



**COMMISSARIO STRAORDINARIO  
RICOSTRUZIONE SISMA - 2016**

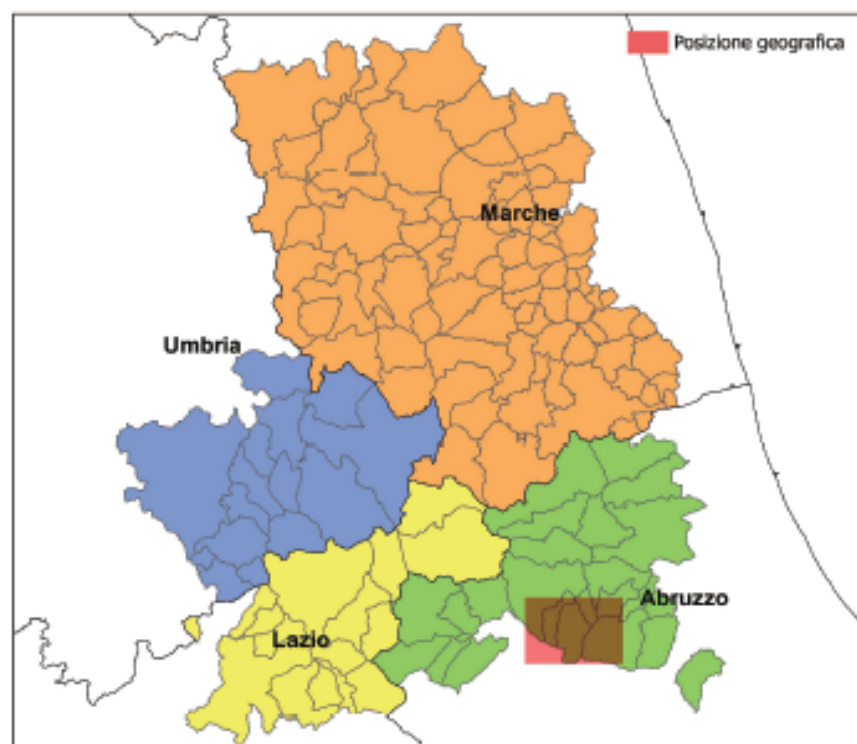
Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Pietracamela ai sensi  
dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 registrata  
il 15 maggio 2017 al n. 1065

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione Illustrativa

### Regione Abruzzo

#### Comune di Pietracamela



Soggetto Realizzatore

**Dott. Geol.  
Massimiliano Fazzini**

Data e revisione

**21/12/2017**

**CENTROMS**

CENTRO PER LA  
MICROZONAZIONE SISMICA  
E LE SUE APPLICAZIONI

## Indice

1	Introduzione .....	4
1.1	Finalità degli studi e riferimenti normativi .....	6
1.2	Elaborati prodotti .....	8
2	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento .....	8
2.1	Sismicità storica dell'area di studio .....	10
2.1.1	La sequenza del 2016 .....	13
2.2	Sorgenti sismogenetiche .....	21
3	Assetto geologico e geomorfologico dell'area .....	23
3.1	Contesto geografico geomorfologico .....	24
3.2	Contesto geologico stratigrafico.....	26
3.2.1	Successione carbonatica meso-cenozoica di base di scarpata - bacino prossimale .....	28
4	Dati geognostici e geofisici .....	31
4.1	Indagini di repertorio.....	31
4.2	Indagini eseguite per la microzonazione sismica .....	33
4.2.1	Indagini realizzate in situ .....	33
4.2.2	Indagini realizzate in laboratorio .....	42
5	Modello del sottosuolo.....	44
5.1	Substrato .....	49
5.1.1	Unità Geologiche Marine.....	49
5.1.2	Depositi terrigeni sin-orogenici di avanfossa .....	50
5.2	Terreni di copertura.....	52
6	Interpretazioni e incertezze.....	53
6.1	Valutazione dei corpi di frana.....	53
6.2	Frequenza naturale dei terreni ( $f_0$ ) e bedrock.....	55
6.3	Caratteri ed incertezze dell'interpolazione dei fattori di amplificazione .....	56
7	Metodologie di elaborazione e risultati .....	57
7.1	Zone stabili .....	58
7.2	Zone suscettibili di amplificazioni locali .....	58
7.2.1	Risposta sismica locale con modellazioni numeriche.....	59
7.3	Zone instabili .....	91
8	Elaborati cartografici .....	93
8.1	Carta delle indagini (Tavola 1) .....	94
8.2	Carta Geologico Tecnica microzonazione sismica (Tavola 2) .....	95
8.2.1	Terreni di copertura.....	95
8.2.2	Substrato geologico .....	96

**MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)**

8.2.3	Forme di superficie e sepolte .....	97
8.2.4	Instabilità di versante .....	97
8.2.5	Elementi tettonico-strutturali .....	97
8.2.6	Elementi geologici ed idrogeologici.....	98
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni (Tavola 3) .....	98
8.4	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Tavola 4).....	98
8.4.1	Zone stabili .....	100
8.4.2	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.....	100
8.5	Carte di microzonazione sismica (Tavole 5, 6, 7) .....	101
9	Commenti finali e criticità.....	103
10	Bibliografia .....	104
11	Allegati .....	108

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

*Coordinamento dello studio di  
Microzonazione Sismica:*

dott. geol. Massimiliano Fazzini

*Redazione della relazione:*

dott. Luca Minarelli  
prof. Marco Stefani  
dott. geol. Massimiliano Fazzini  
dott. Davide Franciosi

*Creazione geodatabase dei dati  
geologici e geotecnici:*

dott. Luca Minarelli  
dott. Andrea Pavanati  
dott. Matteo Fusetti

*Elaborazione tavole cartografiche:*

dott. Luca Minarelli  
dott. Andrea Pavanati

*Elaborazione dei dati stratigrafici:*

prof. Marco Stefani  
dott. Luca Minarelli

---

*Esecuzione ed elaborazione prove  
geognostiche in situ e laboratorio:*

Geo S.r.l. - Arpino (FR)

*Esecuzione ed elaborazione indagini  
MASW:*

Progeo s.r.l. - Forlì (FC)

*Esecuzione ed elaborazione misure di  
microtremore a stazione singola:*

dott. Luca Minarelli

## **1 Introduzione**

In seguito alla sequenza sismica che ha avuto la sua fase più intensa tra il 24 agosto ed il 30 ottobre 2016, ed è tuttora in corso, la Presidenza del Consiglio dei Ministri ha emesso l'“Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 registrata il 15 maggio 2017 al n. 1065”, al fine di realizzare studi di microzonazione sismica negli ambiti urbanizzati e suscettibili di urbanizzazione dei 138 comuni dell'area epicentrale (o cratere) attribuendo al comune di Pietracamela i contributi per la realizzazione del presente studio di microzonazione sismica di terzo livello.

Il percorso di microzonazione sismica di terzo livello del Comune di Pietracamela è stato alquanto articolato ed ha visto la partecipazione diretta della Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento Nazionale per la Protezione Civile e di altre Istituzioni accademiche e di ricerca di seguito elencate:

- Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente (DTA);
- Istituto per l'Ambiente Marino e Costiero (IAMC), Napoli;
- Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali (IDPA), Milano;
- Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG), Roma;
- Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA), Potenza;
- Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA);
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV);
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA);
- Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS);
- Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali (DSBGA), Università degli Studi di Catania;
- Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA), Politecnico di Milano;
- Dipartimento di Scienze della Terra (DST), Sapienza Università di Roma;
- Dipartimento Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente (DSFTA), Università di Siena;
- Dipartimento di Fisica e Geologia (DFG) - Università degli Studi di Perugia;
- Dipartimento di Bioscienze e Territorio (DiBT) - Università degli Studi del Molise;
- Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA) - Università degli Studi di Napoli Federico II;
- Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA) - Università degli Studi di Roma “La Sapienza”;
- Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICEA) - Università degli Studi di Firenze;

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

- Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale (DICEAA) - Università degli Studi dell'Aquila;
- Dipartimento di Ingegneria Strutturale Edile e Geotecnica (DISEG) - Politecnico di Torino;
- Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica (DISG) - Università degli Studi di Roma "La Sapienza";
- Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV) - Università degli Studi di Genova;
- Dipartimento di Scienze e Tecnologie (DST) - Università degli Studi del Sannio;
- Dipartimento di Ingegneria e Geologia (INGEO) - Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara;
- Scuola di Scienze e Tecnologie (SST) - Università degli Studi di Camerino.

Più in particolare, il CNR DTA, attraverso il CNR IGAG ha coordinato le attività del CentroMS coadiuvato da un Comitato d'Indirizzo, organo collegiale formato da un rappresentante per ognuna delle Istituzioni coinvolte. Il CentroMS ha avuto fra i suoi obiettivi quello di fornire supporto scientifico e tecnico ai soggetti istituzionalmente interessati alla microzonazione sismica ed alle sue applicazioni, con particolare riferimento alla pianificazione urbanistica ed alle problematiche geologiche, geotecniche e geofisiche connesse all'emergenza sismica.

Il CentroMS si è proposto di realizzare i suoi obiettivi attraverso:

1. lo **sviluppo di metodologie e aggiornamenti sugli studi di microzonazione sismica** e sulle sue applicazioni;
2. la promozione di **formazione** teorica e operativa;
3. la fornitura di **supporto tecnico scientifico** per la realizzazione e il coordinamento degli studi, anche nella fase della prima emergenza;
4. la **promozione dell'informazione** ai soggetti interessati e ai cittadini.

Le attività del CentroMS sono state complementari a quelle svolte dalle altre Istituzioni scientifiche che operano nel campo della pericolosità sismica di base e della vulnerabilità delle strutture, integrandone le competenze geologiche, geotecniche e geofisiche per la valutazione degli effetti sismici locali.

## 1.1 Finalità degli studi e riferimenti normativi

Come prima accennato, lo studio di microzonazione sismica di terzo livello del Comune di Pietracamela è stato redatto sulla base delle indicazioni contenute nell'Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 registrata il 15 maggio 2017 al n. 1065".

Per quanto non specificato nel suddetto documento, i riferimenti tecnici per la realizzazione dello studio e per l'elaborazione e la redazione delle tavole cartografiche sono rappresentati dai seguenti testi:

- "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0b", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015), da qui in avanti "Standard MS 4.0b";
- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome (Gruppo di lavoro MS, 2008) e successive modifiche e integrazioni (AA.VV., 2011), da qui in avanti "ICMS".

Nella redazione dello studio si è fatto ulteriore riferimento alle disposizioni tecniche vigenti e dei seguenti riferimenti tecnici:

- Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. Disponibili nel sito web del Dipartimento della Protezione Civile, area "Rischio Sismico" ([http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view\\_pub.wp?contentId=PUB1137](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137));
- Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Ingegneria Sismica, Anno XXVIII - n.2 - 2011 ([http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/aggiornamento\\_indirizzi\\_microzonazione\\_sismica.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/aggiornamento_indirizzi_microzonazione_sismica.pdf));
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. a. Versione 4.0b. Roma, ottobre 2015. 122 pp. ([http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS\\_4\\_0b.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS_4_0b.pdf));
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma ([http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LineeGuidaFAC\\_v1\\_0.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LineeGuidaFAC_v1_0.pdf));

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2017. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ). Dipartimento della protezione civile, Roma. Versione 1.0 ([http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG\\_Liq\\_v1\\_0.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG_Liq_v1_0.pdf));
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR). Dipartimento della protezione civile, Roma. Versione 1.0 ([http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG\\_Frane\\_v1\\_0.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG_Frane_v1_0.pdf));
- Regione Emilia Romagna, 2015. Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica. Allegato A3 - Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento;
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2014. Linee guida per l'elaborazione della carta e delle sezioni geologico tecniche per la microzonazione sismica (CGT\_MS). Dipartimento della Protezione civile, Roma. Bozza, ver. 1.2 beta;
- Significato e contenuto degli studi di MS di livello 2 e 3 ([http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Significato\\_e\\_contenuto\\_degli\\_studi\\_di\\_MS\\_di\\_livello\\_2\\_e\\_3.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Significato_e_contenuto_degli_studi_di_MS_di_livello_2_e_3.pdf));
- Software per l'archiviazione delle indagini per la MS (SoftMS versione 4.0).

Come noto le caratteristiche geologiche e geomorfologiche locali possono determinare alterazioni nel moto sismico in superficie ed effetti di instabilità, come frane, liquefazioni o cedimenti eventualmente innescati in caso di sisma.

La finalità principale di questo specifico studio si individua nella creazione di uno strumento per la suddivisione del territorio indagato in aree omogenee, sia sulla base della risposta sismica dei terreni, sia per quanto concerne i possibili effetti locali indotti dallo scuotimento; in particolare, lo studio di terzo livello ha come finalità l'analisi dell'effettivo grado di pericolosità sismica delle aree riconosciute come instabili e/o potenzialmente instabili. Gli studi di microzonazione sismica si pongono quindi come strumenti fondamentali per la prevenzione e la riduzione del rischio sismico, fornendo elementi capaci di indirizzare le scelte di pianificazione urbanistica verso zone a minore pericolosità, ed orientare gli interventi di mitigazione in aree a rischio instabilità, fornendo anche utili indicazioni preliminari per la progettazione. Occorre a tal proposito sottolineare che le aree morfologicamente suscettibili di instabilità e quelle interessate da movimenti gravitativi attivi più o meno profondi rientrano nella zona di attenzione ma non sono state interessate dal calcolo del fattore di amplificazione.



Gli ambiti insediati e quelli urbanizzabili interessati dalla microzonazione sismica del terzo livello sono stati indicati dal Centro di microzonazione e, relativamente all'ambito aggiuntivo dei Prati di Tivo, dal Settore Ambiente del Comune di Pietracamela, anche in relazione a quanto stabilito nello strumento urbanistico generale PSC e nel Regolamento Urbanistico Edilizio RUE approvati.

## **1.2 Elaborati prodotti**

Gli elaborati di riferimento dello studio di microzonazione sismica sono rappresentati dalle tavole cartografiche di sintesi e dagli archivi digitali contenenti i dati informatizzati ad esse associate.

La relazione illustrativa rappresenta, invece, il documento tecnico che accompagna gli elaborati cartografici; essa illustra i criteri adottati per studio, descrive le metodologie d'analisi dei dati ed i risultati del percorso di microzonazione, oltre ad inquadrare il territorio nel contesto geologico e sismotettonico regionale.

Nel complesso il presente studio di microzonazione sismica è costituito da:

- 4 Tavole cartografiche, dettagliatamente descritte al capitolo 8;
- 7 Sezioni geologiche;
- Archivi digitali dei dati informatizzati;
- Relazione illustrativa;
- Rapporti di prova delle indagini di nuova esecuzione.

L'obbligo di attenersi in maniera rigorosa ai suddetti standard, ha vincolato lo studio di microzonazione sia a livello di organizzazione della relazione illustrativa, in tema di contenuti, titoli ed ordine dei capitoli trattati, sia a livello cartografico, in merito a numerazioni, tematismi, layout, legende e font utilizzati nelle diverse tipologie di elaborati prodotti.

## **2 Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento**

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al proprio assetto tettonico - strutturale, dunque alla presenza di quelle che vengono definite strutture "geologicamente attive". Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio, oltre alle conoscenze legate all'evoluzione delle principali strutture deformative esistenti, risultano fondamentali anche quelle relative alla storia sismica del territorio stesso, cioè tutte le informazioni riguardanti i terremoti avvenuti in epoca storica e gli effetti ad essi associati. L'inquadramento sismotettonico dell'area è stato pertanto realizzato anche attraverso la consultazione di diversi database pubblici, sviluppati da vari Enti e gruppi di ricerca:

- il CPTI15 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 2015 (Rovida *et al.*, 2016; <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>), che raccoglie dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$  d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014;
- il DBMI15 - Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 (Locati *et al.*, 2016; <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>), che fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014;
- il DISS versione 3.2.0 - Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane (DISS Working Group, 2015; <http://diss.rm.ingv.it>), che contiene informazioni relative a sorgenti individuali e composite in grado di generare terremoti di magnitudo pari a 5.5 o superiore. Le sorgenti sono rappresentate in pianta in modo semplificato tramite segmenti o aree georeferenziate che indicano rispettivamente singole faglie (sorgenti individuali) o regioni contenenti faglie (sorgenti composite). Per ognuna delle sorgenti il database contiene informazioni che consentono la ricostruzione tridimensionale della struttura sismogenetica;
- il Database ISIDe (ISIDe Working Group 2010; <http://iside.rm.ingv.it>), che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale relative ai terremoti avvenuti dal 2003 ad oggi; tale portale, attualmente in fase di dismissione, sarà sostituito dal nuovo sito del Centro Nazionale Terremoti raggiungibile al seguente indirizzo: <http://cnt.rm.ingv.it/> ;
- il Catalogo della Sismicità Italiana (Castello *et al.*, 2006; <http://csi.rm.ingv.it/>), che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 1981 al 2002;
- il CFTI4Med - Catalogo dei Forti Terremoti in Italia e in area mediterranea (Guidoboni *et al.*, 2007; <http://storing.ingv.it/cfti4med/>), che riporta, per numerose località, i risentimenti di circa 300 tra i più forti terremoti storici italiani, e fornisce informazioni sul contesto storico, sociale e demografico in cui gli eventi si sono prodotti. Nel catalogo sono anche presenti dati relativi ai parametri epicentrali, ad effetti locali sismoindotti (fagliazione superficiale, frane, maremoti, ecc.) e danni ai centri storici ed a beni monumentali;
- la Mappa di Pericolosità Sismica Nazionale (INGV, 2004; <http://esse1.mi.ingv.it/>), che definisce una "pericolosità di base" su un reticolo di punti di riferimento. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di  $a_g$  (accelerazione orizzontale

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

massima del suolo) e dei principali “parametri spettrali” riferiti all’accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell’azione sismica;

- la Zonazione Sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004; <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), che individua sul territorio italiano 42 macrozone-sorgente e che ha rappresentato il riferimento per i calcoli di pericolosità sismica di base a scala nazionale.

## 2.1 Sismicità storica dell’area di studio

La ricostruzione della sismicità storica del Comune di Pietracamela è stata effettuata basandosi innanzitutto sull’analisi del Database Macrosismico Italiano - DBMI15 (Locati et al., 2016), il quale consente la consultazione online dei dati macrosismici di tutte quelle località a cui sono associate osservazioni di danno riferibili ad almeno 3 eventi sismici nella finestra temporale 1000-2014.

In relazione al Comune di Pietracamela il database contiene 34 record relativi ad eventi sismici storici; data l’ampia mole di dati presenti, si è deciso di prendere in considerazione solamente quelli riportanti intensità macrosismiche IMCS  $\geq 5$  (Tabella 2-1 e Figura 2-1).

Per ciascun terremoto sono stati quindi riportati i valori di intensità macrosismica (IMCS) osservata nel territorio comunale in occasione degli eventi considerati, l’area epicentrale, il numero di Macroseismic Data Point (NMDP), l’intensità epicentrale ( $I_0$ ) e la magnitudo momento ( $M_w$ ) stimata mediante relazioni empiriche. I valori di intensità sono espressi in accordo con la scala Mercalli-Cancani-Sieberg (Sieberg, 1930), come riportato in Tabella 2-2.

IN OCCASIONE DEL TERREMOTO DEL:										EFFETTI
DATA						AREA EPICENTRALE	NMDP	$I_0$	$M_w$	IMCS PIETRACAMELA
Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se					
1804	05	22	19	15		Gran Sasso	24	8	5.42	V
1950	09	05	04	08		Gran Sasso	386	8	5.69	VII
1969	09	26	23	40	3	Teramano	97	5	4.39	V
1979	09	19	21	35	3	Valnerina	694	8-9	5.83	V
1984	05	07	17	50		Monti della Meta	912	8	5.86	V
2009	04	06	01	35	4	Aquilano	316	9-10	6.29	VI

Tabella 2-1 - Valori di intensità macrosismica osservati nel Comune di Pietracamela tratti dal database DBMI15 (Locati et al., 2016).

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

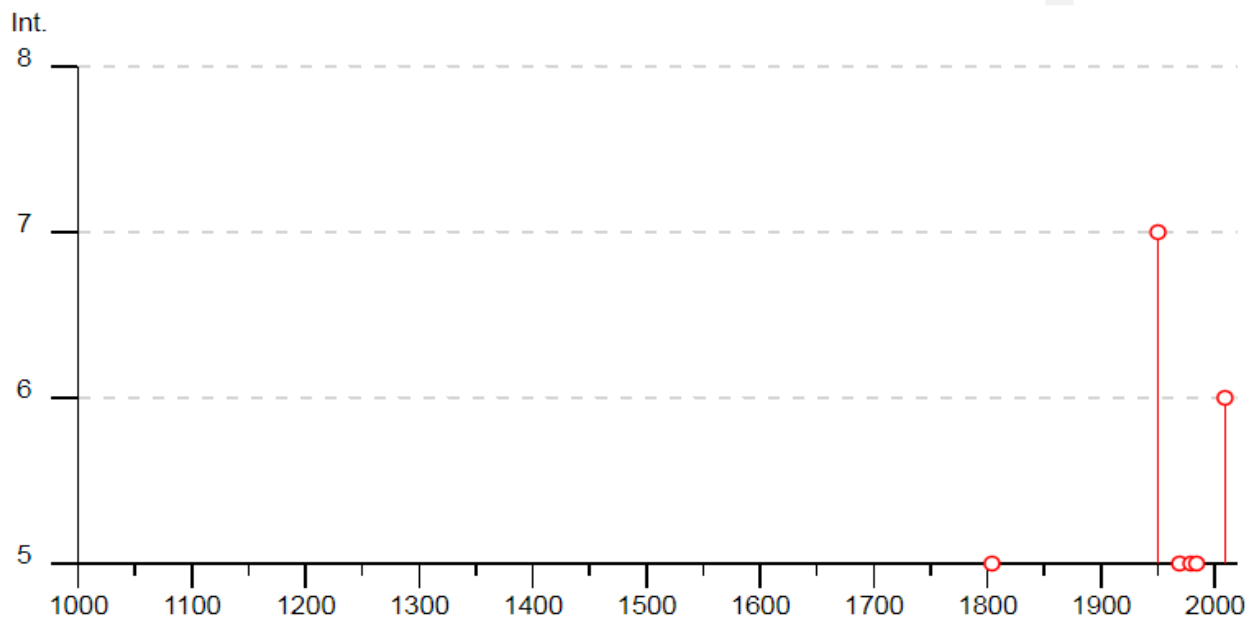


Figura 2-1 - Valori di intensità macrosismica IMCS  $\geq 5$  attribuite al Comune di Pietracamela, dall'anno 1000 al 2014, tratte dal database DBMI11 (Locati et al., 2016).

GRADO	SCOSSA	DESCRIZIONE DEGLI EFFETTI
IV	Moderata	Avvertita da molte persone, tremito di infissi e cristalli, leggere oscillazioni di oggetti appesi.
V	Piuttosto forte	Avvertita anche da persone addormentate, caduta di oggetti.
VI	Forte	Qualche leggera lesione negli edifici e finestre in frantumi.
VII	Molto forte	Caduta di fumaioli, lesioni negli edifici.
VIII	Rovinoso	Rovina parziale di qualche edificio; qualche vittima isolata.

Tabella 2-2 - Stralcio della scala delle intensità macrosismiche Mercalli-Cancani-Sieberg (Sieberg, 1930).

Come è possibile osservare dai dati disponibili, antecedentemente alla crisi sismica iniziata il 24 agosto 2016, i più recenti terremoti a maggiore intensità con epicentro nelle vicinanze dell'area di studio sono quelli che si sono verificati il 5 settembre 1950 ed il 6 aprile 2009, con valori di intensità macrosismica osservati nel territorio comunale rispettivamente di VII e di VI grado.

Di tali eventi si riportano in Figura 2-2 ed in Figura 2-3 le mappe con indicazione della distribuzione degli effetti macrosismici rispetto all'area del Comune di Pietracamela.



MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

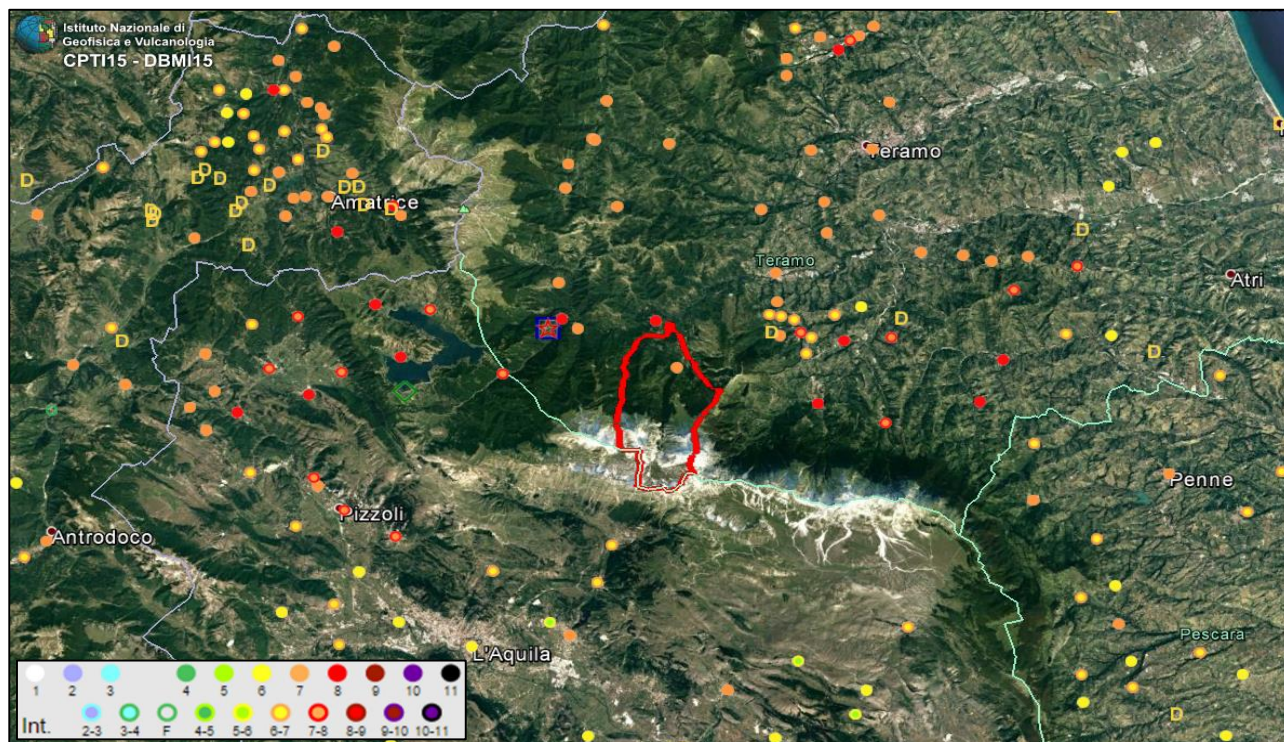


Figura 2-2 - Effetti della scossa del 5 settembre 1950. Dati DBMI15. In rosso è rappresentato il perimetro del Comune di Pietracamela che si colloca immediatamente ad est rispetto all'area epicentrale, in una fascia caratterizzata da intensità macrosismiche variabili tra il VII e l'VIII grado della scala MCS.

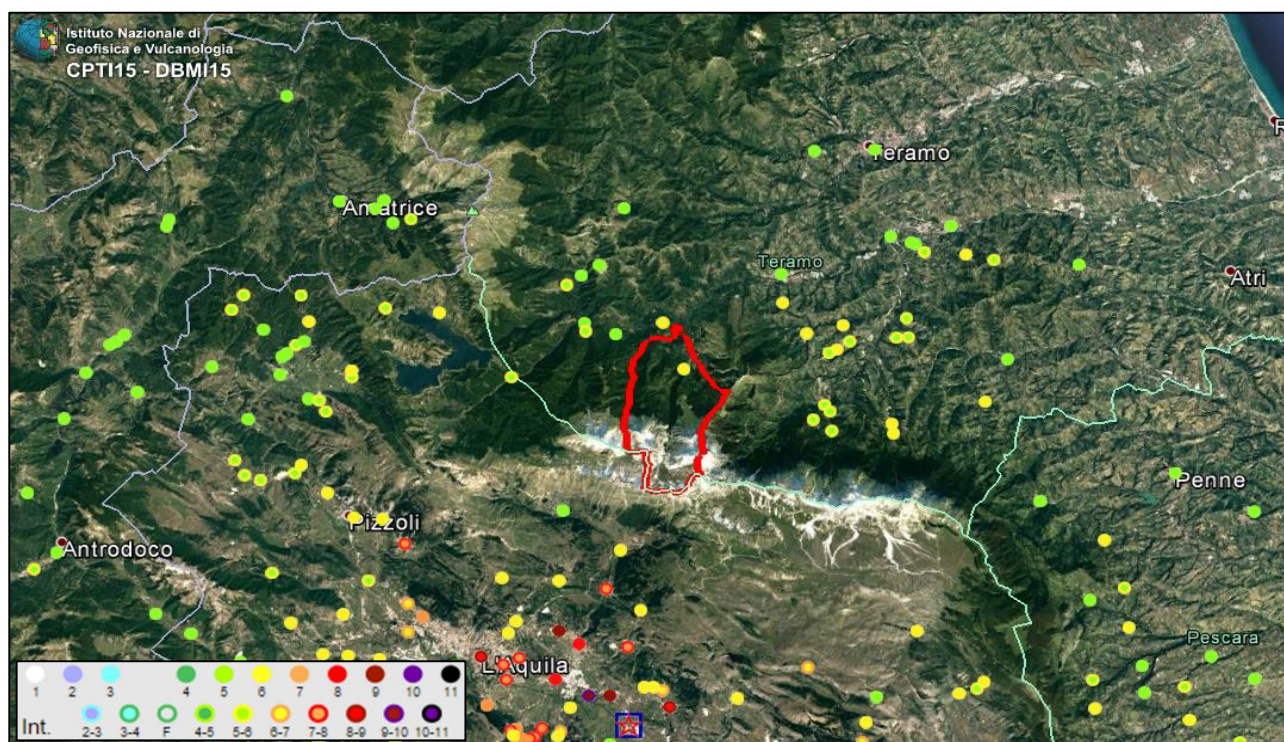


Figura 2-3 - Effetti della scossa del 6 aprile 2009. Dati DBMI15. In rosso è rappresentato il perimetro del Comune di Pietracamela che si colloca a nord rispetto all'area epicentrale, in una fascia caratterizzata da intensità macrosismiche variabili tra il V ed il VI grado della scala MCS.



## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

La Mappa di Pericolosità Sismica di riferimento (INGV, 2004) mostra, per l'area in esame, un'accelerazione massima attesa su suolo rigido compresa tra 0,225 - 0,250 e 0,250 - 0,275 g, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Figura 2-4).

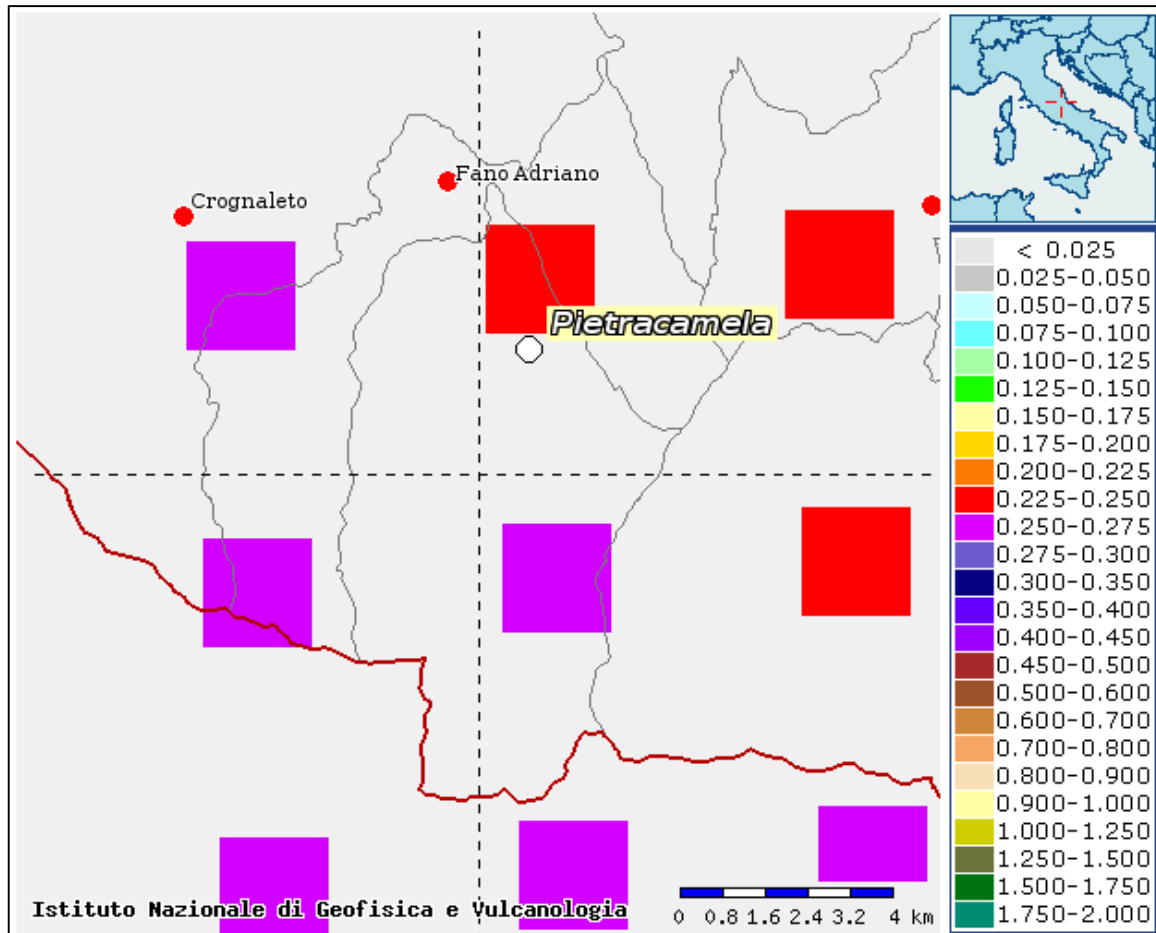


Figura 2-4 - Mappa di Pericolosità Sismica di riferimento nell'intorno dell'area di studio.

### 2.1.1 La sequenza del 2016

La sequenza sismica del centro Italia, iniziata con il terremoto di Mw 6.0 di Amatrice e la forte replica di Mw 5.4 avvenuti il 24 agosto 2016, è stata caratterizzata da forti terremoti, in particolare alla fine del mese di ottobre 2016. Il 26 ottobre due eventi di Mw 5.4 e 5.9 hanno interessato l'area posta al confine tra Marche ed Umbria tra i Comuni di Castelsantangelo sul Nera (MC), Norcia (PG) e Arquata del Tronto (AP). La mattina del 30 ottobre, un terremoto di Mw 6.5, avente epicentro non lontano da Norcia ha interessato l'intera area già profondamente interessata dalla sequenza sismica; quest'ultimo evento è stato il più forte terremoto registrato negli ultimi 30 anni in Italia. A quasi cinque mesi dall'inizio dell'emergenza sismica, il 18 gennaio 2017 si sono verificati quattro eventi di magnitudo >5.0. Gli eventi si collocano nella parte

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

meridionale della sequenza sismica. La sismicità 2016-2017 del centro Italia si sviluppa in un'area compresa tra la sequenza del 1997 (Umbria - Marche) a nord e la sequenza del 2009 (L'Aquila) a sud. In Figura 2-5 sono evidenziati in mappa i rapporti tra queste sequenze.

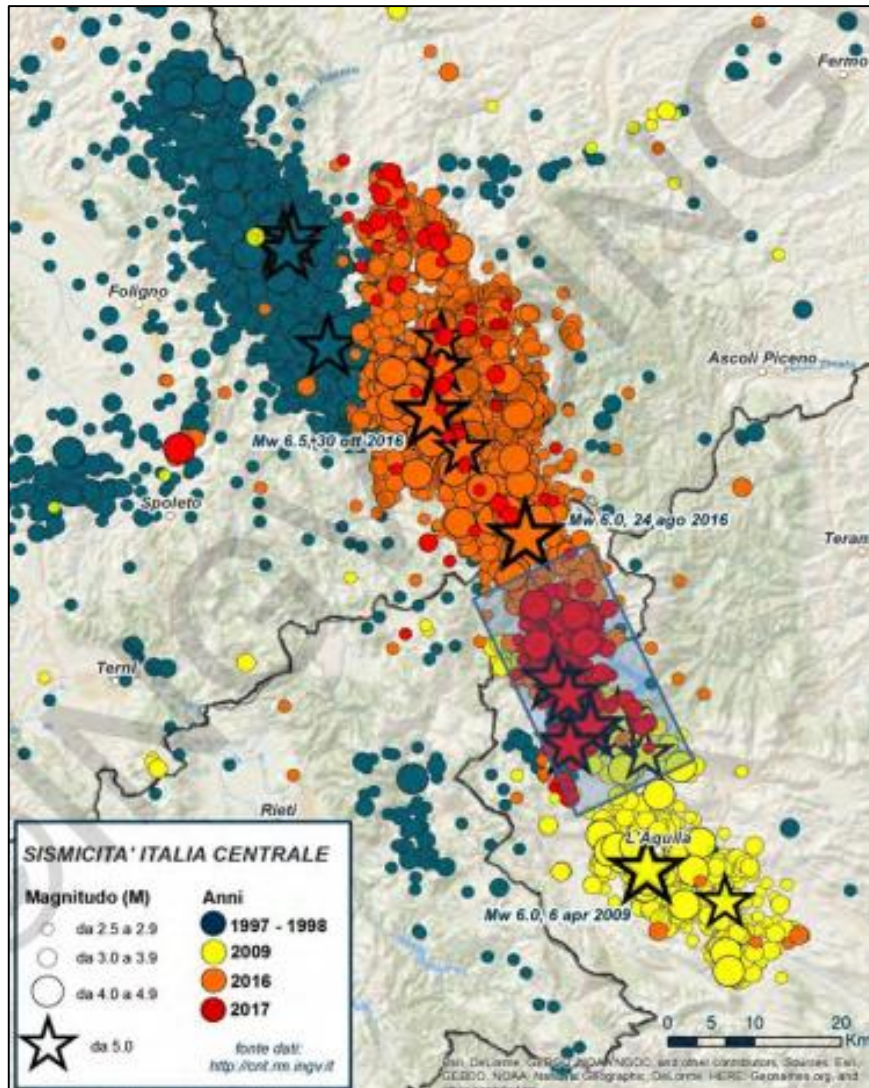


Figura 2-5 - Maggiori sequenze sismiche in Italia centrale negli ultimi anni. Sono riportati gli epicentri dei terremoti: in blu la sequenza sismica del 1997 (Umbria - Marche, Colfiorito), in giallo la sequenza del 2009 (L'Aquila), in arancione (2016) e in rosso (2017) la sismicità di questi ultimi 5 mesi. Nel rettangolo è rappresentata l'area dove la sismicità e il momento sismico rilasciato sono stati finora inferiori rispetto alle aree adiacenti e si possono attendere eventi di  $M > 5.5$ .

In Figura 2-6 è riportata la mappa degli epicentri aggiornati al 29\_01\_2017-01-30.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

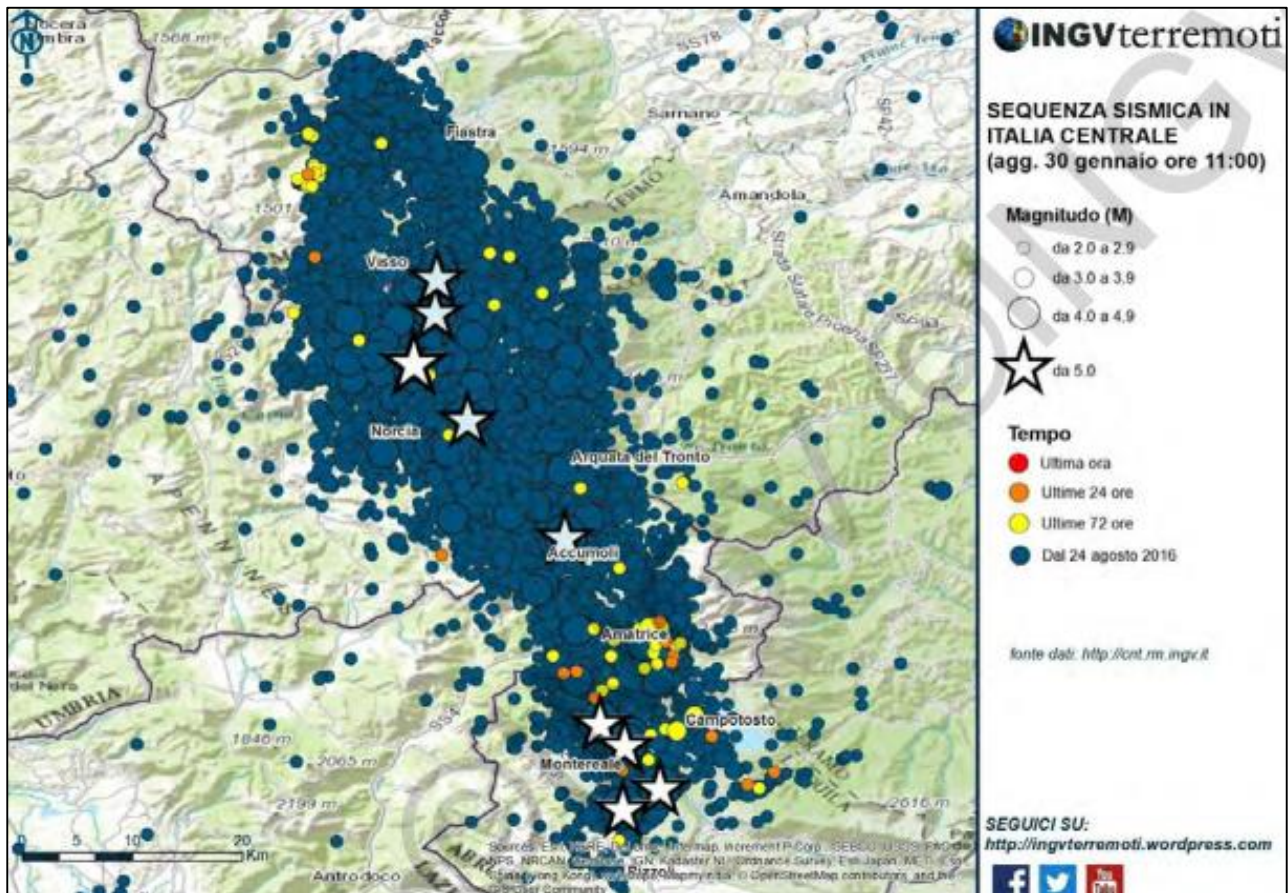


Figura 2-6 - Sequenza sismica in Italia centrale aggiornamento 30 gen 2017 ore 11. Mappa degli eventi sismici con magnitudo maggiore di 2.0, distribuzione degli epicentri della sequenza sismica del Centro Italia.

Le localizzazioni riportate sono quelle distribuite nella banca dati ISDe (Marchetti *et al.*, 2016; Annals of Geophysics, Vol. 59 2016, Fast Track 5 2016: The Amatrice seismic sequence: preliminary data and results). La sequenza sismica conta al momento oltre 50mila scosse localizzate, di cui 9 con magnitudo  $\geq 5.0$ , 59 con magnitudo tra 4.0 e 5.0, e quasi 1.000 eventi di magnitudo compresa tra 3.0 e 4.0 (Figura 2-7).



## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

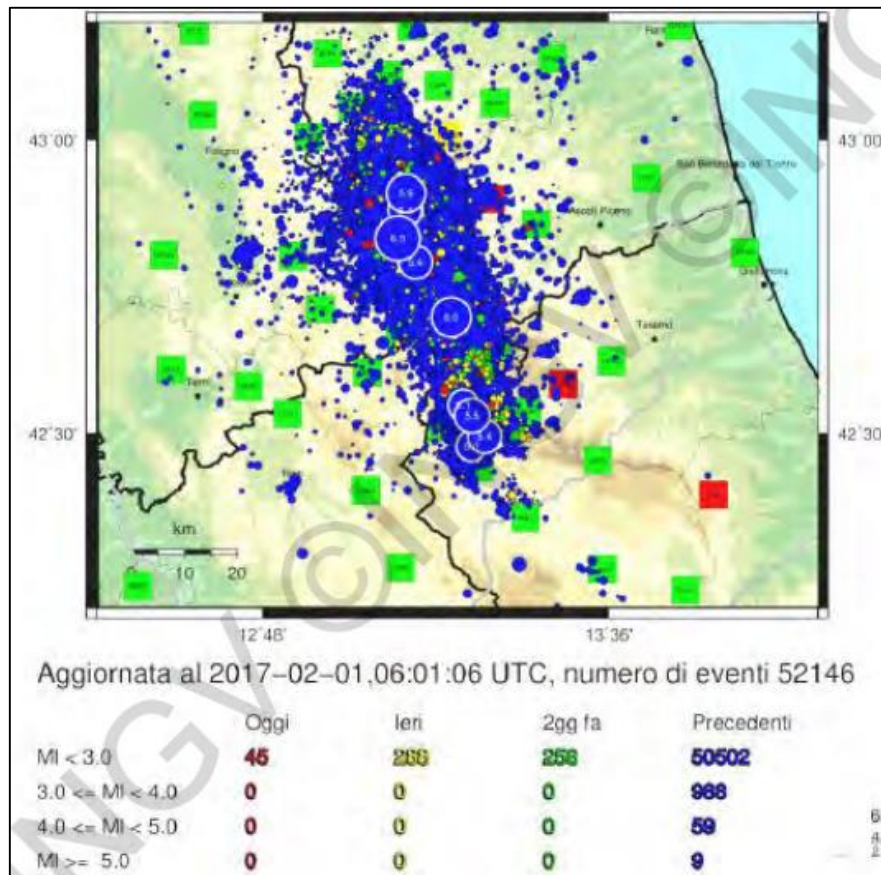


Figura 2-7 - Mappa epicentrale della sequenza sismica.

L'andamento temporale della sequenza è descritta nei grafici che contano il numero di terremoti giornalieri e cumulati della sequenza (Figura 2-8) e il rilascio di momento sismico giornaliero (Figura 2-9).

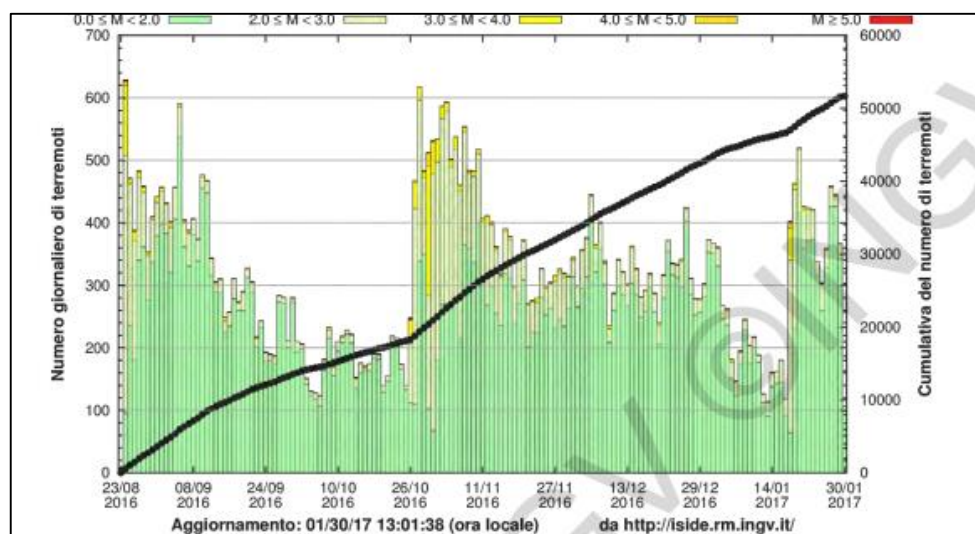


Figura 2-8 - Numero di eventi giornalieri e cumulati della sequenza sismica.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

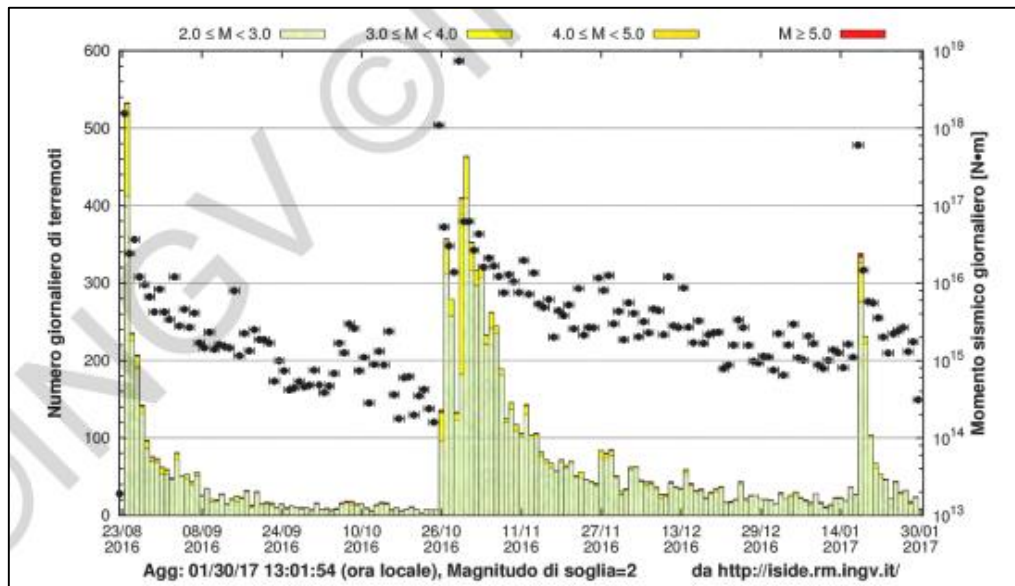


Figura 2-9 - Numero di eventi giornalieri e rilascio di momento sismico giornaliero della sequenza sismica.

I meccanismi focali degli eventi principali a partire dal 24 agosto 2016 mostrano una cinematica coerente con una faglia distensiva con piani nodali in direzione NW-SE (Figura 2-10).

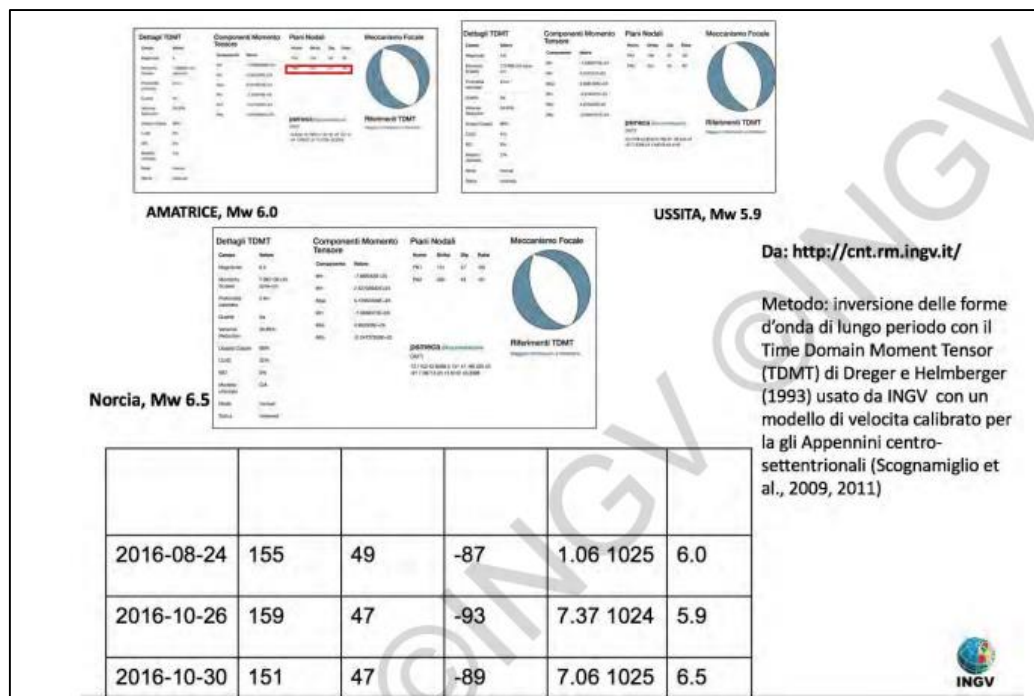


Figura 2-10 - Meccanismi focali dei terremoti più forti e valori del momento sismico rilasciato dagli eventi principali.

Le localizzazioni ipocentrali della sequenza ci mostrano la geometria del sistema di faglie in profondità. In Figura 2-11 sono mostrate 4 sezioni disegnate procedendo da nord a sud. La faglia principale, su cui ha

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

avuto luogo il maggior rilascio di slip è la faglia immergente a sud-ovest che da una profondità di circa 10 km raggiunge la superficie in corrispondenza dei sistemi di faglia noti come Monti della Laga e Monte Vettore-Monte Bove.

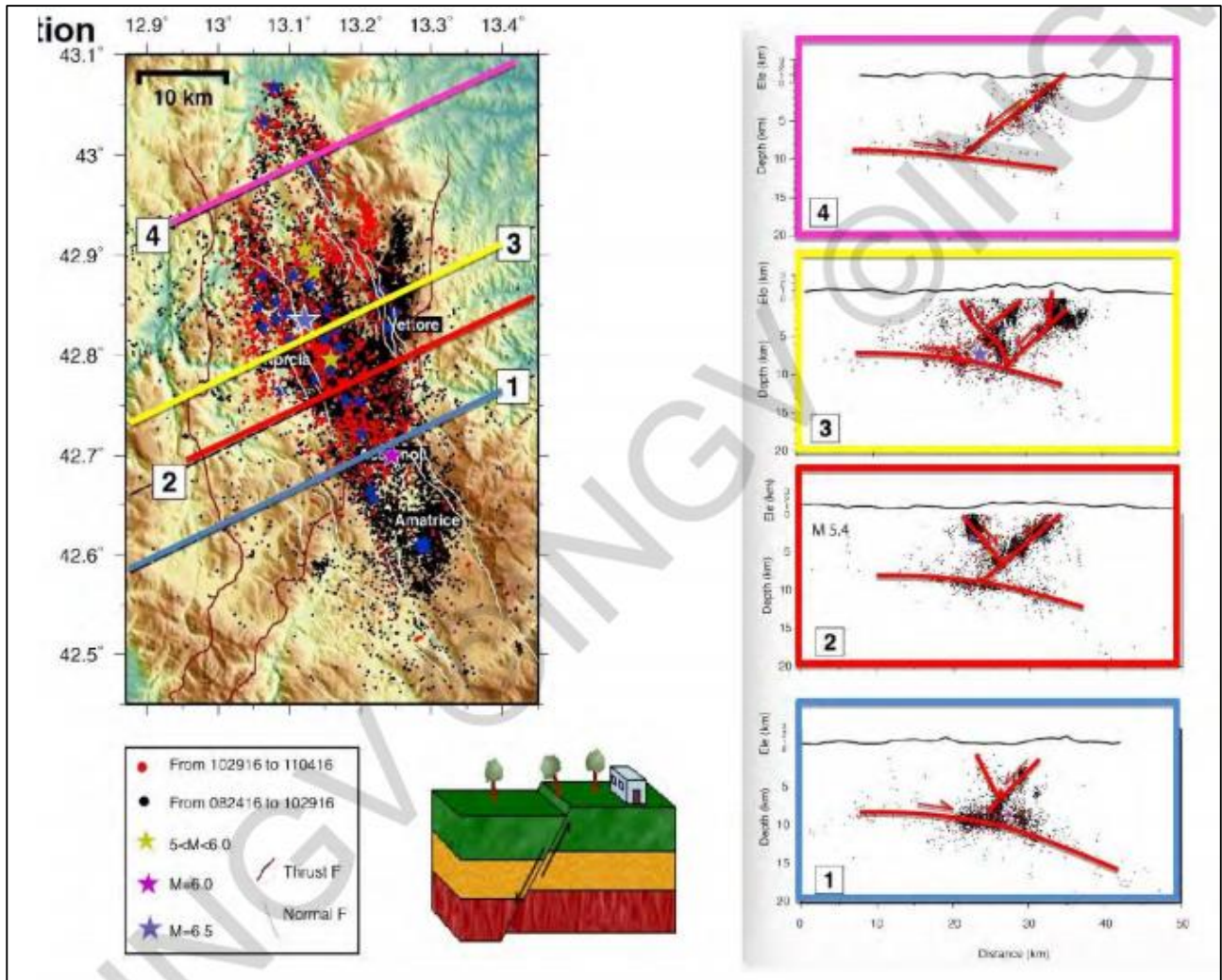


Figura 2-11 - Mappa e distribuzione in profondità degli ipocentri dei terremoti. A destra le quattro sezioni che corrispondono alle linee riportate nella mappa. Gli ipocentri disegnano un sistema di faglie distensivo piuttosto complesso; queste sono schematizzate con le linee rosse sulle sezioni stesse.

Per meglio definire i rapporti spaziali tra la sequenza sismica del 2009 e la sismicità in corso è riportata in una mappa di maggior dettaglio la porzione meridionale della sequenza (Figura 9).



## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

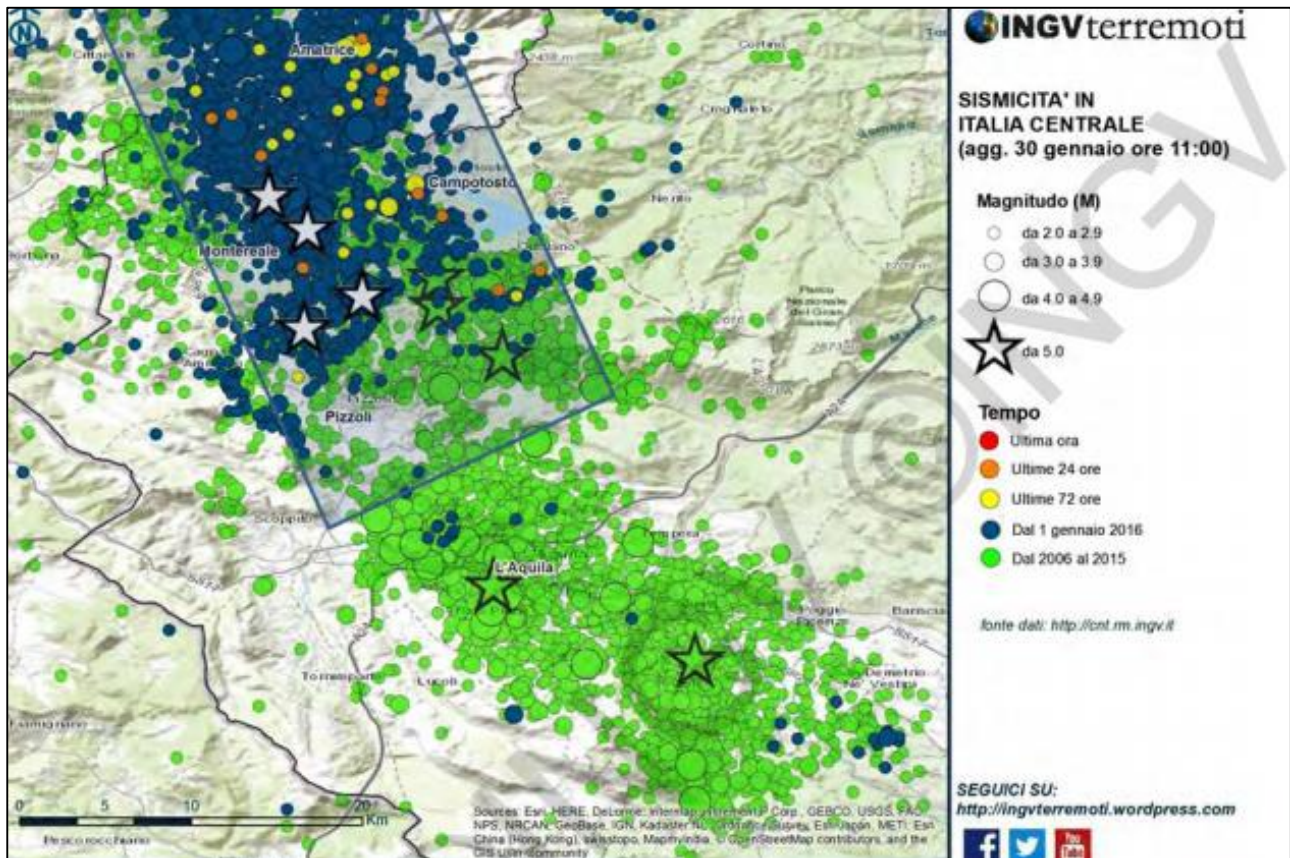


Figura 2-12 - Sismicità in Italia centrale. Sismicità nella zona tra Amatrice e L'Aquila: in verde gli epicentri dei terremoti dal 2006 al 2015, in blu gli eventi 2016-2017. Nel rettangolo è rappresentata l'area dove la sismicità e il momento sismico rilasciato sono stati finora inferiori rispetto alle aree adiacenti e si possono attendere eventi di  $M > 5$ .

La rilocalizzazione degli eventi di magnitudo maggiore o uguale a 5.0 del 18 gennaio 2017 e delle successive repliche mostra una chiara riattivazione della parte centro-meridionale del sistema di faglia dei Monti della Laga dunque piuttosto prossima all'area oggetto dello studio con una geometria del tutto consistente a quella osservata nel corso della sequenza del 2009. In particolare, si identifica una struttura immergente a SW con pendenza di circa  $45^\circ$  che tende a verticalizzarsi nella parte più alta sopra i 5 km dove né prima del 18 gennaio 2017, né durante la sequenza del 2009, era stata osservata sismicità rilevante.

**Tale sequenza si è rivelata particolarmente importante nell'area di prati di Tivo dove si sono osservate valanghe di medie dimensioni, una delle quali ha raggiunto il residence "Prati di Tivo" provocando danni alla struttura.**

I modelli di faglia estesa permettono di comprendere la cinematica della rottura, in particolare, la distribuzione di dislocazione sul piano di faglia, la durata dell'evento e la velocità di rottura. Solitamente tali modelli vengono ricavati invertendo i dati accelerometri (di norma fino a frequenze di 0.5/1 Hz) e/o dati geodetici (SAR/GPS a frequenza zero). Una volta ottenuto il modello cinematico è possibile utilizzarlo come

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

input per calcolare sismogrammi sintetici anche in zone dove non si hanno dati registrati. In questo modo si possono ricavare i parametri del *ground motion* stimati. Per la sequenza dell'Italia centrale del 2016-2017 sono disponibili modelli cinematici ottenuti invertendo solo i dati accelerometrici per i seguenti eventi:

#	Lat	Lon	Depth	Day	Month	Year	Mw	Strike	Dip
1	42.70	13.24	7.3	24	08	2016	6.0	156	50
2	42.90883	13.1403	5.5	26	10	2016	5.9	159	47
3	42.8398	13.11	9.52	30	10	2016	6.5	151	47
4	42.55	13.29	8.5	18	01	2017	5.5	161	51
5	42.51957	13.29224	11	18	01	2017	5.4	140	40

Tabella 2-3 - Referenze dei modelli plottati: 1) Tinti *et al.*, 2016, GRL 2) Chiaraluce *et al.*, 2017, submitted to SRL 3) Chiaraluce *et al.*, 2017, submitted to SRL 4) Personal communication Tinti & Scognamiglio 5) Personal communication Tinti & Scognamiglio.

Per ricavare i modelli di sorgente cinematica abbiamo usato il metodo d'inversione Non-negative least-squares (per il metodo vedi bibliografia in Tinti *et al.*, 2016). Gli accelerometri sono stati integrati nel tempo e filtrati tra 0.02 e 0.5 Hz. Le funzioni di Green sono calcolate utilizzando il modello CIA (per il metodo vedi bibliografia in Tinti *et al.*, 2016), e filtrate nella stessa banda di frequenza.

Le caratteristiche principali dei modelli ottenuti sono le seguenti:

**24 agosto Mw=6 (AMATRICE EQ.).** Il modello ricavato mostra una distribuzione di slip eterogenea rappresentata da due aree di massima dislocazione (slip patches): una localizzata up-dip rispetto all'ipocentro e una seconda più estesa verso nord-ovest. Il massimo valore di dislocazione è di circa 100 cm (Tinti *et al.*, 2016).

**26 ottobre Mw=5.9 (VISSO EQ.).** Questo evento è in realtà un doppio evento i cui ipocentri sono localizzati a 4 km di distanza l'uno dall'altro. La rottura inizia propagandosi verso il basso e poi si propaga in modo unilaterale verso nord-ovest. Il massimo valore di dislocazione è di circa 80 cm.

**30 ottobre Mw=6.5 (CASTELLUCCIO EQ.).** Il modello cinematico di questo evento mostra un'estesa area di slip (10x6 km<sup>2</sup>) caratterizzata da un valore medio di slip di circa 130 cm e un massimo slip di 260 cm. L'inversione non include la topografia ma il modello mostra un significativo contributo di slip nella parte più superficiale della faglia modellata (il top della faglia si trova a 850 m sopra il livello del mare).

**18 gennaio 2017 Mw=5.5 (MONTEREALE EQ.).** Il modello cinematico mostra una direttività up-dip verso NW e in particolare, data la sua posizione geografica, mostra una forte direttività verso Amatrice e Accumoli. Anche i dati registrati riportano ampiezze maggiori in direzione Nord. Il valore massimo di dislocazione è di circa 40 cm. Il top della faglia si trova 800 m circa sopra il livello del mare.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

**18 gennaio 2017 Mw=5.4 (MONTEREALE EQ.).** Il modello cinematico mostra un'area di slip up-dip rispetto all'ipocentro. Il valore di massimo slip raggiunge i 60 cm. L'evento è più profondo quindi il top della faglia ha una profondità di 5,5 km rispetto al livello del mare.

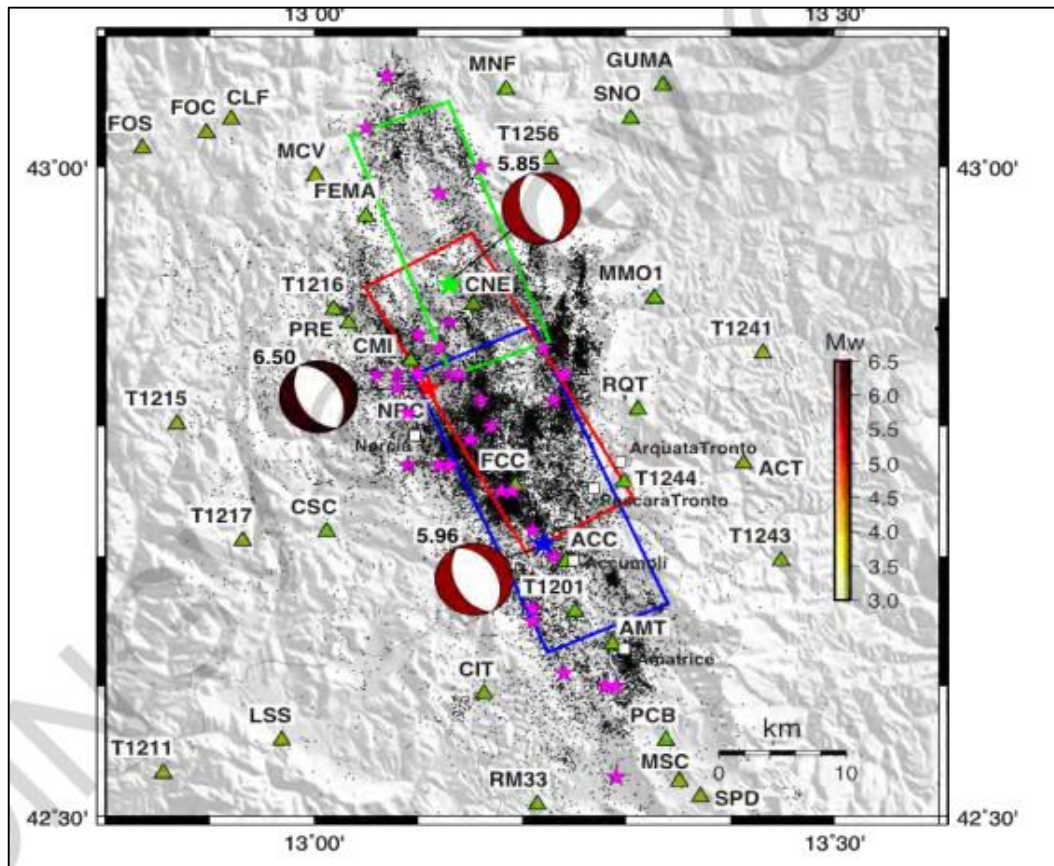


Figura 2-13 - Stazioni accelerometriche utilizzate durante l'inversione cinematica dei tre eventi principali della sequenza. La geometria dei piani di faglia dei tre eventi è stata scelta utilizzando i momenti tensori TDMT dei tre eventi. In blu l'evento del 24/08/2016, in verde l'evento del 26/10/2016 e in rosso l'evento del 30/10/2016.

## 2.2 Sorgenti sismogenetiche

Il *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS Working Group, 2015) mostra come la maggior parte del territorio di Pietracamela sia interessato dalla presenza della sorgente sismogenetica composta ITCS075, mentre la parte più settentrionale è anche interessata dalla presenza della sorgente sismogenetica composta ITCS027 (Figura 2-14).

La prima struttura, denominata Campotosto Lake-Montesilvano ed orientata Ovest – Est, comprende la sorgente individuale denominata Isola del Gran Sasso (ITIS096), caratterizzata da magnitudo momento massima  $M_{w_{max}}$  pari a 5.7, profondità tra 12 e 17,8 km e slip-rate compreso tra 0.1 e 0.5 mm/anno. La seconda struttura invece, denominata Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga, si estende dall'Emilia-Romagna



## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

all'Abruzzo con orientazione Nord-Ovest – Sud-Est, e comprende le sorgenti individuali di Neviano degli Arduini (ITIS135), Loiano (ITIS058), Cagli (ITIS047), Fabriano (ITIS048), Camerino (ITIS049) e Sarnano (ITIS055).

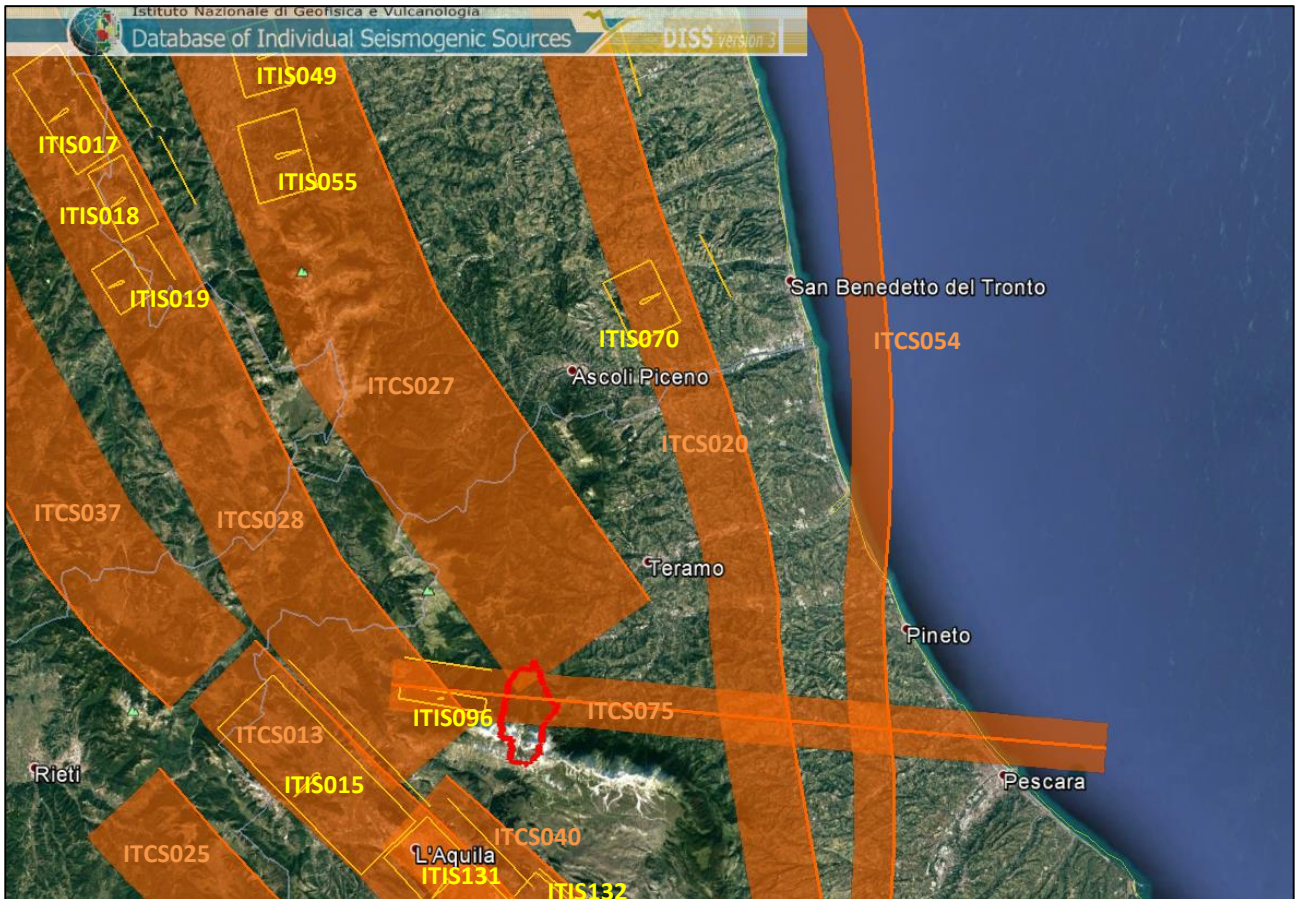


Figura 2-14 - Sorgenti sismogenetiche composite (poligoni arancioni) ed individuali (rettangoli gialli) presenti nel database DISS 3.2.0, nell'intorno dell'area di studio. In rosso l'area comunale di Pietracamela.

L'area di studio è inoltre bordata, ad Ovest ed a Sud, da altre tre sorgenti sismogenetiche composite anch'esse approssimativamente orientate Nord-Ovest – Sud-Est e denominate rispettivamente Colfiorito-Campotosto (ITCS028), Barisciano-Sulmona (ITCS040) e Borbona-L'Aquila-Aremogna (ITCS013). La prima si estende dall'Umbria all'Abruzzo con orientazione Nord-Ovest – Sud-Est, e comprende le sorgenti individuali di Colfiorito North (ITIS017), Colfiorito South (ITIS018) e Sellano (ITIS019); la seconda comprende invece le sorgenti individuali di San Pio delle Camere (ITIS132) e Sulmona Basin (ITIS027). La terza infine comprende invece le sorgenti individuali di Montereale Basin (ITIS015), Aremogna-Cinque Miglia (ITIS003) e Paganica (ITIS131).

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

Rispetto alle sorgenti individuali citate invece, mentre a quella di Paganica (ITIS131) – basata su dati sismologici, geodetici e geologici – è associata il terremoto del 6 aprile 2009, a quella denominata Isola del Gran Sasso (ITIS096) – basata su dati macrosismici e geofisici – è associata il terremoto del 5 settembre 1950.

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, il Comune di Pietracamela ricade dentro alla Zona 923 “Appennino Abruzzese”, caratterizzata da un valore di  $Mw_{max}$  pari a 7,06 (Figura 2-15).

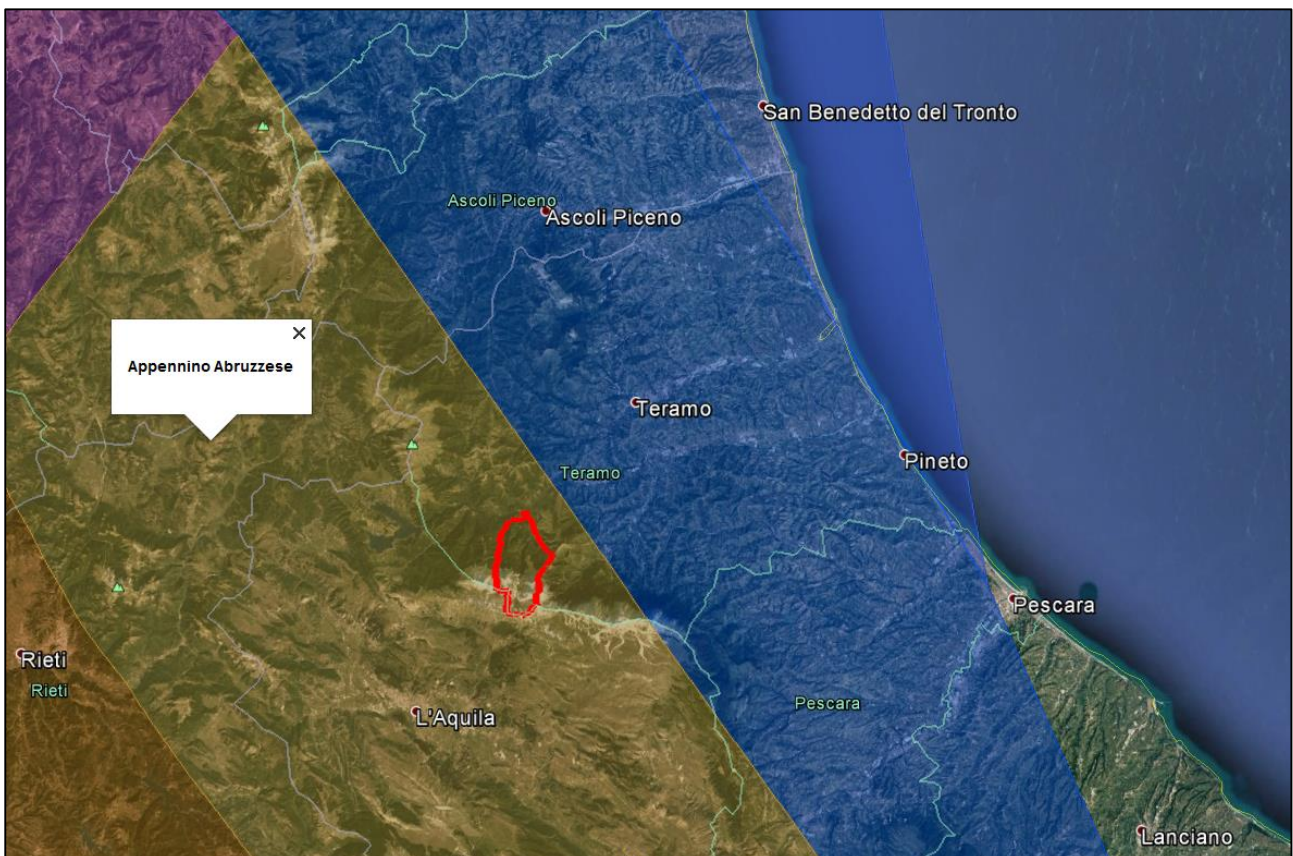


Figura 2-15 - Ubicazione del territorio comunale di Pietracamela (in rosso) rispetto alla Zonazione Sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004).

### 3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Nei paragrafi seguenti verranno dapprima delineati i caratteri geografici e geomorfologici dell'area in esame, per poi descriverne l'assetto geologico-strutturale e le caratteristiche litostratigrafiche,



sottolineando, con maggior dettaglio, l'evoluzione delle successioni che costituiscono le prime centinaia di metri di sottosuolo.

### **3.1 Contesto geografico geomorfologico**

Il territorio comunale di Pietracamela si estende su una superficie di 44,49 km<sup>2</sup> a quote comprese tra 450 m e 2.908 m s.l.m. sulle pendici settentrionali del settore centrale del massiccio carbonatico del Gran Sasso d'Italia che, con la sua imponentza, le sue caratteristiche geoambientali prettamente "dolomitiche", i suoi grandiosi paesaggi di incommensurabile bellezza e di straordinario interesse scientifico, domina in termini percettivi l'intero Abruzzo.

Il settore montuoso si erge mostrando un andamento circa E-W, e comprende le cime più elevate della catena (Corno Grande, 2.912 m; Corno Piccolo, 2.655 m; Pizzo d'Intermesoli, 2.635 m), accogliendo appena sotto la vetta del Corno Grande, il Ghiacciaio del Calderone; tali rilievi contrastano fortemente con la fascia collinare pedemontana, di natura terrigena silicoclastica, caratterizzata da morfologie decisamente più dolci. Le conche alto montane di Campo Pericoli e del Venacquaro, poste nel cuore del massiccio carbonatico, presentano numerose forme carsiche anche se di piccola estensione e più in basso si aprono verso nord verso gli abitati di Pietracamela e di Intermeoli, attraverso lunghe e profonde valli modellate in passato dai ghiacciai quaternari: la Val Maone - Valle del Rio Arno e la Valle del Venacquaro.

Nel settore più orientale del territorio comunale si erge inoltre la dorsale carbonatica del Montagnone, profondamente incisa a nord dal fiume Vomano e che raggiunge la massima elevazione con Cima Alta (1.715 m), in prossimità del fronte della catena del Gran Sasso d'Italia. Tale rilievo, ad andamento all'incirca meridiano, costituisce la prosecuzione verso sud della dorsale carbonatica dei Monti Gemelli (Montagna dei Fiori e Montagna di Campili). Dopo il sollevamento e la formazione dell'originario edificio strutturale di questo settore della catena del Gran Sasso d'Italia, ha iniziato a realizzarsi e continua tuttora, l'azione fisica degli agenti atmosferici che, attraverso l'alternanza di processi erosivi e deposizionali legati alle variazioni climatiche quaternarie, hanno rielaborato l'originario rilievo dando origine, a seconda della natura litologica, dell'assetto strutturale e del grado di fratturazione degli ammassi rocciosi, all'attuale paesaggio geomorfologico. Nell'area pedemontana di più stretto interesse, ad eccezione delle ripide pareti in corrispondenza dei depositi di breccie continentali cementate del Quaternario (Capo le Vene), la prevalente natura turbiditica delle rocce affioranti ha dato luogo a forme più morbide rispetto a quelle caratteristiche del massiccio carbonatico.

La notevole complessità orografica e l'elevata energia del rilievo unite a caratteri climatici tipici di un clima temperato-freddo (temperature medie annue variabili tra 2°C e 9°C), con abbondanti precipitazioni ben

distribuite nel corso dell'anno (oltre 1.100 mm distribuiti in 110 giorni e cumulate nivometriche medie stagionali di 170-320 cm) concorrono all'evoluzione dei numerosi e diffusi fenomeni gravitativi di diversa tipologia ed estensione. La principale causa predisponente al dissesto è tuttavia da mettere quindi in stretta relazione con l'acclività dei versanti dovuta alla forte tendenza all'approfondimento del reticolo idrografico connesso al sollevamento tettonico ed all'attività quaternaria delle faglie dirette mentre la notevole varietà tipologica dei fenomeni gravitativi e la loro distribuzione è comunque da mettere in relazione alla litologia ed alle caratteristiche strutturali e meccaniche delle formazioni coinvolte.

Le principali cause scatenanti questi movimenti, specie laddove le pareti subverticali presentano un alto grado di separazione strutturale delle rocce, sono invece da ricercare nelle forti sovrappressioni provocate dall'acqua all'interno delle fratture e legate agli eventi meteorologici spesso estremi e allo scioglimento e alla persistenza presenza del manto nevoso per lunghi periodi – sino 220 giorni/anno – ed i cicli di gelo-disgelo diurni e stagionali. Infine anche gli scuotimenti dovuti ad eventi sismici possono costituire un'importante causa scatenante.

Meno frequenti e soprattutto di dimensioni generalmente ridotte appaiono le deformazioni superficiali lente e gli scorrimenti rotazionali che si verificano soprattutto nelle sequenze pelitico-arenacee o marnoso-calcaree e che frequentemente interessano anche le spesse coltri detritiche. Altri fenomeni franosi molto diffusi, sono costituiti dagli scorrimenti traslativi favoriti dalla presenza di potenti coperture detritiche. Si tratta, come si vedrà più avanti, di frane di notevoli dimensioni, con velocità di movimento generalmente lente, come nel caso dei versanti di Pietracamela e di Intermesoli. In queste località è presente una copertura costituita da accumuli caotici di frammenti litici di varie dimensioni fino ai grandi blocchi, con matrice siltoso-sabbiosa più o meno abbondante e con spessore variabile fino ad oltre 50 m, la quale si è prodotta per successivi scivolamenti traslazionali lungo i versanti. Tale copertura è attualmente interessata da movimenti che avvengono lungo la superficie di contatto con il substrato sia presso la porzione più orientale del capoluogo comunale di Pietracamela ("la Villa") sia nelle vicinanze di Intermesoli, dove il fenomeno franoso ha interessato la strada di collegamento fra l'abitato e Fano Adriano.

La contemporanea presenza, nel territorio montuoso di Pietracamela, delle già citate peculiari condizioni morfologiche, climatiche e lito-strutturali, ha favorito l'innescare e lo sviluppo di processi gravitativi che coinvolgono considerevoli porzioni di versante e che si manifestano su una scala spaziotemporale molto ampia, assumendo i caratteri propri delle Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DGPV).

Il rapido sollevamento avvenuto durante il pleistocene con conseguente veloce approfondimento dei solchi vallivi dovuto ad un'intensa erosione lineare, associato all'assetto lito-strutturale del substrato roccioso

caratterizzato dalla presenza di sistemi di faglie distensive a direzione variabile da NW-SE ad E-W e subordinatamente NNE-SSW, hanno favorito la presenza, lungo il versante degli abitati di Pietracamela e di Intermesoli, di Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (cfr. *Carta Geologico-Tecnica e sezioni geologico - tecniche*).

Gli spostamenti differenziali si sviluppano, infatti, lungo una serie di piani di discontinuità preesistenti, di difficile determinazione o comunque lungo fasce di contrasto litologico o di maggiore debolezza localizzate a differenti profondità. Il processo deformativo della massa rocciosa è per lo più lento e progressivo senza che vi siano apprezzabili superfici continue di rottura. Gli spostamenti differenziali si sviluppano, infatti, lungo una serie di piani di discontinuità preesistenti di difficile determinazione o comunque lungo fasce di contrasto litologico o di maggiore debolezza localizzate a diversa profondità.

Le evidenze morfologiche più significative di tali deformazioni, in buona parte riscontrabili nel versante in esame, sono scarpate, grandi e piccoli ripiani in contropendenza nelle porzioni intermedie del versante (ad es. parte alta dell'abitato di Intermesoli), fratture di tensione nei settori sommitali dei versanti e rigonfiamenti nelle zone basali.

Infine, le diverse forme e depositi dovuti alla morfogenesi glaciale circhi glaciali localizzati sui versanti settentrionali della catena, depositi glaciali presenti nella Valle Venacquaro e nella Val Maone-Valle del Rio Arno, le valli dal profilo ad "U" come quella della Val Maone testimoniano chiaramente che, durante le fasi fredde pleistoceniche, vi furono sul Gran Sasso d'Italia diversi grandi ghiacciai oltreché numerosi apparati glaciali minori. I depositi glaciali relativi all'Ultima Glaciazione sono osservabili, nella Val Maone-Valle del Rio Arno e nella Valle del Venacquaro, solo a partire da quota 1.800 m circa, ma è molto probabile che, date le dimensioni delle valli e dei sistemi di circhi glaciali, i ghiacciai abbiano raggiunto quote molto più basse, visto che depositi più antichi "rissiani" sono osservabili a quota 1.100 m s.l.m., in corrispondenza della Valle del Rio Arno nei pressi del borgo di Pietracamela. Infine, sul versante nord del Corno Grande, appena sotto la vetta occidentale, all'interno di un circo glaciale stretto ed allungato si è conservato il Ghiacciaio del Calderone, il più meridionale d'Europa ed ubicato ad un'altitudine media di circa 2.780 m, dunque al di sotto dell'attuale limite teorico delle nevi persistenti, valutabile sul Gran Sasso intorno ai 3.080 m s.l.m. (Fazzini *et al.* 2005), attualmente non più classificabile come "ghiacciaio pirenaico di circo" ma come *debris covered glacier* (Branda *et al.*, 2010).

### 3.2 Contesto geologico stratigrafico

L'assetto geologico-strutturale del territorio di Pietracamela è il risultato dell'evoluzione prevalentemente mio-pliocenica di un sistema orogenico (catena - avanfossa - avampaese) con vergenza adriatica.

In particolare, l'evoluzione geodinamica del settore centro-appenninico di cui il territorio in esame fa parte, è stata essenzialmente controllata dalla presenza di due unità paleogeografico-strutturali (Piattaforma carbonatica laziale-abruzzese e Bacino pelagico umbro-marchigiano), che si sono sviluppate a partire dal Trias superiore sul margine meridionale passivo dell'antico oceano Tetide in fase di espansione, e dalla cui interazione, nella successiva fase compressiva mio-pliocenica è nata quella parte dell'Appennino centrale, il cui settore in studio costituisce indubbiamente una delle aree più complesse ed interessanti sotto il profilo scientifico

In tale settore s'individua, infatti, un complesso edificio a *thrust* rappresentato dalla sovrapposizione, tramite importanti sovrascorrimenti, di tre principali unità stratigrafico-strutturali, a loro volta suddivise in unità minori da altri sovrascorrimenti.

Le unità in questione si indentificano nell'Unità del Gran Sasso, situata a quote più elevate ed in posizione geograficamente più interna, l'Unità della Laga, in posizione intermedia, e l'Unità del Cellino che costituisce l'elemento inferiore e più esterno rispetto al massiccio montuoso. L'Unità del Gran Sasso, costituita esclusivamente da depositi carbonatici, è giustapposta sull'Unità della Laga, costituita da depositi torbiditici silicoclastici, tramite un piano di sovrascorrimento a direzione circa E-W e con entità di rigetto che aumenta da ovest verso est. A sua volta, l'Unità della Laga si è accavallata sulla più esterna Unità del Cellino attraverso un piano a direttrice N-S (thrust di Teramo).

Il territorio di Pietracamela è caratterizzato dalla presenza di rocce sedimentarie depositatesi in un generale ambiente marino durante un lungo intervallo di tempo che va dal Lias inferiore, circa 200 milioni di anni orsono, al Miocene superiore circa 7 milioni di anni fa.

In linea generale è possibile distinguere:

- una successione più antica meso-cenozoica, esclusivamente di natura carbonatica, costituita da formazioni calcareo-dolomitiche, calcareo-micritiche, calcareo-clastiche e calcareo-marnose, affioranti sulla catena del Gran Sasso d'Italia s.l. e sulla dorsale del Montagnone;
- una successione miocenica costituita da depositi terrigeni torbiditici (arenarie, marne ed argille) affioranti nel settore pedemontano s.l..

Le successioni presenti nel territorio comunale sono riferibili a due distinti cicli sedimentari e presentano, al loro interno, notevoli variazioni di facies e di spessori determinati dalle deformazioni tettoniche che nel tempo hanno condizionato in modo determinante gli ambienti di sedimentazione.

In particolare, la successione carbonatica, spesso qualche migliaio di metri, è inizialmente (Trias superiore-Lias inferiore) riferibile ad un ambiente di paleo-piattaforma carbonatica di acque marine basse, estesa in tutto l'attuale Appennino centrale, nota in letteratura come Piattaforma carbonatica laziale-abruzzese.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

Successivamente, all'inizio del Lias medio, poco meno di 200 milioni di anni fa, un'intensa fase tettonica distensiva connessa all'ampliamento del Mare Tetide, causò la frammentazione e quindi l'annegamento di una vasta porzione della paleo-piattaforma carbonatica, dando origine ad una zona depressa, caratterizzata da un mare aperto e profondo, nota in letteratura come Bacino pelagico umbro-marchigiano-sabino. In quel momento, l'attuale area del Gran Sasso venne a trovarsi ai piedi della scarpata di faglia che raccordava bruscamente la piattaforma carbonatica che permaneva a sud, con il bacino pelagico che si estendeva verso nord. Nell'area del territorio amministrativo di Pietracamela affiorano i seguenti litotipi. L'assetto geologico-strutturale del territorio di Pietracamela è caratterizzato dalla presenza di un edificio a *thrust* rappresentato dalla sovrapposizione, tramite un piano di sovrascorrimento a direzione circa E-W e con entità di raccorciamento che diminuisce da est verso ovest, di due principali unità stratigrafico-strutturali, a loro volta suddivise in unità minori da altri sovrascorrimenti: l'*Unità del Gran Sasso* a sud, che è quella più alta ed interna, e l'*Unità della Laga* a nord, che costituisce l'elemento inferiore e più esterno.

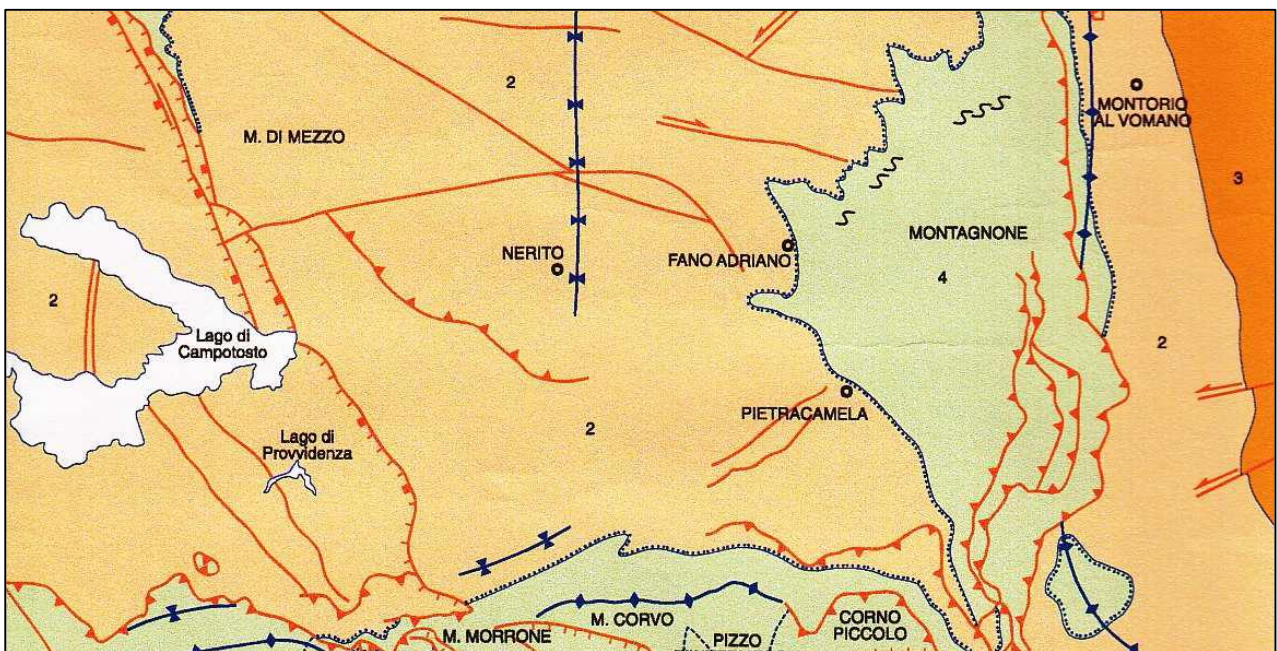


Figura 3-1 - Carta geologico-strutturale dell'area di Pietracamela.

### 3.2.1 Successione carbonatica meso-cenozoica di base di scarpata - bacino prossimale

#### **Corniola VA** (Lias medio)

Affiora, insieme al Verde Ammonitico, fra il Corno Grande ed il Corno Piccolo con uno spessore ridotto (60-70 m) e, nei pressi della Sella dei due Corni è caratterizzata da calcari micritici grigio-scuri in strati sottili, con selce in noduli e lenti. Più ad ovest, nella parte bassa della Valle dei Ginepri, lo spessore aumenta (circa

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

500 m) e la formazione presenta la tipica litofacies bacinale caratterizzata da calcari micritici nocciola in strati medio - sottili con selce grigia, nera e rossastra ed intercalazioni di strati e banchi di biocalcareniti e calciruditi torbiditiche. Nelle micriti è presente la classica biozona a Radiolari e spicole di Spugne. Al Corno Grande, ad ovest della vetta occidentale ed a nord della vetta orientale, estesi lembi residui di *Corniola* dolomitizzata ricoprono in discordanza il *Calcare Massiccio*.

**Verde Ammonitico VA** (Lias superiore - Dogger p.p.)

Affiorante con uno spessore che aumenta da ovest verso est fino ad un massimo di circa 90 m, la formazione è costituita da strati sottili di calcari micritici con selce in liste e noduli, ed intercalazioni di marne verdastre, calcari marnosi nodulari, calcari bioclastici e caratteristici livelletti oolitici rossastri (Sella dei due Corni). Il contenuto fossilifero è caratterizzato dalla comparsa della biozona a “resti filamentosi” (Lamellibranchi pelagici a guscio fine) e dalla presenza di *Rhynconelle* (Brachiopodi) ed Ammoniti.

**Calcari bioclastici inferiori CBI** (Dogger p.p. - Malm p.p.)

Questa formazione, che affiora con uno spessore di oltre 400 m, costituisce la parte sommitale a morfologia più aspra del Corno Piccolo ed è caratterizzata da spessi banchi amalgamati di calcari bioclastici biancastri e nocciola, a volte oolitici soprattutto nella parte inferiore, inglobanti, a luoghi, brandelli di micrite e, più diffusamente, di selce. Il contenuto fossilifero è costituito da abbondanti resti di Ellipsactinie, Coralli, Alghe calcaree ed Echinodermi.

**Calcari diasprigni CD** (Malm p.p.)

Affiorante soprattutto nell'area di Pizzo d'Intermesoli con uno spessore medio di circa 150 m, la formazione è costituita da un'alternanza tra strati sottili di calcari micritici nocciola e strati più spessi di calcareniti bioclastiche a frammenti di Echinidi, Coralli ed Ellipsactinie, con abbondanti livelli di selce chiara e rosata. Tutta la serie presenta una diffusa dolomitizzazione oltreché un'evidente silicizzazione.

**Maiolica detritica MD** (Malm p.p. - Cretaceo inferiore p.p.)

Affiora con uno spessore variabile ma che in media si aggira intorno ai 300 m ed è litologicamente costituita da calcari micritici bianco-avorio e grigio-chiaro a frattura concoide, in strati medio-sottili, con selce bianca, nera, rosata e violetta in noduli, lenti e straterelli, alternati a strati e banchi calcarenitici e biocalcarenitici biancastri, talora torbiditici. Caratteristica è la comparsa, nei livelli micritici, di microforaminiferi planctonici tipo Tintinnidi (Calpionelle).

***Calcarei bioclastici superiori CBs*** (Cretaceo inferiore p.p.)

La litologia di questa formazione, affiorante nell'area del Corno Piccolo con uno spessore di alcune decine di metri, è caratterizzata da calcareniti e calciruditi bioclastiche biancastre e nocciola in banchi spesso amalgamati, talora lenticolari e di notevole spessore (fino a 10 m), alternate a calcari micritici, talora laminati. Fra i macrofossili compaiono i primi frammenti di Rudiste e sono altresì osservabili resti di Coralli, Briozoi e Orbitolinidi.

***Calcareniti e calciruditi a fucoidi CF*** (Cretaceo inferiore p.p. - Cretaceo superiore p.p.)

Affiorante, insieme alla *Scaglia detritica*, nel settore occidentale dell'area montana in studio (area di Pizzo d'Intermesoli), la formazione è prevalentemente costituita da calcareniti e calciruditi bioclastiche da fini a grossolane di colore grigio-nocciola e con frammenti di Rudiste ed Orbitoline, alternate a calcari marnosi fogliettati verdastri, con livelli sottili di selce nera. Lo spessore, lungo la Valle del Rio Arno, si aggira intorno ai 60 m.

***Scaglia detritica SD*** (Cretaceo superiore p.p. – Eocene inferiore)

La caratteristica di questa formazione, che domina nell'area di Pizzo d'Intermesoli con uno spessore complessivo di circa 500 m, è l'abbondante contenuto di calcareniti bioclastiche. I calcari micritici, prevalentemente biancastri e verdastri, sono infatti sempre subordinati alle calcareniti, e la colorazione dei noduli e livelli di selce nera e rossa rappresenta un elemento chiave per distinguere all'interno della formazione gli intervalli equivalenti, rispettivamente, alla *Scaglia bianca* ed alla *Scaglia rossa*. Il passaggio laterale fra le suddette formazioni è osservabile lungo la Valle del Rio Arno, sul versante orientale del Pizzo d'Intermesoli.

***Scaglia bianca SB*** (Cretaceo superiore p.p.)

Presente esclusivamente nel settore più orientale (Corno Piccolo), con uno spessore complessivo inferiore a 100 m, è costituito da un *membro calcarenitico* formato da banchi bioclastici con micriti grigiastre e biancastre e livelli di selce nera, e da un *membro micritico* costituito da strati medio-sottili di calcari micritici bianchi con livelli e liste di selce nera.

All'interno di quest'ultimo membro, in località Rio Arno, è riconoscibile il "livello Bonarelli", molto noto in letteratura, spesso circa 60 cm.

***Scaglia rossa SR*** (Cretaceo superiore p.p. - Eocene inferiore)

Affiorante sempre nel settore orientale dell'area in esame, è costituita da tre membri (micritico, calcarenitico e marnoso-micritico), che a Valle del Rio Arno raggiungono uno spessore complessivo di circa

300 m. Nel complesso, la formazione è litologicamente caratterizzata dalla prevalenza di strati medio-sottili di calcari micritici rosati con selce rossa in liste e noduli, ai quali si intercalano, a diversi livelli, calcareniti fini. La componente marnosa è maggiormente accentuata nella parte terziaria della formazione.

***Scaglia cinerea SC*** (Eocene medio - Oligocene)

La formazione presenta uno spessore di circa 100 m, che si riduce notevolmente a NE del Corno Piccolo, nei pressi della “Madonnina”. La litologia è costituita da alternanze di marne calcaree verdastre, sottili strati micritici verdastrici e bianchi e frequenti intercalazioni di strati medio-spessi di calcareniti e calciruditi biancastre, più frequenti verso la base. Il contenuto fossilifero è rappresentato da macroforaminiferi (Lepidocyclina, Heterostegina, Discocyclina, Asterocyclina e Nummuliti).

Infine, relativamente alla descrizione delle unità geologiche marine di età cenozoica – che costituiscono il substrato – ed alle Unità geologiche quaternarie ed oloceniche, si rimanda al capitolo 5.

## **4 Dati geognostici e geofisici**

I dati utilizzati in questo studio sono stati ricavati da indagini sia di tipo diretto quanto di tipo indiretto. Per quanto concerne i metodi di analisi diretta del sottosuolo sono state esaminate le stratigrafie provenienti sia da sondaggi a carotaggio continuo, sia da sondaggi a distruzione di nucleo, che seppur meno dettagliate delle prime, offrono informazioni relative allo spessore, alla composizione dei terreni di copertura e alla profondità del substrato.

In relazione ai sistemi d'indagine indiretta, sono stati analizzati log parametrici derivanti da prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DS), oltre ai rapporti di prova provenienti da indagini di tipo geofisico come HVSR, MASW, sismica a riflessione (SL) e rifrazione (SR), e da indagini geoelettriche tomografiche (ERT).

Le ubicazioni delle prove utilizzate per lo studio di microzonazione sismica sono riportate nella carta delle indagini - scala 1:2.000 (Tavola 1) descritta al paragrafo 8.1.

### **4.1 Indagini di repertorio**

Nella prima fase dello studio di microzonazione sismica si è provveduto al reperimento delle indagini geognostiche e geofisiche provenienti dall'elaborato di primo livello. Oltre a questa attività di acquisizione della banca dati geognostica MS, sono stati raccolti ulteriori dati di sottosuolo disponibili presso l'archivio



## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

comunale, con particolare riguardo a quelli derivanti dalle indagini realizzate dopo il sisma del 2009 e da indagini di recente realizzazione.

Aggiungendo alle indagini provenienti dallo studio di primo livello quelle recuperate negli archivi comunali e quelle raccolte presso alcuni geologi liberi professionisti, si sono potute utilizzare ai fini di microzonazione sismica 76 prove pregresse di buona affidabilità, suddivise per numero e tipologia così come riportato in Tabella 4-1.

TIPOLOGIA DI PROVA	SIGLA	MS I LIV.	RACCOLTE PER MS III LIV.
Prove penetrometriche dinamiche super pesanti	DS	4	8
Sondaggi a carotaggio continuo	S	28	2
Sondaggi a distruzione di nucleo	SD	1	
Sondaggi con inclinometro	SI	6	
Sondaggio con piezometro	SP	4	
Prova penetrometrica in foro	SPT	2	
Prova sismica in foro tipo <i>Down Hole</i>	DH	1	1
Tomografia elettrica	ERT	3	
Misure di microtremore a stazione singola	HVSR	3	1
Multi-channel Analysis of Surface Waves	MASW		5
Profilo sismico a rifrazione	SR	6	
Profilo sismico a riflessione	SL	1	
TOTALE		59	17

**Tabella 4-1 - Numero di indagini pregresse raccolte ed utilizzate per lo studio, suddivise per tipologia.**

Le indagini ritenute effettivamente affidabili sono state raccolte, organizzate ed archiviate in una banca dati informatizzata e georeferenziata in ambiente GIS ESRI, la cui struttura risponde alle specifiche indicate dal Dipartimento nazionale della Protezione Civile (D.P.C.) per gli studi di microzonazione sismica. Un archivio informatizzato consente di strutturare e sistematizzare il patrimonio informativo disponibile, al fine di renderlo più facilmente consultabile, fruibile ed aggiornabile. La struttura della banca dati consente, inoltre, di associare al dato geografico (sito d'indagine) degli attributi alfanumerici relativi alle diverse prove realizzate come, ad esempio, profondità indagata, livello della falda, spessore degli orizzonti rilevati, ed altro. Oltre a ciò, ad ogni prova archiviata è possibile associare i propri parametri tecnici come, ad esempio, colpi di avanzamento, valori di Vs misurati o frequenze di risonanza.

Per l'archiviazione dei dati acquisiti si è fatto ricorso all'applicativo software SoftMS versione 4.0.1 – messo a disposizione dal D.P.C.– che, attraverso maschere dedicate, consente l'inserimento dei dati all'interno di

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

tabelle costituite da un insieme di record, gerarchicamente organizzate in modo da memorizzare in maniera indipendente le informazioni legate al sito di indagine, alle prove in esso realizzate ed ai parametri tecnici di ognuna di queste.

## 4.2 Indagini eseguite per la microzonazione sismica

A supporto degli studi di microzonazione sismica del Comune di Pietracamela sono state realizzate diverse campagne di indagini, con lo scopo di caratterizzare dal punto di vista geotecnico e geofisico i due ambiti urbanizzati di Pietracamela capoluogo e Intermesoli – indicati dal centro MS – ai quali è stata aggiunta di comune accordo con il Dirigente del settore ambiente l'ambito di Prati di Tivo. In Tabella 4-2 si riporta una sintesi delle indagini direttamente realizzate con finalità di microzonazione sismica mentre in seguito sono descritte le metodologie di esecuzione e di analisi delle stesse.

TIPOLOGIA DI PROVA	SIGLA	NUMERO
INDAGINI REALIZZATE IN SITU		
Misure di microtremore a stazione singola	HVSR	17
Prove sismiche in foro tipo <i>Down Hole</i>	DH	1
Sondaggi a carotaggio continuo	S	1
Sondaggi con prelievo di campioni	SC	1
Multi-channel Analysis of Surface Waves	MASW	1
INDAGINI REALIZZATE IN LABORATORIO		
Analisi su campione	SM	1
Prove di colonna risonante	CR	1
Prove di taglio torsionale ciclico	TTC	1
TOTALE		24

Tabella 4-2 - Numero e tipologia di indagini realizzate per la microzonazione sismica di terzo livello.

### 4.2.1 Indagini realizzate in situ

#### 4.2.1.1 Misure di microtremore a stazione singola (HVSR)

Le misure puntuali ad alta risoluzione di sismica passiva sono state eseguite con tromografo digitale e sono state finalizzate all'elaborazione degli spettri di base ed alle analisi HVSR del sottosuolo (Albarelli e Castellaro, 2011). Tale strumento misura il rumore di fondo e lo utilizza come funzione di eccitazione per identificare in maniera passiva, non invasiva e rapida le frequenze di risonanza del sottosuolo, che sono in

---

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

relazione diretta con l'amplificazione sismica, considerata da molti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto (Mucciarelli, 2012).

Il rumore di fondo (microtremore), presente diffusamente sulla superficie terrestre ed associato sia a fenomeni atmosferici sia all'attività antropica, è relativo ad oscillazioni molto piccole ( $10\text{-}15\text{ m/sec}^2$ ), con componenti spettrali che vengono scarsamente attenuate nello spazio e misurabili con tecniche di acquisizione di tipo "passivo".

Tutte le onde elastiche dalla sorgente al sito, subiscono modifiche al loro tragitto ed attenuazioni in relazione alla natura del sottosuolo attraversato. Le informazioni stratigrafiche contenute nei microtremori sono sovrapposte al rumore casuale e possono essere estratte attraverso metodologie come quella di Nakamura dei rapporti spettrali (HVSr – *horizontal to vertical spectral ratio*). Tale tecnica è utilizzata anche per la determinazione dell'amplificazione sismica locale e per stimare le frequenze principali di risonanza del sottosuolo, dati molto utili anche per la progettazione ingegneristica delle strutture (Castellaro, 2012; Castellaro e Mulargia, 2011).

Il metodo considera i microtremori derivanti da onde di superficie (onde di *Rayleigh*) nelle componenti orizzontali e verticali, che vengono amplificate per effetto di sito a causa della presenza di discontinuità stratigrafiche nel sottosuolo. È quindi possibile ricostruire la forma spettrale del microtremore, in cui i picchi alle diverse frequenze rappresentano il rapporto tra la componente orizzontale e verticale dei segnali registrati.

Le diciassette misure per la microzonazione sismica (Tabella 4-3) sono state direttamente eseguite con tromografi digitali "SARA" modello SL06 e modello SL07, entrambi con sensori a 2.0 Hz, tecnicamente equivalenti in relazione al tipo di misura richiesta. Tuttavia, per confermare l'analoga risposta dei due strumenti ed effettuare una taratura reciproca, sono state realizzate 2 coppie di misure, in cui gli strumenti sono stati posti a circa 10 m di distanza l'uno dall'altro. Tutti i punti di misura sono stati georiferiti tramite GPS con precisione variabile tra 2 e 3 m. La distribuzione sul territorio delle 17 misurazioni ha tenuto conto anche della localizzazione dei dati disponibili provenienti da indagini pregresse di analoga tipologia. L'acquisizione dei dati è stata effettuata con frequenza di campionamento di 300 Hz (SL06) e 200 Hz (SL07), con un tempo di singola registrazione pari a 30 minuti.

In località Pietracamela sono state realizzate due misure della durata di 60 minuti ciascuna al fine di meglio indagare le basse frequenze.

PROVA	ID_INDP	LAT. (WGS84)	LONG. (WGS84)	LOCALITA'	DATA
HVSr 1	067034P59HVSr75	42.500282°	13.553117°	Prati di Tivo	16/09/2017

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

EVTR123	067034P47HVSR62	42.499585°	13.554762°	Prati di Tivo	12/09/2017
HVSR 3	067034P60HVSR76	42.499062°	13.559848°	Prati di Tivo	16/09/2017
HVSR 4	067034P48HVSR63	42.533875°	13.544182°	Intermesoli	16/09/2017
HVSR 5	067034P49HVSR64	42.534807°	13.541077°	Intermesoli	15/09/2017
HVSR 6	067034P50HVSR65	42.535578°	13.541422°	Intermesoli	15/09/2017
HVSR 7bis	067034P51HVSR66	42.535681°	13.542324°	Intermesoli	04/10/2017
HVSR 8	067034P52HVSR67	42.522375°	13.554608°	Pietracamela	16/09/2017
HVSR 9	067034P61HVSR77	42.523760°	13.556898°	Pietracamela	16/09/2017
HVSR 9bis	067034P62HVSR78	42.523918°	13.558363°	Pietracamela	16/09/2017
HVSR 10bis	067034P53HVSR68	42.522718°	13.552667°	Pietracamela	17/09/2017
HVSR 11bis	067034P63HVSR79	42.522237°	13.552070°	Pietracamela	03/10/2017
HVSR 12bis	067034P64HVSR80	42.522753°	13.551460°	Pietracamela	17/09/2017
HVSR 14	067034P54HVSR69	42.523600°	13.554182°	Pietracamela	16/09/2017
HVSR 15	067034P55HVSR70	42.524438°	13.553510E°	Pietracamela	16/09/2017
HVSR 16bis	067034P56HVSR71	42.534323°	13.542226°	Intermesoli	04/10/2017
HVSR 17	067034P57HVSR72	42.533320°	13.542825°	Intermesoli	16/09/2017

Tabella 4-3 - Sintesi dei dati principali associati alle 17 misure HVSR eseguite.

## 4.2.1.2 Prove sismiche in foro tipo Down Hole (DH)

La prova geofisica in foro di tipo Down Hole (DH) è stata eseguita dal gruppo di lavoro DICEAA-UNIVAQ sotto coordinamento del Prof. Marco Tallini, nell'ambito della convenzione stipulata a seguito dell'Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017 del Commissario del Governo per la ricostruzione nei territori interessati dal sisma 2016.

L'indagine (Tabella 4-4) è stata eseguita utilizzando la strumentazione della MAE ELETTRONICA SRL composta di sismografo X610S e sensore DH a cinque geofoni S5.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

PROVA	ID_INDPU	LAT. (WGS84)	LONG. (WGS84)	LOCALITA'	DATA	PROF.	Vs30
DH 1	067034P46DH81	42.522094°	13.554967°	Pietracamela	26/10/2017	35 m	420 m/s

Tabella 4-4 - Sintesi dei dati principali associati all'indagine geofisica Down Hole eseguita.

Il sismografo X610S è a 24 canali con risoluzione a 24 bit, PC integrato, monitor touch screen a colori e batteria ricaricabile (Tabella 4-5 e Figura 4-1).

ELEMENTI TECNICI	DESCRIZIONE
Convertitori	risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
Range dinamico	144 dB (teorico)
Distorsione massima	+/-0.0010%
Banda passante	2Hz-30KHz
Diafonia	120dB a 20 Hz
Soglia di rumore dell'amplificatore programmabile	27nV
Precisione del trigger	1/30 del tempo di campionatura
Guadagno di preamplificazione	24 e 36 dB
Delay	da 0 a 100 sec ad intervalli di 1 campione a passo
Tipo di guadagno	Automatico (AGC)
Range massimo segnale in ingresso	+/-5V
Impedenza di ingresso	a 1000 campioni /secondo 20Mohm
Livelli di amplificazione	0 dB, 6 dB, 12 dB, 18 dB, 24 dB, 30 dB, 36 dB impostabili singolarmente per ogni canale o per gruppi di canali liberamente organizzabili
Filtro anti-alias	-3dB,80% della frequenza di Nyquist-80dB
Tempo pre-trigger	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 19, 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500ms
Intervalli di campionamento	1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms
Numero di campioni per evento	impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512
Interfacce disponibili	LAN, USB, VGA
Canali	configurazioni da 24, 48 o 72. Possibilità di utilizzare da 1 al numero massimo di canali installati per ogni acquisizione
Auto-calibrazione	interna dei convertitori prima di ogni acquisizione
Filtri digitali	selezionati automaticamente in base alla frequenza di campionatura
Test geofoni	verifica automatica per individuare interruzioni dei cavi oppure geofoni rotti o in corto
Visualizzazione	in tempo reale dei segnali provenienti dai geofoni
Archiviazione dati	in memoria FLASH interna (fino a 3GB disponibili) e/o su USB pen-drive rimovibile

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

<b>Trigger</b>	positive, negative (opzionale a chiusura di contatto) con soglia regolabile da software
<b>Formato dati</b>	SEG-2 standard (32-bit long integer) o ASCII
<b>Alimentazione</b>	12V DC, fornita da apposito power box ricaricabile. Assorbimento medio: 1.5A
<b>Display</b>	LCD 12.2" con touch-screen integrate optical bonding
<b>Condizioni ambientali</b>	-20/80°C

Tabella 4-5 - Caratteristiche tecniche del sismografo utilizzato (da <http://www.maelettronica.it/>).Figura 4-1 - Il sismografo X610S (da <http://www.maelettronica.it/>).

Il sensore S5 è costituito da 5 geofoni, uno a componente verticale e 4, accoppiati a due a due, a componente orizzontale. Sono alloggiati all'interno di un contenitore cilindrico in acciaio inox al quale è collegato il cavo di collegamento al sismografo. La speciale tipologia di cavo utilizzato, graduato in metri, veicola al proprio interno (1) il cavo multipolare per la connessione elettrica del sensore al sismografo, (2) il cavetto in acciaio che assicura la solida sospensione del sensore nel foro ed (3) il tubo dell'aria per la gestione del sistema pneumatico di ancoraggio del sensore alla parete del sondaggio (Figura 4-2).

ELEMENTI TECNICI	DESCRIZIONE
<b>Geofoni con frequenza</b>	4.5 Hz
<b>Componente verticale</b>	n.1
<b>Componente orizzontale</b>	n.4
<b>Sfasamento delle componenti orizzontali</b>	45 gradi
<b>Bloccaggio ad aria compressa</b>	1,5 bar con pompa in dotazione
<b>Contenitore inox</b>	50 mm

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

Lunghezza	300 mm
Cavo in dotazione	50 m

**Tabella 4-6 - Caratteristiche tecniche del sensore DH S5 (da <http://www.maeelettronica.it/>).****Figura 4-2 - Il sensore DH S5 (da <http://www.maeelettronica.it/>). A sinistra la bobina del cavo di collegamento sonda/sismografo; a destra la sonda.**

I dati sono stati elaborati con il software Downhole - Interpretazione delle prove Downhole della GEOSTRU EU (<https://www.geostru.eu>) che, tramite picking dei tempi di primo arrivo delle Vp e Vs delle 5 componenti della sonda S5, restituisce, in uscita, i profili delle velocità Vp e Vs intervallati e la tabella dei dati analitici, come riportati, per ogni DH, nei paragrafi seguenti.

#### 4.2.1.3 Sondaggi a carotaggio continuo (S) con prelievo di campioni (SC)

Per la caratterizzazione “diretta” delle litologie è stato eseguito 1 sondaggio a carotaggio continuo spinto alla profondità di 36 m (Tabella 4-7). Il carotaggio è stato eseguito a rotazione verticale a secco con recupero integrale e rappresentativo dei terreni attraversati, comunque non inferiore all’90 %.

Sono stati utilizzati carotieri semplici di diametro 101 mm e lunghezza 1500 mm, con corone e scarpe taglienti al widia, azionati ad aste di manovra di diametro 76 mm. Le pareti del foro sono state sostenute da tubazione metallica provvisoria di diametro 127 mm, infissa con circolazione di acqua, senza l’ausilio di additivi di alcun tipo.

Nel foro di sondaggio sono stati prelevati campioni indisturbati per l’esecuzione delle prove di laboratorio geotecnico previste.

I campioni indisturbati sono stati prelevati con campionatori a pareti sottili di acciaio inox tipo Shelby di diametro 88.9 mm, tramite infissione a pressione della fustella.

Le caratteristiche tecniche e meccaniche della sonda a rotazione modello FRASTE FS 200, impiegata per la perforazione, sono le seguenti:

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

- Camion: Man VW 9150 FAE 4x4
- Dimensioni:
  - Larghezza: 2.200 mm
  - Lunghezza: 7.070 mm
  - Altezza: 3.090 mm
- Peso: 9.340 kg
- Motore: Perkins 4236 diesel 81 HP – 2600 g/1'
- Testa rotante: coppia 800 kgm; 35 giri/1'
- Tiro spinta: 5.000 - 3.600 kg
- Verricello: 2.000 kg
- Pompa: a pistoncini con portata 200 l/1'

PROVA	ID_INDPU	LAT. (WGS84)	LONG. (WGS84)	LOCALITA'	DATA	PROF.	QUOTA FALDA DA P.C.	N. CAMP.
S1	067034P46S60	42.522094°	13.554967°	Pietracamela	14/09/2017	36 m	>36 m	1

Tabella 4-7 - Sintesi dei dati principali associati al sondaggio a carotaggio continuo S1 eseguito.

## 4.2.1.4 Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW)

La stima dell'amplificazione stratigrafica richiede la conoscenza della velocità di propagazione delle onde di taglio volumetrico ( $V_s$ ) nei primi 30 m di sottosuolo. Per ottenere un maggior numero di registrazioni di tale parametro sul territorio vengono, di norma, utilizzate misure di tipo indiretto, in quanto più economiche e di rapida realizzazione rispetto ad acquisizioni effettuate mediante tecniche di tipo diretto. Il metodo *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) è una tecnica di indagine geofisica non invasiva che stima il profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) alle varie profondità, basandosi sulla registrazione delle onde di superficie effettuata da sensori collocati temporaneamente sulla superficie del terreno.

Questa tecnica restituisce una modellazione del sottosuolo sfruttando il fenomeno della **dispersione geometrica** delle onde di Rayleigh, onde di superficie ad oscillazione ellittico - retrograda, attraverso le quali si propaga gran parte dell'energia meccanica liberata da una sorgente impulsiva alla superficie topografica.

Come noto, in un mezzo elastico ideale, omogeneo ed isotropo, la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e ciò implica che alle diverse lunghezze d'onda corrisponda la stessa velocità di fase ( $V_R$ ). Le onde di Rayleigh assumono invece un comportamento dispersivo in un mezzo



verticalmente eterogeneo, costituito da strati con proprietà meccaniche diverse. Ad ogni lunghezza d'onda corrisponde, in questo secondo caso, una determinata velocità di fase che varia al variare delle caratteristiche meccaniche dello strato interessato dalla propagazione delle onde meccaniche. Dalla lunghezza d'onda dipende anche la profondità di sottosuolo raggiunta dalla perturbazione oscillatoria; in particolare, all'aumentare della lunghezza d'onda  $\lambda$ , aumenta la profondità del sottosuolo interessato dalla propagazione dell'onda stessa. Ne deriva che le componenti a frequenza più bassa, con  $\lambda$  e velocità di fase più grandi, penetrano a profondità maggiori e sono quindi influenzate da strati più lontani dalla superficie topografica rispetto a quelle a frequenza più alta, con  $\lambda$  e velocità di fase minori, che risentono solo delle proprietà dei livelli superficiali.

L'andamento delle velocità di fase in funzione della lunghezza d'onda o della frequenza è detta curva di dispersione. Dall'analisi della curva di dispersione è possibile risalire alla distribuzione verticale monodimensionale di  $V_s$  nel sottosuolo, utilizzando la semplice relazione algebrica:

$$V_R = \left( \frac{0.862 + 1.14\nu}{1 + \nu} \right) V_s$$

dove  $V_R$  è la velocità di fase delle onde Rayleigh di superficie,  $V_s$  è la velocità delle onde volumetriche di taglio e  $\nu$  è il coefficiente di Poisson.

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multimodale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, sussistono diverse lunghezze d'onda alle diverse profondità. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente. Per discriminare i modi di vibrazione delle onde di Rayleigh e rappresentarne la relazione di dispersione è necessario trasformare la rappresentazione del campo di moto dal dominio spazio-tempo al dominio frequenza - velocità di fase. Diverse metodologie di elaborazione consentono di estrarre dai sismogrammi acquisiti le caratteristiche dispersive del sito in esame. Tra le più diffuse vi è l'analisi spettrale in dominio di frequenza  $f$  (numero di oscillazioni nell'unità di tempo) e numero onda  $k$  (numero di onde nell'unità di lunghezza), che corrisponde ovviamente al reciproco della lunghezza d'onda e che dipende anche dalla velocità di propagazione spaziale dell'onda stessa (Strobbia, 2003). L'analisi spettrale del segnale di sito permette la definizione della curva di dispersione sperimentale attraverso la relazione:

$$V_R(f) = \frac{f}{k}$$

dove  $V_R$  è la velocità di fase delle onde Rayleigh,  $f$  è la frequenza e  $k$  il numero d'onda.

---

**MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)**

La curva di dispersione ottenuta, viene successivamente interpretata attraverso un processo di inversione che fornisce il profilo verticale della velocità delle onde volumetriche di taglio e quindi una stima della distribuzione monodimensionale della rigidità in funzione della profondità del sottosuolo. Questa inversione avviene comunemente attraverso procedure computazionali di affinamento del modello numerico del sottosuolo alla curva di dispersione ricavata dalle misure sul terreno. La procedura di modellazione numerica per tentativi computazionali (*trial and error*) consente di determinare un modello monodimensionale di sottosuolo, che interpreti la distribuzione di  $V_s$  in funzione della profondità stratigrafica. In tale modello, la curva di dispersione misurata viene confrontata con una curva di dispersione teorica progressivamente affinata fino a convergere sulla migliore riproduzione numerica del dato misurato (*best fitting computation*). La buona sovrapposizione fra queste due curve valida la compatibilità del modello di sottosuolo con le misure.

A supporto dello studio di microzonazione sismica sono state realizzate indagini MASW di tipo attivo; metodo in cui le onde meccaniche che inducono l'oscillazione nel sottosuolo vengono generate artificialmente e contestualmente misurate da stendimenti lineari di sensori. Questa tecnica consente di ottenere una curva di dispersione sperimentale per frequenze generalmente maggiori di 4-5 Hz fornendo, quindi, informazioni sulle prime decine di metri di sottosuolo, informazioni utili alla determinazione dei valori di  $V_{s30}$ .

I dati acquisiti ed elaborati con le procedure sopra descritte sono stati, poi, confrontati e opportunamente tarati con i dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche, ecc.) e con le curve HVSr misurate nei siti in modo da vincolare le curve ottenute e derivare i valori di  $V_{s30}$ .

La campagna di indagini geofisiche con tecnica MASW è stata condotta dalla società Progeo S.r.l. di Forlì (FC), che ha realizzato in località Prati di Tivo una prova per la ricostruzione di profili verticali di  $V_{s30}$ . Lo stendimento di una lunghezza complessiva di 57,5 m è stato realizzato con 24 geofoni 4,5 Hz e spaziatura equidistante di 2,5 m. L'energizzazione è stata effettuata mediante mazza strumentata da 10 kg e con tiri realizzati a 5, 15 e 25 m su entrambi i lati dello stendimento.

I principali dati relativi a questa prova sono di seguito riportati in Tabella 4-8.

PROVA	ID_INDP	LAT. (WGS84)	LONG. (WGS84)	LOCALITA'	DATA	$V_{s30}$
MASW 1	067034L15MASW15	42.499585°	13.554762°	Prati di Tivo	12/09/2017	630 m/s

**Tabella 4-8 - Sintesi dei dati principali associati alla prova geofisica MASW eseguita.**

#### 4.2.2 Indagini realizzate in laboratorio

Dal sondaggio a carotaggio continuo S1, effettuato nella medesima ubicazione dell'indagine Down Hole (DH), è stato prelevato un campione indisturbato (SH 1) di terreno alla profondità di 12 m.

Presso il Laboratorio Prove Geotecniche dell'Università degli Studi di Enna - Kore, Facoltà di Ingegneria e Architettura, sono state eseguite le analisi granulometriche preliminari (norma A.S.T.M. D 422), una prova di colonna risonante (A.S.T.M. D 4015) e di taglio torsionale ciclico (A.S.T.M. D 4767).

Nella Tabella 4-9 sono state sintetizzate le tipologie di prova eseguite sul campione prelevato.

CAMPIONE	PROF. DI PRELIEVO	LITOLOGIA	ANALISI GRAN.	COLONNA RISONANTE CR	TAGLIO TORSIONALE CICLICO TTC
S 1 SH 1	12 - 12,55 m	Sabbia con limo ghiaiosa	X	X	X

Tabella 4-9 - Sintesi delle prove di laboratorio eseguite sul campione di terreno prelevati nel sondaggio S 1.

Nei seguenti sotto paragrafi sono riportate le descrizioni sintetiche delle prove di laboratorio di tipo più complesso tra quelle utilizzate a supporto del presente studio di microzonazione sismica.

##### 4.2.2.1 Prova di colonna risonante (CR) e Taglio torsionale ciclico (TTC)

Le prove di colonna risonante e di taglio torsionale ciclico sono state eseguite utilizzando una apparecchiatura del tipo "fixed-free" ovvero con la base del provino fissa e la testa libera di ruotare, che include il motore per l'applicazione del carico torsionale alla testa del provino, una serie di trasduttori con condizionatore di segnale, un sistema elettro-pneumatico di controllo della contro pressione e della pressione in cella e un datalogger per acquisizione dei dati.

Nella prova di **colonna risonante**, il generatore di funzioni produce un segnale elettrico sinusoidale che viene aumentato da un amplificatore e trasformato in sollecitazione meccanica torsionale da un motore elettromagnetico costituito da otto bobine e quattro magneti collegati alla testa del provino. Il campo magnetico delle bobine interagisce con i magneti collegati alla piastra che trasmette l'oscillazione torsionale alla testa del provino. Poiché la frequenza di eccitazione viene fatta variare, la risposta dinamica del campione varia in termini di ampiezza. Quest'ultima viene registrata da un accelerometro collegato alla piastra di guida e da trasduttori di prossimità che misurano il movimento relativo tra la piastra e le bobine. I valori della frequenza di risonanza sono stati utilizzati per il calcolo del modulo di taglio e delle deformazioni. La curva di decadimento, prodotta interrompendo in risonanza l'eccitazione torsionale, ha permesso di valutare lo smorzamento del materiale.

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

Nella prova di **taglio torsionale** viene applicata al provino una coppia torcente ciclica per mezzo di un motore torsionale al quale viene inviato un segnale sinusoidale ad una frequenza fissa di 0.5 Hz, monitorando continuamente la torsione e la deformazione angolare. La rotazione del provino viene misurata grazie all'utilizzo di due trasduttori di prossimità. I dati del segnale inviato (proporzionale allo sforzo di taglio) e la corrispondente torsione (proporzionale alla deformazione di taglio) vengono acquisiti simultaneamente. Il modulo di taglio del provino viene quindi determinato in base alla pendenza media dell'isteresi sforzo-deformazione mentre lo smorzamento è correlato all'area del ciclo di isteresi.

Il sistema (Figura 4-3) include:

- Cella in alluminio con colonne in acciaio inossidabile e cilindro in Perspex di dimensioni:  $D_{int} = 170$  mm  $D_{est} = 200$  mm, incluse le linee per il drenaggio inferiore;
- Accessori per provino da 50 mm di diametro;
- Telaio interno mobile per l'assemblaggio del motore elettrico che applica il carico torsionale. Il motore è costituito da 4 magneti in NeFeB 10 x 25 x 40 mm e da 8 bobine;
- Unità di controllo principale che include:
  - Alimentazione di rete;
  - Amplificatore di corrente;
  - Condizionatore di segnale (8 canali);
  - Generatore di segnale e acquisitore dati (connessione USB);
  - Convertitori elettropneumatici per pressione in cella e contropressione.

Il Kit di misura comprende:

- Trasduttore assiale LVDT;
- Trasduttore per la misura della variazione di volume;
- 3 trasduttori di pressione;
- 2 sensori "Eddy current" (con sistema di guida miniaturizzato).

Momento torcente massimo: 1 Nm

Deformazione angolare massima: 10°

Pressione in cella e contropressione massime: 1 MPa

Frequenza di eccitazione: Dinamica (RC) 1-300 Hz; Ciclica (TS) da 0 a 50 Hz



Figura 4-3 - Strumentazione utilizzata per le prove di colonna risonante (RC) e taglio torsionale ciclico (TTC)

## 5 Modello del sottosuolo

Mediante l'analisi integrata delle informazioni derivanti dal rilievo geologico di campagna e l'esplorazione geologica s.l. del sottosuolo si è pervenuti alla definizione del miglior modello geologico-tecnico possibile per l'area in esame. Più in dettaglio, un approfondito rilevamento geologico di dettaglio di superficie ha permesso di impostare le azioni finalizzate alla definizione del modello geologico a sua volta derivante dall'integrazione di tali informazioni con i dati forniti dai sondaggi geognostici e con i dati indiretti provenienti dalle prospezioni geofisiche di superficie (sismica a rifrazione e a riflessione) e in foro (down-hole) e dalle indagini HVSR realizzate nei ambiti selezionati per gli approfondimenti di terzo livello.

Sono state prodotte sette sezioni geologico-tecniche essenziali sia per la definizione della carta geologico-tecnica (CGT\_MS) e, conseguentemente, per la carta delle Microzone Omogenee in prospettiva Sismica (MOPS) - sia per quanto attiene il controllo e la migioria della microzonazione sismica di primo livello - sia per la determinazione dell'input geologico-tecnico necessario per l'esecuzione delle analisi di risposta sismica locale nell'ambito delle attività connesse con la microzonazione sismica di terzo livello. Il modello geologico di sottosuolo è risultato essere particolarmente complesso, viste le caratteristiche geo-litologiche e geomorfologiche che caratterizzano non solo il territorio comunale ss ma anche i pur ristretti ambiti di studio selezionati.

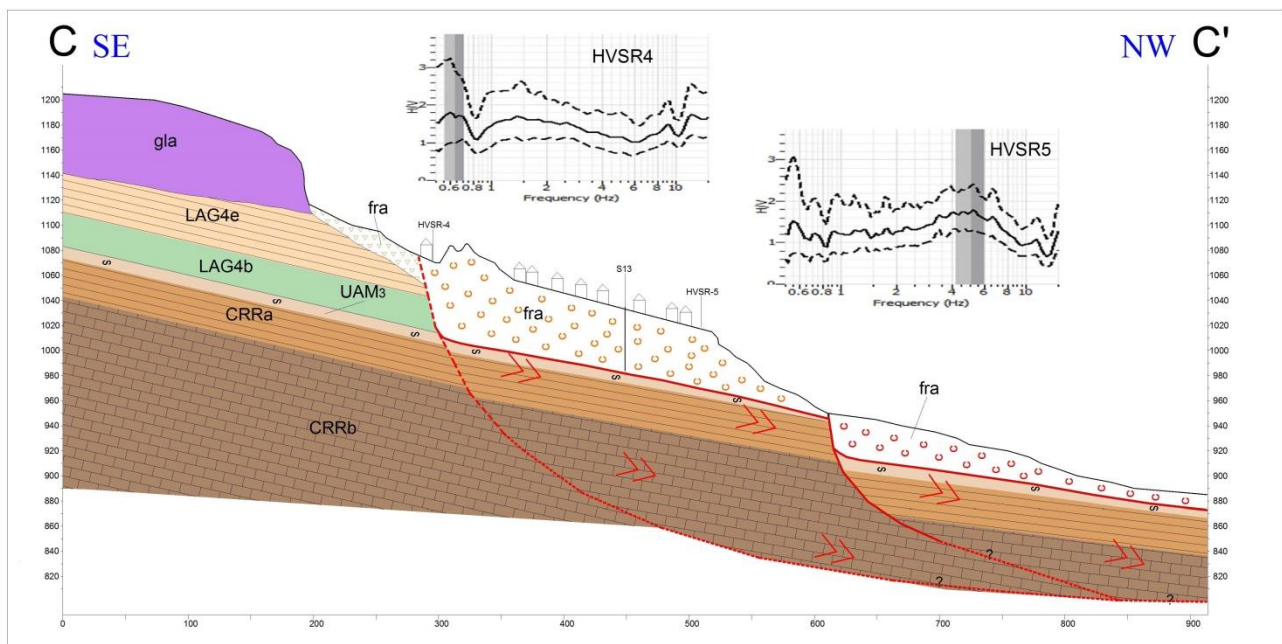
L'abitato di **Pietracamela** (sia nell'area orientale denominata "la Villa" che in quella storica, più occidentale denominata "la Terra") è posto al di sopra di un Deposito di frana (fra), con spessori rapidamente variabili lateralmente da 20 m a poco più di 50 m, costituito da un accumulo caotico di frammenti litici arenacei o

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

calcarei, eterometrici fino ai grossi blocchi, con matrice fine più o meno abbondante. Si tratta di materiali riferibili ad un *Deposito di versante a grossi blocchi* (ver), mobilizzati da successivi fenomeni franosi avvenuti in passato in concomitanza del forte approfondimento vallivo, ed in parte ancora attivi seppur con lenta cinematica nell'area più orientale del paese - con evidenze nette in prossimità della sede municipale e della chiesa di San Rocco.

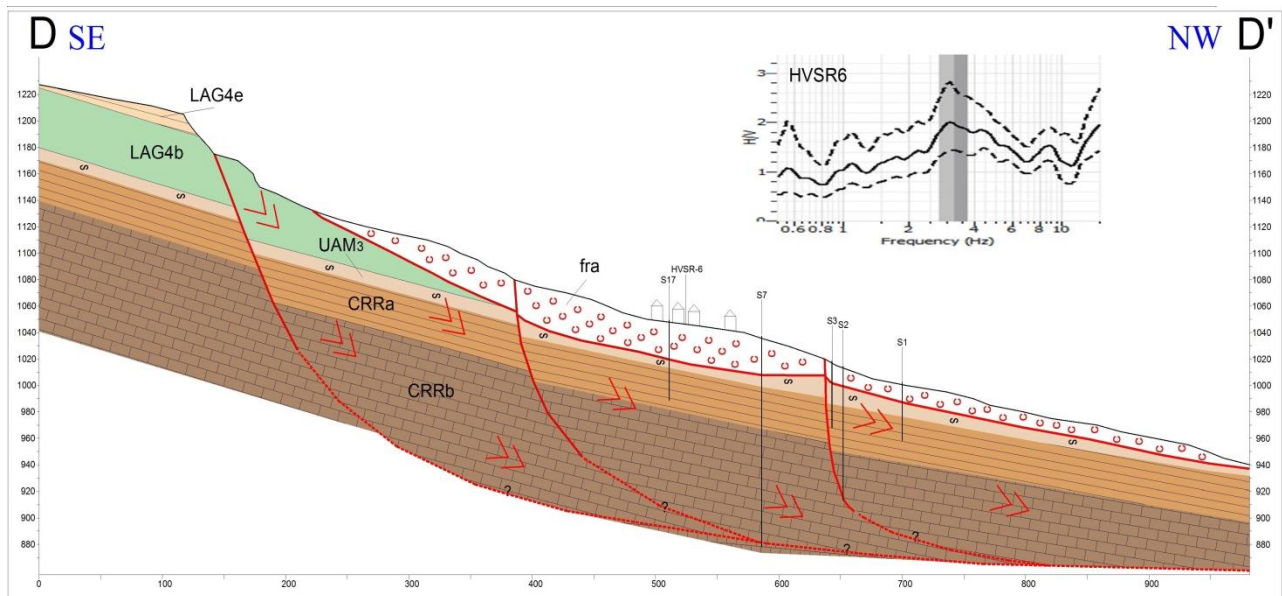
Il piano di scorrimento è costituito dalle *Argille ad Orbulina* (UAM3) caratterizzate da marne argillose e siltiti marnose di colore da grigio-azzurro a grigio-scuro, sottilmente stratificate e laminate, il cui spessore residuo, strettamente variabile a livello locale in quanto la formazione è stata estesamente coinvolta dai fenomeni gravitativi) varia tra i 2 m ed i 15 m. Il passaggio alla sottostante litofacies marnoso-calcarenitica delle Marne con Cerrognia (CRRa) si presenta sfumato, con graduale diminuzione della componente marnosa.

Le sezioni C-C e D-D' aventi andamento generale NW-SE e la sezione E-E' – ortogonale ad esse – risultano essere altamente rappresentative di tale modello.

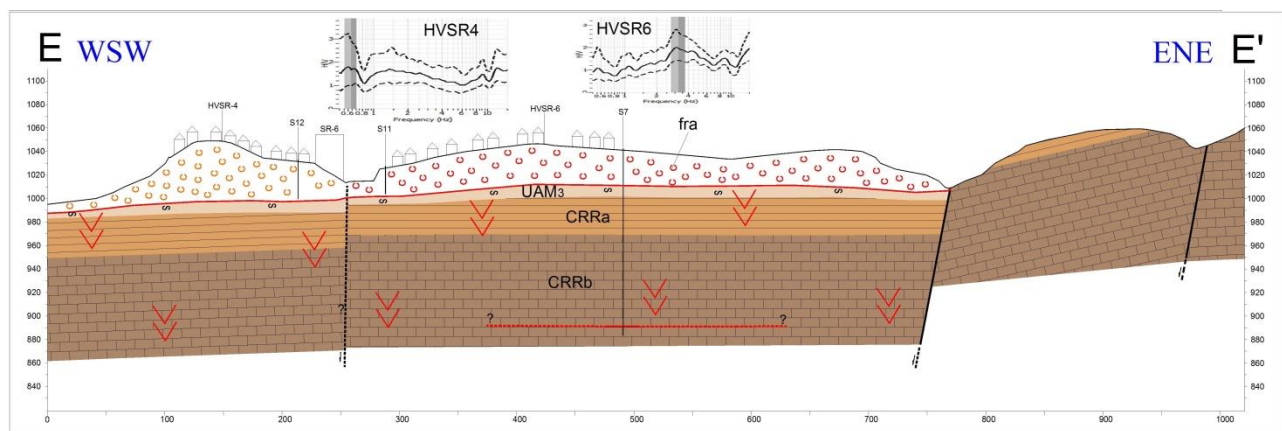


**Figura 5-1 - Sezione geologico-tecnica Capo le Vene – corpo occidentale dell'abitato di Pietracamela ("la Terra") –** Legenda: fra = deposito di frana complessa; UAM3 = argille ad Orbulina; CRRa = marne con Cerrognia – litofacies marnoso-calcarenitica; CRRb = marne con Cerrognia – litofacies calcarenitico-calciruditica. LAG4e = formazione della Laga, membro del Lago di Campotosto, associazione pelitico-arenacea. LAG4b = formazione della Laga, membro del Lago di Campotosto, associazione arenaceo-pelitica

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)



**Figura 5-2 - Sezione geologico-tecnica Capo la Costa – corpo orientale dell’abitato di Pietracamela (‘la Villa’).** Legenda: fra = deposito di frana complessa; LAG4e = formazione della Laga, membro del Lago di Campotosto, associazione pelitico-arenacea. LAG4b = formazione della Laga, membro del Lago di Campotosto, associazione arenaceo-pelitica; UAM3 = argille ad Orbulina; CRRa = marne con Cerrognà – litofacies marnoso-calcarenitica; CRRb = marne con Cerrognà – litofacies calcarenitico-calciruditica.



**Figura 5-3 - Sezione geologico-tecnica abitato di Pietracamela (‘la Terra’ - ‘la Villa’) - Colle Lungo.** Legenda: fra = deposito di frana complessa; UAM3 = argille ad Orbulina; CRRa = marne con Cerrognà – litofacies marnoso-calcarenitica; CRRb = marne con Cerrognà – litofacies calcarenitico-calciruditica.

Il Deposito di frana (fra) appare morfologicamente collocato in una depressione tettonica delimitata da faglie distensive a direzione variabile da NW-SE a circa N-S e probabilmente dissecata da altre faglie dirette a direzione circa E-W, ed interessa il versante di Pietracamela dalla dorsale di Colle Lungo ad est all’incisione di Rio Arno ad ovest, ed all’incirca dalla base di Capo le Vene - Capo la Costa a circa 1500 - 1200 m s.l.m., fino alla confluenza del Fosso Cannavine nel Rio Arno a circa 750 m di quota.



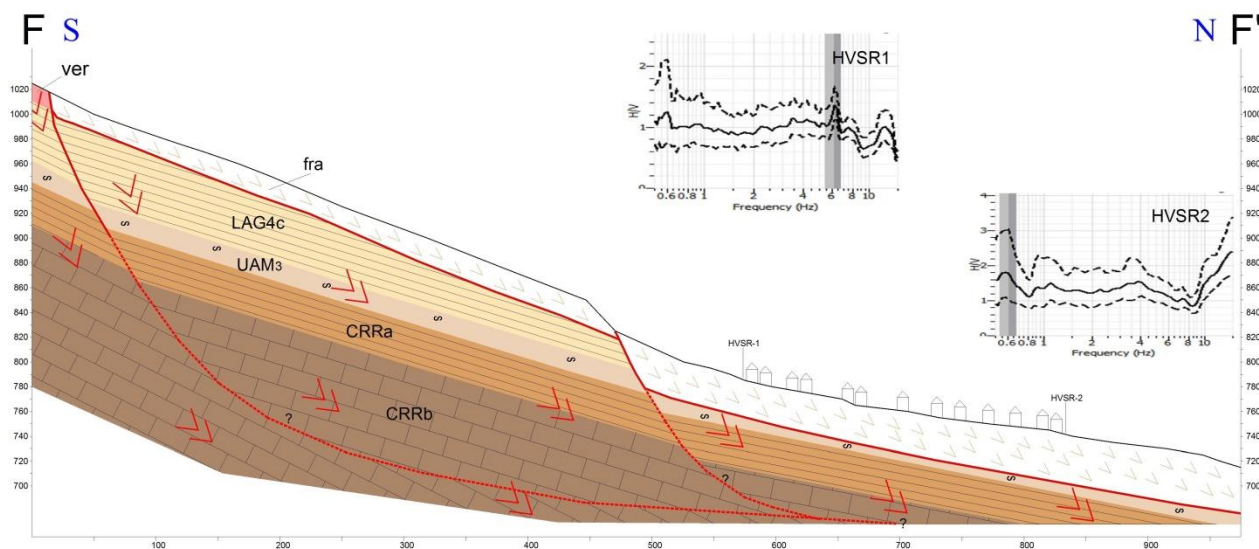
## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

Appena a monte dell'abitato "la Terra" (Capo le Vene), al di sopra dell'associazione pelitico-arenacea (LAG4e) della Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto, è presente il Deposito glaciale (gla - caratterizzato essenzialmente da un till indifferenziato), con una sequenza mediamente spessa 50 metri e costituito da brecce calcaree fortemente cementate e grossolanamente stratificate (Figura 5-1).

Alle spalle del nucleo abitato "la Villa", a monte della corona principale di frana (Capo la Costa), affiora invece il substrato costituito dalle associazioni arenaceo- pelitica II (LAG4b) e pelitico-arenacea (LAG4e) della Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto - con un notevole grado di alterazione e fratturazione (Figura 5-2).

Ad oriente del paese (area cimitero - settore SE di Colle Lungo), al di fuori dell'ambito selezionato per l'approfondimento del terzo livello infine, affiora il substrato costituito dalle Marne con cerroigna (Figura 5-3) ovvero dalla litofacies marnoso-calcarenitica (CRRa), con spessore limitato - 10 m circa - e ricoperto da un sottile (1-3 m) orizzonte eluviale, e dalla sottostante litofacies calcarenitico-calciruditica (CRRb).

Nell'area di Intermesoli, l'assetto geologico e geomorfologico si mostra molto simile a quello appena evidenziato per il centro abitato di Pietracamela. La situazione è ben rappresentata in Figura 5-4.



**Figura 5-4 - Sezione geologico-tecnica Caparrecce - abitato di Intermesoli** Legenda: fra = deposito di frana complessa; LAG4e = formazione della Laga, membro del Lago di Campotosto, associazione pelitico-arenacea. LAG4c = formazione della Laga, membro del Lago di Campotosto, associazione arenacea; UAM3 = argille ad Orbulina; CRRa = marne con Cerroigna - litofacies marnoso-calcarenitica; CRRb = marne con Cerroigna - litofacies calcarenitico-calciruditica.

L'abitato poggia su di un deposito di frana, con spessori presumibilmente variabili dai 20 m ai 40 m, costituito da un accumulo caotico di frammenti litici arenacei, eterometrici fino ai grossi blocchi, con matrice fine più o meno abbondante. Anche in questo caso si tratta di materiali riferibili ad un Deposito di



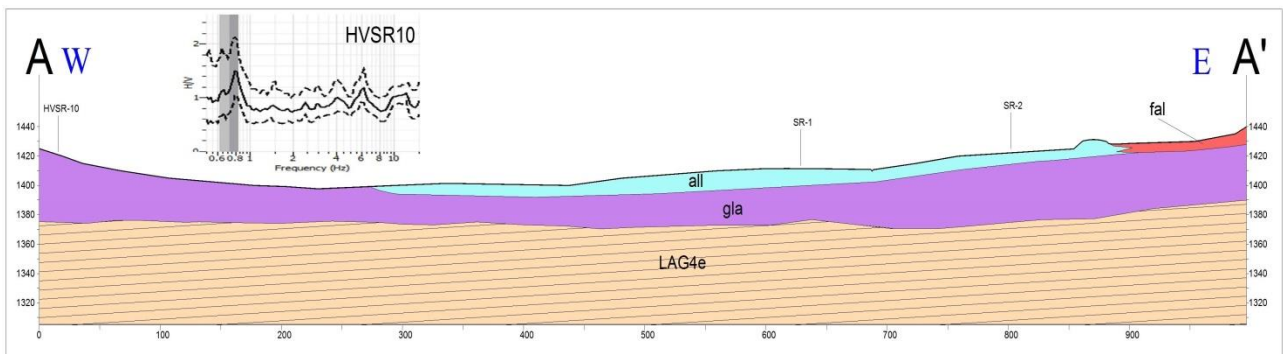
MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

versante a grossi blocchi (ver), mobilizzati da un fenomeno franoso avvenuto in passato ed attualmente quiescente.

Il piano di scorrimento è verosimilmente costituito dalle Argille ad Orbulina (UAM3) nell'area dell'abitato, e dall'associazione arenacea (LAG4c) della Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto, nel tratto a monte del paese. I dati provenienti dai rilevamenti di superficie (Adamoli, 2014), inoltre, hanno consentito di accertare la presenza degli effetti dell'attività di una Deformazione Gravitativa Profonda di Versante che verosimilmente interessa anche una porzione significativa delle Marne con Cerroigna, estendendosi in profondità, sino a circa 150 m.

Nell'area dei Prati di Tivo, è evidente la presenza estesa di terreni di copertura, con spessori variabili lateralmente da 3 m a 20 m, costituiti essenzialmente da Depositi alluvionali e fluvio-glaciali (all), e da Detrito di falda (fal). Essi poggiano sul sottostante Deposito glaciale (gla), costituito da una sequenza di alcune decine di metri di brecce calcaree molto cementate e grossolanamente stratificate, a sua volta sovrapposto all'associazione pelitico-arenacea (LAG4e) della Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto (Figura 5-5 e Figura 5-6).

Nel settore occidentale dell'area, lungo la dorsale Calderotto - Peschio la Pronca, il suddetto substrato sismico è affiorante con uno spessore massimo di 60 - 70 m, e solo a luoghi appare ricoperto da orizzonte eluviale molto sottile (1-2 m) (Figura 5-5 e Figura 5-6).



**Figura 5-5 - Sezione geologico-tecnica Calderotto - Prati di Tivo. Legenda: fal = detrito di falda; all = deposito alluvionale e glaciale; gla = deposito glaciale; LAG4e = formazione della Laga, membro del Lago di Campotosto, associazione pelitico-arenacea.**

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

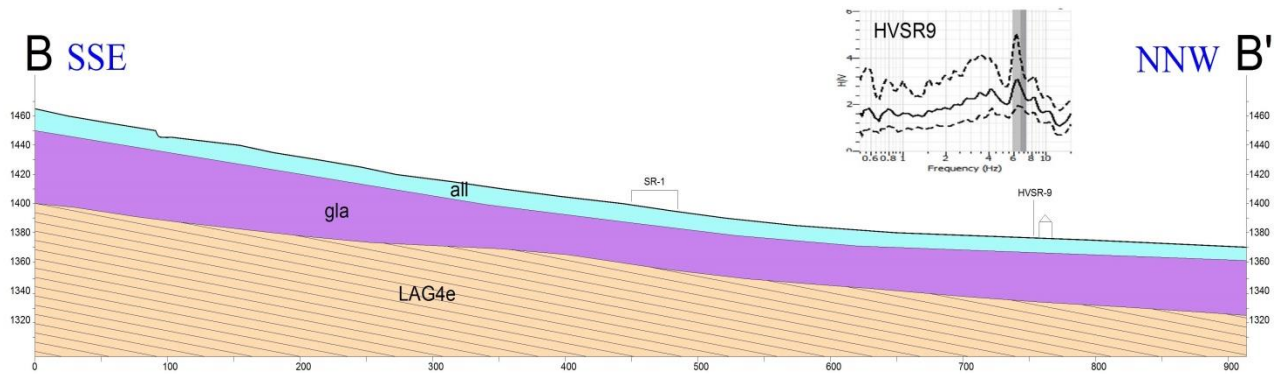


Figura 5-6 - Sezione geologico-tecnica Fonte Corea - Prati di Tivo. Legenda: all = deposito alluvionale e glaciale; gla = deposito glaciale; LAG4e = formazione della Laga, membro del Lago di Campotosto, associazione pelitico-arenacea.

## 5.1 Substrato

Nell'area di studio il substrato geologico è dunque costituito dai depositi terrigeni silicoclastici (Messiniano p.p.) di avanfossa appartenenti all'Unità della Laga (LAG4) – Membro del lago di Campotosto nella sua associazione pelitico-arenacea (LAG4e), arenaceo-pelitico (LAG4b) ed arenacea (LAG 4c)) e da una successione calcareo-marnosa di rampa distale, riferibile alle Argille ad Orbulina e Marne con cerroghna (Langhiano - Messiniano p.p.) che di fatto rappresenta la base del *bed rock* sismico

I depositi continentali Quaternari di origine glaciale, alluvionale e fluvio-glaciale e di versante ricoprono il substrato geologico, affiorando estesamente nell'area di studio.

Di seguito vengono descritte le unità geologiche presenti nell'area di studio.

### 5.1.1 Unità Geologiche Marine

#### **Marne con cerroghna CRR** (Langhiano - Tortonian p.p.)

Questa unità, con buona continuità laterale e piuttosto estesa sul versante di Pietracamela, costituisce il tetto della successione calcareo-marnosa meso-cenozoica. Presenta uno spessore variabile da 90 m (serie rovesciata dei Prati di Tivo) ad un massimo di 750 m (anticlinale del Montagnone), ed è caratterizzata dalle seguenti due distinte litofacies:

- *litofacies marnoso-calcarenitica* (CRRa) - E' costituita da marne, marne-calcaree grigioverdi e grigio-avane, e marne-argillose a foraminiferi planctonici, con intercalazioni di calcareniti in strati medi a granulometria da molto fine a media.
- *litofacies calcarenitico-calciruditica* (CRRb) - E' caratterizzata da calcareniti e calciruditi flussotorbiditiche in strati e banchi, di colore grigio e nocciola, con resti spongolitici e glauconite rimaneggiata, ed intercalazioni di marne calcaree di colore grigio con piste di limivori. E' altresì

presente, verso il basso, un intervallo di prevalenti calcareniti massive con frammenti di pectinidi, lamellibranchi ed ostreidi.

**Argille ad *Orbulina* UAM3** (Tortoniano p.p. - Messiniano p.p.)

Questa unità, non affiorante nelle aree di studio ma presente alla base degli affioramenti della successione silicoclastica della *Formazione della Laga* e dei depositi di frana, è costituita da marne argillose e siltiti marnose di colore da grigio-azzurro ad avana a grigio-scuro, sottilmente stratificate e laminate, ricche di foraminiferi planctonici. Il contatto stratigrafico con le sovrastanti torbiditi della *Formazione della Laga* è marcato da un'evidente discordanza angolare. Localmente sono presenti sottili intercalazioni pelitico-arenacee. La base è di solito caratterizzata dalla presenza di un *hard-ground* mineralizzato a glauconite e fosfati di spessore centimetrico, al di sopra del quale possono essere presenti pochi metri di calcari marnosi e marne calcaree ricchi in glauconite e tracce fossili. Lo spessore, non determinabile con certezza, è compreso tra 10 e 30 m. Nell'area dell'abitato di Pietracamela, dall'analisi dei sondaggi geognostici eseguiti nel passato, risulta uno spessore residuo variabile da 2 m a 10 m.

### 5.1.2 Depositi terrigeni sin-orogenici di avanfossa

**Formazione della Laga - Membro del Lago di Campotosto LAG4** (Messiniano p.p.)

La *Formazione della Laga* è costituita, in generale, da un corpo arenaceo torbiditico di notevoli dimensioni, di forma lenticolare e con uno spessore che può superare i 3.000 m.

Caratterizza questo corpo sedimentario, un insieme di associazioni litologiche (arenacea, arenaceo-pelitica, pelitico-arenacea e pelitica) che presentano rapporti variabili sia in senso verticale che laterale. L'evoluzione complessiva della sedimentazione mostra comunque, in generale, una tendenza alla diminuzione verso l'alto della granulometria, dello spessore degli strati e del rapporto arenaria/argilla. All'interno della formazione sono distinguibili, dal basso verso l'alto, tre membri principali (*membro del Lago di Campotosto*, *membro gessoarenitico* e *membro di Teramo*), ed il *membro del Lago di Campotosto*, che rappresenta la porzione basale della *Formazione della Laga*, è l'unico affiorante nel territorio comunale di Pietracamela, ed in particolare, nelle aree in studio, sono presenti le seguenti associazioni litologiche:

- *associazione arenacea* (LAG4c) - Presenta un rapporto S/A  $\gg 1$  ed è caratterizzata dalla prevalenza di strati amalgamati molto spessi con geometria sia tabulare che lenticolare su media scala. Gli strati di maggiore dimensione sono in genere massivi, senza apprezzabile gradazione interna ed occasionale sviluppo al tetto di laminazione ondulata, convoluta e/o incrociata (facies B e subordinatamente C).

---

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

- *associazione arenaceo-pelitica II* (LAG4b) - Presenta un rapporto S/A compreso tra 1 e 3 è caratterizzata da strati tabulari medi e spessi; essi presentano in genere una porzione gradata inferiore ed una laminata superiore (sequenza completa di Bouma) o solo quella laminata superiore (facies C e subordinatamente D1 e D2).
- *associazione pelitico-arenacea* (LAG4e) - Prevalenza di strati tabulari con rapporto S/A < 1, in cui la porzione arenacea è completamente laminata (facies D2 e subordinatamente C1 e D1).

Infine, nell'area di Prati di Tivo il substrato sismico è identificabile con i depositi glaciali (gla) così caratterizzabili:

***Deposito glaciale (gla)*** (Pleistocene medio p.p.)

Costituito essenzialmente dal *Till* indifferenziato riferibile al *Sintema di Pietracamela* (PEAc1) del Pleistocene medio p.p. (Foglio 349 del Gran Sasso d'Italia, in stampa), è ben esposto, con morfologie rupestri appena a monte dell'abitato di Pietracamela, in destra idrografica del Rio Arno, con una sequenza spessa circa 70 m, costituita da ghiaie e brecce calcaree fortemente cementate e grossolanamente stratificate che si estende per circa 2,7 km, dai Prati di Tivo a Pietracamela, a formare la dorsale Calderotto - Peschio la Pronca - Capo le Vene. La base del deposito, spesso mascherata da accumuli detritici originatisi per frane successive, corrisponde ad una superficie di erosione a geometria planare con quote decrescenti verso nord, formatasi a spese del substrato costituito dalla Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto. Il deposito – avente spessore massimo 100 m – è caratterizzato da un'alternanza irregolare di facies con frequenti variazioni laterali e verticali. La litofacies prevalente è costituita da brecce fortemente cementate, in strati molto spessi, generalmente massivi, costituite da clasti calcarei che possono raggiungere dimensioni metriche, angolosi e raramente sub-arrotondati, con proporzioni variabili di matrice siltosa biancastra. Talora si osservano intercalazioni di ghiaie eterometriche fino ai blocchi, da angolose a sub-arrotondate, in strati da medi a sottili, che costituiscono piccoli corpi canalizzati con stratificazione incrociata planare e a truogolo. Sono altresì presenti, con strati da sottili a spessi, brecce angolose e sub-angolose da fini a molto grossolane con contenuto molto variabile di matrice calcarea sabbioso-limosa (tessitura da *open work* a *matrix supported*). La sequenza esaminata, come già accennato, è prevalentemente di origine glaciale anche se le alternanze con depositi gravitativi o rielaborati dalle acque correnti, indica una rapida variazione nello spazio e nel tempo degli ambienti deposizionali, verosimilmente in connessione con le avanzate e i ritiri del ghiacciaio della Val Maone - Valle del Rio Arno. Il crinale a ridosso di Pietracamela rappresenta, pertanto, un argine morenico laterale il cui apparato frontale è stato successivamente demolito dall'erosione fluviale.

## 5.2 Terreni di copertura

In discordanza sui vari termini delle successioni descritte si rinvencono, viste le quote elevate del versante di interesse, depositi di origine glaciale del Pleistocene medio ed estese e varie coperture detritiche oloceniche che localmente si interdigitano con sedimenti alluvionali e fluvioglaciali, connessi con le fasi climatiche freddo-aride del Quaternario.

Essi sono così caratterizzabili:

### ***Deposito di versante a grossi blocchi (ver)*** (Olocene - attuale)

Si tratta di depositi accumulatisi lungo i versanti per azione prevalente della gravità e/o per ruscellamento e costituiti da clasti eterometrici e matrice a prevalente composizione terrigena o calcarea a seconda della natura del substrato. Lungo il versante Pietracamela - Intermesoli, l'estesa copertura detritica, costituita da clasti morfologicamente fortemente differenziati fino alle dimensioni di grossi blocchi, poligenici, con quantità variabile di matrice siltoso-sabbiosa o calcarea e cementazione generalmente scarsa, e messa in posto attraverso meccanismi di degradazione delle scarpate strutturali, è stata successivamente coinvolta, per la maggior parte della sua estensione, in fenomeni franosi. Lo spessore varia da pochi metri fino a superare i 50 m.

### ***Depositi di frana (fra)*** (Olocene - attuale)

Sono costituiti da accumuli caotici - frammenti litici arenacei o calcarei, eterometrici fino ai grossi blocchi - con quantità variabile di matrice siltoso-sabbiosa o calcarea e cementazione generalmente scarsa. Si tratta di materiali mobilizzati da fenomeni gravitativi di grandi dimensioni, avvenuti in passato, ed in parte ancora soggetti a movimenti, diffusamente presenti nel versante in esame. Un esempio è rappresentato dall'area dell'abitato di Pietracamela, dove il deposito di versante a grossi blocchi, compreso tra la dorsale di Collelungo ed il Rio Arno è stato mobilizzato, a partire all'incirca dalla base di Colle Cepito - Capo le Vene fino alla confluenza del Fosso Cannavine nel Rio Arno, da fenomeni franosi avvenuti in passato in concomitanza del forte ed in parte ancora soggetti a movimenti, diffusamente presenti nel versante in esame. Un esempio è rappresentato dall'area dell'abitato di Pietracamela, dove il deposito di versante a grossi blocchi, compreso tra la dorsale di Collelungo ed il Rio Arno è stato mobilizzato, a partire all'incirca dalla base di Colle Cepito - Capo le Vene fino alla confluenza del Fosso Cannavine nel Rio Arno, da fenomeni franosi avvenuti in passato in concomitanza del forte approfondimento vallivo, ed in parte ancora attivi. Nell'area dell'abitato di Pietracamela, inoltre sulla base dei dati emersi dai sondaggi geognostici è stato possibile accertare una certa variazione litologica del *deposito di frana*, fra le due parti dell'abitato,



suddivise dal Rio la Porta, affluente di destra del Rio Arno. Nel nucleo antico dell'abitato ("la Terra"), posto a SW del Rio la Porta, i clasti fino agli enormi blocchi rocciosi sono essenzialmente carbonatici, con matrice a prevalente composizione calcarea, in quanto provenienti dalla demolizione delle brecce calcaree di Capo le Vene. Nella parte più recente del paese ("la Villa"), a NE del Rio la Porta, invece, prevalgono clasti e grandi blocchi arenacei, nonché una matrice prevalentemente siltoso-sabbiosa e limoso-argillosa, in quanto questa parte del versante è stata essenzialmente alimentata dalla degradazione di scarpate arenacee e pelitico-arenacee. Sempre nell'area dell'abitato, il substrato del *deposito di frana*, così come risulta dai sondaggi geognostici, è costituito dalle *Argille ad Orbulina*, e lo spessore varia all'incirca dai 20-40 m a "la Villa" fino a superare i 50 m nel nucleo antico "la Terra".

**Detrito di falda (fal)** (Olocene - attuale)

Costituisce l'ampia falda detritica che dalla base dei ripidi versanti del settore Corno Piccolo - Arapietra, si estende per buona parte dei Prati di Tivo e si interdigita con i depositi fluvio-glaciali e di conoide alluvionale. La litologia è caratterizzata da clasti poligenici ed eterometrici, fino alle dimensioni dei blocchi, con scarsa matrice siltoso-sabbiosa e cementazione generalmente scarsa. Lo spessore varia da 3 m a 20 m.

**Deposito alluvionale e fluvio-glaciale (all)** (Olocene - attuale)

Presente esclusivamente nell'area dei Prati di Tivo, dove passa lateralmente al detrito di falda, il deposito è litologicamente costituito da sabbie, ghiaie e limi con livelli e lenti di argille e da ghiaie e blocchi di dimensioni da metriche a centimetriche, poligenici, da sub-angolosi ad arrotondati, con intercalazioni di sabbie e limi sabbiosi (conoide alluvionali). Lo spessore del deposito varia da 3 m a 15 m.

## 6 Interpretazioni e incertezze

Nel presente capitolo vengono esaminate le principali scelte effettuate a scopo interpretativo, partendo dall'esposizione del percorso logico seguito per delineare la struttura dello studio, evidenziandone le ragioni e gli elementi a sostegno, ma cercando anche di valutarne le inevitabili incertezze e le eventuali criticità.

### 6.1 Valutazione dei corpi di frana

La notevole complessità orografica e l'elevata energia del rilievo determinano, nel territorio comunale di Pietracamela, la presenza di numerosi e diffusi fenomeni gravitativi di diversa tipologia ed estensione. La principale causa predisponente al dissesto è quindi in stretta relazione con l'acclività dei versanti dovuta

alla forte tendenza all'approfondimento del reticolo idrografico connesso al sollevamento tettonico, alle variazioni climatiche ed all'attività quaternaria delle faglie dirette. Allo stesso tempo, però, la notevole varietà tipologica dei fenomeni gravitativi e la loro distribuzione è comunque da mettere in relazione alla litologia ed alle caratteristiche strutturali e meccaniche delle formazioni coinvolte.

Il versante del borgo di Pietracamela è interessato da numerosi fenomeni franosi superficiali attivi quali le frane di crollo che interessano sia la ripida parete carbonatica subverticale di Capo le Vene (ultimo evento il 18 marzo 2011) che le pareti dei grossi massi isolati presenti all'interno del paese e la frana complessa di notevole estensione che coinvolge tutto il settore orientale ("la Villa") dell'abitato, con effetti diffusamente evidenti sia sulla morfologia che sulle infrastrutture. Tale movimento franoso, sembra evolvere lentamente, anche se con modalità leggermente diverse da zona a zona, e talora sembra subire brusche accelerazioni in concomitanza di eventi meteorici particolarmente critici. In tal senso, l'approfondito rilevamento geologico effettuato ha permesso di osservare piccole scarpate secondarie, contropendenze e ristagni d'acqua nei periodi immediatamente successivi a precipitazioni significative e confermarne - con piccoli margini di errore, l'estensione areale. Neppure dopo aver analizzato le immagini aerofotogrammetriche disponibili in rete e confrontato le evidenze con quelle disponibili all'interno dei cartografie "PAI" "IFFI" ed "AVI", si riscontrano variazioni degne di nota dell'areale interessato dal movimento gravitativo. Allo stesso tempo, rimangono però forti incertezze nella definizione quantitativa dello spessore della frana, solo in parte chiarito dai sondaggi disponibili già nel precedente studio di microzonazione di primo livello. La possibilità di disporre di un solo sondaggio, effettuato in area R1 e limitato in profondità a circa 37 metri non ha permesso di migliorare le informazioni relative agli spessori e alle volumetrie del movimento gravitativo né della DGPV di versante che, seppur con movimenti estremamente lenti, caratterizza sino a notevoli profondità l'intero versante. Occorre rammentare che la porzione medio - bassa del nucleo della "Terra" è interessato da un esteso movimento franoso di tipo complesso ma attualmente quiescente. Anche relativamente all'abitato di Intermesoli, si osserva come esso poggi su di un deposito di frana quiescente; anche in questo caso non è stato possibile procedere ad una migliore valutazione quantitativa dell'apparato franoso, visto che in questo ambito non è stato possibile effettuare alcun sondaggio ed anche in questo caso, è stato possibile confermarne l'estensione areale.

Infine, in relazione alla crisi sismica iniziata nell'agosto 2016, si segnala che non vi sono evidenze di riattivazioni dei corpi di frana menzionati né evidenze di nuove attivazioni.

## **6.2 Frequenza naturale dei terreni ( $f_0$ ) e bedrock**

Le misure di rumore ambientale a stazione singola sono fortemente influenzate dal contesto del sito nel quale viene effettuata la registrazione e dalle condizioni meteorologiche.

Tra i fattori ambientali il vento è l'agente atmosferico con maggiore influenza, in grado di indurre perturbazioni a bassa frequenza ( $< 1$  Hz) non legate alle caratteristiche del sito.

I transienti principali sono provocati da sorgenti di breve durata, come ad esempio il passaggio di automobili, la cui influenza dipende dall'energia e dalla distanza. Il traffico urbano di una strada ad elevato scorrimento ad esempio, è una sorgente di onde a grande ampiezza e breve periodo, mentre i disturbi di natura industriale possono generare picchi estremamente ampi, o massimi locali multipli, in alcun modo connessi alle condizioni geologiche del sito.

Considerando le incertezze e le problematiche esposte, è stato necessario realizzare ben 25 registrazioni prima di ottenere i risultati delle 17 indagini di sismica passiva a stazione singola proposte a supporto dello studio di microzonazione. In fase di elaborazione dei dati, infatti, si è potuta accertare la presenza di disturbi a basse frequenze che hanno portato a scartare alcune delle misure realizzate. Tali disturbi sono attribuibili all'azione del vento frequentemente presente nell'area di studio.

La serie di microtremori realizzati a supporto dello studio di microzonazione sismica ha fornito dati con distribuzione areale e caratteristiche strumentali omogenee. Visto il numero non elevato e la distribuzione eterogenea dei carotaggi continui, si è fatto ampio utilizzo delle indagini geofisiche passive per individuare, mediante contrasto di impedenza, possibili superfici di discontinuità stratigrafiche in grado di influenzare il moto sismico in superficie.

Sfruttando la relazione che lega le frequenze fondamentali dei terreni, desunte da analisi di sismica passiva, con le velocità delle onde di taglio disponibili e la profondità di un dato contrasto di impedenza, è stato possibile stimare la posizione stratigrafica del bedrock in aree in cui esso non risultava affiorante.

L'interpretazione di alcune delle misure realizzate in contesti di frana è stata alquanto complessa ed a volte di dubbia qualità, mostrando segnali anisotropi di forte polarizzazione.

Le acquisizioni hanno avuto durata di 30 minuti e sono state analizzate con finestre variabili da 30 a 40 secondi, in funzione della frequenza di vibrazione fondamentale rilevata. In località Pietracamela sono state realizzate due misure notturne della durata di 60 minuti ciascuna al fine di meglio indagare le basse frequenze in assenza di rumori antropici significativi.

Le misure di rumore ambientale eseguite all'interno di tutti gli ambiti di studio di microzonazione, hanno permesso la redazione di una dettagliata carta delle frequenze naturali dei terreni (Tavola 3, paragrafo 8.3).

In particolare nell'ambito di Intermesoli la quasi totalità delle misure ha fornito valori di frequenza compresi tra 2 e 3 Hz pur con ampiezze spesso dissimili. Nell'ambito di Pietracamela le frequenze mostrano invece una distribuzione in due cluster di 2-3 Hz e 4-5Hz. Infine nell'area di Prati di Tivo si osserva una totale eterogeneità tra le misure eseguite determinate con ogni probabilità dai differenti spessori delle coperture presenti.

### **6.3 Caratteri ed incertezze dell'interpolazione dei fattori di amplificazione**

La stima dell'interpolazione areale dei fattori di amplificazione ottenuti dalle modellazioni 1D e 2D è interessata da un notevole grado di incertezza. Questa stima si è infatti potuta basare solo sul calcolo numerico di un singolo profilo dei fattori di amplificazione per ciascun ambito di studio. Il calcolo di questi profili è a sua volta caratterizzato da un certo grado di incertezza, legato, ad esempio, dall'imperfetta conoscenza dello spessore dei corpi di frana oggetto della modellazione. Nel complesso, si può ritenere però che la modellazione dei profili abbia prodotto valori sufficientemente affidabili. I fattori di amplificazione più elevati sono stati stimati nel abitato di Intermesoli, con valori che superano 2,2 nell'intervallo del periodo di oscillazione delle onde sismiche compreso fra 0,1 e 0,5 secondi. Fattori meno elevati, sono stati ottenuti per il centro antico di Pietracamela, con valori fra 1,7 e 1,8 nello stesso intervallo di periodo. Valori diversi e in genere minori sono stati stimati per periodi di oscillazione più lunghi. La modellazione non è stata effettuata nella porzione orientale del paese di Pietracamela, in quanto interessato da un fenomeno gravitativo in atto, in accordo con le modalità definite dal Centro di Microzonazione Sismica Nazionale.

La modellazione mostra forti e rapide variazioni laterali. I fattori di amplificazione possono raddoppiare su distanze di poche decine di metri. All'interno dell'ambito di Intermesoli, pur di modesta estensione, si osservano due aree di massima amplificazione distanti meno di 150 m, con valori nettamente superiori a 2, intercalati da una fascia ad amplificazione più modesta, con valori inferiori a 1.4. Anche all'interno del nucleo antico di Pietracamela si osservano quattro classi di fattori di amplificazione su una distanza di meno di 40 m. Queste rapide e ampie variazioni laterali di amplificazione delle onde sismica riflettono la complessità sia dell'assetto geologico del sottosuolo che del quadro topografico-geomorfologico.

L'interpolazione areale dei valori di amplificazione calcolati lungo il profilo riflette necessariamente l'ampiezza e l'intensità dei gradienti laterali di variazione. Purtroppo, la disponibilità del calcolo di un solo profilo per ambito di microzonazione abbassa significativamente l'affidabilità dell'interpolazione areale. Le interpolazioni effettuate per la restituzione delle carte dei fattori di amplificazione sono stata eseguite in base alle migliori conoscenze geologiche e geomorfologiche disponibili sull'area. La profondità del

substrato rigido è stato considerato un parametro rilevante, in quanto anche le stime fornite dai profili modellati dimostrano che corpi di frana con spessori rilevanti presentano fattori di amplificazione più alti di quelli sottili. I corpi di frana sono internamente eterogenei, ma nel complesso presentano velocità di propagazione delle onde sismiche generalmente inferiore a quelle del substrato roccioso, che presenta più elevati valori di rigidità e impedenza.

In base a queste considerazioni sono state tracciate, il più accuratamente possibile, i limiti delle classi rappresentate nelle carte dei fattori di amplificazione. Una certa conferma di questa ipotesi di interpolazione areale dei fattori di amplificazione è stata fornita da un esame speditivo dei danni cosismici subite dalle strutture architettoniche del nucleo storico occidentale di Pietracamela in seguito alla sequenza sismica del 2016. Il tessuto dell'edificato storico è qui formato da murature in pietrame eterometrico, in genere di forma irregolare, in edifici generalmente di 3-4 piani, con volte spingenti in muratura, particolarmente ai piani terra, e orizzontamenti lignei mal ammorsati alle murature. Queste strutture dovrebbero essere sensibili alle oscillazioni sismiche nelle fasce di periodo modellate. L'esame speditivo mostra in modo qualitativo, ma chiaro, che le lesioni delle murature, la frattura degli architravi litici, etc., sono particolarmente diffuse nella parte occidentale e topograficamente bassa del paese. Questa distribuzione del danno sembra essere in buon accordo con l'ipotesi di distribuzione dei fattori di amplificazione delle oscillazioni sismiche da noi proposta.

In futuro sarebbe auspicabile aumentare sia la conoscenza degli spessori e dei parametri sismo-stratigrafici dei corpi geologici del sottosuolo, sia eseguire più estese valutazioni dei profili di amplificazione, all'interno di una griglia tridimensionale di profili modellati.

## 7 Metodologie di elaborazione e risultati

La finalità di uno studio di microzonazione sismica è quella di giungere ad una suddivisione del territorio esaminato in zone a diversa pericolosità sismica, in base alla loro suscettibilità ad effetti locali cosismici. Le zone sono classificate come **stabili**, nel caso in cui non si ipotizzino effetti locali di alcuna natura e come **suscettibili di amplificazioni locali** qualora siano attese esclusivamente amplificazioni del moto sismico dovute all'assetto litostratigrafico e morfologico. Qualora siano invece possibili, oltre ai fenomeni di amplificazione, effetti di deformazione permanente del territorio, le zone sono identificate come **suscettibili di instabilità** e per esse sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

Una corretta suddivisione in aree a diversa pericolosità, deve essere necessariamente basata su un modello di sottosuolo di dettaglio, la cui definizione compete al geologo. La bontà del modello è certamente



funzione della disponibilità di dati geognostici e geofisici, ma altrettanto dell'esperienza del tecnico che lo definisce. In contesti orograficamente complessi come quelli appenninici in questione la ricostruzione del sottosuolo è basata sia sulle informazioni derivanti da indagini geognostiche puntuali, sia sulle evidenze osservabili negli affioramenti rocciosi.

La ricostruzione del sottosuolo è stata dunque basata sia sulla tradizionale interpretazione delle facies sedimentarie e delle geometrie deposizionali, sia sulle informazioni estratte dalle sezioni geologiche realizzate nell'ambito degli studi di Microzonazione di primo livello (Adamoli, 2014), integrate con le nuove sezioni realizzate a supporto dello studio.

Nei paragrafi seguenti sono descritte le metodologie utilizzate per la definizione del modello sismo-stratigrafico, per la determinazione dei fattori di amplificazione locale. In accordo con quanto stabilito dal Centro di Microzonazione Sismica Nazionale il grado di rischio associato alle diverse aree caratterizzate da instabilità di versante attiva non è stato determinato, così come i relativi fattori di amplificazione sismica.

## **7.1 Zone stabili**

Le zone stabili sono aree in cui non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura, caratterizzata da litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento, con morfologia pianeggiante o poco acclive. Queste aree sono caratterizzate per definizione da un'amplificazione uguale a 1 e per tale motivo non sono soggette ad ulteriori approfondimenti di microzonazione. Nel comune di Pietracamela queste zone sono estesamente diffuse ma interessano prevalentemente aree caratterizzate da forti dislivelli e dunque non urbanizzate ed urbanizzabili. Aree stabili sono presenti in prossimità di ambiti urbanizzati sono in località Prati di Tivo dove interessano la porzione più occidentale riportata in cartografia.

## **7.2 Zone suscettibili di amplificazioni locali**

Gli eventi sismici verificatisi a partire dall'aprile 2009 hanno permesso di verificare come l'area oggetto dello studio sia stata interessata da fenomeni di amplificazione di natura topografica e stratigrafica. La determinazione del valore dell'amplificazione attesa può essere ottenuta sia attraverso l'utilizzo degli abachi di riferimento nazionali (ICMS - Gruppo di lavoro MS, 2008) o regionali (D.G.R.), sia mediante analisi di risposta sismica locale.

Per le aree classificate come soggette ad amplificazioni locali ed instabilità su movimenti gravitativi di tipo quiescente, la quantificazione dell'accelerazione massima attesa per i differenti periodi di vibrazione considerati (0.1-0.5 secondi, 0.4-0.7 s. 0.7-1.1 s) è stata ottenuta mediante calcolo della risposta sismica locale 1D e 2D (RSL).

Gli approfondimenti di terzo livello e le analisi di risposta sismica locale hanno evidenziato disomogeneità delle condizioni sismo-stratigrafiche del territorio comunale peraltro già supposte in base alle conoscenze pregresse sul contesto geologico - strutturale.

Per tali ragioni sono stati proposti diversi modelli di risposta sismica locale, ritenuti rappresentativi della notevole complessità orografica e delle differenti situazioni geologico-stratigrafiche e strutturali.

Considerata l'appena citata complessità ambientale, le modellazioni proposte in questo studio forniscono solamente un riferimento generale per le analisi di risposta sismica locale prescritte dalle vigenti norme tecniche per le costruzioni (NTC, 2008). Ad ogni progetto, le risposte sismiche locali dovranno essere realizzate ex-novo sulla base di dati geologici e geofisici direttamente acquisiti puntualmente, in relazione alle caratteristiche delle opere da realizzare.

### **7.2.1 Risposta sismica locale con modellazioni numeriche**

Le analisi di risposta sismica locale sono procedure di calcolo numerico che permettono di ricavare le funzioni di trasferimento del moto sismico dal bedrock alla superficie. Tali procedure necessitano pertanto della definizione di un modello sismo-stratigrafico che descriva le caratteristiche geotecniche e geofisiche delle successioni sedimentarie che ricoprono il bedrock sismico.

Nelle zone in cui la profondità del substrato rigido varia rapidamente o le caratteristiche orografiche risultano complesse, il modello geologico non può però essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale. In aree come contrafforti, strette creste o valli incise, quindi, l'analisi monodimensionale può portare alla sottostima della risposta sismica in superficie ragion per cui sono state eseguite anche analisi di tipo bidimensionale (2D).

#### **7.2.1.1 Analisi monodimensionali (1D)**

In base dei diversi caratteri geologici, stratigrafici e topografici degli ambiti di studio di Pietracamela, Intermesoli e Prati di Tivo sono stati definiti distinti modelli sismo-stratigrafici per le tre località. Tali modelli sono stati implementati all'interno del software di calcolo STRATA (Kottke e Rathje, 2008), che consente di eseguire analisi monodimensionali lungo specifiche verticali.

Il software necessita di impostazioni iniziali per la calibrazione del modello, come la scelta della tipologia di analisi da realizzare che potrà essere di tipo lineare o lineare equivalente. Nel caso specifico sono state effettuate analisi di tipo lineare equivalente ovvero che tengono conto della variazione del modulo di taglio  $G$  e dello smorzamento  $D$  con il livello di deformazione di taglio  $\gamma$ , della frequenza a cui interessa modellare e della deformazione equivalente sulla base della quale saranno aggiornati i parametri dinamici, calcolata in

---

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

base alla magnitudo della sequenza sismica da caratterizzare, e nel caso più cautelativo è stata assunta pari a 0.65. All'interno del software sono stati inseriti anche i parametri geotecnici caratterizzanti le successioni stratigrafiche indagate. Per la definizione dei modelli di sottosuolo, in termini di caratterizzazione dei terreni e delle rocce finalizzata alla risposta sismica locale, si è fatto riferimento ai risultati di sondaggi, prove di sismica attiva tipo *down-hole* (DH) e *multichannel analysis of surface waves* (MASW), e passiva tipo rumore sismico ambientale (HVSr) e delle prove cicliche/dinamiche di laboratorio, realizzate per vari scopi nell'area di indagine (per es. Studio di Microzonazione Sismica di terzo livello, Studio di Microzonazione Sismica di primo livello, ricostruzione post-sisma 2009). Ai differenti litotipi indagati sono state attribuite proprietà fisiche e meccaniche differenti sulla base dei risultati delle indagini effettuate per la loro caratterizzazione e, laddove non disponibili, sulla base di dati di letteratura (Tabella 7-1, Tabella 7-2, Tabella 7-3).

I modelli sismo-stratigrafici e geotecnici sono stati definiti in STRATA, associando alle varie unità individuate: (i) i valori di velocità delle onde di taglio  $V_s$  ottenuti mediante misure dirette o da letteratura; (ii) le curve di decadimento del modulo di taglio ( $G/G_0 - \gamma$ ) e di incremento del fattore di smorzamento ( $D - \gamma$ ) ottenute da indagini in sito e da prove dinamiche di laboratorio su campioni indisturbati; (iii) i valori del peso per unità di volume stimati dalle prove in sito e di laboratorio disponibili.

Per le aree di Pietracamela centro storico, Intermesoli e Prati di Tivo tali caratteri sono stati meglio definiti grazie alla buona disponibilità di dati di  $V_s$  e sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati sottoposti ad analisi di laboratorio.

La correlazione tra dati stratigrafici, sezioni geologiche e curve H/V registrate tramite misure di microtremore realizzate per lo studio di microzonazione sismica, hanno permesso di individuare i maggiori contrasti di impedenza e stimare la profondità e la natura della bedrock sismica che, pur con litologie differenti, si mantiene mediamente ad una profondità di circa 50 m, in tutte le aree di studio.

Per la velocità sismica del bedrock è stato infine assunto un valore sufficientemente elevato per poter riprodurre l'ampiezza del picco a più bassa frequenza osservato dalle misure di HVSr (in accordo con dati di letteratura e MS10\_L'Aquila). Nelle Tabella 7-1, Tabella 7-2, Tabella 7-3 viene illustrata una sintesi dei modelli sismo-stratigrafici relativi alle diverse località analizzate.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

m dal p.c.	COLONNA SEMPLIFICATA		RANGE $V_s$	PESO DI VOLUME	LINEARE	LINEARE EQVL
	(Spessori in m)		(m/s)	( $kN/m^3$ )	D %	CURVA G/Gmax - D
20	FRA1	(da DH "Di Marcan." / Sezione) 20	(da DH "Di Marcan.") 1300	22	0.5	Custom D=0.5
30	FRA2	(da DH "Di Marcan." / Sezione) 10	(da DH "Di Marcan.") 770	20	2	MEDIA ROLLINS ET AL. (1998)
40	UAM3	(da Sezione + S7) 10	(da DH_S1) 700	19	1	Prova lab Taglio Torsionale Ciclico
oo	CRRa	(da Sezione + S7) BedR.	(da MSZ_10,Mac.Area7) 1100	24	0.5	

Tabella 7-1 - Modello sismo-stratigrafico e geotecnico utilizzato in input per il calcolo della RSL per Pietracamela.

m dal p.c.	COLONNA SEMPLIFICATA		RANGE $V_s$	PESO DI VOLUME	LINEARE	LINEARE EQVL
	(Spessori in m)		(m/s)	( $kN/m^3$ )	D %	CURVA G/Gmax - D
5	FRA1	(da DH "Di Marcan." / Sezione) 5	(da MASW - GEOLAND") 280	20	2	Rollins et al 1998 (media)
10	FRA2	(da Sezione + S7) 5	(da DH_S1) 350	20	2	Rollins et al 1998 (media)
18	FRA3	(da Sezione + S7) 8	(da DH_S1) 360	21.3	1	Prova lab Taglio Torsionale Ciclico
25	FRA4	(da Sezione + S7) 7	(da DH_S1) 480	21	1	Modoni & Gaz. (2010)
30	FRA5	(da Sezione + S7) 5	(da DH_S1) 690	21	1	Modoni & Gaz. (2010)
37	FRA6	(da Sezione + S7) 7	(da DH_S1) 650	21	1	Modoni & Gaz. (2010)
45	Uam3	(da Sezione + S7) 8	(da DH_S1) 700	22	1	Custom D=1
oo	CRRa	(da Sezione + S7) BedR.	(da MSZ_10,Mac.Area7) 1100	24	0.5	

Tabella 7-2 - Modello sismo-stratigrafico e geotecnico utilizzato in input per il calcolo della RSL per Intermesoli.

m dal p.c.	COLONNA SEMPLIFICATA		RANGE $V_s$	PESO DI VOLUME	LINEARE	LINEARE EQVL
	(Spessori in m)		(m/s)	( $kN/m^3$ )	D %	CURVA G/Gmax - D
4	All	(da MASW1) 4	(da MASW1") 230	19	2	Rollins (1998)
17	All2	(da MASW1) 13	(da MASW1) 750	20	2	Marcellini et al. (2007)
50	Gla	(da Sezione + MASW1) 33	(da MASW1) 1560	22	0.5	Custom D=0.5
oo	Lag 4e	(da Sezione ) BedR.	(da MSZ_10,Mac.Area6) 1100	24	0.5	

m dal p.c.	COLONNA SEMPLIFICATA		RANGE $V_s$	PESO DI VOLUME	LINEARE	LINEARE EQVL
	(Spessori in m)		(m/s)	( $kN/m^3$ )	D %	CURVA G/Gmax - D
11	Fal	(da Sezione) 11	(da MASW1) 750	19	2	Modoni & Gaz. (2010)
49	Gla	(da Sezione) 38	(da MASW1) 1560	22	0.5	Custom D=0.5
oo	Lag 4e	(da Sezione ) BedR.	(da MSZ_10,Mac.Area6) 1100	24	0.5	

Tabella 7-3 - Modelli sismo-stratigrafico e geotecnico utilizzati in input per il calcolo della RSL per Prati di Tivo.

Le tabelle sopra riportate indicano come per Pietracamela, Intermesoli e Prati di Tivo, i depositi di frana quiescente avente matrice prevalentemente ghiaiosa, per i detriti di falda (FAL) e per i depositi alluvionali e

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

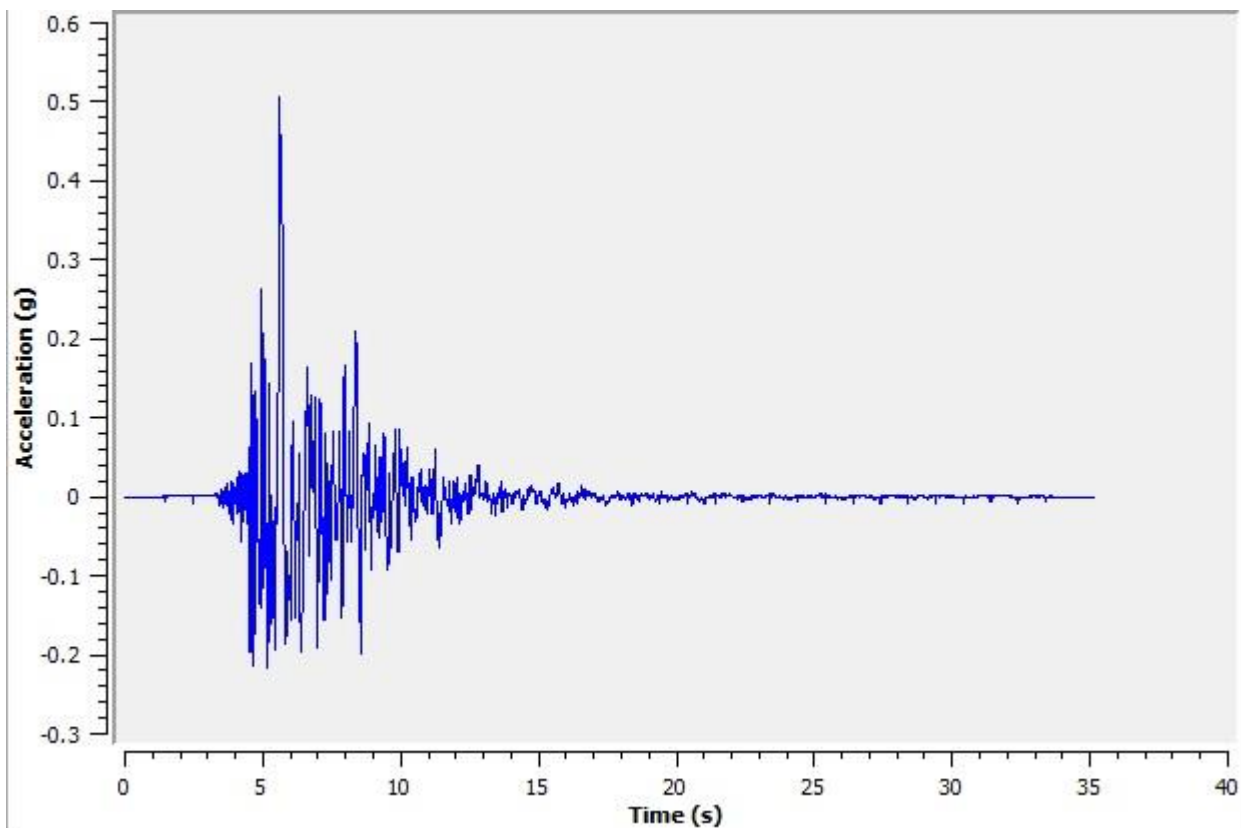
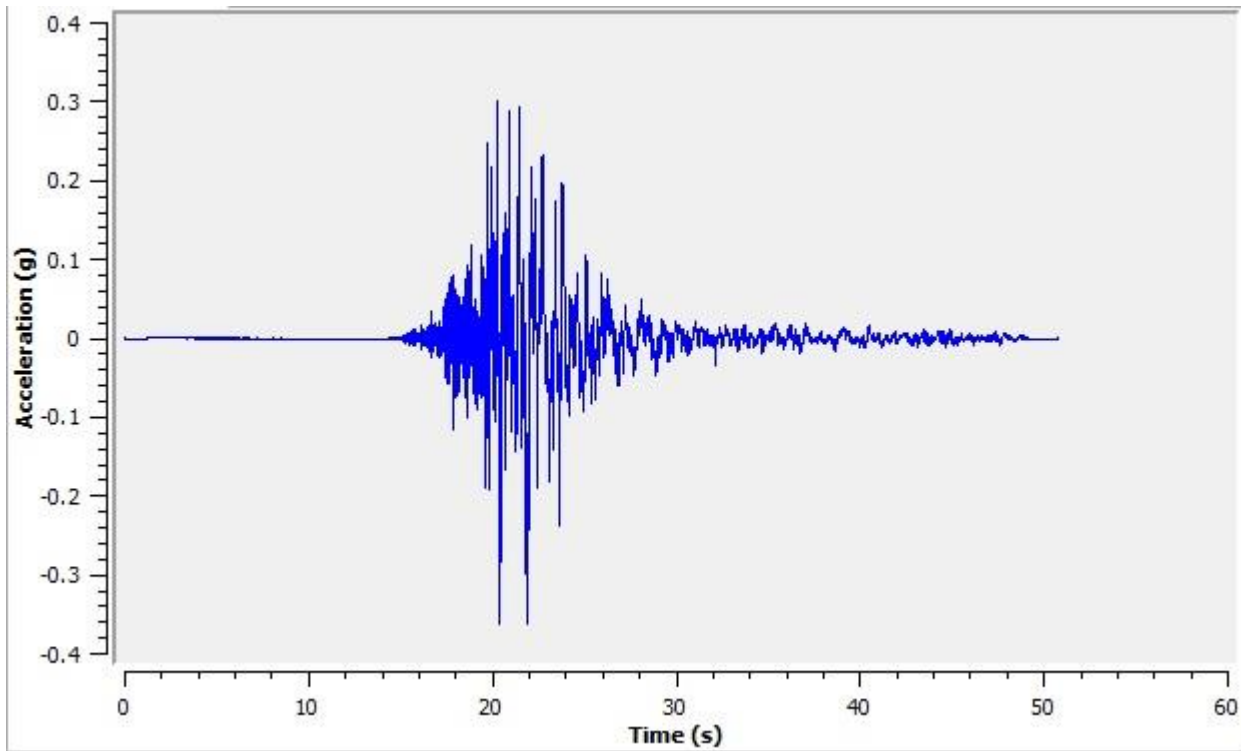
glaciali (ALL1, ALL2), prevalentemente ghiaiosi, sono state scelte le curve di bibliografia (Rollins *et al.*, 1998, Modoni e Gazzellone, 2010, Marcellini *et al.*, 1995). Per i restanti litotipi e per il basamento sismico (CRRa), data l'elevata rigidità dei materiali è stato assunto un comportamento lineare con il relativo smorzamento iniziale  $D_0$ , in particolare:

- per le argille ad Orbulina (UAM3), è stato assunto un comportamento lineare con smorzamento iniziale  $D_0 = 1.0\%$ ;
- per i depositi di frana quiescente a grossi blocchi calcarei (FRA1) e per le Marne con Cerroghna – litofacies marnoso-calcarenitica (CRRa), è stato assunto un comportamento lineare con smorzamento iniziale  $D_0 = 0.5\%$ .
- per i depositi glaciali (GLA) e per la formazione della Laga, associazione pelitico-arenacea (LAG4e), è stato assunto un comportamento lineare con smorzamento iniziale  $D_0 = 0.5\%$ .

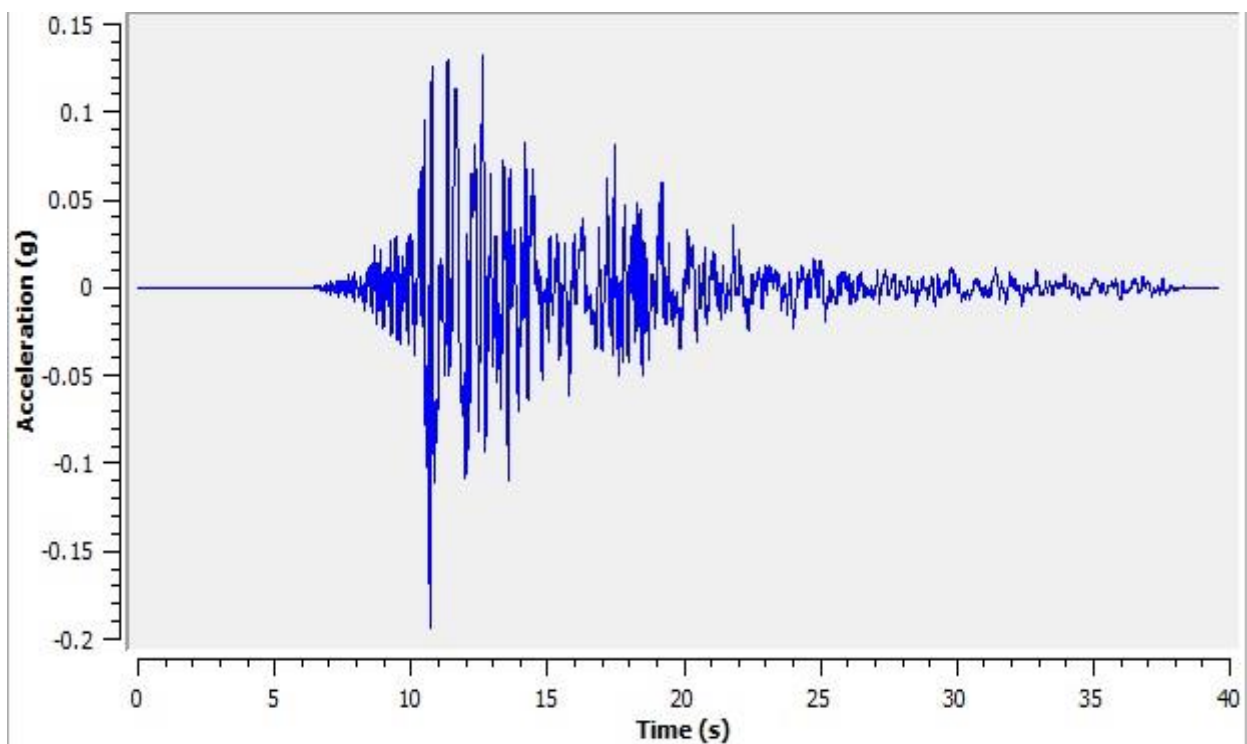
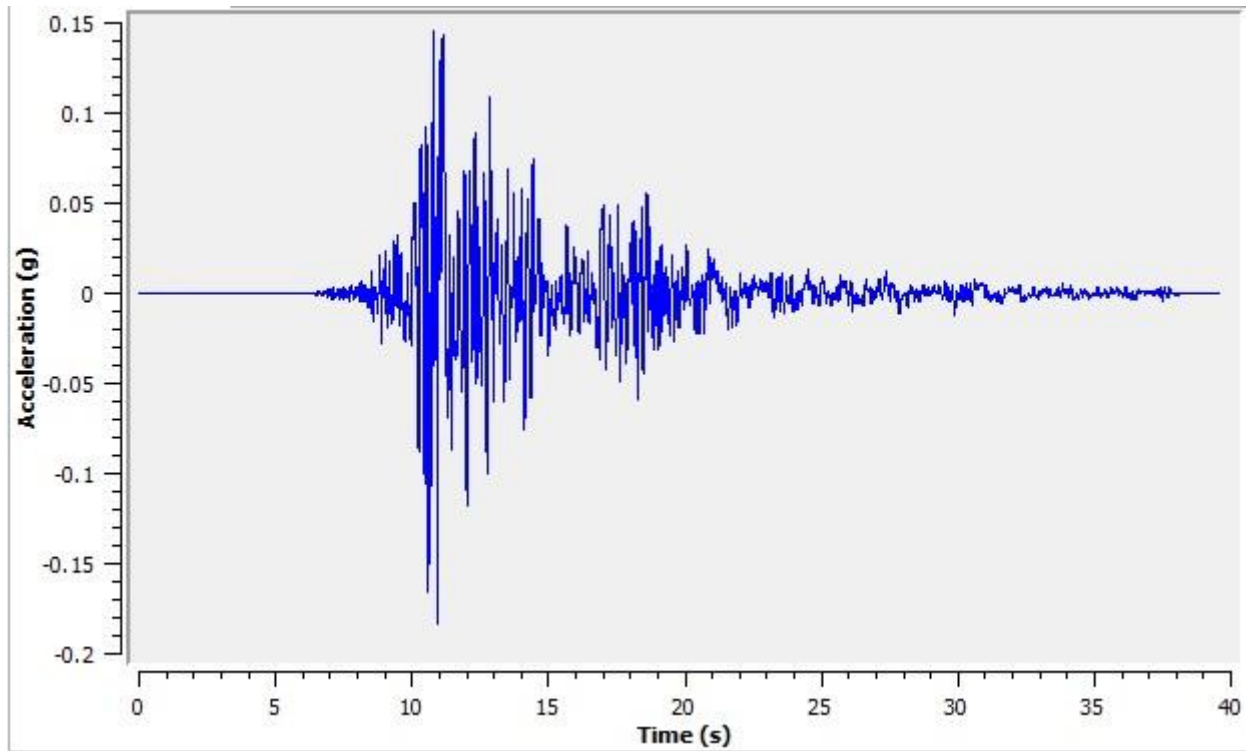
Come accelerogrammi di input (bedrock) per il calcolo della risposta sismica locale, sono stati utilizzati i sette segnali di riferimento forniti Centro MS (Figura 7-1). I segnali sono stati scalati in modo da far corrispondere la loro accelerazione massima con il valore di  $a_{grf}$  derivante dai punti della griglia della mappa di pericolosità sismica elaborata da INGV per il territorio nazionale. Tale valore può essere assunto pari a  $0,19\text{ g}$ , in considerazione di un valore medio tra quelli dei due punti ricadenti nel territorio di Pietracamela e di quelli che ricadono nel suo immediato intorno.



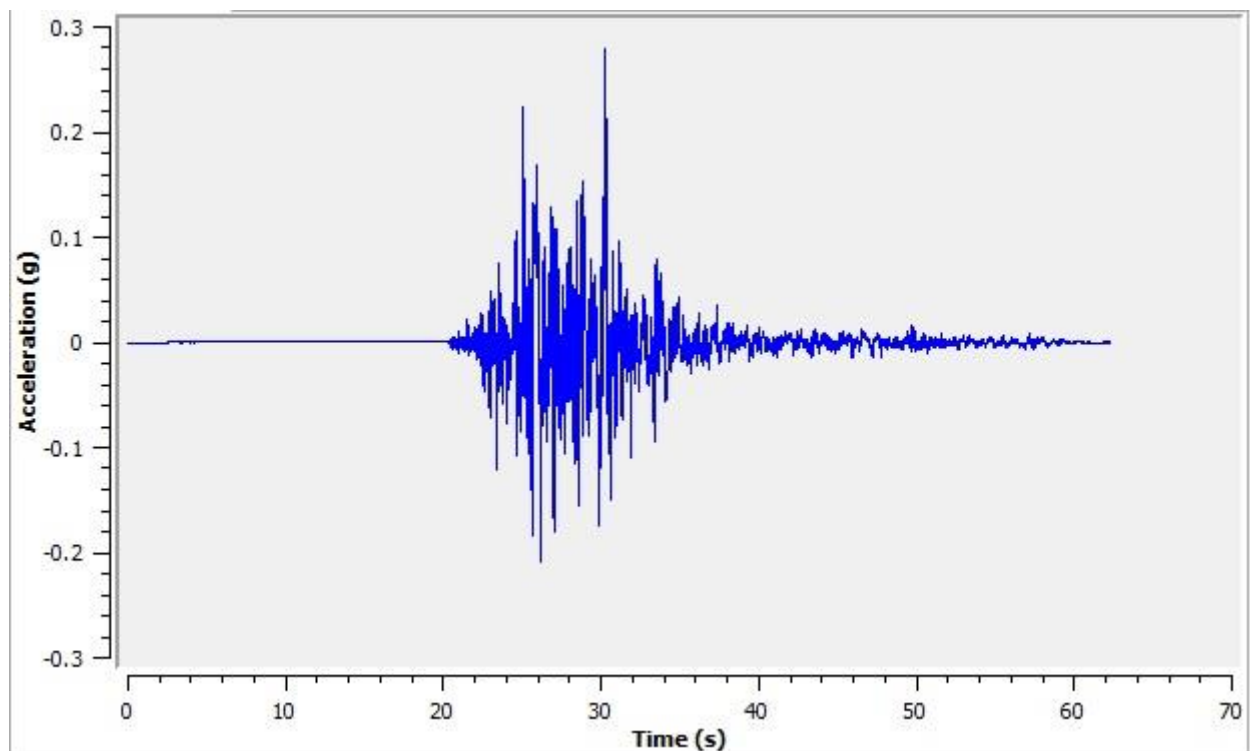
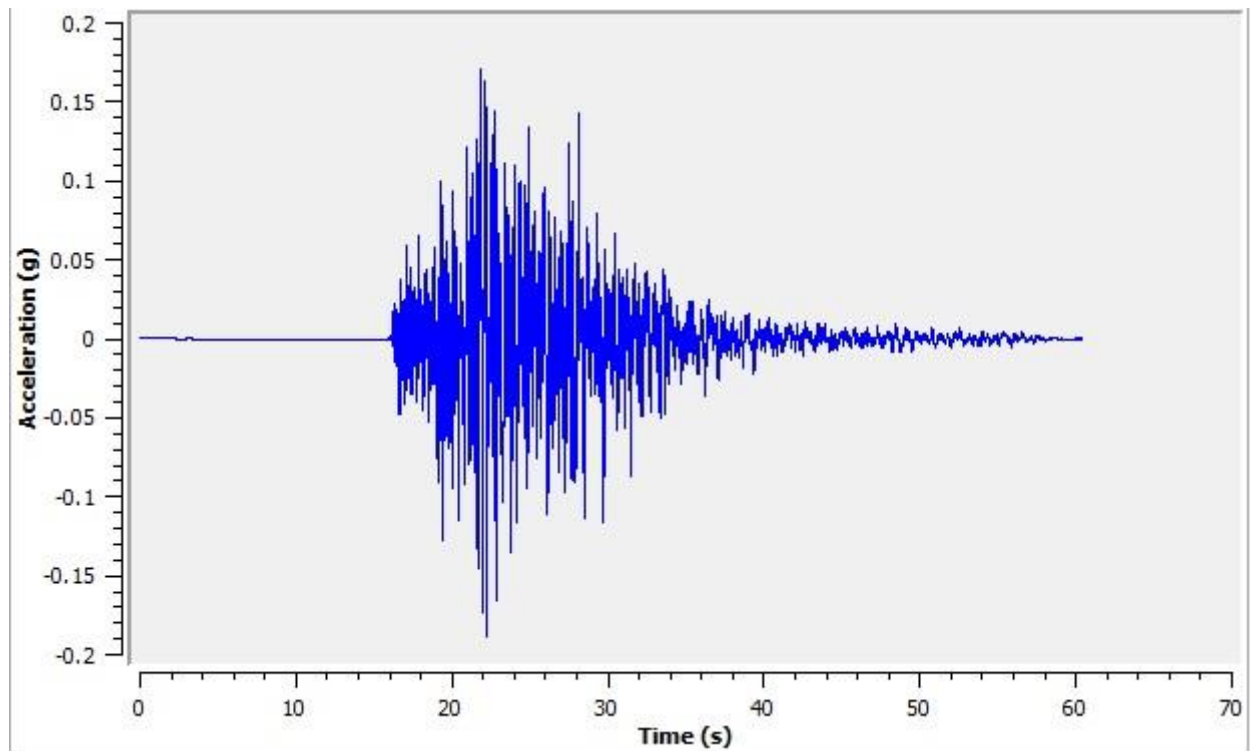
MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)



MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)



MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)



MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

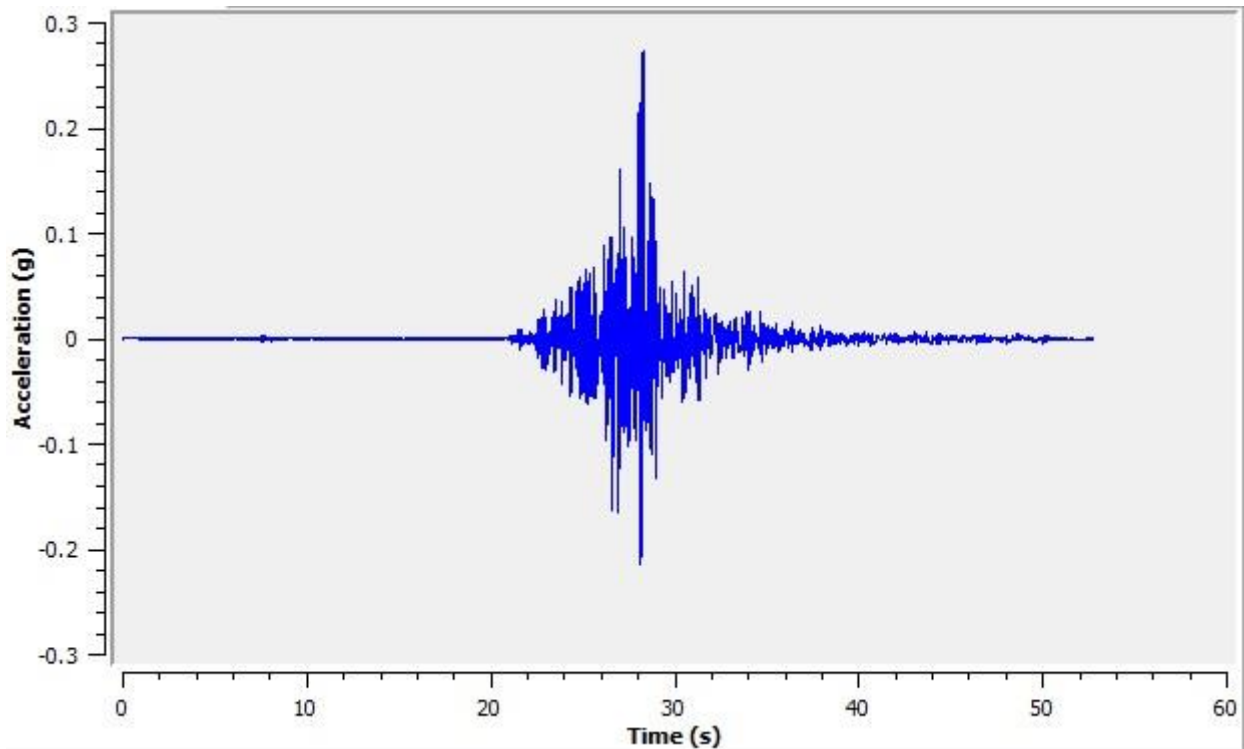


Figura 7-1 - Plot eseguito con il software STRATA (Rathje e Kottke, 2013) dei segnali di riferimento forniti dal Centro MS per l'Italia centrale utilizzati come input per le simulazioni numeriche della risposta sismica locale.

Sono stati quindi calcolati e confrontati gli spettri di risposta in superficie (Figura 7-2, Figura 7-3, Figura 7-4, Figura 7-5) per un periodo di ritorno di 475 anni con uno smorzamento assunto pari al 5%. Gli spettri elastici in pseudo accelerazione in input e in output, relativi alla simulazione di risposta sismica locale, sono stati quindi archiviati nel database in formato *.txt* secondo quanto richiesto dai protocolli del Centro per la Microzonazione Sismica per la regione Abruzzo.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

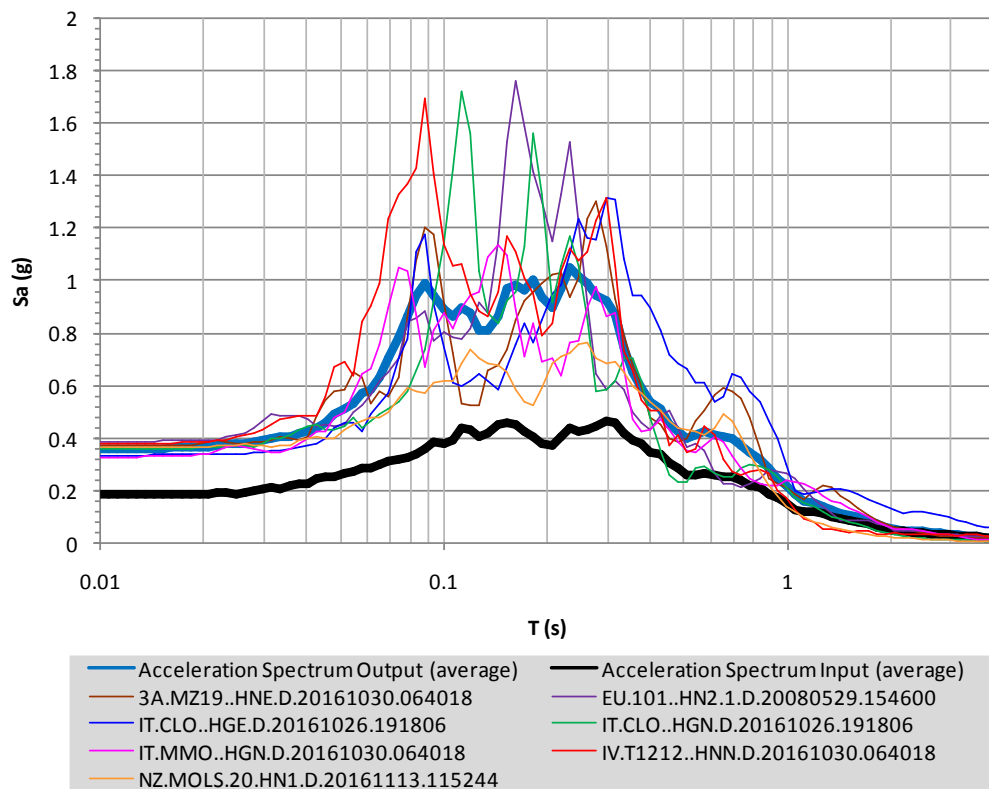


Figura 7-2 - Spettri di risposta in superficie per i sette accelerogrammi e il loro spettro mediano per Pietracamela.

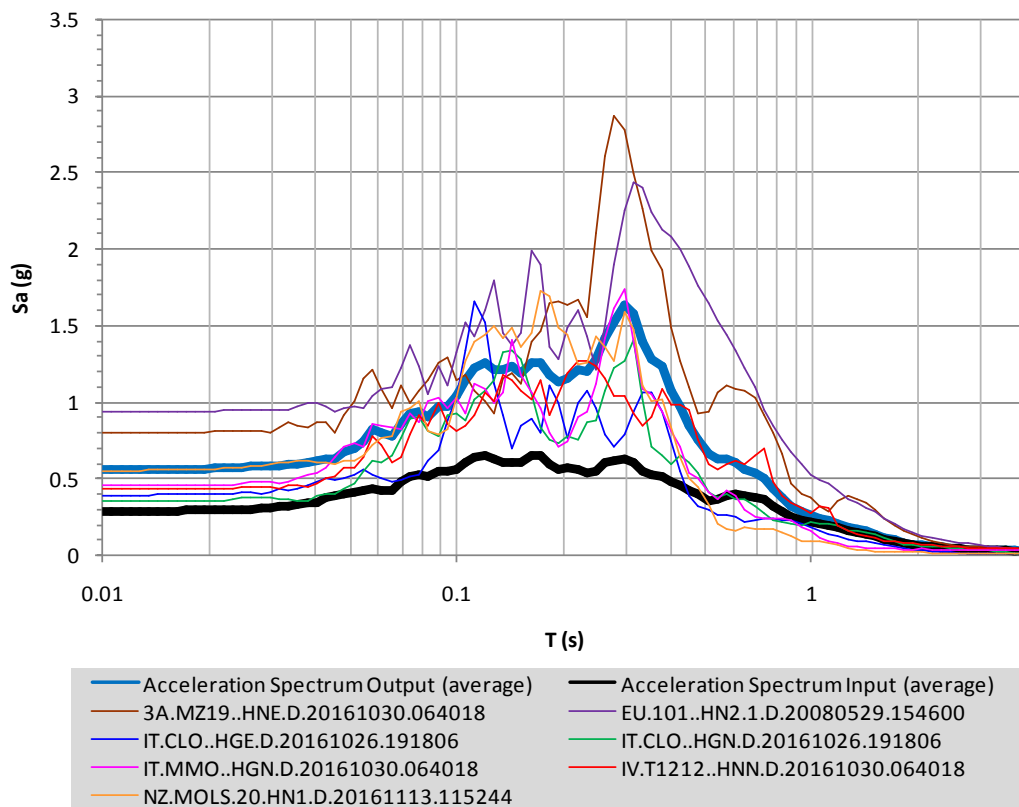


Figura 7-3 - Spettri di risposta in superficie per i sette accelerogrammi e il loro spettro mediano per Intermesoli di Pietracamela.

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

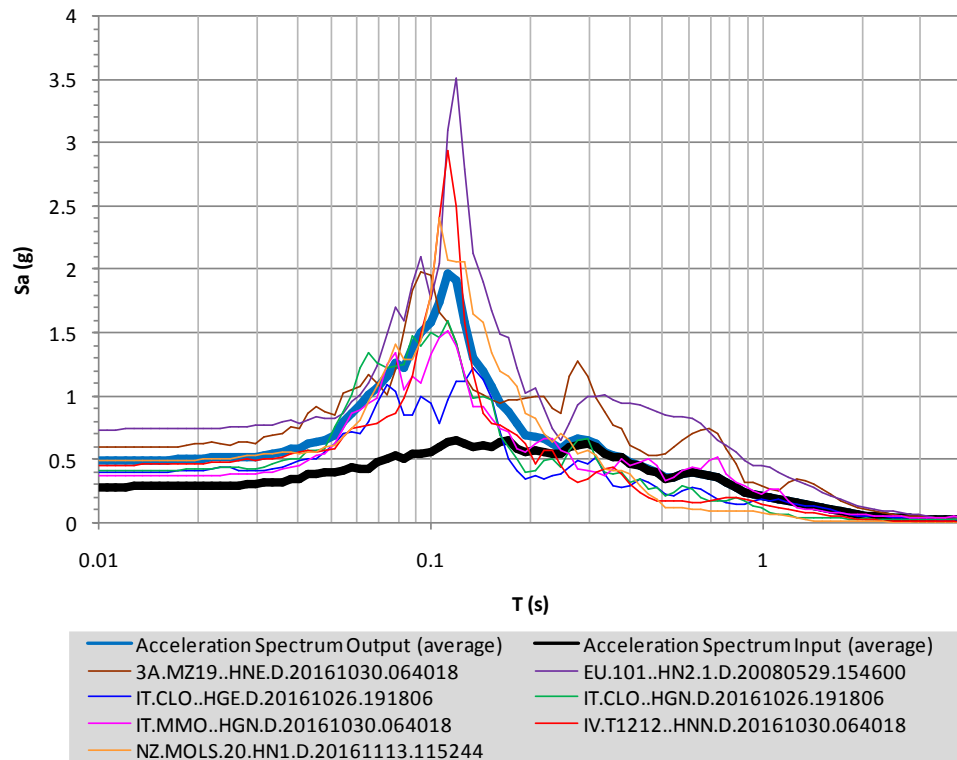


Figura 7-4 - Spettri di risposta in superficie per i sette accelerogrammi e il loro spettro mediano per Prati di Tivo (P4) di Pietracamela.

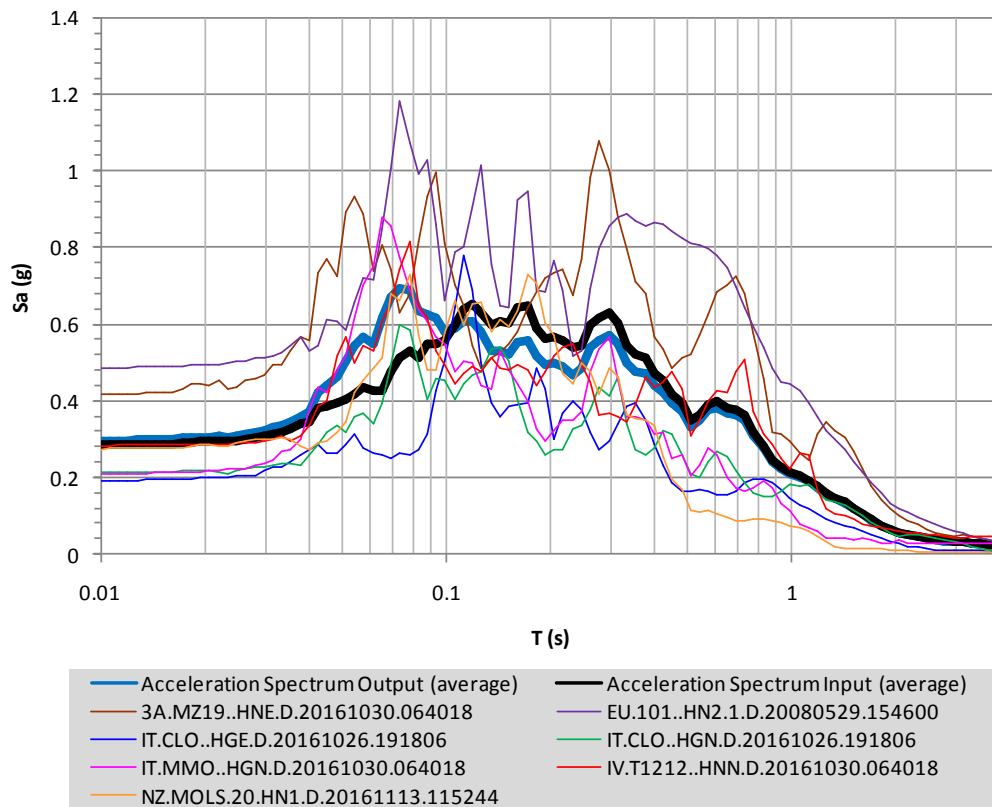


Figura 7-5 - Spettri di risposta in superficie per i sette accelerogrammi e il loro spettro mediano per Prati di Tivo (P53) di Pietracamela.



Nelle Figura 7-2, Figura 7-3, Figura 7-4, Figura 7-5 si riportano gli spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%, ottenuti a partire dagli accelerogrammi di Figura 7-1 e lo spettro mediano. Risulta evidente come gli spettri di risposta ottenuti risentano significativamente del moto di input, risultando quindi piuttosto differenti per i sette accelerogrammi utilizzati.

Noti gli spettri di risposta per ogni punto, l'amplificazione è stata quantificata attraverso il calcolo del fattore di amplificazione  $FH_a$  definito come intensità di Housner (Housner, 1952), i cui valori sono stati qui calcolati come rapporto tra l'integrale dello spettro di pseudo-accelerazione di output per tre differenti intervalli di integrazione (0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s) e i corrispondenti parametri di input:

$$FH_a = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{out}(T)dT}{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{in}(T)dT}$$
$$FH_a = \frac{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{out}(T)dT}{\int_{0.1}^{0.8} PSA_{in}(T)dT}$$
$$FH_a = \frac{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{out}(T)dT}{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{in}(T)dT}$$

Tramite le formule indicate per tutti i punti di output e per ogni intervallo, è stata calcolata la media dei valori del fattore di amplificazione relativi ai sette accelerogrammi di input come riportato nei files in allegato. In corrispondenza del rilievo su cui ricade il centro storico di Pietracamela, il fenomeno di amplificazione rispetto al moto alla base appare evidente, per periodi di vibrazione compresi tra 0.1-0.5 s, solo se si considera l'effetto dovuto alla topografia, con valori che possono giungere a 1.7. Amplificazioni meno evidenti, variabili tra 1.0 e 1.1, si rilevano invece nel campo di periodi 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, probabilmente legati all'elevata rigidità di FRA1 e all'inversione di velocità tra FRA1 e FRA2.

Ad Intermesoli, invece, il fenomeno di amplificazione rispetto al moto alla base risulta molto più evidente per i periodi di vibrazione compresi tra 0.1-0.5 s., dove i fattori di amplificazione mostrano valori superiori a 2, raggiungendo picchi massimi prossimi a 3 se si considerano gli effetti di amplificazione topografica indotti dalla morfologia. Andamenti simili di amplificazione si rilevano anche nel campo di periodi compresi tra 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, con picchi di amplificazione rispettivamente pari ad 1.7 e 1.3.

Per Prati di Tivo l'andamento dei fattori di amplificazione relativi ai diversi periodi di vibrazione considerati, mostra valori mediamente pari all'unità, nella porzione più occidentale dell'area di studio.

La zona più orientale evidenzia invece fenomeni di deamplificazione rispetto con valori sempre al di sotto dell'unità. Tali andamenti sono probabilmente legati all'elevata rigidità di ALL2, GLA, FAL e LAG4e e all'inversione di velocità tra GLA e LAG4e.

### 7.2.1.2 Analisi bidimensionali (2D)

Nelle zone in cui la profondità del substrato rigido varia rapidamente o le caratteristiche orografiche risultano complesse, il modello geologico non può però essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale. Nelle aree di Pietracamela centro storico, Intermesoli e Prati di Tivo sono state quindi anche eseguite analisi di risposta sismica locale di tipo bidimensionale (2D).

Le simulazioni numeriche bidimensionali sono state eseguite tramite il codice di calcolo agli elementi finiti, LSR2D (<http://www.stacec.com/>), che consente di effettuare analisi lineari equivalenti nel dominio del tempo. Il codice di calcolo risolve tramite integrazione diretta nel dominio del tempo con il metodo di Newmark, il sistema di equazioni:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = M\ddot{u}_b$$

dove:  $u$  è il vettore degli spostamenti nodali;  $M$  la matrice delle masse globale;  $K$  la matrice delle rigidezze globale;  $C$  la matrice di smorzamento globale;  $\ddot{u}_b$  la storia temporale dell'accelerazione di input. Il termine  $\ddot{u}_b$  esprime il moto sismico di input, il quale viene applicato simultaneamente a tutti i nodi della base sotto forma di onde trasversali SV o onde di compressione P con direzione di propagazione verticale.

La matrice di dissipazione  $C$  usata nella presente nella formula, invece, è frutto della combinazione lineare delle matrici della massa e di quelle di rigidezza di ogni singolo elemento:

$$C_i = \alpha_{R,i}M_i + \beta_{R,i}K_i$$

dove  $\alpha_{R,i}$  e  $\beta_{R,i}$  sono i coefficienti di Rayleigh e  $M_i$ ,  $C_i$ ,  $K_i$  le matrici locali dell'elemento.

In tal modo si adotta uno smorzamento dipendente dalla frequenza secondo la formulazione di Rayleigh. Nel codice LSR2D i coefficienti di Rayleigh vengono calcolati in funzione di due frequenze naturali dell'intero deposito,  $\omega_m$  e  $\omega_n$ :

$$\alpha_{R,i} = \xi_i \frac{2\omega_m\omega_n}{\omega_m + \omega_n}$$

$$\beta_{R,i} = \xi_i \frac{2}{\omega_m + \omega_n}$$

in cui:  $\xi_i$  è il rapporto di smorzamento viscoso dell' $i$ -esimo elemento finito;  $\omega_m = \omega_1$ , prima frequenza naturale di vibrazione del deposito di terreno;  $\omega_n = n\omega_1$  essendo  $n$  l'intero dispari che approssima per eccesso il rapporto tra la frequenza predominante dell'input sismico  $\omega_{IN}$  e la frequenza  $\omega_1$ . Tale procedura permette di ottenere risultati in buon accordo con quelli calcolati da modelli a smorzamento indipendente dalla frequenza (Lanzo *et al.*, 2004).

---

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

L'accuratezza della soluzione e l'onere computazionale sono influenzati dalle caratteristiche della *mesh*, a tal proposito, il modello geologico tecnico relativo alle sezioni esaminate è stato discretizzando attraverso elementi finiti triangolari le cui dimensioni massime sono state determinate seguendo la regola (Kuhlemeyer e Lysmer, 1973):

$$D_{max} = \frac{\lambda}{k} = \frac{TV_s}{k}$$

dove  $V_s$  è la velocità di propagazione delle onde di taglio valutata per ogni litotipo oggetto di analisi, e  $k$  è un coefficiente pari a 8 (Lanzo e Silvestri, 1999).

Per le tre sezioni esaminate inoltre è stata impostata una frequenza massima pari a 20 Hz, riuscendo così ad investigare la risposta sismica locale per periodi  $T$  superiori a 0.05 s.

Al fine di evitare una sovrastima dell'amplificazione sismica per effetto di riflessione delle onde lungo i lati della *mesh*, la posizione dei contorni laterali è stata allontanata di 350, 200 e 500 metri dalle regioni di interesse rispettivamente di Pietracamela (capoluogo), Intermesoli (frazione) e Prati di Tivo (frazione), adottando frontiere assorbenti costituite da smorzatori viscosi, minimizzando così gli effetti di bordo e consentendo dunque di simulare adeguatamente la perdita di un'aliquota di energia per radiazione. Inoltre lungo il contorno inferiore delle *mesh*, il codice inserisce una serie di smorzatori viscosi che simulano il comportamento di un *bedrock* deformabile (*compliant base*).

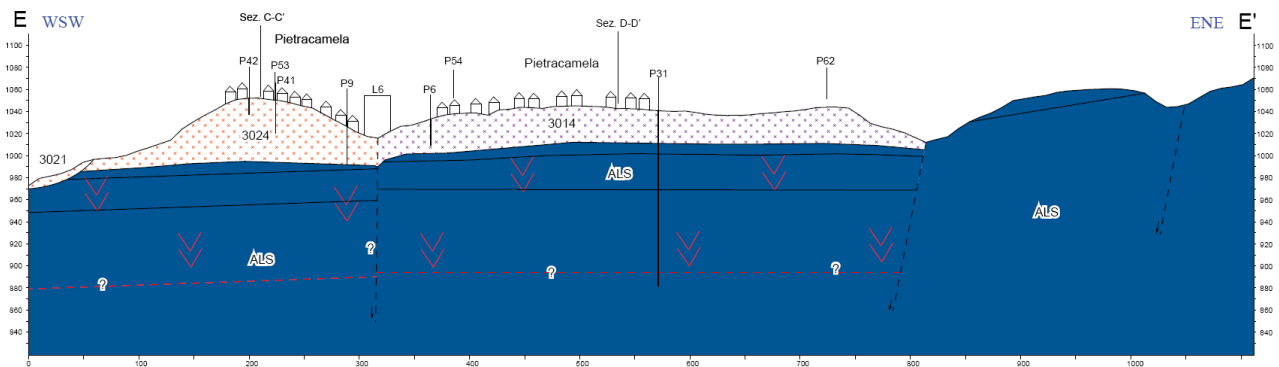
Per la definizione del modello di sottosuolo, in termini di caratterizzazione dei terreni e delle rocce finalizzata alla risposta sismica locale, si è fatto riferimento ai risultati dei sondaggi, delle prove di sismica attiva, tipo down-hole (DH) e multichannel analysis of surface waves (MASW), e passiva, tipo rumore sismico ambientale (HVSr), e delle prove cicliche/dinamiche di laboratorio, realizzati in vari periodi nell'area di indagine (per es. Studio di Microzonazione Sismica di terzo livello del Comune di Pietracamela (TE), Studio di Microzonazione Sismica di primo livello del Comune di Pietracamela (TE), ricostruzione post-sisma 2009, nuova costruzione). Ai differenti litotipi incontrati, sono state attribuite proprietà fisiche e meccaniche differenti sulla base dei risultati sopramenzionati e, laddove assenti per una specifica litologia, sulla base di dati di letteratura (Tabella 7-4).

### Pietracamela

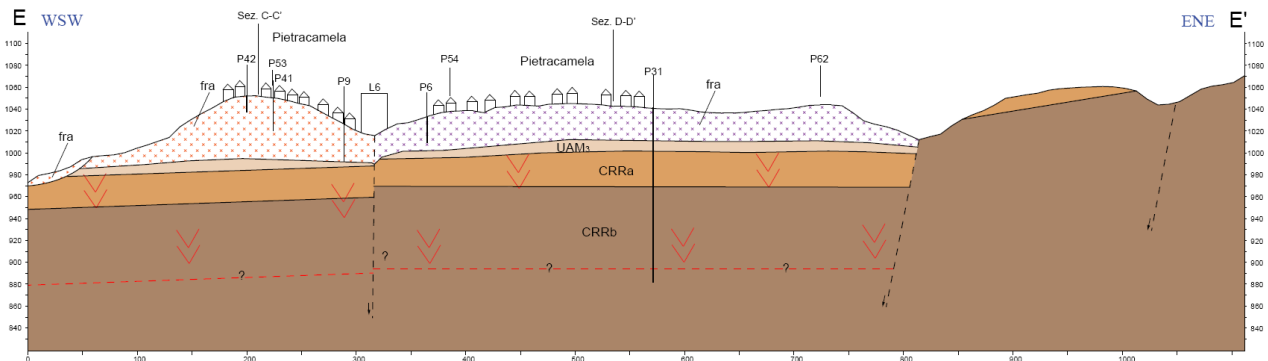
Nella carta geologico – tecnica sono indicate le sezioni geologiche longitudinali (C-C' e D-D') e trasversale (E-E') predisposte per lo Studio di Microzonazione Sismica di terzo livello del Comune di Pietracamela (TE). Considerando dal punto di vista della risposta sismica locale più significativa la sezione trasversale, la

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

modellazione numerica si è focalizzata sulla sezione E-E' (Figura 7-6 e Figura 7-7). Inoltre, considerando che la porzione orientale dell'abitato di Pietracamela (capoluogo) denominato "la Villa" è ubicata su una frana complessa attiva, corrispondente alla categoria R3 secondo la classificazione PAI, la modellazione numerica è stata eseguita sulla porzione più occidentale, corrispondente al nucleo abitato denominato "la Terra" della sezione E-E', ubicato su una frana complessa quiescente.



**Figura 7-6 - Sezione geologica E-E' di Pietracamela (capoluogo) secondo Standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica - Versione 4.0b.**



**Figura 7-7 - Sezione geologica E-E' di Pietracamela (capoluogo) secondo Linee Guida Regione Abruzzo - Gruppo di lavoro per le attività di microzonazione sismica - Versione 1.2. fra = deposito di frana complessa (quiescente in arancio, attiva in blu); UAM3 = argille ad Orbulina; CRRa = marne con Cerrognà - litofacies marnoso-calcarenitica; CRRb = marne con Cerrognà - litofacies calcarenitico-calciruditica.**

La *mesh* utilizzata per le analisi numeriche è riportata in Figura 7-8 e Figura 7-9. La *mesh* della sezione E-E' orientata verso WSW-ENE, larga circa 1.050 m e di altezza massima pari a 115 m, è stata costruita con 13.453 elementi e 7.179 nodi.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

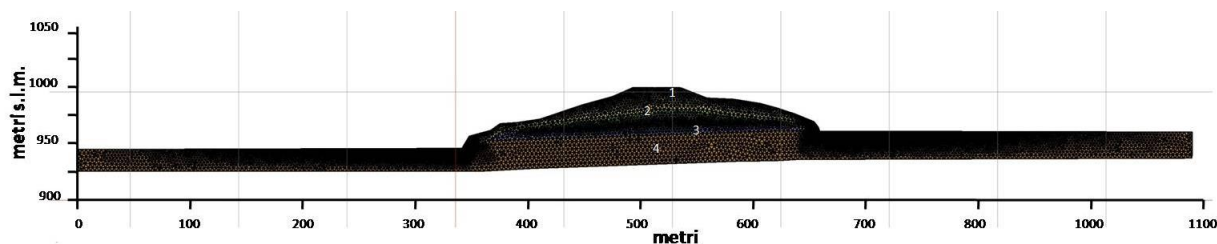


Figura 7-8 - Mesh sezione E-E'.

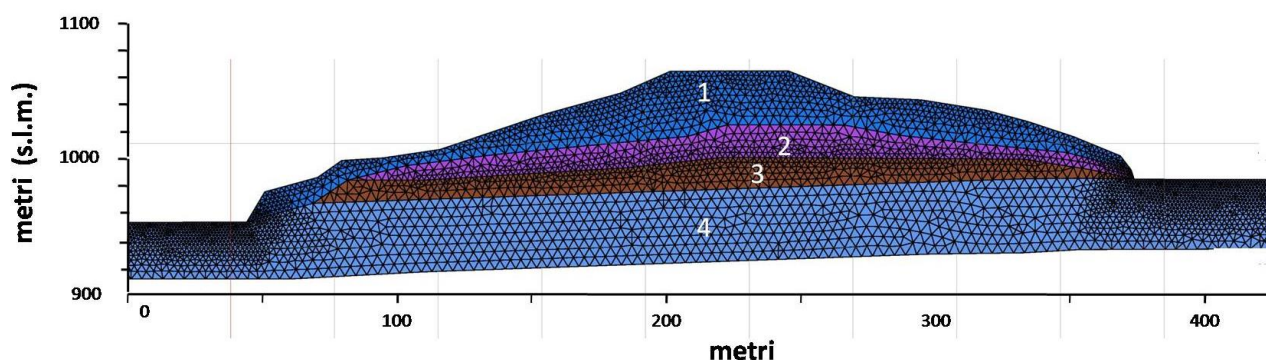


Figura 7-9 - Dettaglio mesh sezione E-E'.

Una sintesi dei parametri fisico-meccanici, associati ad ogni terreno investigato e richiesti dal codice di calcolo, la geometria, la densità, il coefficiente di Poisson, il modulo di taglio iniziale  $G_0$ , lo smorzamento iniziale e le curve che descrivono il comportamento non lineare dei materiali, è riportata in Tabella 7-4.

LITOLOGIA	$V_s$ (m/s)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$	CURVE DINAMICHE
1 - Depositi di frana quiescente – Ghiaia con pezzi litoidi (FRA1)	1300	22.0	0.35	Lineare D= 0.5%
2 - Depositi di frana quiescente – Ghiaia con sabbia (FRA2)	770	20.0	0.30	Rollins et al. (1998)
3 - Argille ad Orbulina (UAM3)	700	22.0	0.30	Lineare D= 1.0%
4 - Marne con Cerrognà – litofacies marnoso-calcarenitica (CRRa)	1100	24.0	0.35	Lineare D= 0.5%

Tabella 7-4 - Parametri fisico meccanici dei terreni.

Il comportamento non lineare del terreno è stato interpretato secondo il modello lineare equivalente, caratterizzato dalla variazione del modulo di taglio  $G$  e dello smorzamento  $D$  con il livello di deformazione di taglio  $\gamma$ . Per i depositi di frana quiescente prevalentemente ghiaiosi (FRA2) sono state scelte le curve di bibliografia (Rollins *et al.*, 1998) (Figura 7-10 E Figura 7-11), per i restanti litotipi e per il basamento sismico (CRRa), data l'elevata rigidità dei materiali è stato assunto un comportamento lineare con il relativo smorzamento iniziale  $D_0$ .

In particolare:

- per i depositi di frana quiescente (FRA2), è stata scelta la già citata curva di letteratura per terreni ghiaiosi (Rollins *et al.*, 1998);
- per le argille ad Orbulina (UAM3), è stato assunto un comportamento lineare con smorzamento iniziale  $D_0 = 1.0\%$ ;
- per i depositi di frana quiescente (FRA1) e per le Marne con Cerroigna - litofacies marnoso-calcarenitica (CRRa), è stato assunto un comportamento lineare con smorzamento iniziale  $D_0 = 0.5\%$ .

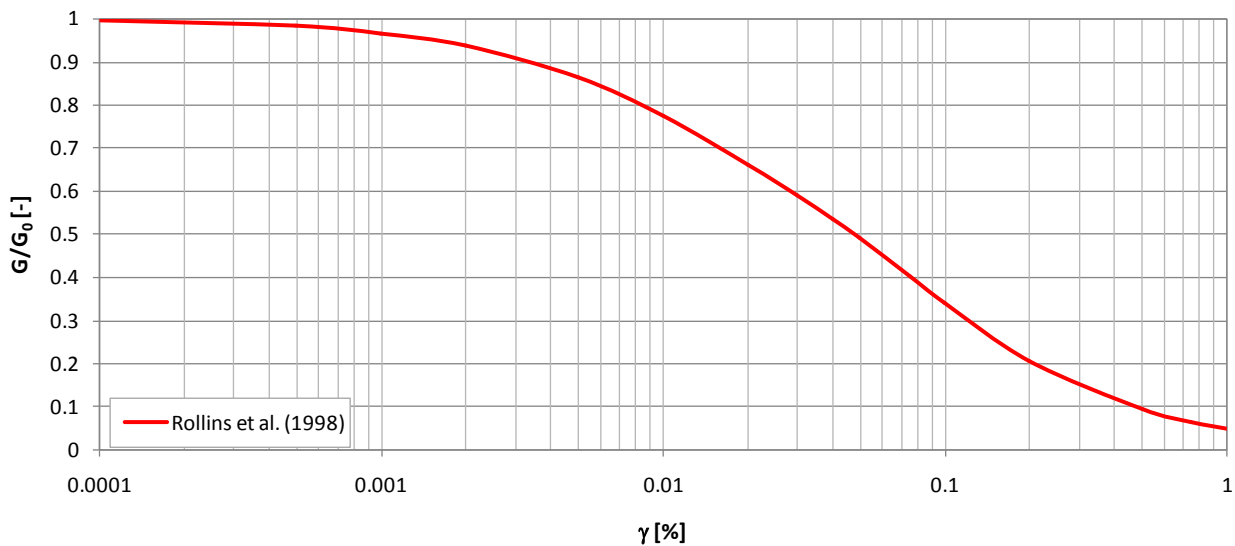


Figura 7-10 - Variazione del modulo di taglio normalizzato.

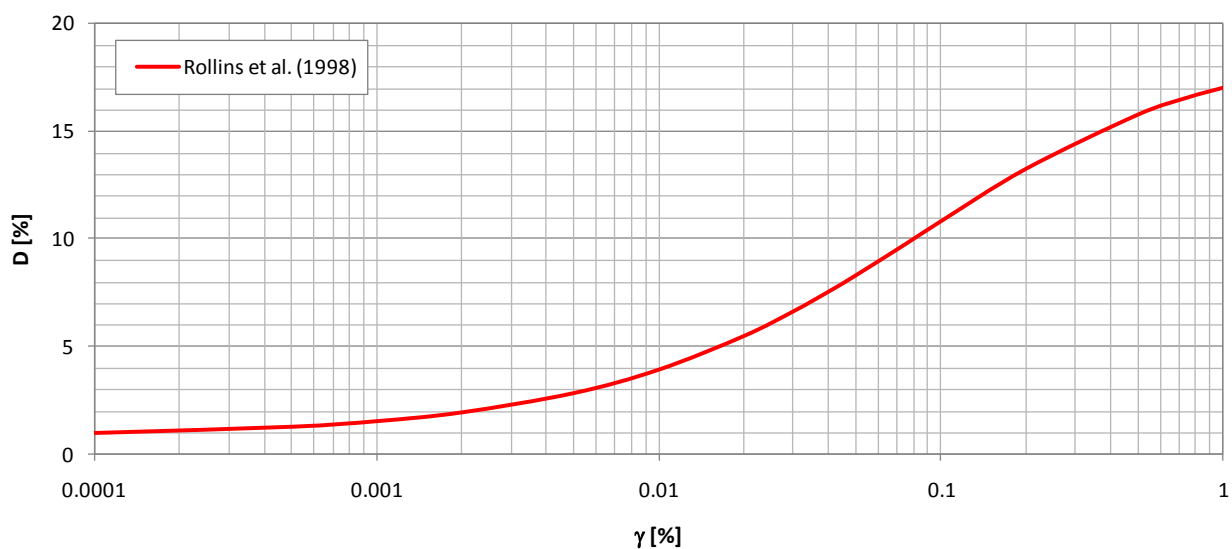


Figura 7-11 - Variazione del rapporto di smorzamento.



---

**MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)**

Sulla base di tali informazioni, è stata effettuata l'analisi bidimensionale per la sezione E-E', utilizzando come input sismico il set costituito dai sette accelerogrammi, spettrocompatibili con lo spettro su roccia a 475 anni, ricavati dal CentroMS per il Comune di Pietracamela (TE) per lo Studio di Microzonazione Sismica di terzo livello.

In uscita il codice fornisce:

- accelerazioni, velocità e spostamenti massimi in tutti i nodi della *mesh*;
- sforzi e deformazioni tangenziali massimi in ciascun elemento;
- storia temporale dell'accelerazione, della velocità e dello spostamento nei nodi selezionati;
- spettri di risposta in accelerazione, velocità e spostamento nei nodi selezionati;
- modulo della funzione di trasferimento nei nodi selezionati.

In questo studio, i risultati delle elaborazioni numeriche sono stati espressi in termini di storie temporali dell'accelerazione orizzontale in superficie in corrispondenza dei nodi selezionati e dei rispettivi spettri di risposta con smorzamento pari al 5%. Noti gli spettri di risposta per ogni sezione, l'amplificazione è stata quantificata attraverso il calcolo del fattore di amplificazione  $FH_a$ , i cui valori sono stati qui calcolati come rapporto tra l'integrale dello spettro di pseudo-accelerazione di output per tre differenti intervalli di integrazione (0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s) e i corrispondenti parametri di input:

$$FH_a = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{in}(T) dT}$$
$$FH_a = \frac{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.1}^{0.8} PSA_{in}(T) dT}$$
$$FH_a = \frac{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{in}(T) dT}$$

Tramite le formule indicate per tutti i punti di output e per ogni intervallo, è stata calcolata la media dei valori del fattore di amplificazione relativi ai sette accelerogrammi di input, il cui andamento è riportato in Figura 7-12

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

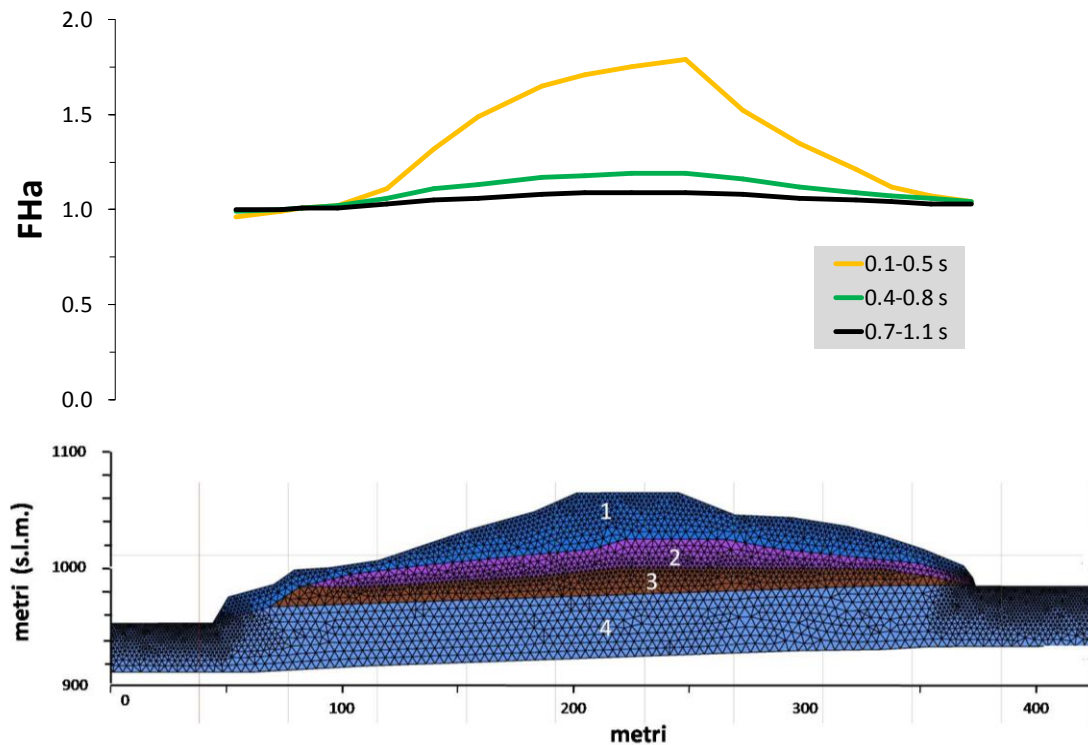


Figura 7-12 - Risultati in termini di fattore amplificazione  $FH\alpha$  per la sezione E-E'.

In Figura 7-12, l'andamento del fattore di amplificazione relativo mostra un picco pari a 1.8 nel campo di periodi compreso tra 0.1 e 0.5 s, valore legato non solo a fenomeni di amplificazione di tipo topografico, ma anche da probabili effetti di tipo stratigrafico. In corrispondenza dell'altura su cui ricade il centro urbano di Pietracamela, il fenomeno di amplificazione rispetto al moto alla base resta comunque evidente mostrando fattori di amplificazione superiori all'unità. Amplificazioni meno evidenti, variabili tra 1.1 e 1.2, si rilevano invece nel campo di periodi 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, probabilmente legati all'elevata rigidità di FRA1 e all'inversione di velocità tra FRA1 e FRA2.

In Figura 7-13 e in Figura 7-14 si mostrano gli accelerogrammi e gli spettri di risposta in superficie sul nodo selezionato (P17-progressiva 210.25 m, corrispondente alla simulazione numerica monodimensionale effettuata) ottenuti a partire dalle sette time histories di input.

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

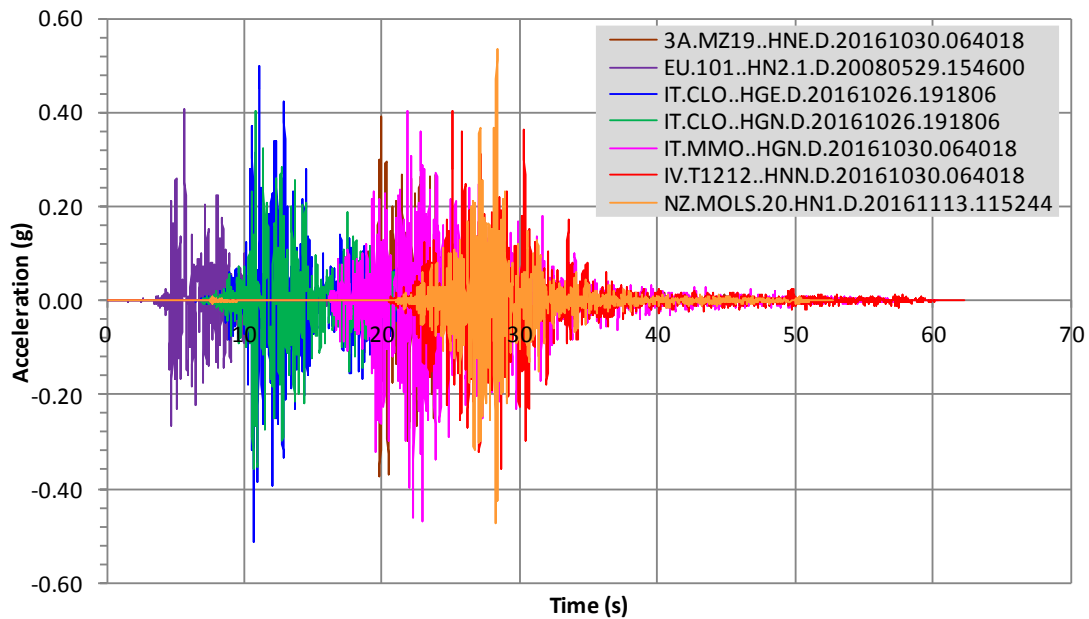


Figura 7-13 - Storia temporale dell'accelerazione in superficie.

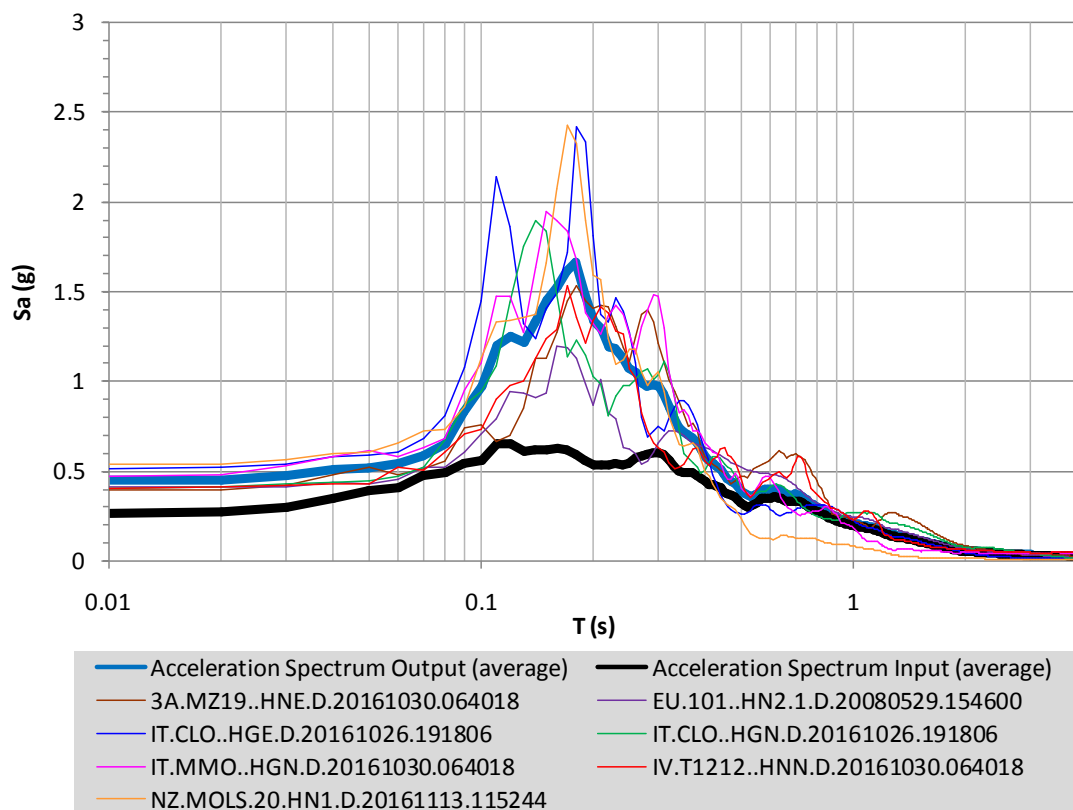


Figura 7-14 - Spettri di risposta elastici in superficie.

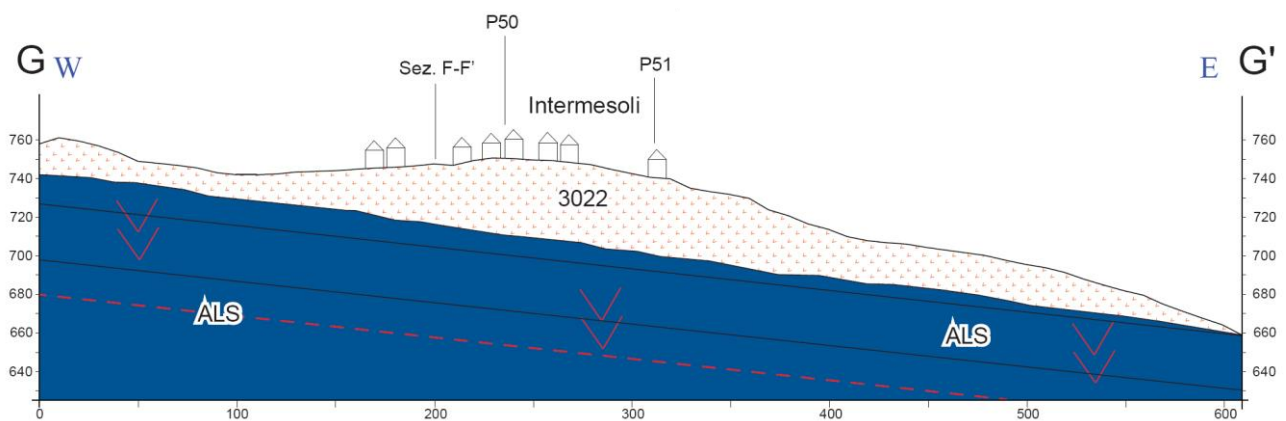
L'andamento del fattore di amplificazione relativo mostra un picco pari a 1.8 nel campo di periodi compreso tra 0.1 e 0.5 s, valore legato non solo a fenomeni di amplificazione di tipo topografico, ma anche da probabili effetti di tipo stratigrafico. In corrispondenza dell'altura su cui ricade il centro urbano di

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

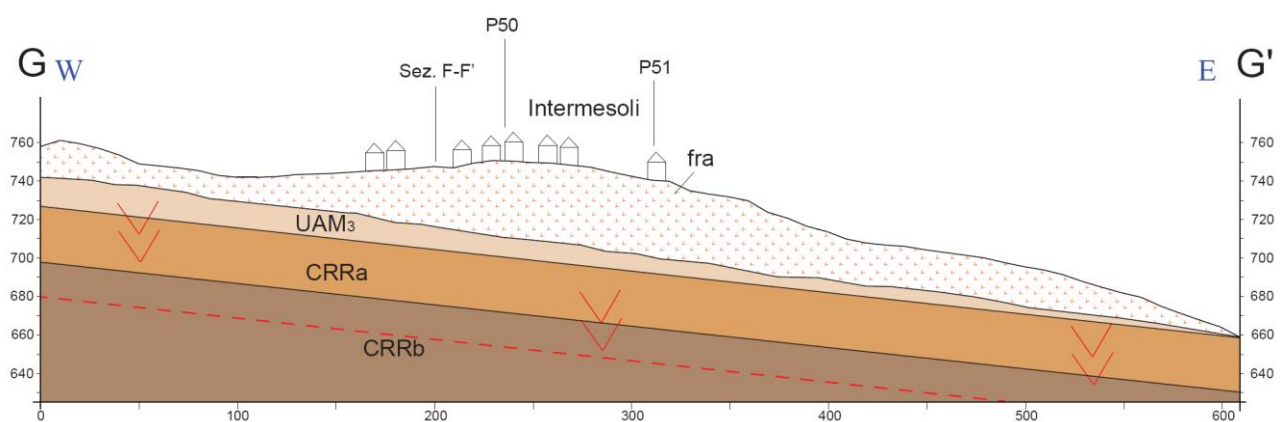
Pietracamela, il fenomeno di amplificazione rispetto al moto alla base resta comunque evidente mostrando fattori di amplificazione superiori all'unità. Amplificazioni meno evidenti, variabili tra 1.1 e 1.2, si rilevano invece nel campo di periodi 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, probabilmente legati all'elevata rigidità di FRA1 e all'inversione di velocità tra FRA1 e FRA2.

**Intermesoli (frazione)**

Nella carta geologico – tecnica sono indicate le sezioni geologiche longitudinale (F-F') e trasversale (G-G') predisposte per lo Studio di Microzonazione Sismica di terzo livello del Comune di Pietracamela (TE). Considerando dal punto di vista della risposta sismica locale più significativa la sezione trasversale, la modellazione numerica è stata eseguita sulla sezione G-G' (Figura 7-15 e Figura 7-16), ubicata su una frana complessa quiescente.



**Figura 7-15 - Sezione geologica G-G' di Intermevoli (frazione) secondo Standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica - Versione 4.0b.**



**Figura 7-16 - Sezione geologica G-G' di Intermevoli (frazione) secondo Linee Guida Regione Abruzzo - Gruppo di lavoro per le attività di microzonazione sismica - Versione 1.2.** fra = deposito di frana complessa (quiescente in arancio); UAM3 = argille ad Orbulina; CRRa = marne con Cerrognà - litofacies marnoso-calcarenitica; CRRb = marne con Cerrognà - litofacies calcarenitico-calciuriditica.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

La *mesh* utilizzata per le analisi numeriche è riportata in Figura 7-17 e Figura 7-18. La *mesh* della sezione G-G' orientata verso W-E, larga circa 1.000 m e di altezza massima pari a 124 m, è stata costruita con 13.100 elementi e 6.904 nodi.

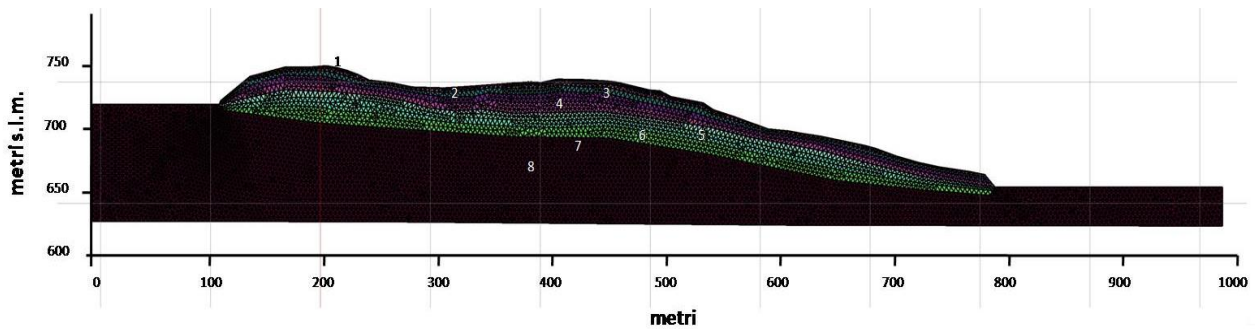


Figura 7-17 - Mesh sezione G-G'.

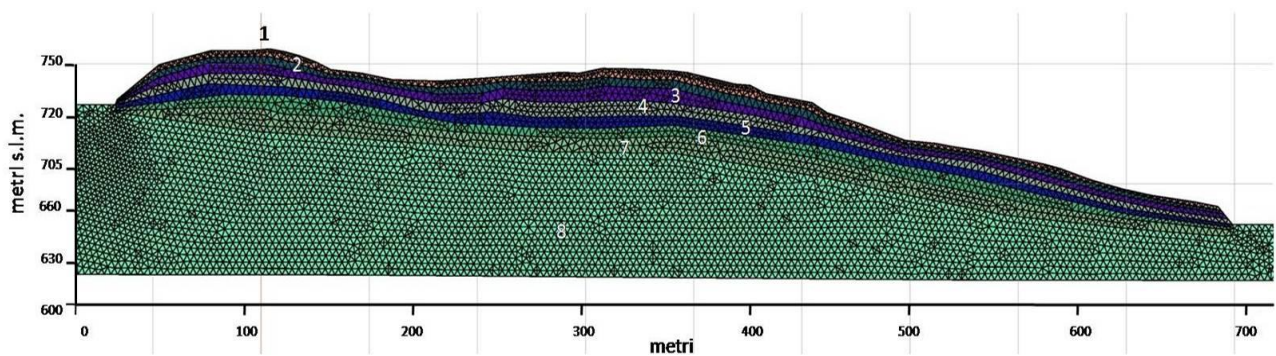


Figura 7-18 - Dettaglio mesh sezione G-G'.

Una sintesi dei parametri fisico-meccanici, associati ad ogni terreno investigato e richiesti dal codice di calcolo, la geometria, la densità, il coefficiente di Poisson, il modulo di taglio iniziale  $G_0$ , lo smorzamento iniziale e le curve che descrivono il comportamento non lineare dei materiali, è riportata in Tabella 7-5.

LITOLOGIA	Vs (m/s)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$	CURVE DINAMICHE
1 - Depositi di frana quiescente – Ghiaia (FRA1)	280	20.0	0.40	Rollins et al. (1998)
2 - Depositi di frana quiescente – Ghiaia con limo (FRA2)	350	20.0	0.35	Rollins et al. (1998)
3 - Depositi di frana quiescente – Sabbia fine e limo argilloso (FRA3)	360	21.29	0.38	Prova di laboratorio per Comune di Pietracamela (MS3)
4 - Depositi di frana quiescente – Arenaria litoide alternata a limi sabbiosi (FRA4)	480	21.0	0.38	Modoni e Gazzellone (2010)
5 - Depositi di frana quiescente – Limi argilloso-sabbiosi con pezzi litoidi (FRA5)	690	21.0	0.30	Modoni e Gazzellone (2010)
6 - Depositi di frana quiescente – Limi argilloso-sabbiosi con pezzi litoidi (FRA6)	650	21.0	0.35	Modoni e Gazzellone (2010)

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

7 - Argille ad Orbulina (UAM3)	700	22.0	0.30	Lineare D= 1.0%
8 - Marne con Cerroghna – litofacies marnoso-calcarenitica (CRRa)	1100	24.0	0.35	Lineare D= 0.5%

**Tabella 7-5 - Parametri fisico meccanici dei terreni.**

Il comportamento non lineare del terreno è stato interpretato secondo il modello lineare equivalente, caratterizzato dalla variazione del modulo di taglio  $G$  e dello smorzamento  $D$  con il livello di deformazione di taglio  $\gamma$ . Per i depositi di frana quiescente prevalentemente ghiaiosi (FRA1, FRA2) e per i depositi di frana quiescente prevalentemente ghiaiosi con pezzi litoidi (FRA4, FRA5, FRA6) sono state scelte le curve di bibliografia (Rollins *et al.*, 1998, Modoni e Gazzellone, 2010), mentre per i depositi di frana sabbiosi e limo-argillosi sono stati utilizzati i risultati delle prove di laboratorio eseguite per gli studi MS3 del Comune di Pietracamela (TE) (Figura 7-19 e Figura 7-20). Per i restanti litotipi e per il basamento sismico (CRRa), data l'elevata rigidezza dei materiali è stato assunto un comportamento lineare con il relativo smorzamento iniziale  $D_0$ .

In particolare:

- per i depositi di frana quiescente (FRA1, FRA2), è stata scelta la già citata curva di letteratura per terreni ghiaiosi (Rollins *et al.*, 1998);
- per i depositi di frana quiescente (FRA3), è stata scelta la già citata curva di laboratorio ottenuta dagli studi MS3 del Comune di Pietracamela (TE);
- per i depositi di frana quiescente (FRA4, FRA5, FRA6), è stata scelta la già citata curva di letteratura per terreni ghiaiosi (Modoni e Gazzellone, 2010);
- per le argille ad Orbulina (UAM3), è stato assunto un comportamento lineare con smorzamento iniziale  $D_0= 1.0\%$ ;
- per le Marne con Cerroghna - litofacies marnoso-calcarenitica (CRRa), è stato assunto un comportamento lineare con smorzamento iniziale  $D_0= 0.5\%$ .



## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

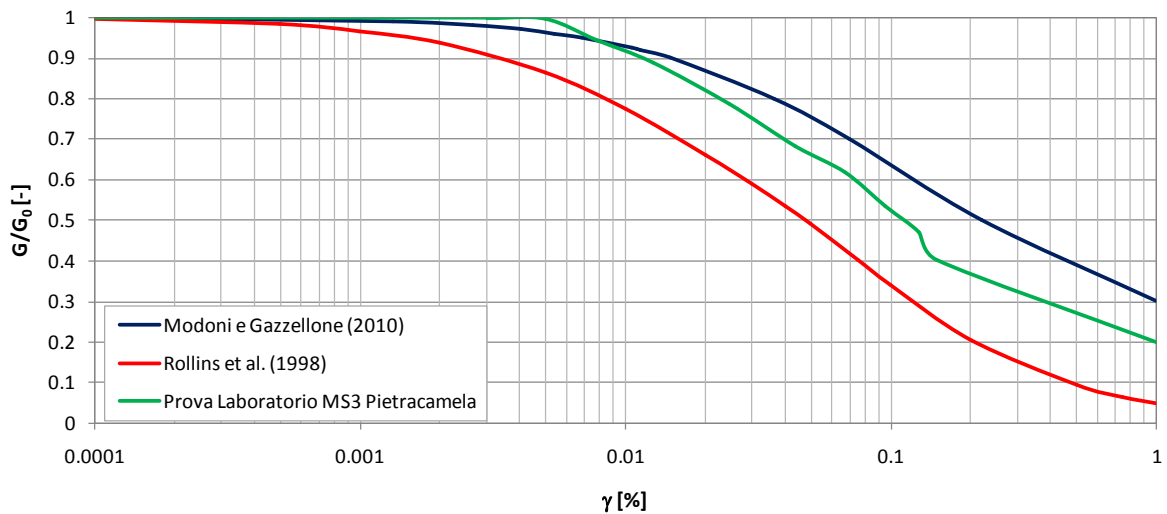


Figura 7-19 - Variazione del modulo di taglio normalizzato.

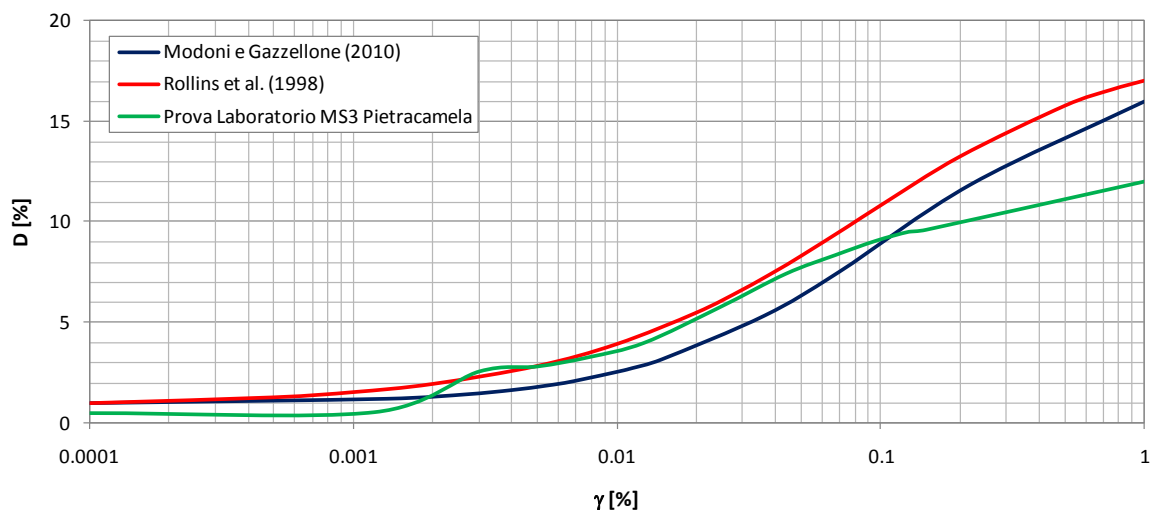


Figura 7-20 - Variazione del rapporto di smorzamento.

Sulla base di tali informazioni, è stata effettuata l'analisi bidimensionale per la sezione G-G', utilizzando come input sismico il set costituito dai sette accelerogrammi, spettrocompatibili con lo spettro su roccia a 475 anni, ricavati dal CentroMS per il Comune di Pietracamela (TE) per lo Studio di Microzonazione Sismica di terzo livello.

In uscita il codice fornisce:

- accelerazioni, velocità e spostamenti massimi in tutti i nodi della *mesh*;
- sforzi e deformazioni tangenziali massimi in ciascun elemento;
- storia temporale dell'accelerazione, della velocità e dello spostamento nei nodi selezionati;
- spettri di risposta in accelerazione, velocità e spostamento nei nodi selezionati;
- modulo della funzione di trasferimento nei nodi selezionati.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

In questo studio, i risultati delle elaborazioni numeriche sono stati espressi in termini di storie temporali dell'accelerazione orizzontale in superficie in corrispondenza dei nodi selezionati e dei rispettivi spettri di risposta con smorzamento pari al 5%. Noti gli spettri di risposta per ogni sezione, l'amplificazione è stata quantificata attraverso il calcolo del fattore di amplificazione  $FH_a$ , i cui valori sono stati qui calcolati come rapporto tra l'integrale dello spettro di pseudo-accelerazione di output per tre differenti intervalli di integrazione (0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s) e i corrispondenti parametri di input:

$$FH_a = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FH_a = \frac{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.1}^{0.8} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FH_a = \frac{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{in}(T) dT}$$

Tramite le formule indicate per tutti i punti di output e per ogni intervallo, è stata calcolata la media dei valori del fattore di amplificazione relativi ai sette accelerogrammi di input, il cui andamento è riportato in Figura 7-21.

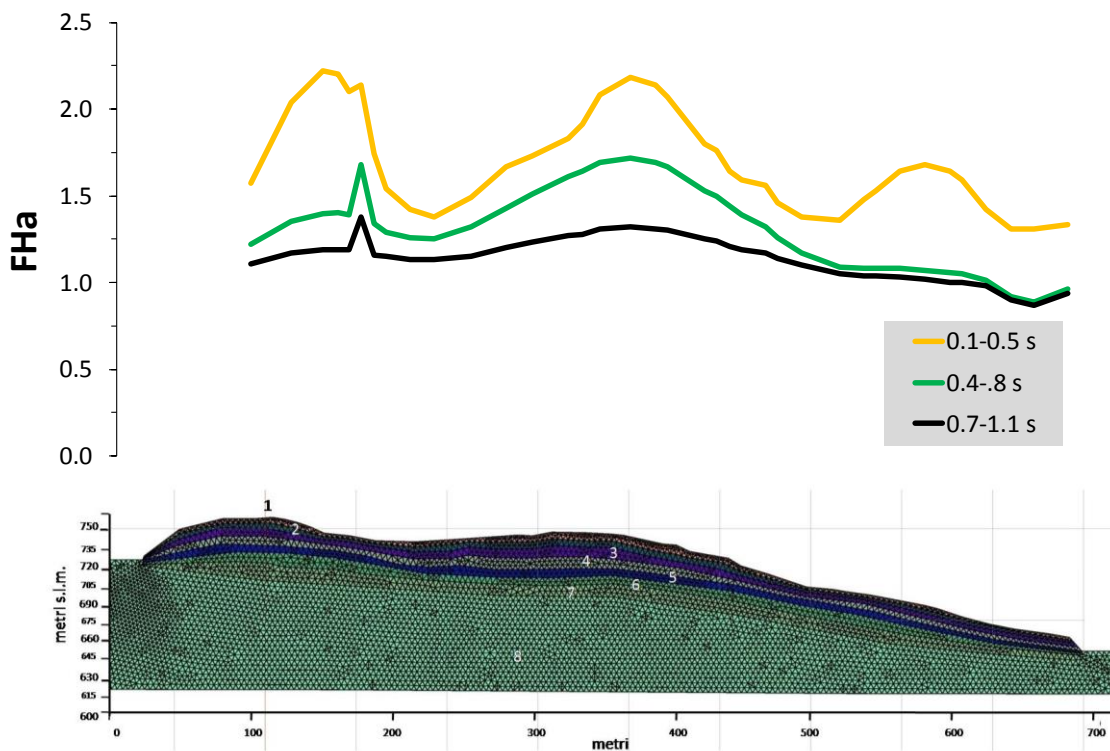


Figura 7-21 - Risultati in termini di fattore amplificazione  $FH_a$  per la sezione G-G'.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

In Figura 7-21, l'andamento del fattore di amplificazione relativo mostra un picco pari a 2.2 nel campo di periodi compreso tra 0.1 e 0.5 s, valore legato non solo a fenomeni di amplificazione di tipo topografico, ma anche da probabili effetti di tipo stratigrafico. In corrispondenza dell'altura su cui ricade il centro urbano di Intermesoli, il fenomeno di amplificazione rispetto al moto alla base resta comunque evidente mostrando fattori di amplificazione mediamente superiori ad 1.5. Simili trend di amplificazione si rilevano anche nel campo di periodi 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, con picchi di amplificazione pari rispettivamente ad 1.7 e 1.3. Per tutti e tre i campi di periodo si osserva infine un'amplificazione nella porzione W della sezione, probabilmente dovuta ad effetti di instabilità numerica di bordo. Tale area ricade comunque al di fuori delle perimetrazioni interessate dagli studi MS3.

In Figura 7-22 e in Figura 7-23 si mostrano gli accelerogrammi e gli spettri di risposta in superficie sul nodo selezionato (P29-progressiva 183.57 m, corrispondente alla simulazione numerica monodimensionale effettuata) ottenuti a partire dalle sette time histories di input.

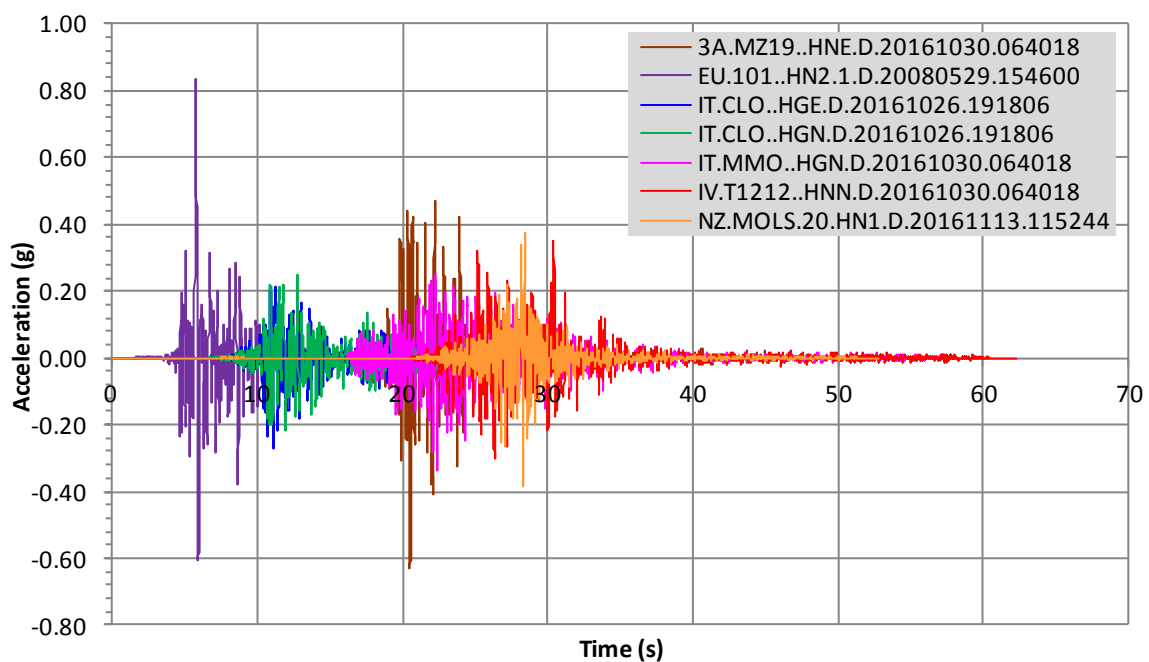


Figura 7-22 - Storia temporale dell'accelerazione in superficie.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

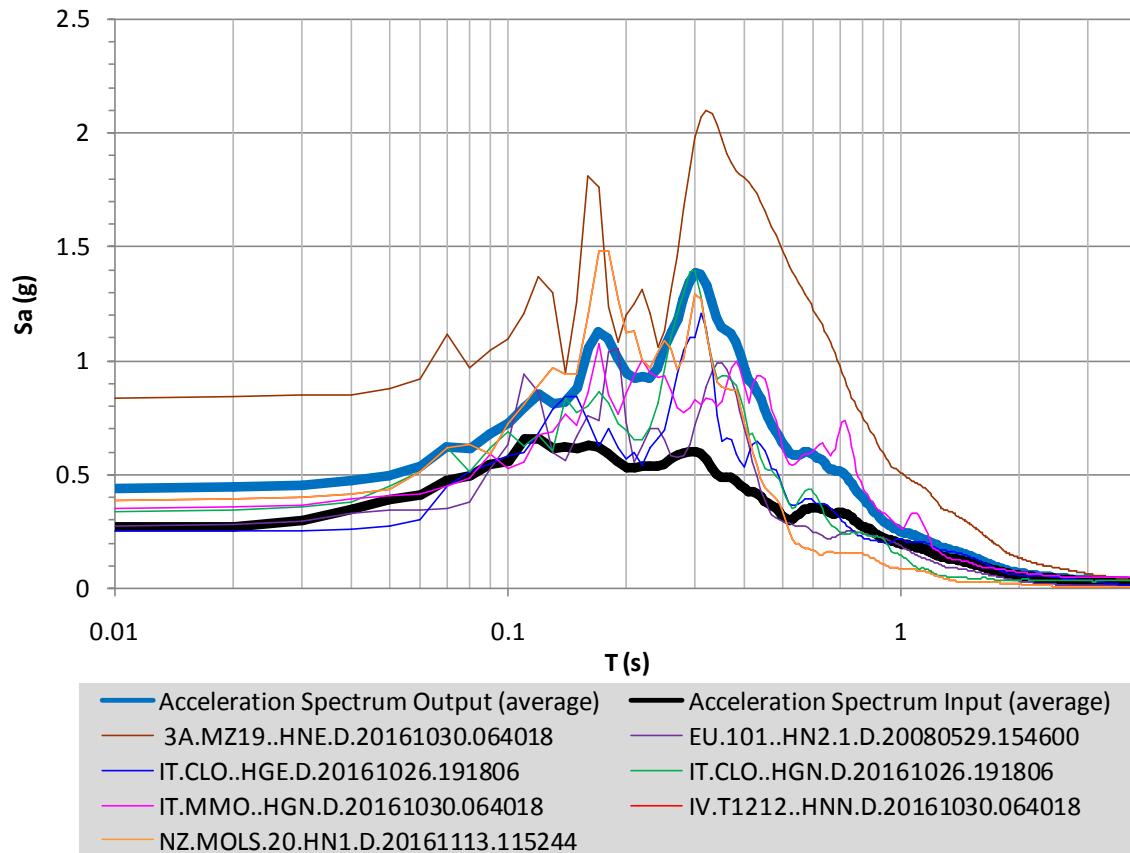


Figura 7-23 - Spettri di risposta elastici in superficie.

L'andamento del fattore di amplificazione relativo mostra un picco pari a 2.2 nel campo di periodi compreso tra 0.1 e 0.5 s, valore legato non solo a fenomeni di amplificazione di tipo topografico, ma anche da probabili effetti di tipo stratigrafico. In corrispondenza dell'altura su cui ricade il centro urbano di Intermesoli, il fenomeno di amplificazione rispetto al moto alla base resta comunque evidente mostrando fattori di amplificazione mediamente superiori ad 1.5. Simili trend di amplificazione si rilevano anche nel campo di periodi 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, con picchi di amplificazione pari rispettivamente ad 1.7 e 1.3.

### Prati di Tivo

Nella carta geologico – tecnica sono indicate le sezioni geologiche longitudinale (B-B') e trasversale (A-A') predisposte per lo Studio di Microzonazione Sismica di terzo livello del Comune di Pietracamela (TE). Considerando dal punto di vista della risposta sismica locale più significativa la sezione trasversale, la modellazione numerica è stata eseguita sulla sezione A-A' (Figura 7-24 e Figura 7-25).

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

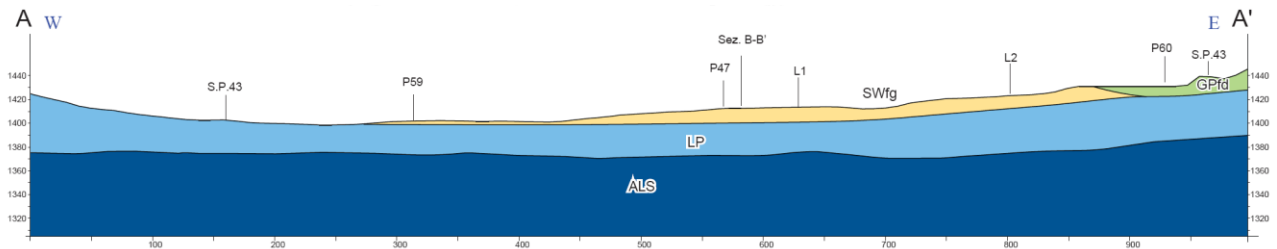


Figura 7-24 - Sezione geologica A-A' di Prati di Tivo (frazione) secondo Standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica - Versione 4.0b.

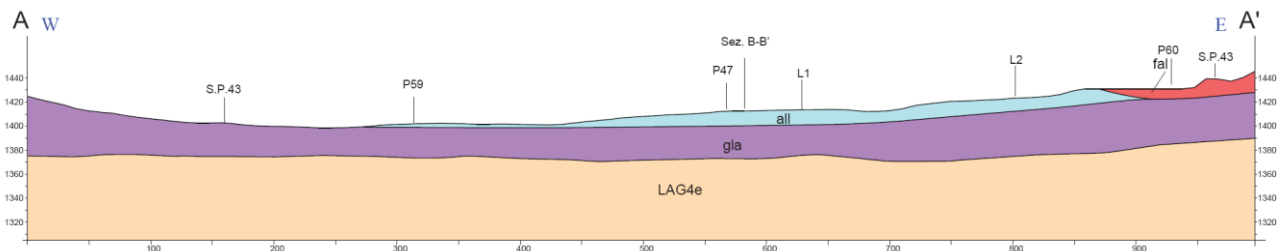


Figura 7-25 - Sezione geologica A-A' di Prati di Tivo (frazione) secondo Linee Guida Regione Abruzzo - Gruppo di lavoro per le attività di microzonazione sismica - Versione 1.2. fal = detrito di falda; all = deposito alluvionale e glaciale; gla = deposito glaciale; LAG4e = formazione della Laga, membro del Lago di Campotosto, associazione pelitico-arenacea.

La *mesh* utilizzata per le analisi numeriche è riportata in Figura 7-26 e in Figura 7-27. La *mesh* della sezione A-A' orientata verso W-E, larga circa 2.000 m e di altezza massima pari a 130 m, è stata costruita con 9.471 elementi e 9.954 nodi.

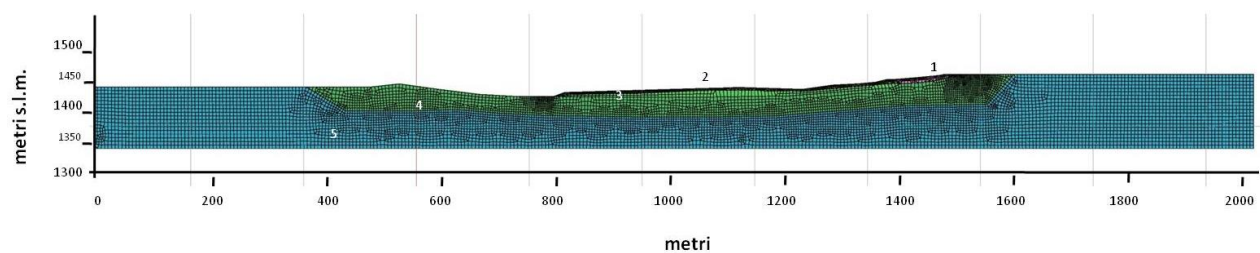


Figura 7-26 - Mesh sezione A-A'.

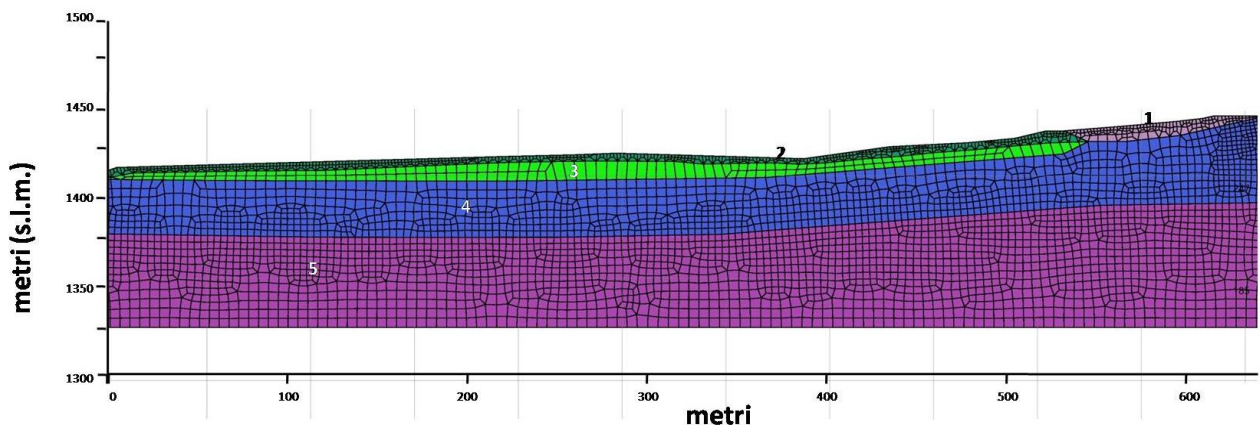


Figura 7-27 - Dettaglio mesh sezione A-A'.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

Una sintesi dei parametri fisico-meccanici, associati ad ogni terreno investigato e richiesti dal codice di calcolo, la geometria, la densità, il coefficiente di Poisson, il modulo di taglio iniziale  $G_0$ , lo smorzamento iniziale e le curve che descrivono il comportamento non lineare dei materiali, è riportata in Tabella 7-6.

LITOLOGIA	$V_s$ (m/s)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$	CURVE DINAMICHE
1 - Detriti di falda (FAL)	750	19.0	0.30	Modoni e Gazzellone (2010)
2 - Depositi alluvionali e glaciali (ALL1)	230	19.0	0.25	Rollins et al. (1998)
3 - Depositi alluvionali e glaciali (ALL2)	750	20.0	0.30	Marcellini et al. (1995)
4 - Depositi glaciali (GLA)	1560	22.0	0.40	Lineare $D=0.5\%$
5 - Formazione della Laga - associazione pelitico-arenacea (LAG4e)	1100	22.0	0.35	Lineare $D=0.5\%$

**Tabella 7-6 - Parametri fisico meccanici dei terreni.**

Il comportamento non lineare del terreno è stato interpretato secondo il modello lineare equivalente, caratterizzato dalla variazione del modulo di taglio  $G$  e dello smorzamento  $D$  con il livello di deformazione di taglio  $\gamma$ . Per i detriti di falda (FAL) e per i depositi alluvionali e glaciali (ALL1, ALL2), prevalentemente ghiaiosi, sono state scelte le curve di bibliografia (Rollins *et al.*, 1998, Modoni e Gazzellone, 2010, Marcellini *et al.*, 1995) (Figura 7-28 e Figura 7-29), per i restanti litotipi e per il basamento sismico (LAG4e), data l'elevata rigidità dei materiali è stato assunto un comportamento lineare con il relativo smorzamento iniziale  $D_0$ .

In particolare:

- per i detriti di falda (FAL), è stata scelta la già citata curva di letteratura per terreni ghiaiosi (Modoni e Gazzellone, 2010);
- per i depositi alluvionali e glaciali (ALL1), è stata scelta la già citata curva di letteratura per terreni ghiaiosi (Rollins *et al.*, 1998);
- per i depositi alluvionali e glaciali (ALL2), è stata scelta la già citata curva di letteratura per terreni ghiaiosi (Marcellini *et al.*, 1995);
- per i depositi glaciali (GLA) e per la formazione della Laga, associazione pelitico-arenacea (LAG4e), è stato assunto un comportamento lineare con smorzamento iniziale  $D_0=0.5\%$ .



## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

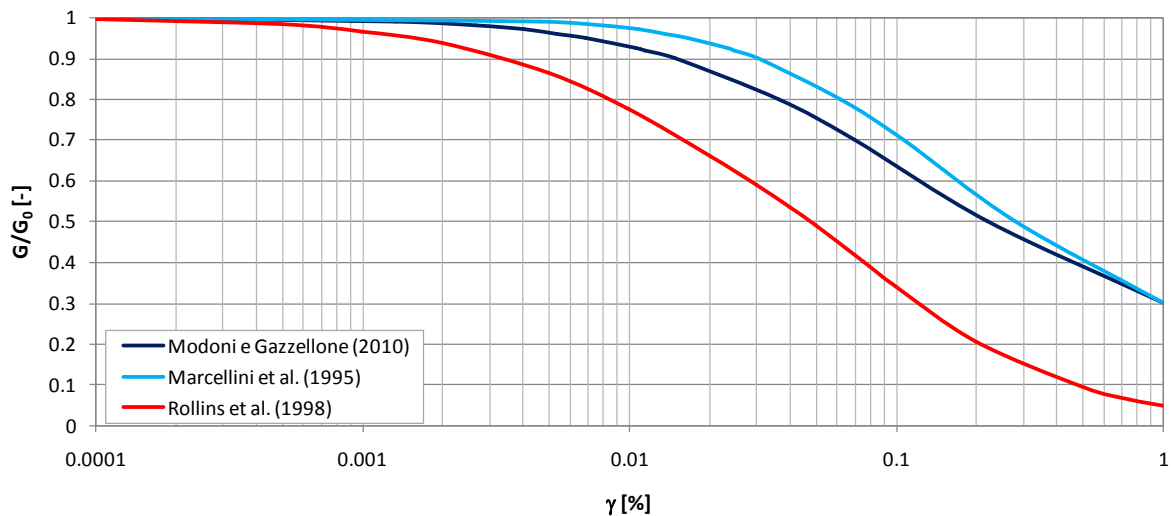


Figura 7-28 - Variazione del modulo di taglio normalizzato.

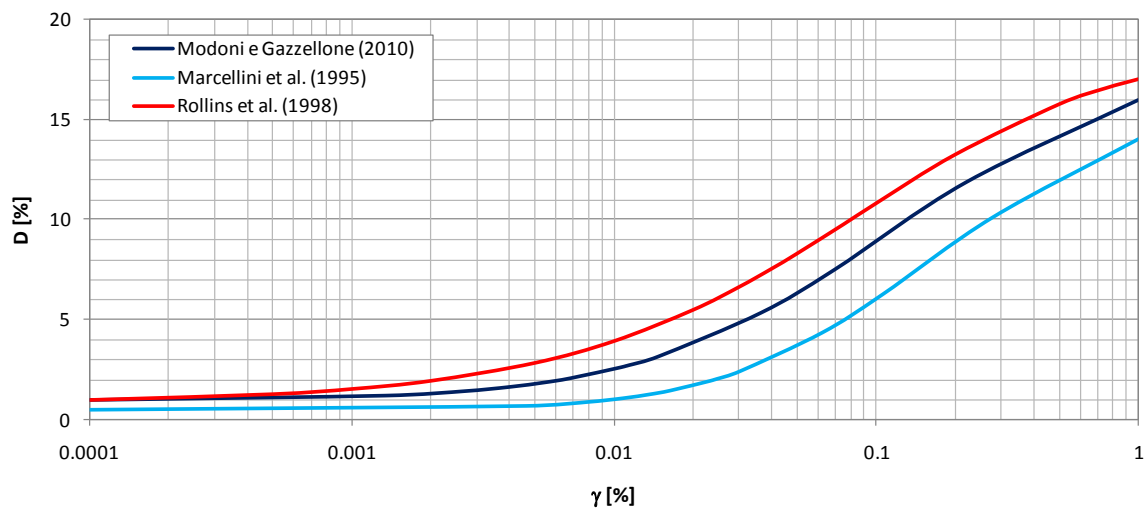


Figura 7-29 - Variazione del rapporto di smorzamento.

Sulla base di tali informazioni, è stata effettuata l'analisi bidimensionale per la sezione A-A', utilizzando come input sismico il set costituito dai sette accelerogrammi, spettrocompatibili con lo spettro su roccia a 475 anni, ricavati dal CentroMS per il Comune di Pietracamela (TE) per lo Studio di Microzonazione Sismica di terzo livello.

In uscita il codice fornisce:

- accelerazioni, velocità e spostamenti massimi in tutti i nodi della *mesh*;
- sforzi e deformazioni tangenziali massimi in ciascun elemento;
- storia temporale dell'accelerazione, della velocità e dello spostamento nei nodi selezionati;
- spettri di risposta in accelerazione, velocità e spostamento nei nodi selezionati;
- modulo della funzione di trasferimento nei nodi selezionati.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

In questo studio, i risultati delle elaborazioni numeriche sono stati espressi in termini di storie temporali dell'accelerazione orizzontale in superficie in corrispondenza dei nodi selezionati e dei rispettivi spettri di risposta con smorzamento pari al 5%. Noti gli spettri di risposta per ogni sezione, l'amplificazione è stata quantificata attraverso il calcolo del fattore di amplificazione  $FH_a$ , i cui valori sono stati qui calcolati come rapporto tra l'integrale dello spettro di pseudo-accelerazione di output per tre differenti intervalli di integrazione (0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s) e i corrispondenti parametri di input:

$$FH_a = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FH_a = \frac{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.1}^{0.8} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FH_a = \frac{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{in}(T) dT}$$

Tramite le formule indicate per tutti i punti di output e per ogni intervallo, è stata calcolata la media dei valori del fattore di amplificazione relativi ai sette accelerogrammi di input, il cui andamento è riportato in Figura 7-30.

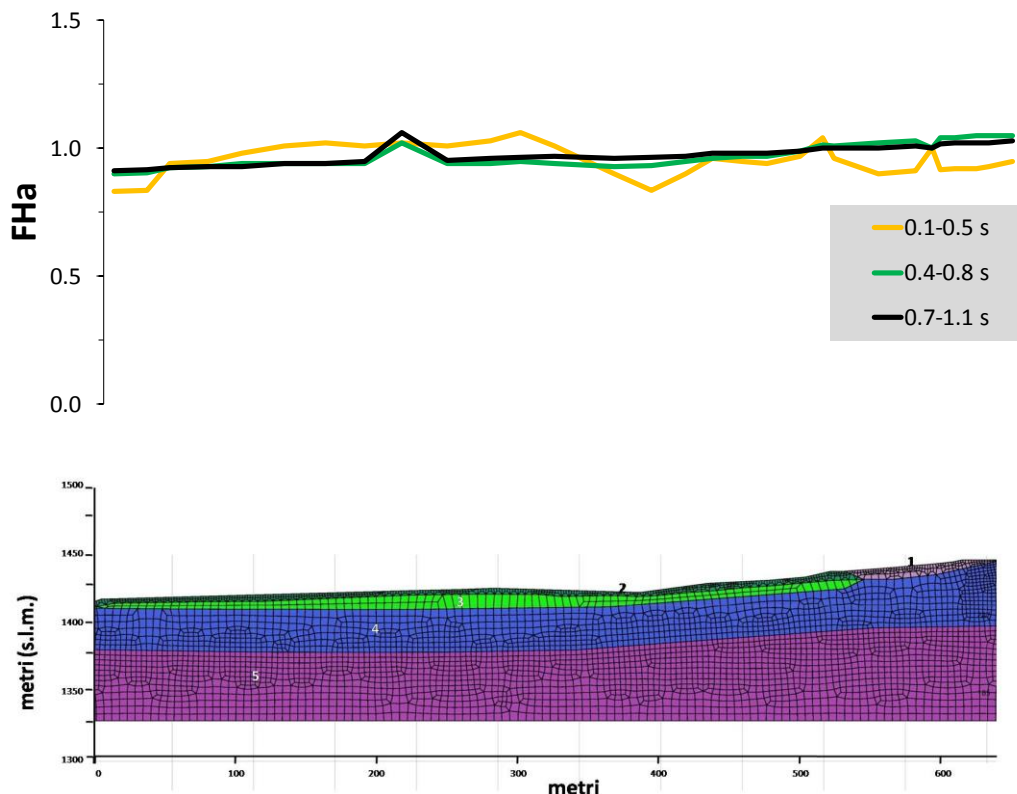


Figura 7-30 - Risultati in termini di fattore amplificazione  $FH_a$  per la sezione A-A'.

In Figura 7-30 l'andamento del fattore di amplificazione relativo mostra un profilo mediamente pari all'unità nella porzione W della sezione per il campo di periodi compreso tra 0.1 e 0.5 s, mentre in corrispondenza della porzione E si evidenzia una deamplificazione. Deamplificazioni e valori prossimi all'unità si osservano anche per i fattori di amplificazione relativi ai campi di periodi compresi tra 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s. Tali andamenti sono probabilmente legati all'elevata rigidezza di ALL2, GLA, FAL e LAG4e e all'inversione di velocità tra GLA e LAG4e.

In Figura 7-31, Figura 7-32, Figura 7-33 e Figura 7-34 si mostrano gli accelerogrammi e gli spettri di risposta in superficie sul nodo selezionato (P4-progressiva 527.46 m e P53-progressiva 856.82 m, corrispondenti alla simulazione numerica monodimensionale effettuata) ottenuti a partire dalle sette time histories di input.

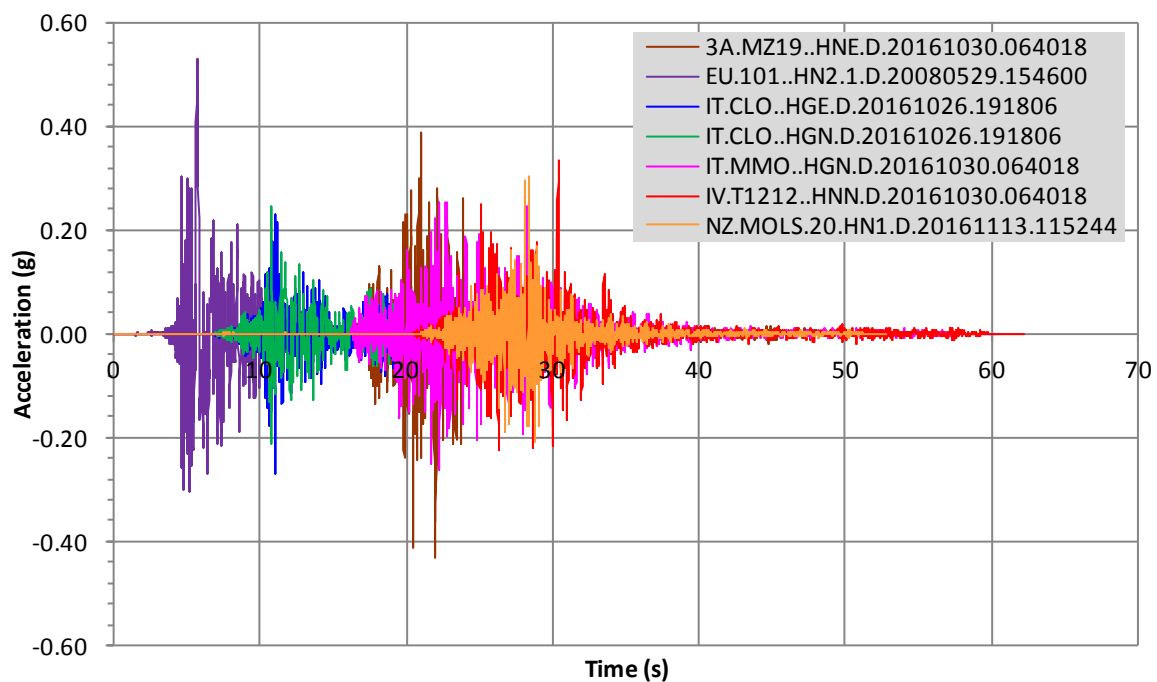


Figura 7-31 - Storia temporale dell'accelerazione in superficie (P4).

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

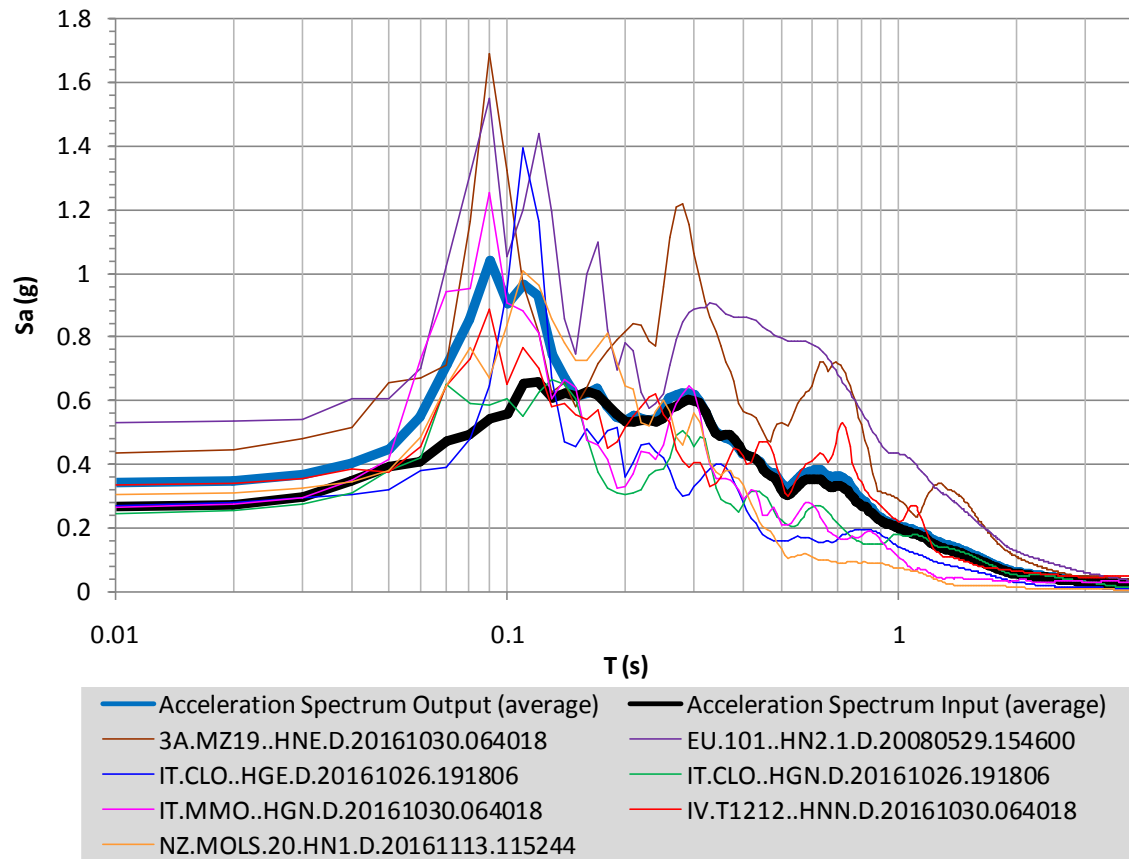


Figura 7-32 - Spettri di risposta elastici in superficie (P4).

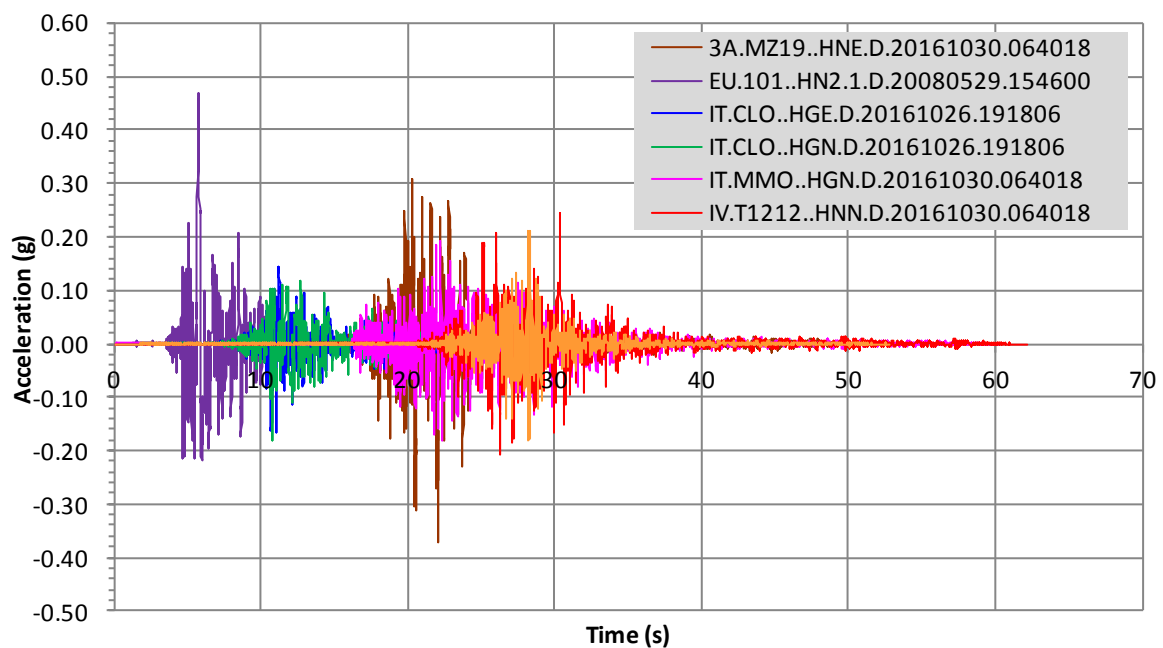


Figura 7-33 - Storia temporale dell'accelerazione in superficie (P53).

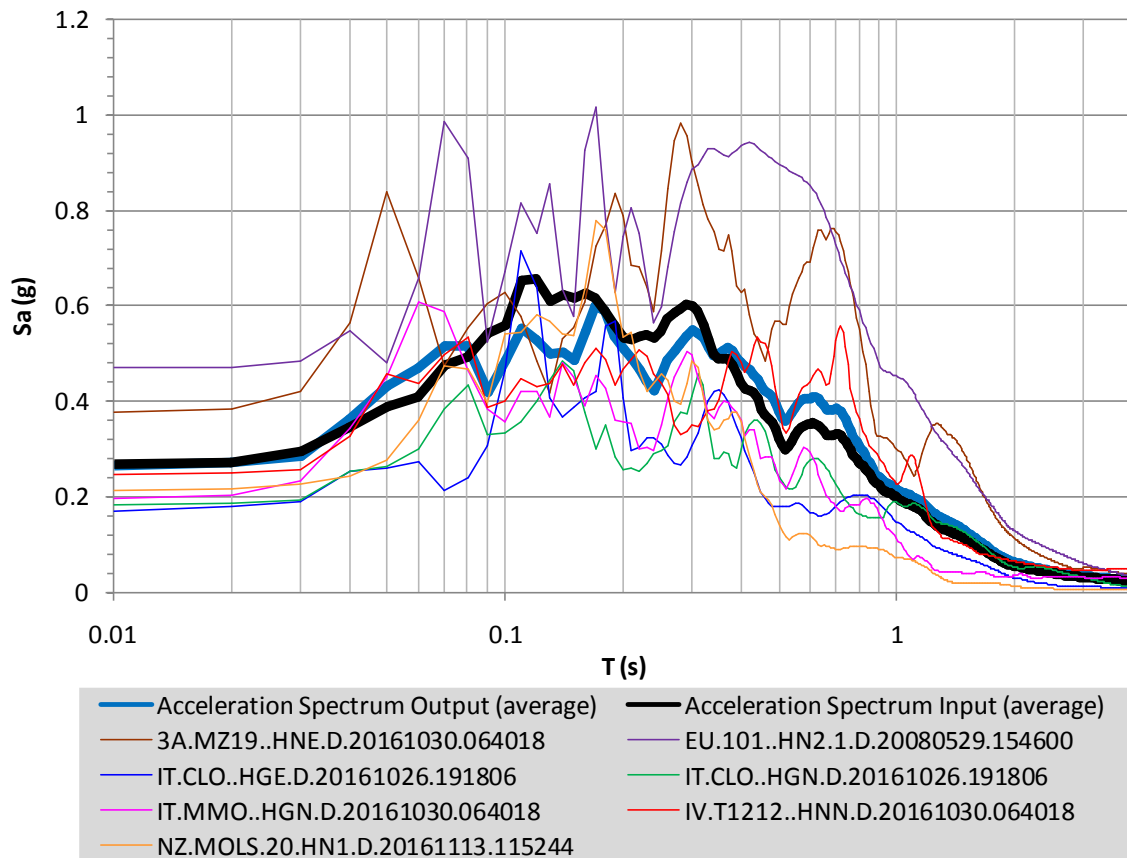


Figura 7-34 - Spettri di risposta elastici in superficie (P53).

L'andamento del fattore di amplificazione relativo mostra un profilo mediamente pari all'unità nella porzione W della sezione per il campo di periodi compreso tra 0.1 e 0.5 s, mentre in corrispondenza della porzione E si evidenzia una deamplificazione. Deamplificazioni e valori prossimi all'unità si osservano anche per i fattori di amplificazione relativi ai campi di periodi compresi tra 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s. Tali andamenti sono probabilmente legati all'elevata rigidità di ALL2, GLA, FAL e LAG4e e all'inversione di velocità tra GLA e LAG4e.

### 7.3 Zone instabili

Tra le principali instabilità sismoindotte in grado di determinare deformazioni permanenti del suolo gli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008) indicano:

- liquefazioni;
- cedimenti differenziali;
- instabilità di versante;
- faglie attive e capaci.

Per le zone suscettibili di tali possibili effetti la normativa vigente richiede approfondimenti di terzo livello.

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

Considerata la complessa orografia in attiva evoluzione geomorfologica del territorio del Comune di Pietracamela sono attese instabilità di versante, mentre in base del contesto sismotettonico non è possibile escludere la presenza di faglie potenzialmente attive e capaci.

Le **faglie attive e capaci** sono strutture in grado di produrre fagliazione in superficie cioè dislocazione istantanea cosismica verticale e/o orizzontale dei terreni lungo uno o più piani di taglio. Elementi indicativi di attività recente di una faglia possono essere sia di carattere geomorfologico – con anomalie nelle forme del paesaggio, diversioni di corsi d’acqua o scarpate di faglia – sia di tipo tettonico come, ad esempio, dislocazioni di unità sedimentarie recenti (tardo pleistocenici-olocenici).

Dall’analisi dei dati di letteratura e sulla base del rilievo geologico e geomorfologico eseguito per lo studio di microzonazione sismica **non emergono evidenze di elementi indicativi di attività recente di faglie attive e capaci**. Come visibile in sezione E-E’, per l’abitato di **Pietracamela sono riportate le tracce di faglie dirette incerte non attive**, di cui non si osservano evidenze né di rotture secondarie e/o fenomeni cosismici ad esse associate.

**Le instabilità di versante sismoindotte** sono instabilità di versante che devono il loro movimento, oltre a caratteri predisponenti, all’azione sismica. Il rapporto causa-effetto è molto complesso infatti, terremoti di bassa magnitudo possono scatenare frane imponenti, mentre, terremoti forti possono non attivare movimenti di pendii in condizioni di stabilità precarie. Le instabilità che si possono generare sono molto varie: crolli, distacchi parziali, rotture generalizzate, collassi istantanei, movimenti ritardati, più o meno lenti. I materiali coinvolti possono essere terreni granulari, argille (frane in terra), rocce lapidee, rocce tenere alterate (frane in roccia, di crollo).

Limitandosi alla fase cosismica, i principali fattori che influenzano la stabilità di un pendio durante un terremoto sono: caratteristiche morfologiche, geologiche e strutturali del pendio, posizione e orientazione rispetto alla zona di attivazione del “piano di faglia”, proprietà fisiche e parametri meccanici dei terreni, in condizioni statiche, dinamiche e cicliche, regime delle pressioni interstiziali.

Tra le condizioni contingenti si annoverano: l’entità e posizione di eventuali carichi esterni, l’uso del suolo, le modifiche alla morfologia di origine antropica e/o naturale, condizioni climatiche antecedenti e contemporanee.

In particolare, le caratteristiche del terremoto che influenzano la stabilità del pendio sono la forma, l’ampiezza, la durata e contenuto in frequenza del moto sismico e posizione dell’epicentro.

Quindi, gli studi, le indagini e i dati necessari per la verifica della stabilità dei pendii in condizioni sismiche includono: acquisizione e analisi di dati esistenti, rilievi topografici, indagini geomorfologiche, indagini



MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

geologiche, prove geotecniche e geofisiche in sito e di laboratorio, monitoraggio delle pressioni interstiziali, individuazione e controllo di eventuali movimenti preesistenti, definizione delle condizioni ambientali e di carico, identificazione dell'azione sismica di progetto e delle strutture sismogenetiche.

**Per l'individuazione dei corpi franosi sono state inizialmente utilizzate tecniche di telerilevamento e di interpretazioni aerofotogrammetriche, comparando i risultati delle osservazioni con la distribuzione dei fenomeni franosi nella cartografia PAI, IFFI ed AVI.**

In parziale accordo con quanto riportato nelle cartografie citate, nel rilevamento geomorfologico eseguito per lo studio di microzonazione, limitatamente agli ambiti selezionati per gli approfondimenti di terzo livello, sono state individuate le seguenti tipologie di frane, per le quali sono state anche compilate le schede fornite dal Centro MS:

**Pietracamela (zona la Terra)**

- frana complessa quiescente (3024)
- frana crollo attiva "Capo le Vene" (3011)

**Pietracamela (zona la Villa)**

- frana complessa attiva "Colle Cepito" (3014)

**Intermesoli**

- frana di scorrimento traslazionale quiescente (3022)

Dagli studi eseguiti risulta dunque la presenza di n. 2 aree interessate da corpi di frana attivi: la frana di crollo di Capo le Vene che coinvolge le brecce calcaree di origine glaciale avente morfologia rupestre e la frana che coinvolge accumuli caotici di frammenti litici di varie dimensioni fino a grandi blocchi in matrice siltoso-sabbiosa più o meno abbondante che coinvolge direttamente il nucleo di "la Villa". In questo caso gli spessori sono variabili tra i 30 m ed i 50 m.

## 8 Elaborati cartografici

Le analisi e gli approfondimenti eseguiti nell'ambito di questo studio hanno fornito gli elementi necessari alla redazione degli elaborati cartografici per il terzo livello di microzonazione sismica. Al contempo, le nuove indagini geognostiche realizzate, gli attuali standard di rappresentazione ed archiviazione informatica nazionali (versione 4.0b) hanno reso necessaria la revisione, in parte anche sostanziale, degli elaborati cartografici prodotti nei precedenti livelli di approfondimento di microzonazione sismica.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

Per queste ragioni allo studio sono stati nuovamente allegati gli elaborati cartografici di primo livello aggiornati oltre alle tavole grafiche prodotte per gli approfondimenti di terzo livello (Tabella 8-1).

La forma e l'estensione del Comune di Pietracamela, hanno reso necessaria la realizzazione di una cartografia suddivisa in tre riquadri in scala 1:2.000 centrati sugli ambiti selezionati per gli approfondimenti di terzo livello.

La base cartografica utilizzata in tutti gli elaborati è costituita dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:5.000, reperita, in formato shapefile, sul portale "Opendata" della Regione Abruzzo.

ELABORATO	RIFERIMENTO	SCALA
Carta delle indagini	Tavola 1	1:2.000
Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica	Tavola 2	1:2.000
Carta delle frequenze naturali dei terreni	Tavola 3	1:2.000
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – MOPS	Tavola 4	1:2.000
Carta di microzonazione sismica (livello 3) - $FA_{0,1-0,5s}$	Tavola 5	1:2.000
Carta di microzonazione sismica (livello 3) - $FA_{0,4-0,8s}$	Tavola 6	1:2.000
Carta di microzonazione sismica (livello 3) - $FA_{0,7-1,1s}$	Tavola 7	1:2.000

**Tabella 8-1 - Elenco degli elaborati cartografici redatti per lo studio di microzonazione sismica.**

## 8.1 Carta delle indagini (Tavola 1)

La carta delle indagini consente di visualizzare l'ubicazione delle prospezioni geologiche e geofisiche utilizzate per lo studio di microzonazione sismica e comprende, pertanto, sia quelle di repertorio (76) che quelle realizzate per l'attuale approfondimento di terzo livello (24).

Nella cartografia alla scala 1:2.000, le indagini sono raffigurate mediante simboli definiti dagli standard di rappresentazione e archiviazione informatica - versione 4.0b - della Commissione tecnica nazionale per la microzonazione sismica (anno 2015).

Attraverso l'utilizzo del metodo di rappresentazione proposto all'Appendice 2 dei suddetti standard, ad ogni sito d'indagine (punto marrone in carta) sono associati i simboli grafici delle diverse tipologie di prove in esso realizzate (es. prova penetrometrica dinamica super pesante, sondaggio a distruzione ecc.). Per ogni indagine è stato riportato in carta una porzione del suo codice identificativo (es. P12), il quale nella sua forma estesa è caratterizzato dal codice ISTAT comunale e da un numero progressivo preceduto dalla lettera "P". Utilizzando il metodo appena citato, il posizionamento dei simboli in cartografia avviene in maniera automatica e non modificabile.

Si precisa inoltre che il rispetto delle procedure indicate negli standard non consente di differenziare graficamente le prove pregresse da quelle realizzate per gli approfondimenti di terzo livello. Per ulteriori dettagli in merito a provenienza, tipologia e qualità delle indagini riportate in carta, si rimanda al capitolo 4.

## 8.2 Carta Geologico Tecnica microzonazione sismica (Tavola 2)

Nella Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica sono sintetizzate tutte le informazioni di base: geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche o geotecniche, derivate dalla revisione critica di studi, elaborati e cartografie disponibili.

In questa cartografia, elaborata alla scala 1:2.000, sono rappresentati gli elementi geologici e morfologici in grado di modificare il moto sismico in superficie o determinare eventuali effetti locali, la distribuzione dei terreni di copertura ed altre informazioni necessarie alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.

### 8.2.1 Terreni di copertura

In base dei criteri per la definizione del modello geologico già descritti al paragrafo 5, nella parte sommitale e affiorante dei terreni di copertura olocenici sono state distinte tre unità, ognuna delle quali associabile ad una delle classi predefinite negli standard di microzonazione. Tali classi sono state definite mediante l'*Unified Soil Classification System (USCS - modificato, ASTM, 1985)*, un sistema di classificazione dei suoli utilizzato sia in ingegneria sia in geologia, che può essere applicato alla maggioranza dei materiali non consolidati.

Per ognuna delle unità perimetrate sono stati riportati in cartografia colorazione e codici alfabetici corrispondenti alle rispettive classi (*USCS*) individuate negli standard di rappresentazione ed archiviazione informatica. Il codice alfabetico che identifica le unità, costituito da una prima porzione maiuscola e da una seconda minuscola (es. **SWfg**), indica rispettivamente i caratteri litotecnici e gli ambienti di genesi deposizionale che contraddistinguono i terreni di copertura.

Sulla base della classificazione appena citata sono state definite unità riconducibili a:

- **Detrito di falda (GPfd)** che si stacca dalla base dei versanti ripidi del settore Corno Piccolo - Arapietra e si estende fino ai Prati di Tivo, interdigitandosi con depositi fluvio-glaciali e di conoide alluvionale. Si tratta di ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia, con spessori variabili tra 3 e 10 m.

- **Deposito alluvionale e fluvio-glaciale (SWfg)** costituito da sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose contenenti blocchi di dimensioni decimetriche, poligenici da subangolosi a subarrotondati; gli spessori totali variano tra i 2 ed i 10 m.

### 8.2.2 Substrato geologico

Così come richiesto dagli standard di rappresentazione e archiviazione informatica - versione 4.0b, le unità del substrato geologico sono state definite e descritte tenendo conto di:

- tipologia: lapideo, granulare cementato, coesivo sovraconsolidato, alternanza di litotipi (es. depositi *flyschoidi*)
- stratificazione, se esistente (es. stratificato, non stratificato)
- grado di fratturazione o alterazione superficiale.

Tali unità sono così distribuite:

- **Substrato lapideo (LP)** formato da Till indifferenziato, appartenente al *Sistema di Pietracamela*, costituito da ghiaie e brecce calcaree fortemente cementate con spessori di 30 - 80 m.
- **Alternanza di litotipo stratificato (ALS)** che identifica tutte le Unità Geologiche Marine. In generale, il tetto della successione è identificabile nella **Formazione della Laga: Membro di Campotosto**, che rappresenta la porzione basale della formazione. Nel comune di Pietracamela sono presenti le associazioni litologiche LAG4c, LAG4b e LAG4e.

Al di sotto di esso giace la **Formazione delle Argille ad Orbulina** - UAM3 - costituita da marne argillose e siltiti marnose di colore da grigio-azzurro ad avana a grigio-scuro, sottilmente stratificate e laminate, ricche di foraminiferi planctonici con spessori di 2 - 10 m.

Alla base della successione è presente la **Formazione delle Marne con Cerrognà** (CRRa e CRRb), unità piuttosto estesa sul territorio comunale. È costituita da marne, marne calcaree da grigio verde a grigio havana con intercalazioni calcarenitiche a granulometria fine (Membro A). Al di sotto giace il Membro B - calcareniti e calciruditi in strati e banchi con intercalazioni di marne calcaree. Spessori di almeno 90 m, sino a 700 m.

All'interno del territorio comunale, in relazione all'entità dell'erosione subita dai differenti litotipi, la parte superiore della successione torbidityca può risultare da completa a quasi del tutto assente stante la mancanza della formazione della Laga ss.

### 8.2.3 Forme di superficie e sepolte

Tra le forme di superficie e sepolte proposte dagli standard di rappresentazione e archiviazione informatica, sono state individuate e riportate in carta quelle riferibili a “orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale” e “picco isolato”

Gli orli di scarpata sono principalmente presenti nelle porzioni di territorio comunale in prossimità degli ambiti di Pietracamela e di Intermesoli. Gli orli sono distinti in due tipologie: quelli con lunghezze tra i 10 ed i 20 m e quelli con lunghezze maggiori a 20 m. Sono poi evidenziati i picchi morfologici isolati, presenti esclusivamente nell’abitato di Pietracamela.

### 8.2.4 Instabilità di versante

Sono descritte le instabilità di versante osservate nel territorio comunale. Esse risultano essere di vario tipo e caratterizzando in maniera estremamente significativa gli abitati di Pietracamela e Intermesoli.

Sono identificate, in base agli standard di rappresentazione e archiviazione informatica - versione 4.0b, da una simbologia che ne definisce la tipologia, da colori che ne definiscono lo stato di attività e da un codice numerico di quattro cifre che riassume le informazioni descritte graficamente (Tabella 8-2).

CODICE IDENTIFICATIVO	TIPOLOGIA INSTABILITA'
3011	Crollo o ribaltamento attivo
3012	Scorrimento attivo
3014	Complessa attiva
3021	Crollo o ribaltamento quiescente
3022	Scorrimento quiescente
3024	Complessa quiescente

Tabella 8-2 - Codici identificativi delle instabilità e relative descrizioni.

### 8.2.5 Elementi tettonico-strutturali

Si tratta nello specifico di **Faglie dirette non attive certe**, **Faglie dirette non attive incerte** e della **giacitura degli strati**. Si puntualizza che relativamente alle giaciture, la simbologia evidenzia in carattere numerico l’immersione degli strati.

### **8.2.6 Elementi geologici ed idrogeologici**

Tra gli elementi funzionali alla definizione del modello di sottosuolo, sono stati riportati in carta tutti i pozzi e sondaggi disponibili, con i rispettivi valori di profondità rispetto alla superficie topografica e la profondità della falda in aree con litologia sabbiosa o ghiaiosa.

Gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica prevedono che i pozzi ed i sondaggi vengano tematizzati in colore verde nel caso in cui la loro profondità raggiunga il substrato geologico, in colore rosso nel caso contrario. Nello specifico, dei diciassette sondaggi disponibili solamente tre raggiungono il substrato geologico.

I dati freaticimetrici disponibili sono stati riportati con un simbolo di colore azzurro e un'etichetta riportante il valore della profondità in metri della falda, ai fini della ricostruzione dell'andamento della superficie piezometrica.

Allo studio sono, infine allegate sette sezioni geologiche considerate rappresentative del modello geologico di sottosuolo. Le sezioni mostrano i rapporti stratigrafici principali delle unità sedimentarie riconosciute nel sottosuolo.

## **8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni (Tavola 3)**

In questa tavola sono riportati i punti di misura di microtremore a stazione singola, utilizzati per lo studio di microzonazione.

I punti di misura utilizzati per lo studio sono stati tematizzati con diversi colori in relazione alle classi di frequenza fondamentale ( $f_0$ ), con valori compresi tra 3,2 e 10,5 Hz.

I valori di ampiezza massima del picco di H/V sono caratterizzati da differenti diametri del simbolo cartografico in relazione alla classe di appartenenza con valori generalmente compresi tra 2 e 6 Hz.

## **8.4 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Tavola 4)**

La carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) o carta delle aree suscettibili di effetti locali, è l'elaborato di sintesi fondamentale del primo livello di approfondimento.

L'elaborato mostra, mediante riquadri alla scala 1:2.000, la suddivisione degli ambiti indagati in zone stabili, zone suscettibili di amplificazioni locali e zone suscettibili di instabilità. Nella tavola sono riportate le forme di superficie e sepolte già presenti nella carta geologico tecnica (Tavola 2, paragrafo 8.2.3) e le ubicazioni dei punti di misura di rumore ambientale (Tavola 3, paragrafo 8.3).



## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

Le diverse microzone sono state definite sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche (Figura 8-1) e ad esse sono stati associati codici identificativi progressivi e colorazioni distinte come previsto dagli standard sopra citati.

Sono state identificate due distinte microzone **stabili** a cui sono stati attribuiti i codici 1012 e 1041 e cinque microzone **suscettibili di sola amplificazione locale** a cui sono stati attribuiti i codici dal 2001 al 2005. Di seguito è riportato lo schema dei rapporti litostratigrafici più significativi (Figura 8-1) con la descrizione delle diverse successioni litostratigrafiche in base alle quali sono state definite le microzone. Le descrizioni e lo schema dei rapporti litostratigrafici sono riportati in maniera sintetica anche nella legenda di cartografia. Nelle zone 2002 e 2003, che caratterizzano gli abitati di Pietracamela e di Intermesoli, sono presenti aree di instabilità dovuta a fenomeni gravitativi attualmente attivi e responsabili di problematiche diffusamente evidenti. Del resto tutte le otto zone cartografate come instabili presentano problematiche legate ad instabilità dei versanti e sono state riportate in carta come *zone di attenzione* per instabilità dei versanti (ZAFR) e rappresentate mediante apposito retino e relativo prefisso che ne identifica la tipologia e lo stato (Tavola 2, paragrafo 8.2.4).

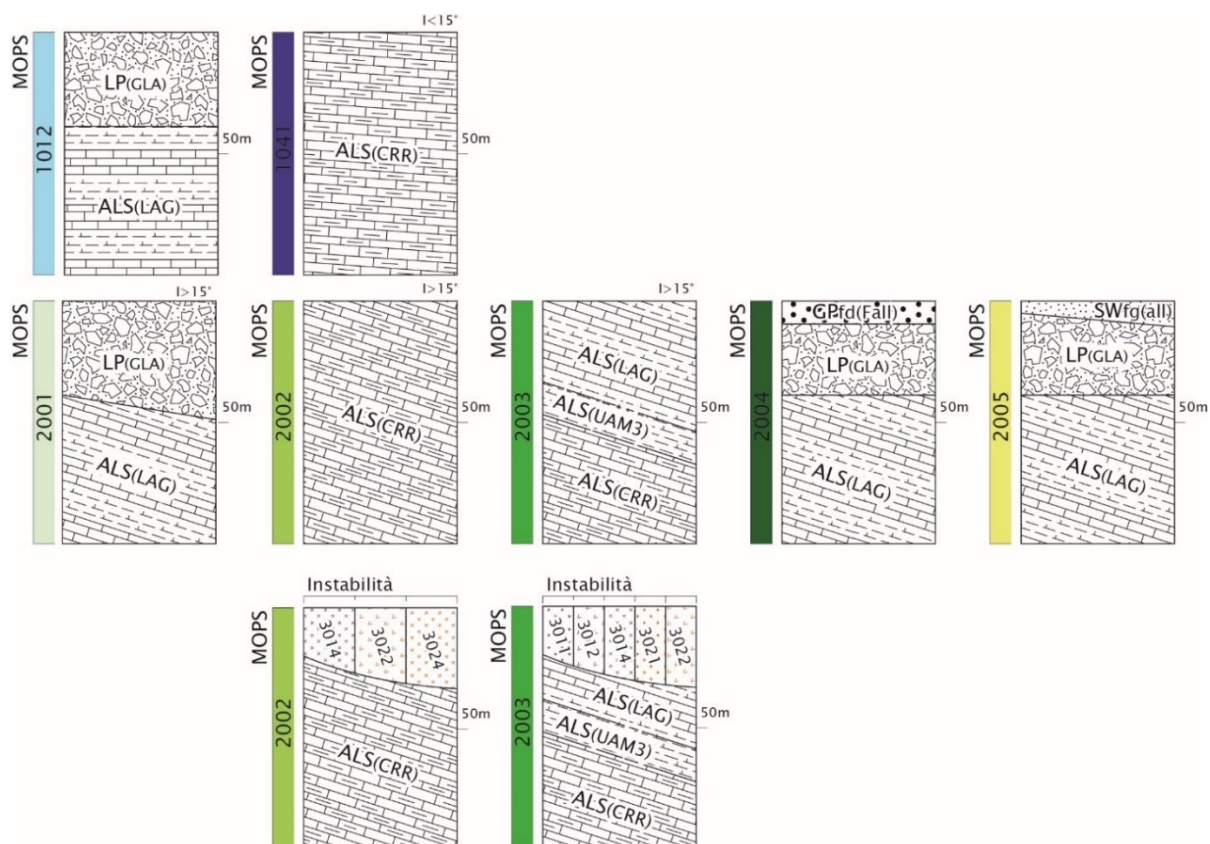


Figura 8-1 - Colonne stratigrafiche sintetiche rappresentative delle successioni di sedimenti che costituiscono i primi 30 metri nelle diverse zone MOPS individuate nel territorio comunale.

#### **8.4.1 Zone stabili**

##### **Zona 1012**

Till indifferenziato costituito da ghiaie e brecce calcaree fortemente cementate con spessori di 30 - 80 m. Esso poggia su un substrato costituito dall'Unità Marina della Formazione della Laga - Membro di Campotosto - Marne con Cerrognà.

##### **Zona 1041**

Substrato costituito dalle marne con cerrognà - marne, marne calcaree da grigio verde a grigio havana con intercalazioni calcarenitiche a granulometria fine (Membro A). Al di sotto giace il Membro B - calcareniti e calciruditi in strati e banchi con intercalazioni di marne calcaree. Spessori di almeno 90 m, sino a 700 m (area del Montagnone).

#### **8.4.2 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

##### **Zona 2001**

Till indifferenziato costituito da ghiaie e brecce calcaree fortemente cementate con spessori di 30 - 80 m. Esso poggia su un substrato costituito dall'Unità Marina della Formazione della Laga - Membro di Campotosto - Marne con Cerrognà. Acclività > 15°

##### **Zona 2002**

Substrato costituito dalle marne con cerrognà - marne, marne calcaree da grigio verde a grigio havana con intercalazioni calcarenitiche a granulometria fine (Membro A). Al di sotto giace il Membro B - calcareniti e calciruditi in strati e banchi con intercalazioni di marne calcaree. Spessori di almeno 90 m, sino a 700 m (area del Montagnone). Acclività > 15°.

##### **Zona 2003**

Substrato costituito dall'Unità della Laga: Membro di Campotosto - Unità LAG4c, LAG4b e LAG4e. Al di sotto giace la formazione delle Argille ad Orbulina UAM3 - marne siltose, siltiti grigio azzurre sottilmente stratificate in spessori di 2 - 10 m. Successivamente è presente la Formazione delle Marne con Cerrognà (CRRa e CRRb).

#### **Zona 2004**

Detrito di falda (FAL) costituito da clasti poligenici ed eterometrici sino a blocchi con scarsa matrice sabbiosa e scarsa cementazione, con spessori di 3 - 10 m. Al di sotto sono presenti brecce calcaree glaciali (GLA) e l'unità marina di substrato della Formazione della Laga.

#### **Zona 2005**

Deposito alluvionale costituito da sabbie, ghiaie e limi con blocchi di dimensioni da metriche a decimetriche, poligenici da subangolosi ad arrotondati ed aventi spessori di 2 - 10 m. Esso poggia su brecce calcaree di origine glaciale (GLA) e su substrato costituito dall'unità marina della Formazione della Laga.

### **8.5 Carte di microzonazione sismica (Tavole 5, 6, 7)**

Le carte di microzonazione sismica di terzo livello, o carte dei fattori di amplificazione delle aree, sono state realizzate in accordo con quanto previsto dagli Standard MS 4.0b e rappresentano gli elaborati finali di sintesi dello studio di microzonazione. Mediante riquadri alla scala 1:2.000, vengono illustrati i risultati delle analisi e delle valutazioni eseguite negli ambiti comunali individuati per gli approfondimenti di terzo livello. Gli elaborati cartografici riportano la classificazione delle aree indagate in base all'amplificazione attesa, quantificata tramite fattori parametrici (FA) espressi in termini di intensità di Housner<sup>1</sup> per diversi periodi di vibrazione:

- $FA_{0,1-0,5s}$  (tavola 5) - fattori di amplificazione espressi in rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico ( $SI/SI_0$ ) per periodi compresi tra 0,1 e 0,5 secondi;
- $FA_{0,4-0,8s}$  (tavola 6) - fattori di amplificazione espressi in rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico ( $SI/SI_0$ ) per periodi compresi tra 0,4 e 0,8 secondi.
- $FA_{0,7-1,1s}$  (tavola 7) - fattori di amplificazione espressi in rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico ( $SI/SI_0$ ) per periodi compresi tra 0,7 e 1,1 secondi.

I fattori di amplificazione utilizzati ( $FA_{0,1-0,5s}$ ,  $FA_{0,4-0,8s}$ ,  $FA_{0,7-1,1s}$ ) sono stati calcolati mediante analisi 2D per quanto riguarda gli ambiti di Intermesoli e Pietracamela, mentre per quanto concerne l'ambito di Prati di Tivo sono stati calcolati con analisi 1D.

---

<sup>1</sup> L'Intensità di Housner corrisponde all'area sottesa dallo spettro di risposta di pseudovelocità e rappresenta un indicatore della pericolosità sismica poiché correlabile all'energia dissipata nelle strutture durante un terremoto.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

Alle diverse aree indagate sono stati attribuiti distinti valori per ognuno dei tre fattori di amplificazione considerati ( $FA_{0,1-0,5s}$ ,  $FA_{0,4-0,8s}$ ,  $FA_{0,7-1,1s}$ ).

Nelle diverse tavole sono rappresentate le rispettive classi parametriche individuate secondo gli Standard MS 4.0b, e stabilite sulla base dei valori puntuali di amplificazione ottenuti dalle modellazioni.

Il risultato grafico si individua in differenti fasce caratterizzate da valori di amplificazione che vanno da un minimo di 0,87 ad un massimo di 2,22.

Le “Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali” sono caratterizzate dal solo colore corrispondente alle classi di amplificazione derivate.

Le “Zone di attenzione per instabilità di versante” sono state estratte tal quali dalla carta delle MOPS (Tavola 4 e paragrafo 8.4), e limitate ai soli ambiti selezionati per gli approfondimenti di terzo livello. Come stabilito dal “Centro di Microzonazione Nazionale” non stati calcolati i fattori di amplificazione per le aree caratterizzate da instabilità di versante attive, definite all’interno del PAI come R3 e R4. Di conseguenza tali aree sono contrassegnate in carta da un retinato diagonale trasparente.

In accordo con il coordinamento dell’INGV dell’Aquila, sono stati calcolati i valori di  $V_{s30}$  nei siti in cui erano disponibili misure di down-hole. In Tabella 8-3 sono riportate le  $V_{s30}$  calcolate e le categoria di sottosuolo da NTC attribuite ai siti indagati.

Nonostante i valori di  $V_{s30}$  siano compresi tra 360 e 800 m/s o superiori, in alcuni siti non viene rispettata la condizione di miglioramento graduale delle proprietà meccaniche con la profondità. I profili di velocità delle onde di taglio disponibili mostrano, infatti, frequenti inversioni di velocità. Tali inversioni possono essere spiegate considerando che Pietracamela si sviluppa ampiamente su spessi corpi di frana costituiti anche da grossi blocchi litoidi.

Questa situazione, in cui terreni rigidi sovrastano terreni più deformabili, determina categorie di sottosuolo da NTC di tipo S2.

IDENTIFICATIVO INDAGINE	LOCALITA'	VS30	CATEGORIA SOTTOSUOLO
067034P46DH81	Pietracamela	393 m/s	B
067034P9DH47	Pietracamela	546 m/s	S2
067034P41DH74	Pietracamela	1195 m/s	S2

**Tabella 8-3 - Valori di  $V_{s30}$  e categorie di sottosuolo da NTC attribuite ai siti indagati mediante tecniche DH.**

## **9 Commenti finali e criticità**

Gli approfondimenti di terzo livello eseguiti per lo studio di microzonazione sismica hanno permesso di identificare le aree con caratteristiche predisponenti all'instabilità dei versanti e determinare, per le aree non interessate da movimenti franosi attivi, l'amplificazione sismica attesa.

L'amplificazione è stata calcolata mediante analisi numeriche di risposta sismica locale 1D e 2D, basate su dati stratigrafici, indagini di laboratorio e velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) acquisite sia in foro che dalla superfici. Tali valori sono stati estrapolati in forma areale sulla base delle conoscenze geologiche e delle evidenze mostrate attraverso le sezioni stratigrafiche non modellate. Ciò determina un evidente grado di incertezza nella interpolazione delle classi di amplificazione riportate nelle carte di terzo livello.

Questa criticità potrebbe essere in futuro mitigata attraverso la realizzazione di ulteriori approfondimenti di microzonazione che comprendano nuove indagini geognostiche e un numero più elevato di analisi di risposta sismica bidimensionali.

Evidenti criticità permangono inoltre relativamente alla conoscenza volumetrica dei corpi di frana attivi ed al loro comportamento dinamico in termini di amplificazioni sismica.

## 10 Bibliografia

- AA.VV., (2011): *Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"*. Supplemento alla rivista Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2.
- Adamoli L., (2014): *Regione Abruzzo Comune di Pietracamela (TE) Microzonazione Sismica Relazione Illustrativa*.
- Albarelo D., Castellaro S., (2011): *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*. In AA.VV. (2011): "Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e Criteri per la microzonazione sismica", supplemento alla rivista Ingegneria sismica, a. XXVIII, n. 2.
- Branda E., Turchetti B., Diolaiuti G., Pecci M., Smiraglia C., Buzzini P., (2010): *Yeast and yeast-like diversity in the southernmost glacier of Europe (Calderone Glacier, Apennines, Italy)* in FEMS Microbiology Ecology, Volume 72, Issue 3, 1 June 2010, Pages 354–369, <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2010.00864.x>.
- Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, *Foglio 349 - Gran Sasso d'Italia*, (2012): ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Abruzzo.
- Castellaro S., (2012): *H/V: un contributo oltre Vs30*, In: Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici, a cura di Marco Mucciarelli, ARACNE editrice, 448 pp.
- Castellaro S., Mulargia F., (2011): *Seismic soil classification from a different perspective*. Annual meeting of the Seismological Society of America, Memphis (Tennessee, USA), Apr. 13-15.
- Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C., Amato A., (2006): *CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002*, versione 1.1. INGV-CNT, Roma. <http://csi.rm.ingv.it/>.
- Centamore E., Nisio S., Prestininzi A., Scarascia Mugnozza G., (1997): Caratteri peculiari delle deformazioni gravitative ed evoluzione morfodinamica del settore periadriatico dell'Abruzzo Settentrionale. GeolItalia: Forum italiano di Scienze della Terra. Atti. Conv. Rimini 5-9 ottobre, 1997.
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2014). *Linee guida per l'elaborazione della carta e delle sezioni geologico tecniche per la microzonazione sismica (CGT\_MS)*. Dipartimento della Protezione civile, Roma. Bozza, ver. 1.2 beta.
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2015): *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0b*. Roma, ottobre 2015. 122 pp. [http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Standard\\_MS\\_4\\_0b.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Standard_MS_4_0b.pdf).



MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2015): *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)*. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma  
[http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LineeGuidaFAC\\_v1\\_0.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LineeGuidaFAC_v1_0.pdf).
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2015). *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR)*. Dipartimento della protezione civile, Roma. Versione 1.0 [http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG\\_Frane\\_v1\\_0.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG_Frane_v1_0.pdf).
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2017). *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ)*. Dipartimento della protezione civile, Roma. Versione 1.0 [http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG\\_Liq\\_v1\\_0.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG_Liq_v1_0.pdf).
- DISS Working Group, (2015): *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0.
- Doglioni C., Anzidei M., Pondrelli S., Florindo F., (2016): *The Amatrice seismic sequence: preliminary data and results*". Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome, Italy. Annals of Geophysics, Vol. 59 2016, Fast Track 5 2016.
- Fazzini M., Giuffrida A., Frustaci G., (2005): *Snowfall analysis over peninsular Italy in relationship to the different types of synoptic circulation: first results* - Proc. 28th conference on Alpine Meteorology (ICAM-MAP), Croatian Meteorological Journal 40, pages 650-653.
- Garofalo F., Foti S., Hollender F., Bard P.Y., Cornou C., Cox B.R., Ohrnberger M., Sicilia D., Asten M., Di Giulio G., Forbriger T., Guillier B., Hayashi K., Martin A., Matsushima S., Mercerat D., Poggi V., Yamanaka H., (2016): *InterPACIFIC project: Comparison of invasive and non-invasive methods for seismic site characterization. Part I: Intra-comparison of surface wave methods, Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 82, pp. 222-240, doi: 10.1016/j.soildyn.2015.12.010i.
- Gruppo di lavoro MPS, (2004): *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003*. Rapp. conclusivo per il DPC, INGV, Milano-Roma, pp 65 + 5 appendici.
- Gruppo di Lavoro MS, (2008): *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*. Conferenza delle Regioni e Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e CD-rom. [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view\\_pub.wp?contentId=PUB1137](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137).

- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G., (2007): *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and the Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*, INGV-SGA; <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.
- Housner George W., (1952): *Intensity of ground motion during strong earthquakes*. California Institute of Technology.
- ISIDe Working Group, (INGV, 2010): *Italian Seismological Instrumental and parametric database*. <http://iside.rm.ingv.it>.
- Kottke A.R., Rathje E.M., (2008): *Technical manual for Strata*. University of California, Berkeley.
- Kuhlemeyer R.L., Lysmer J., (1973): *Finite Element Method Accuracy for Wave Propagation Problems*. Journal of the Soil Dynamics Division, 99, 421-427.
- Lanzo G., Pagliaroli A., D'Elia B., (2004): *Influenza della modellazione di Rayleigh dello smorzamento viscoso nelle analisi di risposta locale*. Atti del XI Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", ANIDIS, Genova, 25-29 gennaio 2004, Servizi Grafici Editoriali, Padova, CD-ROM, articolo A1-02. ISBN: 88-86281-89-7, 12 pp.
- Lanzo G., Silvestri F., (1999): *Risposta Sismica Locale. Teoria ed esperienze*. Hevelius edizioni.
- Lysmer J., Kuhlemeyer L., (1969): *Finite dynamic model for infinite media*. J Eng Mech Div 95(EM4):859-877.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., (2016): *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.
- Marcellini A., Iannaccone G., Romeo R.W., Silvestri F., Bard P.Y., Improta L., Meneroud J.P., Mouroux P., Mancuso C., Rippa F., Simonelli A.L., Soddu P., Tento A., Vinale F., (1995): *The Benevento Seismic Risk Project. I. Seismotectonic and geotechnical background*. Proc. V Int. Conf. on Seismic Zonation, Nice. Ouest Editions Presses Académiques, Nantes.
- Marchetti A., Ciaccio M.G., Nardi A., Bono A., Mele F.M., Margheriti L., Rossi A., Battelli P., Melorio C., Castello B., Lauciani V., Berardi M., Castellano C., Arcoraci L., Lozzi G., Battelli A., Thermes C., Pagliuca N., Modica G., Lisi A., Pizzino L., Baccheschi P., Pintore S., Quintiliani M., Mandiello A., Marcocci C., Fares M., Cheloni D., Frepoli A., Latorre D., Lombardi A.M., Moretti M., Pastori M., Vallocchia M., Govoni A., Scognamiglio L., Basili A., Michelini A., Mazza S., (2016): *The Italian Seismic Bulletin: strategies, revised pickings and locations of the central Italy seismic sequence*. Annals of Geophysics, 59, Fast Track 5; doi:10.4401/ag-7169.

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - COMUNE DI PIETRACAMELA (TE)

- Meletti C., Valensise G. (a cura di), (2004): *Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto conclusivo. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003)*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Modoni G., Gazzellone A. (2010): *Simplified theoretical analysis of the seismic response of artificially compacted gravels*. V International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego (USA), Paper No. 1.28a.
- Mucciarelli M. (a cura di), (2012): *Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici*.
- NTC (2008): *Norme Tecniche per le Costruzioni - DM 14 gennaio 2008*. Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, [www.cslp.it](http://www.cslp.it), Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- Rathje E. M., Kottke A. (2013) - *Strata*, <https://nees.org/resources/strata>.
- Rollins K.M., Evans M.D., Diehl N.B., Daily III W.D., (1998): *Shear modulus and damping relationships for gravels*. J Geotech and Geoenv. Engineering 124, 396-405.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), (2016): *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.
- Sieberg A., (1930): *Geologie der Erdbeben*. Handbuch der Geophysik, 2, 4, pp. 550-555.
- Strobbia C., (2003): *Surface Wave Methods - Acquisition, Processing and Inversion*. Extract from PhD Thesis, Polytechnic of Turin.
- .

## 11 Allegati

Carta delle indagini	Tavola 1	1:2.000
Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica	Tavola 2	1:2.000
Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni	Tavola 3	1:2.000
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica	Tavola 4	1:2.000
Carta di Microzonazione Sismica - FA_01_05	Tavola 5	1:2.000
Carta di Microzonazione Sismica - FA_04_08	Tavola 6	1:2.000
Carta di Microzonazione Sismica - FA_07_11	Tavola 7	1:2.000
Sezione_AA'_CGT_DPC		
Sezione_AA'_CGT_REG_ABRUZZO		
Sezione_BB'_CGT_DPC		
Sezione_BB'_CGT_REG_ABRUZZO		
Sezione_CC'_CGT_DPC		
Sezione_CC'_CGT_REG_ABRUZZO		
Sezione_DD'_CGT_DPC		
Sezione_DD'_CGT_REG_ABRUZZO		
Sezione_EE'_CGT_DPC		
Sezione_EE'_CGT_REG_ABRUZZO		
Sezione_FF'_CGT_DPC		
Sezione_FF'_CGT_REG_ABRUZZO		
Sezione_GG'_CGT_DPC		
Sezione_GG'_CGT_REG_ABRUZZO		