale.
4. Conclusioni.

1. Definizione del moto sismico di input al bedrock

Per quanto riguarda la prima attività, al fine di effettuare le modellazioni numeriche da parte del Politecnico di Milano per la valutazione degli effetti di sito, si è reso necessario avere a disposizione accelerogrammi e spettri di risposta in accelerazione, da utilizzare come inputs sismici nella modellazione stessa. In questo progetto sono stati utilizzati gli accelerogrammi per il comune di Preci definiti dal lavoro fatto dal Servizio Geologico della Regione Umbria e dalla sede di Milano dell'INGV. Di seguito vengono specificati i criteri per la costruzione dello spettro elastico di riferimento, la selezione degli accelerogrammi e i criteri per la ricerca della spettro-compatibilità utilizzando il software REXELite.

Lo spettro elastico (SA) di accelerazione di riferimento viene costruito specificando:

- SA1. Centroide del comune in termini di latitudine e longitudine in gradi decimali
- SA2. Categoria di sito A / A* secondo NTC2018
- SA3. Classe topografica T1 secondo NTC2018
- SA4. Vita nominale di 50 anni
- SA5. Classe d'uso II ($cu = 1.0$)
- SA6. Stato limite, espresso come probabilità (10%)

Nella tabella è riportata, le coordinate geografiche utilizzate per la selezione e i seguenti parametri: 1) $a(g)$ accelerazione attesa su suolo A con 10% probabilità di eccedenza in 50 anni; 2) T_b (periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante); 3) T_c (periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro); 4) T_d (periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro); 5) A_{flat} (ampiezza, in g, del tratto ad accelerazione costante dello spettro).

La ricerca degli accelerogrammi (AC) in banca dati avviene specificando:

- AC1. Una componente del moto orizzontale
- AC2. Classificazione del sito come A o A* (ove per A* si intendono i siti di categoria A classificati sulla base della descrizione della geologia di superficie).
- AC3. Minimo e massimo per la magnitudo di evento
- AC4. Valore di M_w (magnitudo momento) o M_l (magnitudo locale)
- AC5. Massimo e un minimo per la distanza epicentrale (km)
- AC6. Esclusione delle registrazioni cosiddette *late triggered*
- AC7. Esclusione di dati analogici

AC8. Meccanismo focale di tipo normale

Criteri per la compatibilità (CO) con lo spettro di normativa:

- CO1. Intervallo di periodo: 0.1 - 1.1s
- CO2. Tolleranza superiore: 30
- CO3. Tolleranza inferiore: 10
- CO4. Scalatura dei records: No

L'intervallo di periodo di riferimento è stato selezionato secondo quanto stabilito dall'Ordinanza n. 24 del Commissario per la ricostruzione del 12 maggio 2017.

Nel caso di mancanza di compatibilità con i criteri sopra elencati, durante la procedura di selezione delle registrazioni, vengono modificati alcuni parametri di ricerca degli accelerogrammi:

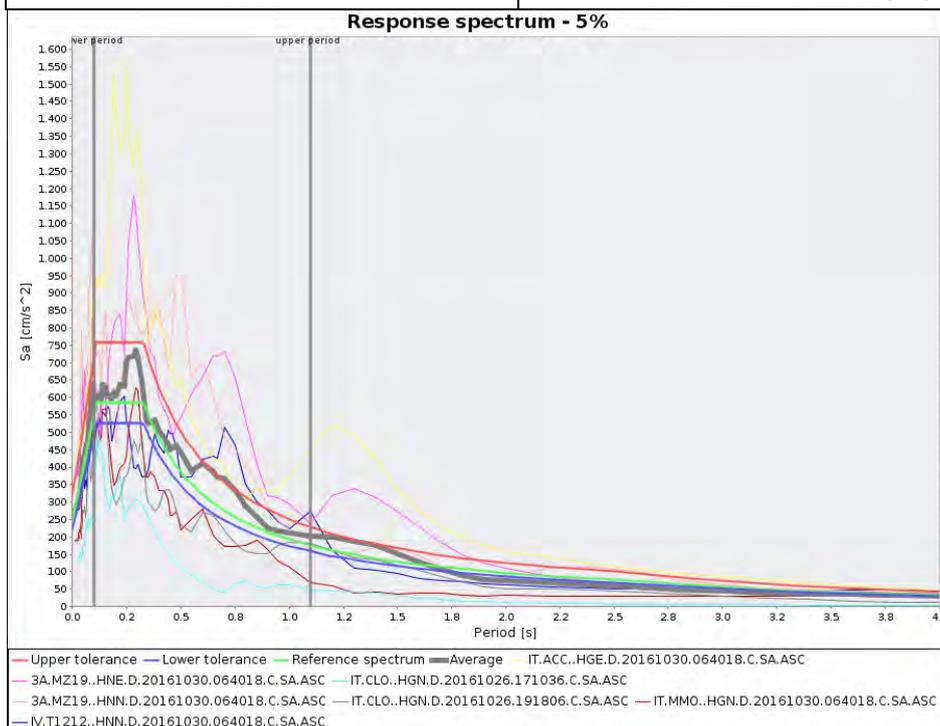
- a) Meccanismo focale (qualsiasi tipo).
- b) Intervalli di magnitudo e distanza (estensione dell'intervallo).
- c) Inclusione di registrazioni analogiche.
- d) Estensione della classificazione di sito alle classi B e B* (ove per B* si intendono i siti di categoria B classificati sulla base della descrizione della geologia di superficie).

Utilizzo di dati internazionali, non disponibili in ITACA o ESM.

Comune	Latitudine	Longitudine	a_g	T_b	Tc	Td	A_{flat}
Preci	42.87868	13.03872	0.2495	0.1100	0.3300	2.5980	0.5958

La corrispondenza delle sigle degli accelerogrammi utilizzati è:

Sigla adottata	Nome file di input .ASC
Acc1	3A.MZ19..HNE.D.20161030.064018.C.ACC
Acc2	3A.MZ19..HNN.D.20161030.064018.C.ACC
Acc3	IT.ACC..HGE.D.20161030.064018.C.ACC
Acc4	IT.CLO..HGN.D.20161026.171036.C.ACC
Acc5	IT.CLO..HGN.D.20161026.191806.C.ACC
Acc6	IT.MMO..HGN.D.20161030.064018.C.ACC
Acc7	IV.T1212..HNN.D.20161030.064018.C.ACC

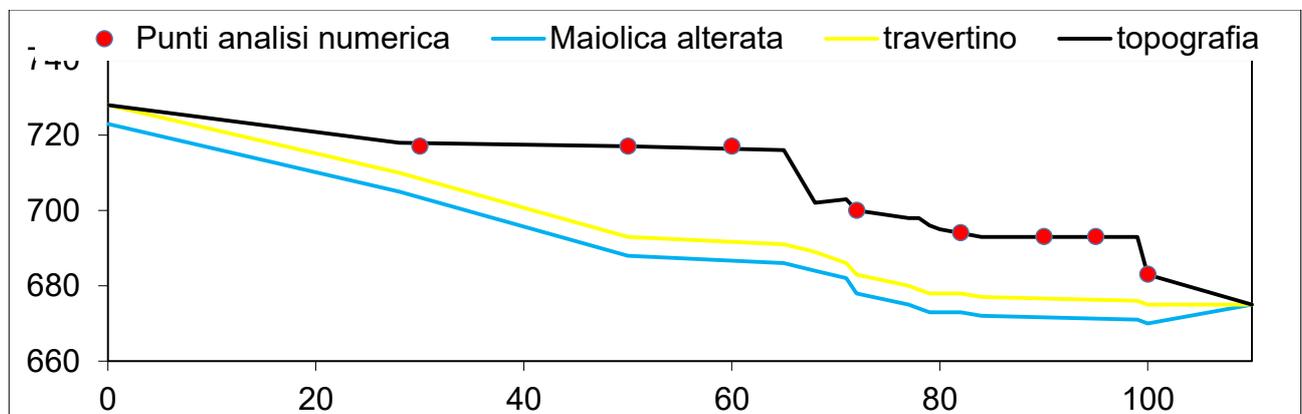


2. Definizione del profilo geologico e geofisico e delle caratteristiche geofisiche

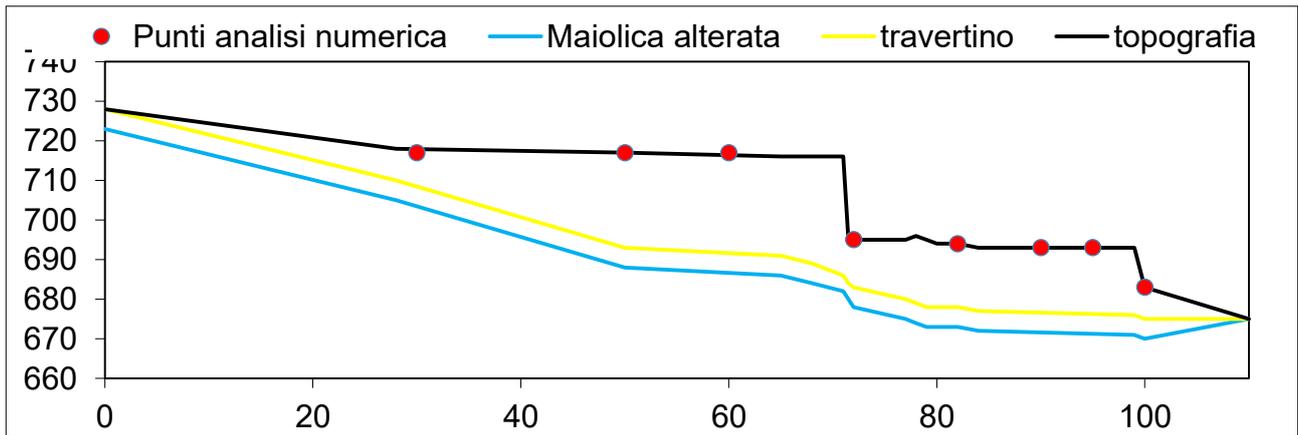
Le analisi sono state effettuate su 1 sezione geologica-geofisica rappresentativa dell'area in studio, che è stata ritenuta quella più rappresentativa in quanto è stata ricostruita tenendo conto di tutte le informazioni derivanti dalle indagini dirette ed indirette. L'analisi è stata fatta anche per la situazione ante sisma 2016-



Ubicazione sezione geologico-geofisica.



Sezione geologico-geofisica 1.



Sezione geologico-geofisica 2- ante sisma 2016.

Per le sezioni analizzate sono riportati: la rappresentazione della sezione su base cartografica, la sezione analizzata con le sigle delle unità geofisiche presenti, le caratteristiche geofisiche ed i punti in cui eseguire i calcoli di amplificazione sismica (sono gli stessi per le 2 sezioni ad eccezione del punto 4 a partire da sinistra).

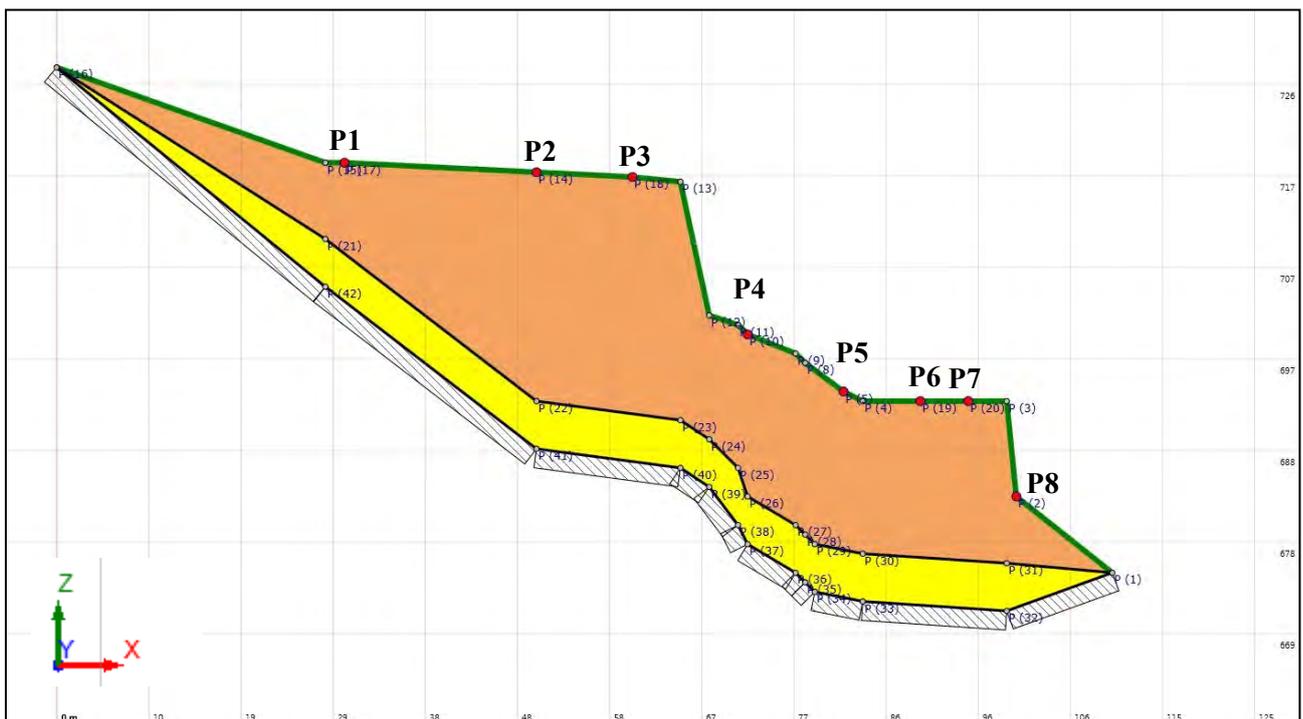
Denominazione unità geofisica	media Vs (m/s)	media Vp (m/s)	gamma (kN/mc)
travertino	350	950	17
Maiolica alterata	500	1200	22
Maiolica	900	2200	24

3. Valutazione della risposta sismica locale

Le modellazioni numeriche sono state effettuate dal Politecnico di Milano (Prof.ssa Floriana Pergalani).

Le analisi numeriche sono state effettuate nei punti di indagine, riportati nelle sezioni, scelti dal Servizio Geologico della Regione Umbria.

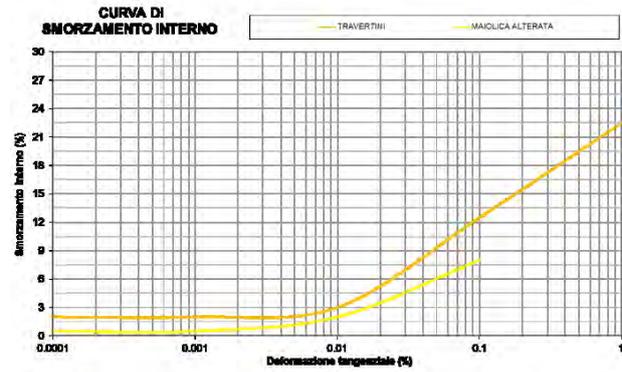
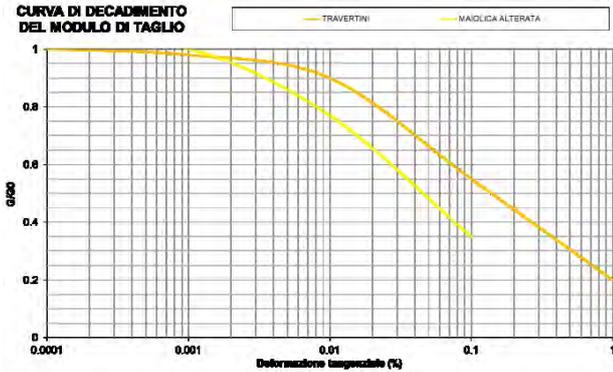
MODELLO sezione 1:



CURVE DI DECADIMENTO:

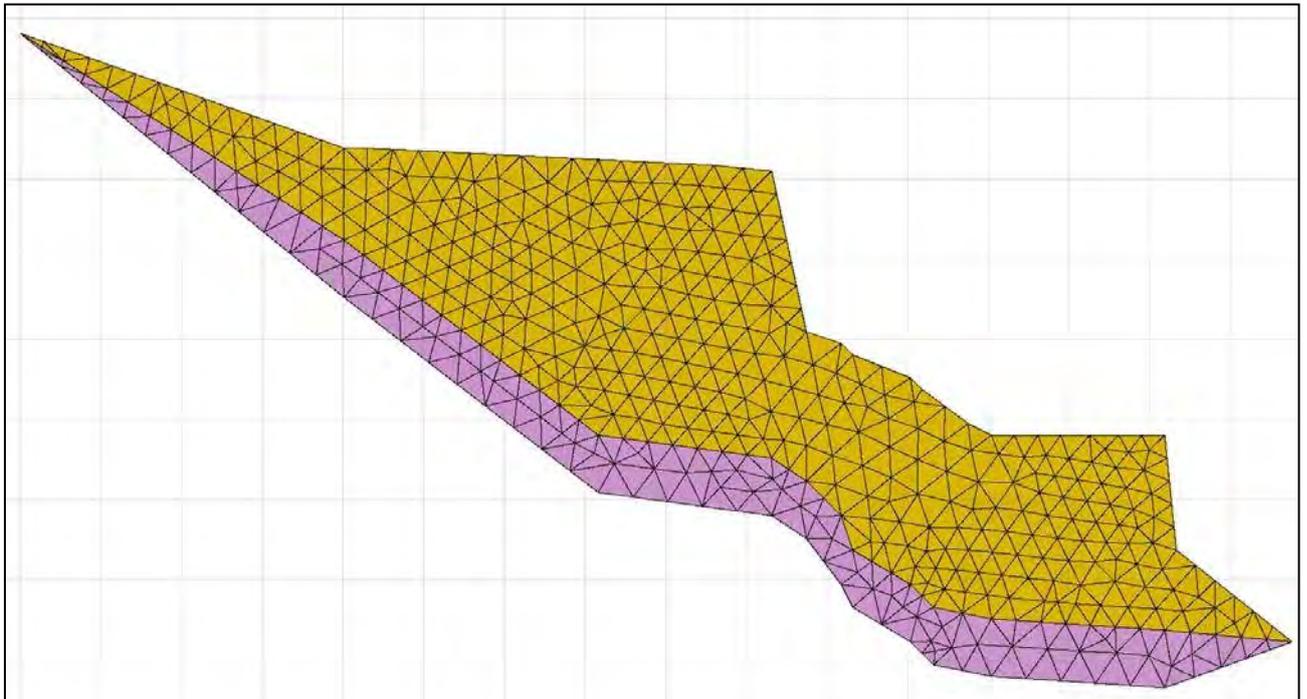
Per i travertini si è fatto riferimento ai dati utilizzati per litologie analoghe negli studi di Microzonazione Speditiva 1997-98 e valutazione delle amplificazioni nei siti di Terni (2003).

Per la Maiolica alterata si è fatto riferimento ai dati utilizzati per litologie analoghe degli studi di Microzonazione MS3 condotte a seguito degli eventi sismici 2016-17.

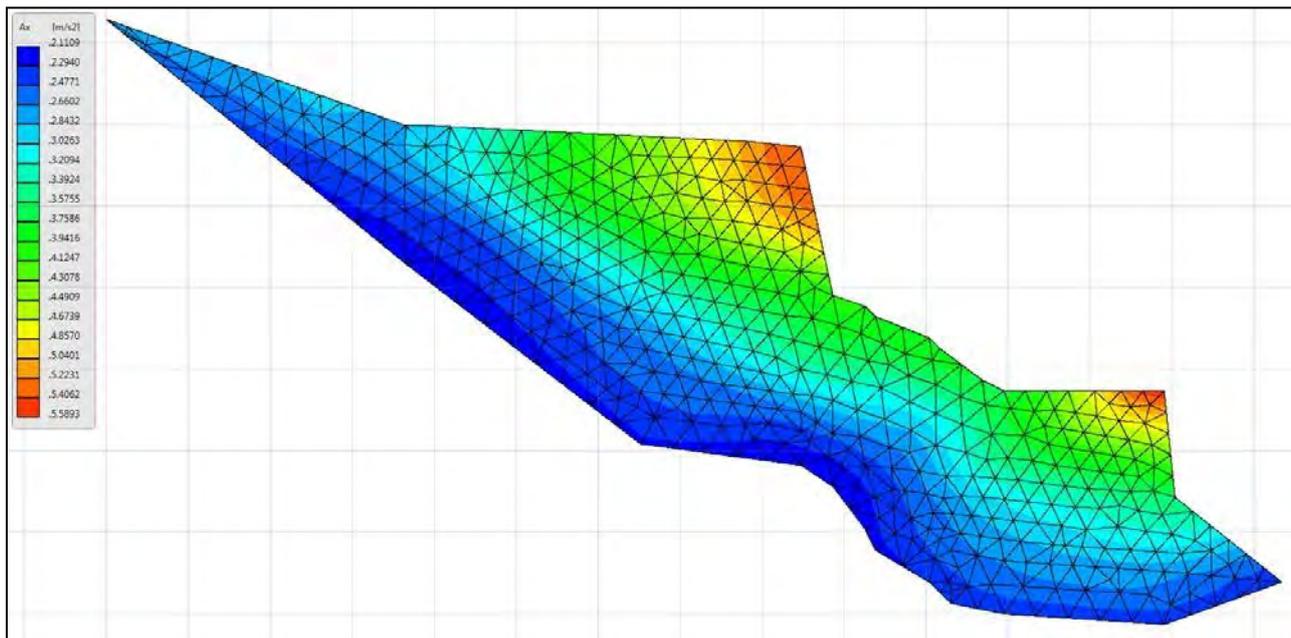


Si forniscono i risultati per ciascun punto d'analisi come richiesto espressi in termini di spettri di risposta elastici in accelerazione al 5% dello smorzamento critico per ciascun accelerogramma utilizzato e per la relativa media, oltre ai valori dei fattori di amplificazione per i periodi 0.1-0.5, 0.4-0.8 e 0.7-1.1 s.

MOTO DI INPUT: Tr 475 anni
(MS3 Preci) MESH DI ANALISI:



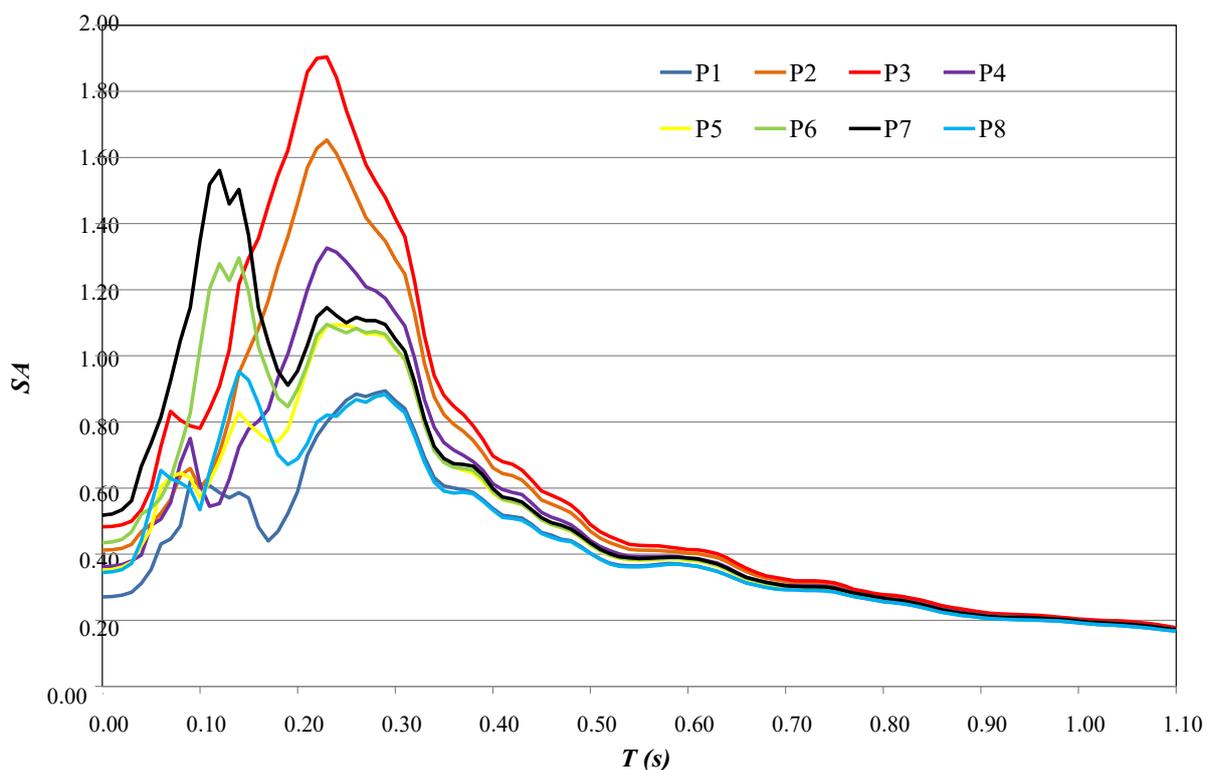
ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI MEDIE IN X



VALORI MEDI DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE PER I SINGOLI PUNTI DI ANALISI

<i>F_a</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>	<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>P8</i>
<i>0.1 – 0.5 s</i>	1.18	1.88	2.15	1.58	1.44	1.62	1.74	1.30
<i>0.4 – 0.8 s</i>	1.10	1.25	1.30	1.19	1.16	1.16	1.17	1.10
<i>0.7 – 1.1 s</i>	1.05	1.11	1.13	1.09	1.07	1.08	1.08	1.05

SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI MEDI PER I SINGOLI PUNTI DI ANALISI



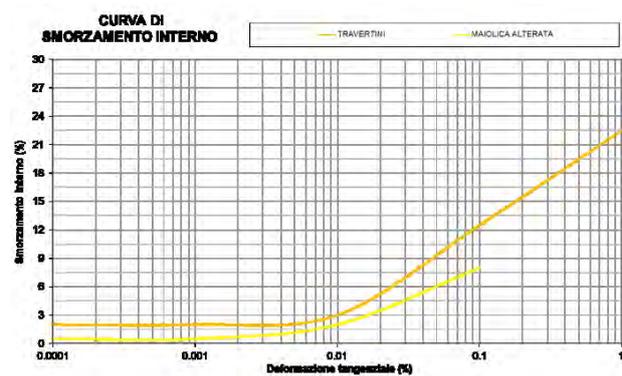
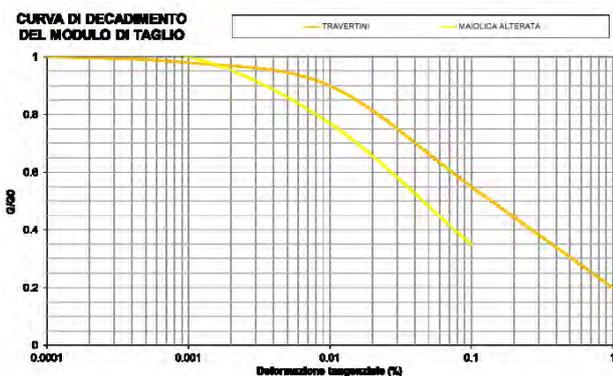
MODELLO sezione 2 – ante sisma 2016:



CURVE DI DECADIMENTO:

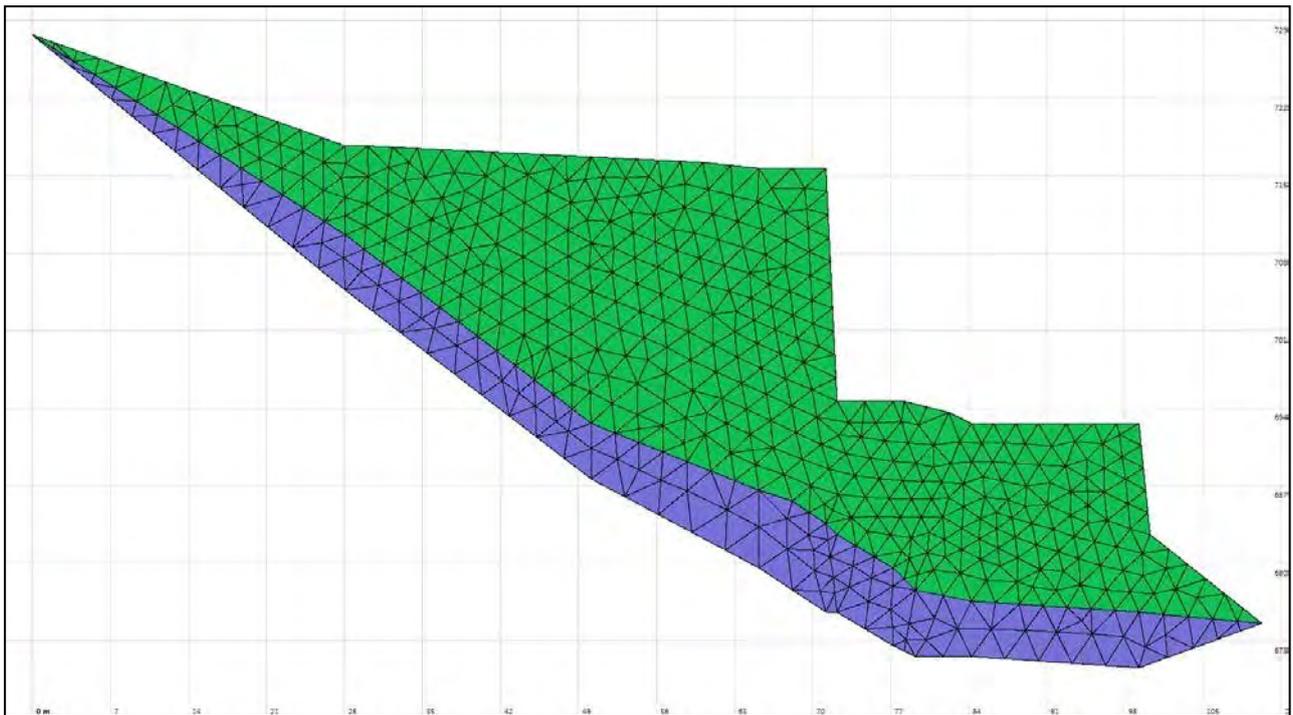
Per i travertini si è fatto riferimento ai dati utilizzati per litologie analoghe negli studi di Microzonazione Speditiva 1997-98 e valutazione delle amplificazioni nei siti di Terni (Contratto 2003)

Per la Maiolica alterata si è fatto riferimento ai dati utilizzati per litologie analoghe degli studi di Microzonazione MS3 condotte a seguito degli eventi sismici 2016-17.

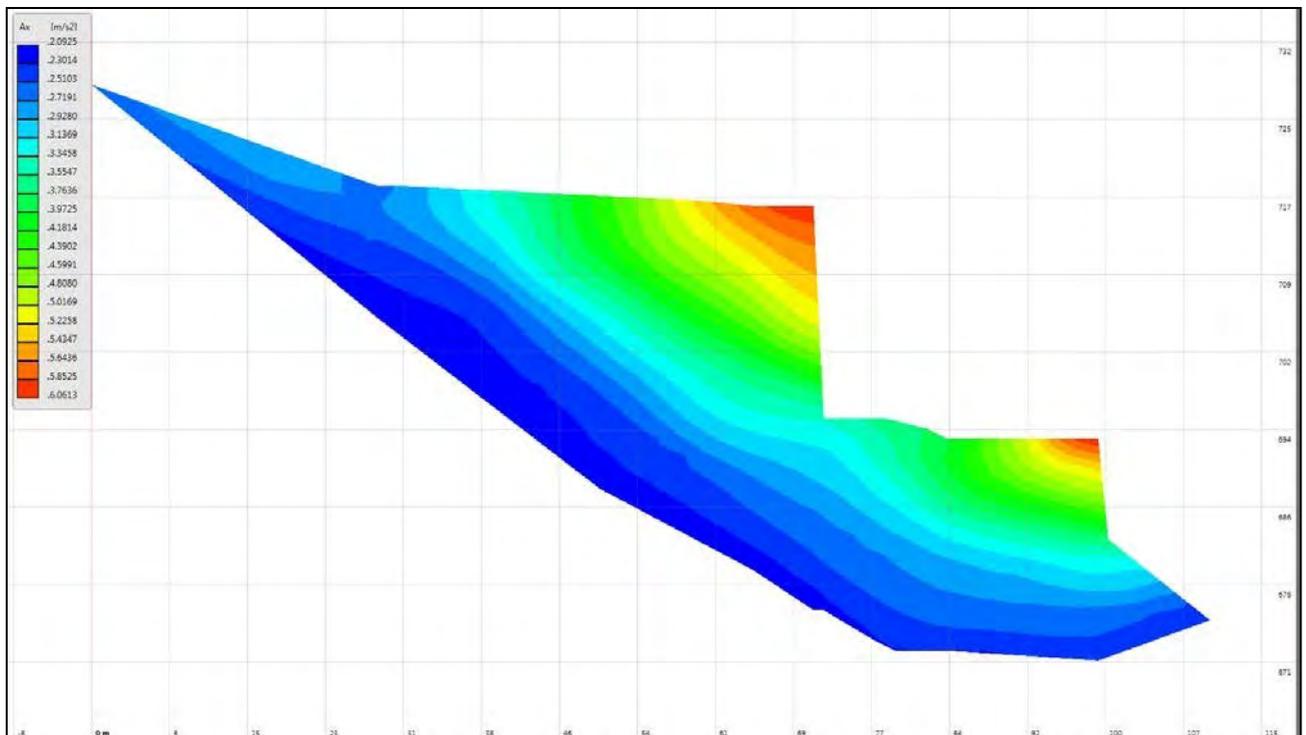


Si forniscono i risultati per ciascun punto d'analisi come richiesto espressi in termini di spettri di risposta elastici in accelerazione al 5% dello smorzamento critico per ciascun accelerogramma utilizzato e per la relativa media, oltre ai valori dei fattori di amplificazione per i periodi 0.1-0.5, 0.4-0.8 e 0.7-1.1 s.

MOTO DI INPUT: Tr 475 anni
(MS3 Preci) MESH DI ANALISI:



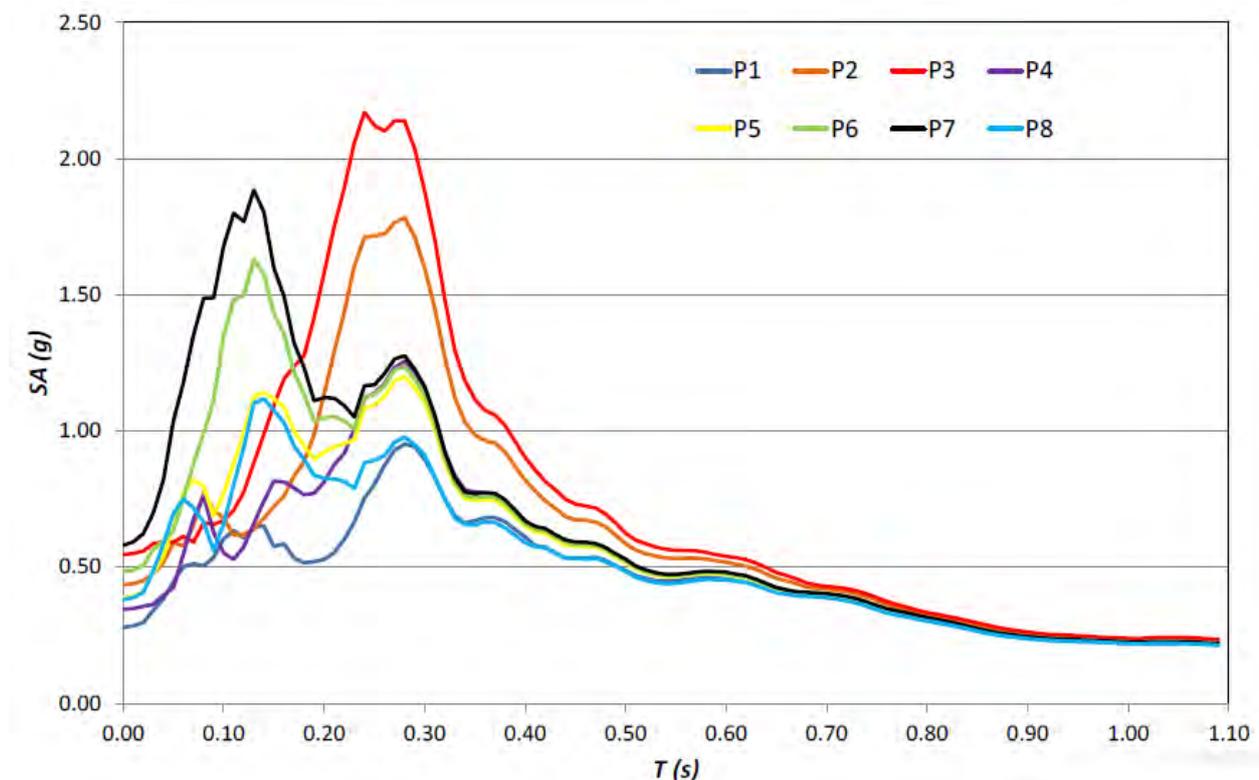
ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI MEDIE IN X



VALORI MEDI DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE PER I SINGOLI PUNTI DI ANALISI

<i>Fa</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>	<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>P8</i>
0.1 – 0.5 s	1.12	1.76	2.15	1.37	1.49	1.73	1.88	1.32
0.4 – 0.8 s	1.14	1.36	1.46	1.21	1.19	1.21	1.22	1.13
0.7 – 1.1 s	1.07	1.15	1.18	1.09	1.09	1.10	1.10	1.06

SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI MEDI PER I SINGOLI PUNTI DI ANALISI



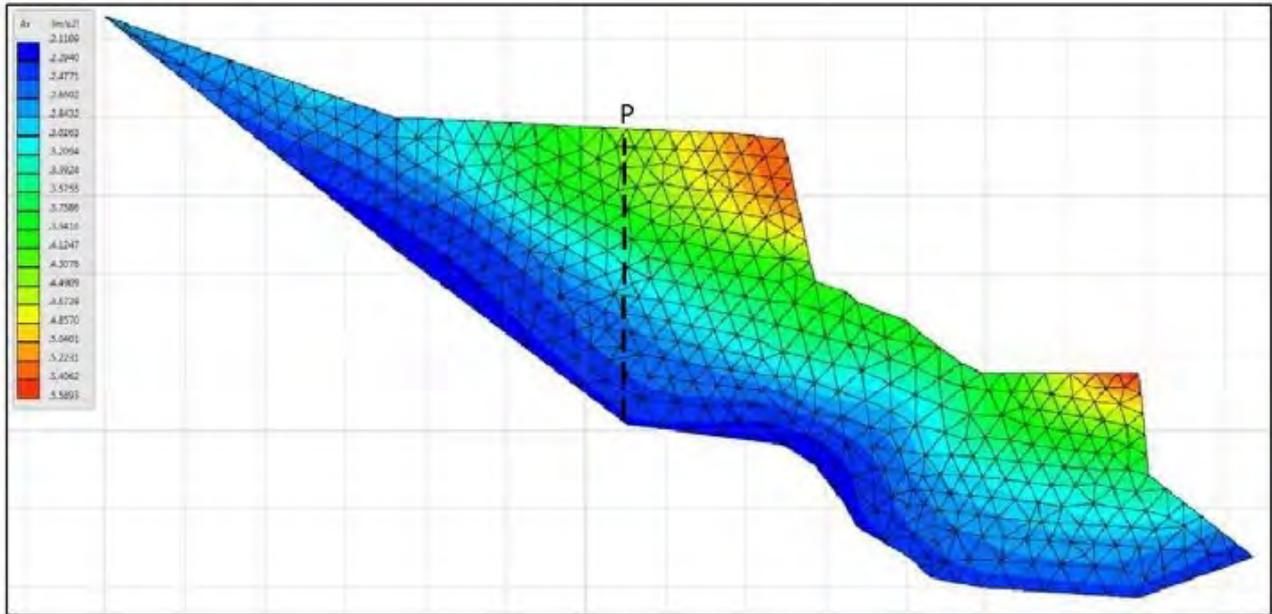
4. Conclusioni

Vi è una zona con elevate amplificazioni delle forze sismiche che corrisponde alla parte alta della parete del travertino e del ripiano restrostante alla stessa e presenta amplificazioni molto elevate fino a più del raddoppio del fattore di amplificazione per il periodo compreso tra 0.1-0.5s; inoltre siamo nella situazione in cui le amplificazioni allo stato attuale sono più elevate rispetto alla situazione ante sisma 2016, in cui tutte le strutture che erano presenti sul ripiano crollarono in modo rovinoso sopra l'Abbazia e la struttura seminariale. In tale zona, o in situazioni simili artificialmente ricostruite, sono sconsigliate le edificazioni di qualsiasi struttura in elevazione poiché saranno soggette agli stessi fenomeni che hanno portato al crollo delle strutture nel 2016. Gli spettri di risposta elastici medi della situazione attuale rispetto alla situazione ante sisma 2016 hanno all'incirca gli stessi valori ma presentano una forma leggermente diversa.

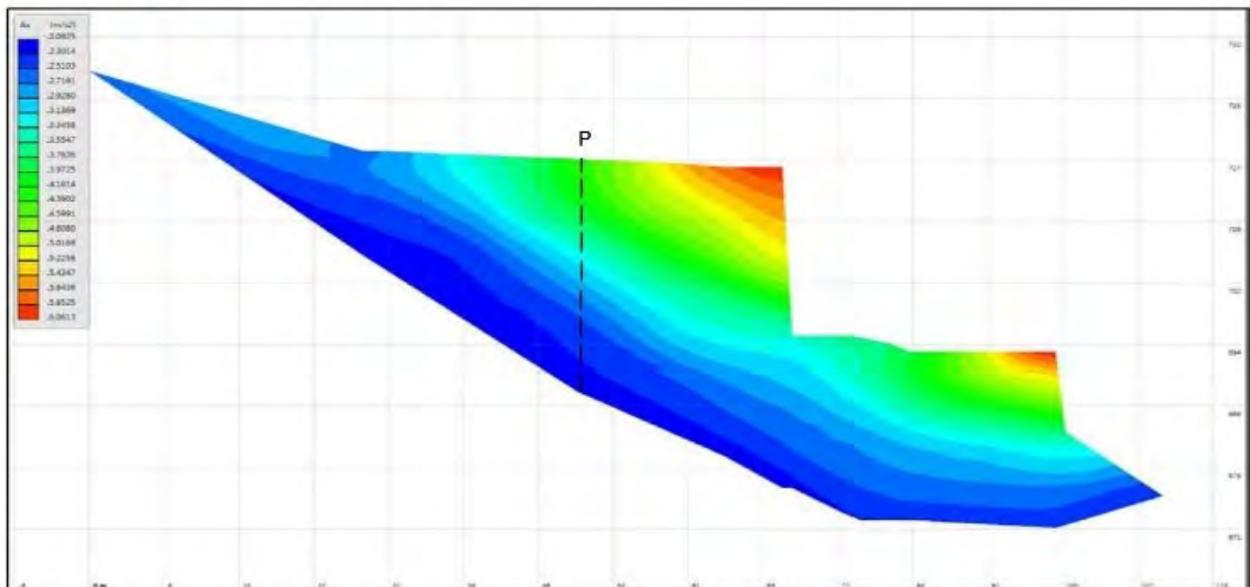
Vi è poi una zona che presenta amplificazioni medie nell'area in cui è fondato il paramento di valle della struttura seminariale.

Nelle figure seguenti sono mostrate le accelerazioni nella situazione attuale e ante sisma 2016 e nelle figure con la lettera P e la linea a tratteggio è indicato il pozzo di grande diametro tirantato.

ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI MEDIE IN X



ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI MEDIE IN X



In ultimo è importante far notare che la grotta che è stata scavata dagli eremiti circa 1500 anni fa, si trovava in un'area con accelerazioni molto basse come riportato nella figura seguente relativa alla situazione ante sisma 2016.

ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI MEDIE IN X

