

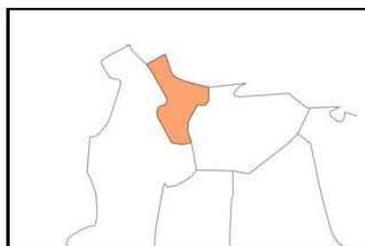
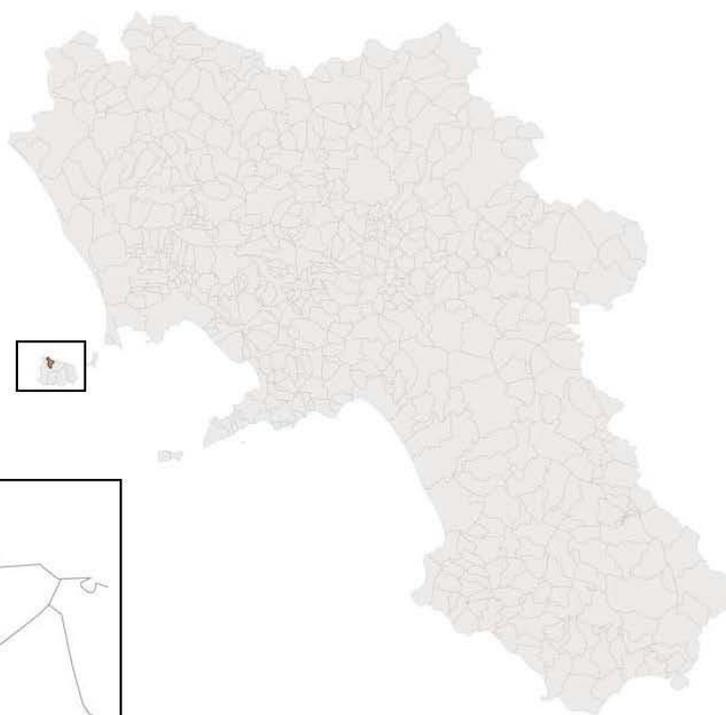


Piano degli studi di microzonazione sismica di III livello dei Comuni di Casamicciola, Lacco Ameno e Forio, ai sensi del D.L. 28 settembre 2018, n. 109 art. 18, comma 1, lettera h)

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Campania
Comune di Lacco Ameno



Soggetto Realizzatore

Geol. Giuseppe Riello
Geol. Alessia Iannotta
Geol. Annarita di Grazia
Geol. Filomena Miragliuolo
Geol. Gaetano Lotito
Geol. Antonio Petriccione

Data e revisione



CENTROMS
CENTRO PER LA
MICROZONAZIONE SISMICA
E LE SUE APPLICAZIONI

Sommario

1	Introduzione.....	8
1.1	Finalità degli studi Riferimenti normativi.....	8
1.2	Descrizione generale dell'area comunale Inquadramento geografico e altimetrico ..	14
1.3	Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio	16
1.4	Aree da sottoporre agli studi di MS	20
2	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	22
2.1	Sismicità storica dell'area di studio	22
2.2	Sismicità recente dell'area di studio	28
2.3	Pericolosità sismica di base	34
3	Assetto geologico e geomorfologico dell'area	47
3.1	Inquadramento geologico.....	47
3.2	Assetto stratigrafico	53
3.3	Assetto geomorfologico	64
3.4	Elementi tettonici	72
3.5	Considerazioni finali sull'architettura stratigrafica e sull'assetto morfologico e strutturale.....	76
4	Dati geotecnici e geofisici	78
4.1	Dati pregressi	78
4.1.1	Misure HVSR	80
4.1.2	Indagini sismiche MASW	85
4.1.3	Indagini sismica a rifrazione (Tomografia).....	89
4.1.4	Indagini geoelettrica di resistività e di polarizzazione indotta	92
4.1.5	Sondaggi geognostici a carotaggio continuo	94
4.2	Dati acquisiti ex-novo	106
4.2.1	Misure di vibrazione ambientale a stazione singola.....	112
4.2.2	Indagini sismiche MASW	116
4.2.3	Sondaggio geognostico a carotaggio continuo	122
4.2.4	Indagine sismica in foro Down Hole	132
5	Modello del sottosuolo finalizzato alla MS.....	142
5.1	Unità geologico-tecniche: definizione e parametrizzazione	142
5.2	Sezioni geologico-tecniche	167
5.2.1	Sezione geologico-technica A-A'	167
5.2.2	Sezione geologico-technica B-B'	168
5.2.3	Sezione geologico-technica C-C'	169
5.2.4	Sezione geologico-technica D-D'	170

5.2.5	Sezione geologico-tecnica E-E'	171
5.2.6	Sezione geologico-tecnica F-F'	172
6	Interpretazioni e incertezze	174
7	Metodologie di elaborazione e risultati	177
7.1	Zone stabili suscettibili di amplificazione	177
7.1.1	Scelta dell'input sismico (fornito dal CNR IGAG per il CentroMS)	177
7.2	Simulazioni numeriche bidimensionali (fornito dal CentroMS per le simulazioni 2D)	182
7.2.1	Risultati	187
7.3	Simulazioni numeriche monodimensionali	191
7.3.1	Risultati	194
7.4	Scelta dei Fattori di Amplificazione e degli spettri rappresentativi delle Aree di MS	III 240
7.5	Zone instabili	247
7.5.1	Faglie attive e capaci (FAC)	247
7.5.2	Liquefazione dei terreni	248
7.5.3	Instabilità di versante	253
8	Descrizione degli elaborati cartografici	259
8.1	Carta delle indagini (CI)	259
8.2	Carta delle frequenze naturali dei terreni	263
8.3	Carta Geologico Tecnica per la MS (CGT_MS)	267
8.4	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	271
8.5	Carte di Microzonazione Sismica (MS) di III livello	279
8.6	Commenti finali e criticità	281
9	Bibliografia	284

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1-1 - Localizzazione del distretto vulcanico dei Campi Flegrei (da Carlino et al.,2006).	15
Figura 1-2 - Ortofoto dell'isola d'Ischia con indicazione dei limiti comunali	16
Figura 1-3 – Criteri di selezione delle aree approvate per studi MS nei comuni di Casamicciola Terme, Forio e Lacco Ameno (CNR-IGAG).	20
Figura 1-4 – Aree approvate per studi MS nel comune di Lacco Ameno (Struttura di Supporto CNR-IGAG per il Centro MS).	21
Figura 2-1 – Ischia aree di danneggiamento dei terremoti più importanti a partire dal 1796. La distribuzione dei danni mostra che l'area epicentrale ricade sempre nel settore Nord-Occidentale dell'isola e le città più colpite sono Casamicciola e Lacco Ameno.	23
Figura 2-2 – L'Arena- 31 luglio 1883	24
Figura 2-3 – Isosiste del terremoto del 28 luglio 1883. L'area epicentrale interessa Casamicciola e Lacco Ameno	25
Figura 2-4 – Epicentri dei terremoti che hanno prodotto $I_s \geq VIII$ MCS al sito di Fango (DBMI15)	27
Figura 2-5 – Epicentri dei terremoti che hanno prodotto $I_s \geq VIII$ MCS al sito di Fango (DBMI15)	27
Figura 2-6 – Localizzazione dei terremoti ad Ischia dal 1999 al 2017. In rosso gli eventi del 21/08/2017 e del 23/08/2017.	31

Figura 2-7 – Foto dell’evento sismico del 21 agosto 2017 – Comune di Casamicciola Terme.	32
Figura 2-8 – DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: 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-DISS3.2.1	34
Figura 2-9 Griglia dei valori di pericolosità sismica in termini di accelerazione massima orizzontale a_g (espressi in g; essendo g l’accelerazione di gravità) su sito roccioso con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, o con periodo di ritorno di 475 anni. Nella figura sono riportati anche gli ID relativi ai siti utilizzati per calcolare il valore di a_g al sito in esame.	40
Nella tabella 6.1.1, che segue, si riportano i valori di a_g espressi in g, ai quattro punti indicati in figura 2-10 il cui ID è riportato nella prima colonna della Tabella stessa.	40
Figura 3-1 - Schizzo della mappa Geologica dell’isola d’Ischia, modificata da Gillot et al., (1982)	48
Figura 3-2 - Modello di risorgenza proposto da Orsi et al., 1991.	49
Figura 3-3 - Disposizione dei centri eruttivi negli ultimi 33.000 anni (Acocella e Funiciello, 1998).	50
Figura 3-4 – Sezione geologica I (Vezzoli 1988).	52
Figura 3-5 Stralcio carta Geologica (Sbrana & Toccaceli 2011) con indicazione del limite comunale di Lacco Ameno.	54
Figura 3-6 - Stralcio ingrandito carta geologica (Sbrana & Toccaceli 2011)- Località Crateca.	55
Figura 3-7 - affioramento dei depositi di frana antichi in via dei Carri, località Crateca.	55
Figura 3-8 - Stralcio ingrandito carta geologica (Sbrana & Toccaceli 2011)- Località Fango.	56
Figura 3-9 - Affioramento dell’unità di Lacco Ameno, località Fango.	57
Figura 3-10 - Olistoliti tufacei, località Fango.	57
Figura 3-11 - Stralcio ingrandito carta geologica (Sbrana & Toccaceli 2011)- Località Mezzavia.	58
Figura 3-12 - Stralcio ingrandito carta geologica (Sbrana & Toccaceli 2011)- Località Zaro in viola, località Villa Arbusto in marroncino.	59
Figura 3-13 - Affioramento della formazione delle Lave di Zaro.	60
Figura 3-14 - Affioramento delle brecce basali della formazione delle Lave di Zaro.	60
Figura 3-15 - Stralcio ingrandito carta geologica (Sbrana & Toccaceli 2011)- Località Monte Vico	61
Figura 3-16 - Affioramento Lave Di Monte Vico adiacenti alla strada comunale del cimitero di Lacco Ameno.	62
Figura 3-17 - Affioramento Lave Di Monte Vico viste dalla baia di San Montano.	62
Figura 3-18 - Affioramento Tufi di Citara – località Monte Vico.	63
Figura 3-19 - Stralcio ingrandito carta geologica (Sbrana & Toccaceli 2011)- Località Marina di Lacco Ameno.	64
Figura 3-20 - Stralcio carta del Rischio Frana redatta dall’AdB Nord Occidentale della Campania.	67
Figura 3-21 – Perimetrazione dei corpi di frana nel Comune di Lacco Ameno (IFFI-ISPRA,2014)	68
Figura 3-22 - Fenomeno della risorgenza. a) configurazione attuale; b) attività sismica innescata da alcune faglie inverse; c) collasso del blocco sollevato a causa del proseguire dell’attività delle faglie inverse con contemporanea formazione di faglie estensionali, ritenute responsabili della attuale sismicità. Interpretazione proposta da Molin et al. (2003).	72
Figura 3-23 - Schema strutturale dell’Isola d’Ischia. 1) Horst di M. Epomeo. 2) Aree depresse marginale all’Horst. 3) Dorsale di M.te Vezzi-Torone-Cotto, Panza e Monte Vico. 4) Graben d’Ischia (Chiesa & Vezzoli, 1983).	73
Figura 3-24 - Strutture sismogenetiche riportate nel Database of Individual Seismogenic Sources - DISS, per l’area in esame.	75
Figura 4-1 –Siti di misura pregressi HVSR nell’area Comunale di Lacco Ameno	80
Figura 4-2 – Mappa dei valori di F0 ricavati dalle indagini HVSR pregresse.	84
Figura 4-3 – Mappa dei valori di F1 ricavati dalle indagini HVSR pregresse.	85
Figura 4-4 – siti di misura pregressi MASW nell’area Comunale di Lacco Ameno	87
Figura 4-5 – Visione complessiva dei profili di velocità VS ottenuti dalle analisi MASW pregresse.	89
Figura 4-6 – Esempio di lettura dei tempi di primo arrivo	90
Figura 4-7 – Sezione sismica tomografica SR1	91
Figura 4-8 – Sezione elettrica tomografica ERT1	93
Figura 4-9 – Sezione elettrica tomografica ERT3	93
Figura 4-10 – Sezione elettrica tomografica ERT4	94
Figura 4-11 – Sezione elettrica tomografica ERT5	94
Figura 4-12 – Sondaggio S1 DH PRG	96
Figura 4-13 – Sondaggio S2 DH PRG	98
Figura 4-14 – Sondaggio S3 DH PRG	100
Figura 4-15 – Sondaggio S1, Geol. Alessia Iannotta	103

Figura 4-16 – Ubicazione Sondaggi geognostici pregressi	105
Figura 4-17 – Ubicazione di tutte le indagini disponibili per il comune di Lacco Ameno, pregresse e integrative.	111
Figura 4-18 – Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo MASW.	117
Figura 4-19 – Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento.	118
Figura 4-20 – Curva di dispersione delle velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh.	118
Figura 4-21 – Modello di velocità delle onde di taglio Vs ottenuto dalla curva di dispersione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso l’inversione di un modello multistrato del terreno.	119
Figura 4-22 – Modello 2D di velocità delle onde di taglio Vs ottenuto da inversioni delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh	119
Figura 4-23 – Segnali sismici con acquisizione multicanale e riconoscimento delle varie fasi sismiche (onde di volume, modo fondamentale e modi superiori delle onde superficiali)	120
Figura 4-24 – Scheda tecnica Sismografo Gea 24	121
Figura 4-25 – Sismografo Pasi GEA24	121
Figura 4-26 – Geofono	122
Figura 4-27 – Prova SPT1 a punta aperta	125
Figura 4-28 – Prova SPT2 a punta aperta	125
Figura 4-29 – Prova SPT3 a punta aperta	125
Figura 4-30 Postazione sondaggio S1DH	126
Figura 4-31 Sondaggio S1DH Cassetta C1	127
Figura 4-32 Sondaggio S1DH Cassetta C2	127
Figura 4-33 Sondaggio S1DH Cassetta C3	128
Figura 4-34 Sondaggio S1DH Cassetta C4	128
Figura 4-35 Sondaggio S1DH Cassetta C5	129
Figura 4-36 Sondaggio S1DH Cassetta C6	129
Figura 4-37 Sondaggio S1DH Cassetta C7	130
Figura 4-38 Sondaggio S1DH Cassetta C8	130
Figura 4-39 Sondaggio S1DH Cassetta C9	131
Figura 4-40 Sondaggio S1DH Cassetta C10	131
Figura 4-41 Schema Down Hole ad un solo ricevitore	133
Figura 4-42 Schema Down Hole a due ricevitori	133
Figura 4-43 Sismografo GEA 24	134
Figura 4-44 Sonda Down Hole	135
Figura 4-45 Schema prova Down Hole con metodo diretto	136
Figura 4-46 Dromocrone	136
Figura 4-47 Schema di Down Hole con metodo intervallo	137
Figura 4-48 Profilo delle velocità sismiche con il metodo intervallo	138
Figura 4-49 Dromocrone S1DH – Metodo diretto	140
Figura 4-50 Postazione Down Hole S1DH	141
Figura 5-1 Carta geolitologica CNR-IGAG (2018) con l’ubicazione delle tracce di sezione geologica eseguite.	144
Figura 5-2 Stratigrafia sondaggio geognostico S1DH	147
Figura 5-3 Carta Geolitologica con codici relativi alla carta di Sbrana e Toccaceli 2011	149
Figura 5-4 Dromocrone indagine sismica Down Hole S1DH	150
Figura 5-5 Tabella descrittiva dei parametri relativi ai sismostrati identificati per S1DH	150
Figura 5-6 Dromocrone indagine sismica Down Hole S2DH-PRG	151
Figura 5-7 Tabella descrittiva dei parametri relativi ai sismostrati identificati per S2DH-PRG	151
Figura 5-8 Profili medi di $V_p(h)$ e di $V_s(h)$ – Array Fango	152
Figura 5-9 Modello di “Bestfit” ottenuto per Array Fango	152
Figura 5-10 Dati grezzi del risultato dell’inversione congiunta in Loc. Crateca	153
Figura 5-11 Profilo di $V_s(h)$ in Loc. Crateca	153
Figura 5-12 Modello rappresentativo di Vs in funzione della profondità per la Loc. Crateca.	154
Figura 5-13 Dati grezzi del risultato dell’inversione congiunta in Loc. Mezzavia	154
Figura 5-14 Profilo di $V_s(h)$ in Loc. Mezzavia	155
Figura 5-15 Modello rappresentativo di Vs in funzione della profondità per la Loc. Mezzavia	155
Figura 5-16 Dati grezzi del risultato dell’inversione congiunta in Loc. Fundera	156

Figura 5-17 Profilo di Vs(h) in Loc. Fundera	156
Figura 5-18 Modello rappresentativo di Vs in funzione della profondità per la Loc. Fundera	157
Figura 5-19 Carta geologico-tecnica CGT Comune di Lacco Ameno (NA)	159
Figura 5-20 Legenda Carta geologico-tecnica CGT Comune di Lacco Ameno (NA)	160
Figura 5-21 Sezione geologico-tecnica A-A'	168
Figura 5-22 Sezione geologico-tecnica B-B'	169
Figura 5-23 Sezione geologico-tecnica C-C'	170
Figura 5-24 Sezione geologico-tecnica D-D'	171
Figura 5-25 Sezione geologico-tecnica E-E'	172
Figura 5-26 Sezione geologico-tecnica F-F'	173
Figura 7-1 Forme d'onda selezionate scalate	180
Figura 7-2 Spettri di risposta in accelerazione (g) degli accelerogrammi selezionati scalati. Sono riportati anche lo spettro di riferimento NTC18 (curva nera tratteggiata) e la media degli spettri di risposta della settupla di accelerogrammi selezionata (curva nera continua).	181
Figura 7-3 Stralcio Carta GCT con ubicazione dei profili interessati dalle simulazioni numeriche bidimensionali	182
Figura 7-4 Sezione A-A'	183
Figura 7-5 Sezione D-D' e legenda	183
Figura 7-6 Profili di velocità delle onde S: a) sezione A-A', b) sezione D-D'	185
Figura 7-7 Curve del decadimento del modulo di taglio e dell'andamento del fattore di smorzamento con il livello di deformazione per la sezione AA'	186
Figura 7-8 Curve del decadimento del modulo di taglio e dell'andamento del fattore di smorzamento con il livello di deformazione per la sezione DD'	187
Figura 7-9 Carta delle MOPS per il comune di Lacco Ameno	189
Figura 7-10 Profilo dei fattori di amplificazione per la sezione AA'	190
Figura 7-11 Profilo dei fattori di amplificazione per la sezione DD'	190
Figura 7-12 Input del software Strata	193
Figura 7-13 Input del software Strata	194
Figura 7-14 Quadro riepilogativo dai fattori di amplificazione determinati per ogni singola MOPS	240
Figura 7-15 Spettro medio MOPS 2001	242
Figura 7-16 Spettro medio MOPS 2002	242
Figura 7-17 Spettro medio MOPS 2003	243
Figura 7-18 Spettro medio MOPS 2004	243
Figura 7-19 Spettro medio MOPS 2005	244
Figura 7-20 Spettro medio MOPS 2006-A	244
Figura 7-21 Spettro medio MOPS 2006-B	245
Figura 7-22 Spettro medio MOPS 2007	245
Figura 7-23 Spettro medio MOPS 2008	246
Figura 7-24 Spettro medio MOPS 2009 B	246
Figura 7-25 Spettro medio MOPS 2009 C	247
Per le zone di instabilità per liquefazione è possibile ottenere gli scenari di Figura -15 nella quale, oltre ai punti rappresentativi dei singoli scenari, sono riportate le curve di Seed et al. 1984 e Galli (2000).	249
Figura 7-27 Intensità macrosismiche stimate per il terremoto del 1883 luglio 28 per l'Isola di Ischia (fonte: https://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBM115/eq/18830728_2025_000 ; Rovida et al., 2016)	250
Figura 7-28 A - Valori medi disaggregazione INGV per il comune di Lacco Ameno (disponibile al sito web: http://esse1-gis.mi.ingv.it).	251
Figura 7-29 Applicazione delle linee guida relative alle instabilità per liquefazione (Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica 2018). I punti sono rappresentativi delle coppie M-D più cautelative con riferimento ai tre comuni dell'isola di Ischia	252
Si rimanda a ulteriori approfondimenti da effettuarsi anche previa esecuzione di nuove indagini e test di laboratorio nelle aree indicate qui di seguito	252
Figura 7-30	252
Figura 7-31 Quadro d'insieme delle aree necessarie di approfondimento per le verifiche a liquefazione.	253
Figura 7-32 Schema illustrativo applicabile a tutte le principali instabilità sismoindotte che sintetizza le attività, i risultati attesi e il tipo di zona di instabilità nell'ambito dei diversi livelli di approfondimento degli studi di MS.	254
Figura 7-33 Applicazione delle linee guida relative alle instabilità di versante (Commissione Tecnica per la	

<i>Microzonazione Sismica, 2017) con riferimento ai tre comuni dell'isola di Ischia</i>	257
<i>Tabella 8-1 Schema indagini puntuali</i>	260
<i>Tabella 8-2 Schema indagini lineari</i>	261
<i>Figura 8-3 Stralcio carta delle indagini</i>	263
<i>Tabella 8-4 Valori di Frequenza naturale e di risonanza, e le rispettive ampiezze</i>	265
<i>Figura 8-5 Legenda della carta delle frequenze naturali dei terreni, in termini di frequenza</i>	266
<i>Figura 8-6 Legenda della carta delle frequenze naturali dei terreni, in termini di ampiezza</i>	266

Allegati

Carta delle indagini in scala 1:5.000

Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:5.000

Carta Geologico-Tecnica per la MS (CGT_MS) in scala 1:5.000

Sezioni geologico-tecniche in scala 1:5.000

Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) in scala 1:5.000

Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3 in scala 1:5.000

Spettri di risposta in accelerazione

1 Introduzione

1.1 Finalità degli studi Riferimenti normativi.

La Microzonazione Sismica permette di valutare in forma qualitativa e/o quantitativa le modifiche apportate allo scuotimento del suolo dalle condizioni geologico-tecniche locali e dalle condizioni topografiche locali. Tale attività rientra in un quadro più generale nei programmi di prevenzione e di mitigazione degli effetti di un terremoto, in cui è necessario individuare in via preliminare con criteri speditivi le zone a più elevato rischio sismico da sottoporre a studi particolareggiati. A tale riguardo, la normativa di riferimento consente di valutare gli effetti locali di amplificazione del moto sismico sia in modo semplificato sia con modalità analitiche più rigorose (RSL). Uno degli aspetti più importanti di queste normative è quello di definire e di valutare l'amplificazione sismica dei terreni sulla base della definizione del parametro V_s , cioè della velocità delle onde di taglio.

In sostanza, lo studio di MS viene sintetizzato in una carta del territorio nella quale sono indicate:

- Le Zone Stabili: aree nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- Le Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica, in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- Le Zone suscettibili di instabilità, ovvero zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazioni superficiali).

Gli studi di MS rivestono una notevole importanza nella pianificazione territoriale, fornendo una base conoscitiva della pericolosità sismica locale, al fine di: stabilire gerarchie di pericolosità utili per la programmazione di interventi di riduzione del rischio sismico a varie scale; orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti; definire gli interventi ammissibili in una determinata area; programmare le indagini e i livelli di approfondimento; stabilire orientamenti, modalità e priorità di intervento nelle aree urbanizzate. In generale la realizzazione di uno studio di MS può essere affrontata con diversi livelli di approfondimento che vengono dettati dalle finalità (pianificazione territoriale, pianificazione per l'emergenza, progettazione delle opere), dalle necessità intrinseche del sito (caratteristiche geomorfologiche,

importanza delle opere da realizzare) e dei livelli di pericolosità. In relazione ai diversi contesti geologico-tecnici, alla pericolosità sismica di base ed in funzione dei diversi obiettivi degli studi di MS, possono essere effettuati n. 3 livelli di approfondimento, con complessità e impegno economico crescente.

In particolare possono essere predisposti i seguenti livelli:

il livello 1 è un livello propedeutico ai successivi studi di MS, che consiste esclusivamente in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS);

Il livello 2 è un livello successivo in cui si introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee mediante metodologie di analisi numerica di tipo semplificato (abachi regionalizzati, modellazione 1D, leggi empiriche) e l'esecuzione di ulteriori e più mirate indagini. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della Carta di Microzonazione Sismica;

Il livello 3 rappresenta il livello più approfondito che permette di giungere ad una microzonazione approfondita del territorio basata su metodologie analitiche di analisi di tipo quantitativo. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti.

A seguito dell'evento sismico dell'area aquilana del 6 aprile 2009, si rese palese la necessità di investire a livello nazionale in prevenzione sismica, poiché un evento non estremamente elevato in termini di energia rilasciata procurò ingenti danni. Con la cosiddetta "legge Abruzzo", contenente i provvedimenti per le popolazioni colpite, lo Stato avviò un piano di interventi per la riduzione del rischio sismico a livello nazionale, prevedendo a questo scopo lo stanziamento di circa 965 milioni di euro distribuiti su 7 annualità (Legge 77/2009 art. 11).

Obiettivi del piano, individuati da una commissione di esperti, sono:

- puntare alla riduzione della perdita di vite umane, piuttosto che alle perdite economiche, limitando gli interventi alle aree a pericolosità sismica più elevata ($ag \geq 0.125g$);
- affrontare un ampio spettro di problemi, stimolando l'attenzione dei cittadini e degli amministratori verso i temi della prevenzione (recupero dell'edilizia pubblica e privata, recupero delle infrastrutture, microzonazione sismica, pianificazione urbanistica e di emergenza);

- innescare un processo virtuoso che accresca gli effetti dei fondi investiti, attraverso la richiesta di cofinanziamento delle pubbliche amministrazioni e di partecipazione dei cittadini.

Per la prima volta, dunque, attraverso un programma organico pluriennale, l'intero territorio nazionale è interessato da studi per la caratterizzazione sismica delle aree e da interventi per rendere più sicuri gli edifici pubblici e privati. I finanziamenti riguardano interventi di prevenzione del rischio sismico nei Comuni ad elevata pericolosità sismica: in sostanza, in tutti i comuni classificati in Zona 1 e 2, più una parte di comuni in zona 3, per un totale di oltre 3800 comuni. Le attività previste vengono attuate attraverso programmi delle Regioni, a ciascuna delle quali è stata assegnata un'aliquota del fondo complessivo, proporzionale al rischio sismico dell'ambito territoriale, così come calcolato a partire anche dagli studi dei centri di competenza del Dipartimento della Protezione Civile. Dall'anno 2012, gli studi di MS devono essere obbligatoriamente accompagnati dall'analisi della condizione limite per l'emergenza (CLE) dell'insediamento urbano, per una maggiore integrazione delle azioni volte a mitigare il rischio sismico e a migliorare la gestione delle attività di emergenza subito dopo un terremoto. La CLE indica la condizione per cui un insediamento urbano, dopo un terremoto, nonostante i danni subiti interrompano la quasi totalità delle funzioni urbane presenti, compresa la residenza, conserva comunque l'operatività della maggior parte delle funzioni strategiche per l'emergenza e la loro accessibilità e connessione con il contesto territoriale (Bramerini et al. a cura di, 2013). Al fine di supportare e monitorare gli studi di MS è stata istituita una Commissione tecnica inter-istituzionale (DPCM 21 aprile 2011) che ha anche il compito di verificare la conformità degli studi eseguiti. Di questa Commissione, che si riunisce periodicamente, fanno parte rappresentanti delle Regioni, del Dipartimento della Protezione Civile, del Ministero Infrastrutture e Trasporti, dell'Unione Province Italiane, dell'Unione Comunità Montane, dell'Associazione Nazionale Comuni d'Italia, del Consiglio Nazionale degli Ingegneri, degli Architetti, dei Geologi e dei Geometri e Geometri Laureati. Le attività di segreteria tecnica e di coordinamento dei lavori della Commissione sono svolte da una struttura costituita da geologi, architetti ed ingegneri, nell'ambito di un accordo tra DPC e CNR (Istituto Geologia Ambientale e Geoingegneria).

Il primo studio di microzonazione sismica in Italia è rappresentato dalla relazione di Mario Baratta a seguito del grande terremoto del 1908, che distrusse interamente le città di Reggio Calabria e Messina ($M_w=7.2$; XI MCS). Lo scopo della relazione è la comprensione del fenomeno, attraverso una ricostruzione dettagliata dei danni agli edifici, in rapporto ad alcune

caratteristiche morfologiche e geologiche del terreno. Dallo studio emergono anche indicazioni generali per la pianificazione della ricostruzione che verranno integrate nelle norme tecniche per la ricostruzione diramate attraverso il R.D. n. 193 del 18/04/1909. Dal 1908 al 1970, la relazione di Baratta rimane l'unico studio di microzonazione sismica in Italia. In seguito del terremoto di Ancona (1972) e del Friuli (1976) vengono invece effettuati in fase post-evento due veri e propri studi di microzonazione sismica (Ancona e Tarcento) con un'ampia raccolta dati di sondaggi e modellazione 1D e 2D, che getteranno le basi metodologiche per gli studi futuri.

In seguito al terremoto dell'Irpinia del 1980, vennero promosse le attività del Progetto Finalizzato Geodinamica a supporto della ricostruzione delle aree colpite. Come prodotto dell'attività scientifica svolta nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica, nel 1986 il CNR pubblica gli "Elementi per una guida alle indagini di Microzonazione Sismica", il cui scopo è fornire, ad un pubblico specializzato, un orientamento critico alle indagini di microzonazione sismica, tenendo presenti le esperienze condotte sul territorio nazionale nel precedente decennio. Dal 1997 la Regione Toscana promuove indagini geologiche, geotecniche e geofisiche su numerose località, attraverso il "Programma VEL (Valutazione Effetti Locali)", con lo scopo di caratterizzare le aree a comportamento omogeneo sotto il profilo della risposta sismica locale, fornendo indicazioni utili alla progettazione edilizia e alla pianificazione territoriale. Con il progredire delle diverse esperienze, nel 2006 è stato istituito un gruppo di lavoro, composto da tecnici ed esperti nominati dalle Regioni e dal Dipartimento della Protezione Civile, per definire gli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica" (ICMS, 2008). Tale pubblicazione definisce i metodi di indagine ed i criteri di utilizzo dei risultati delle analisi di microzonazione sismica, costituendo un riferimento nazionale per gli studi finalizzati alla caratterizzazione sismica del territorio. Successivamente al terremoto de L'Aquila del 2009 sono stati emanati nuovi provvedimenti legislativi, tra i quali la legge n.77/2009, la cui attuazione dell'Art. 11, affidata al Dipartimento della Protezione Civile, è regolata attraverso diverse Ordinanze che individuano nella microzonazione sismica uno strumento chiave per l'avvio di una strategia di mitigazione del rischio sismico del territorio a scala comunale.

Lo studio di Microzonazione sismica per i comuni di Lacco Ameno, Casamicciola Terme e Forio è stato eseguito in seguito all'evento sismico che ha colpito l'Isola d'Ischia il 21 agosto 2017, con la firma da parte del nostro raggruppamento temporaneo del Disciplinare di Incarico emesso ed edito dal Comune di Lacco Ameno che regola l'attuazione dello studio di MS III livello da parte degli affidatari. Tale Disciplinare è prodotto a valle della Convenzione firmata

tra Commissario e CNR-IGAG (per il Centro MS), convenzione che regola l'attività di supporto e coordinamento degli Studi di MS da parte del Centro MS nei confronti dei professionisti e dei comuni. A sua volta la Convenzione è introdotta nell'ambito dell'Ordinanza n.1 del Commissario per la ricostruzione di Ischia (ordinanza 1 del 27 novembre 2018).

Come richiesto dall'OPCM 3907/10 e dalla nuova OPCM 4007/12, gli studi di Microzonazione sismica devono rispettare una serie di linee guida. Per lo studio di Microzonazione sismica di III Livello nell'area d'esame, sono stati presi in considerazione i seguenti riferimenti tecnici:

1. "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" elaborato da un Gruppo di Lavoro (composto da tecnici/esperti nominati dalle Regioni e dal Dipartimento della Protezione Civile) e approvato dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome. Questo documento costituisce un nucleo relativo all'analisi di pericolosità sismica necessario all'analisi del rischio sismico, e nel quale vengono descritti i principi e gli elementi per la MS, applicabile ai settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica, della pianificazione delle emergenze e della normativa tecnica per la progettazione.
2. "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, versione 4.0b," presentato dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (art.5. comma7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n.3907). Il documento si finalizza principalmente sull'elaborazione degli studi di Microzonazione Sismica realizzati per le finalità di cui all'art.11 della Legge 77/09, puntando ad una semplificazione e sintesi dei contenuti, ottenendo un'omogenea rappresentazione dei tematismi da parte dei soggetti realizzatori e garantendo un sistema di archiviazione dei dati di facile lettura ed interpretazione.

Con questa versione degli standard viene meglio definita la differenza fra i "livelli di approfondimento" (1,2 e 3), riconducendo il risultato degli studi sostanzialmente a due tipi di carte: Carta delle MOPS (microzone omogenee in prospettiva sismica), Carta di MS (microzonazione sismica)

3. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC) le quali si basano principalmente sul fenomeno fisico delle faglie attive e capaci e/o potenzialmente attive e capaci e descrivono una procedura, tecnico operativa, per stabilire la forma e le dimensioni delle zone di faglia. Le presenti, inoltre, pongono la loro attenzione sulla definizione di una procedura per raccogliere in modo accurato informazioni sul rischio derivato dalla fagliazione superficiale; sulla pianificazione di

processi di mitigazione del rischio derivato dalla presenza di faglie attive e capaci per aree con previsioni di trasformazioni e per aree edificate; ed infine, propongono criteri generali e procedure operative, in coordinamento tra lo Stato, le Regioni e gli Enti Locali.

Le presenti linee guida costituiscono un'integrazione e un approfondimento degli indirizzi e Criteri per la MS e vengono messe a disposizione delle Regioni e delle Province Autonome affinché ne favoriscano l'uso come strumento operativo e ne definiscano il livello prescrittivo.

4. Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia- Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica. (Allegato A3). Lo scopo è quello di migliorare la conoscenza delle componenti che determinano il rischio sismico nonché fornire criteri di scelta finalizzati alla prevenzione e alla riduzione dello stesso. Questa conoscenza della pericolosità sismica potenziale del territorio consente alla pianificazione di evitare l'insorgenza di nuovi rischi attraverso la localizzazione di interventi in aree esposte a minor pericolo.

Per il presente studio è stato consultato l'Allegato 3 il quale sancisce le procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento. Questo livello di analisi è quindi finalizzato a valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale delle aree instabili e potenzialmente instabili, di quelle soggette a liquefazione e densificazione sempre ai fini della redazione della carta di microzonazione.

5. Linee guida per l'elaborazione della carta e delle sezioni geologico tecniche per la microzonazione sismica (CGT_MS), bozza, ver.1.2 beta. Il percorso metodologico degli studi di MS prevede, tra gli elaborati di base per la redazione della Carta di MS di livello 1, una carta geologico tecnica nella quale sono riportate tutte le informazioni disponibili (geologia, geomorfologia, caratteristiche litologiche, geotecniche ed idrogeologiche), ricavate dalla carta geologica di dettaglio, da rilievi di campagna, da indagini pregresse e, nell'eventualità fossero disponibili e/o previste, da indagini di nuova esecuzione. La scala di rilevamento e di rappresentazione prevista non deve essere inferiore a 1:10.000. Le informazioni, qualitative e quantitative, contenute nella carta geologico tecnica, sono fondamentali per la definizione delle caratteristiche litologiche e geometriche delle unità geologico-tecniche, distinte in terreni di copertura e substrato geologico, per il riconoscimento degli elementi tettonico-strutturali e, più in generale, per la definizione del modello di sottosuolo
6. Software per l'archiviazione delle indagini per la MS (SoftMS versione 4.0). Per

facilitare l'inserimento, da parte del soggetto realizzatore, dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini degli studi di MS, secondo gli standard di archiviazione approvati dalla Commissione tecnica MS 3907/10, è stato predisposto il software "SoftMS". Il software facilita la generazione degli identificativi delle indagini e dà garanzia di omogeneità e coerenza nell'inserimento dati. Prevede inoltre la possibilità di stampare i dati secondo un modulo standard (modulo utilizzabile anche per l'eventuale rilevamento cartaceo dei dati).

7. Norme tecniche per le costruzioni: approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018. Testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni, di cui alla legge 5 novembre 1971, n. 1086, alla legge 2 febbraio 1974, n. 64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, ed al decreto legge 28 maggio 2004, n. 136, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n. 186. Le presenti Norme tecniche per le costruzioni definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità. Esse forniscono quindi i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

1.2 *Descrizione generale dell'area comunale Inquadramento geografico e altimetrico*

L'isola d'Ischia, situata nel Golfo di Napoli, rappresenta la parte sommitale di un apparato vulcanico che s'innalza di circa 1000 m dal fondo del mare e di 787 m sul livello del mare in corrispondenza del Monte Epomeo, situato nella parte centrale dell'isola (Figura 1-1).

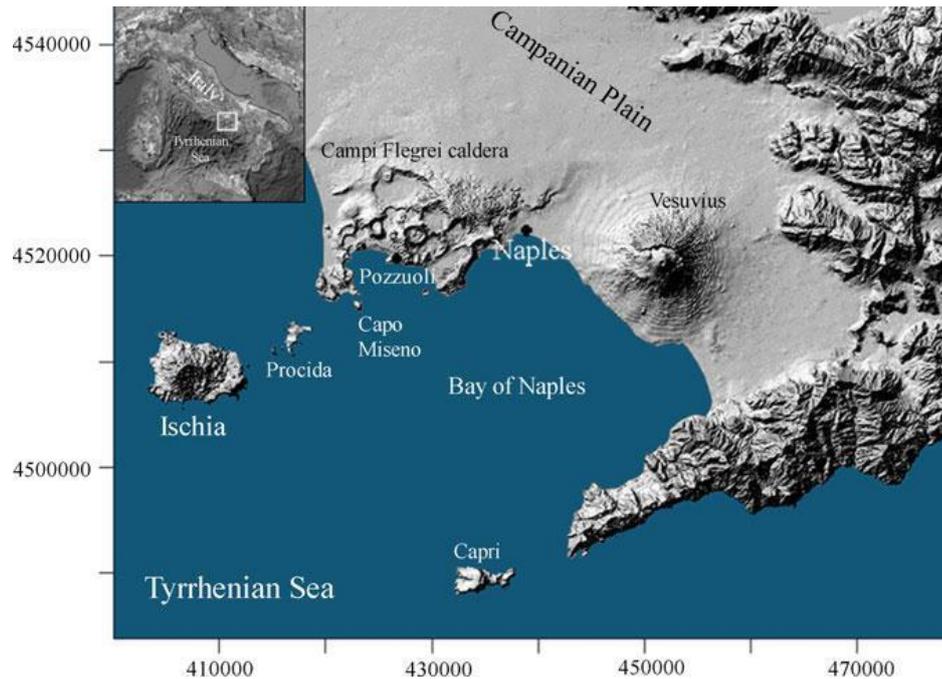


Figura 1-1 - Localizzazione del distretto vulcanico dei Campi Flegrei (da Carlino et al.,2006).

L'isola è considerata un campo vulcanico a sé stante e con i campi Flegrei e il Somma Vesuvio rientra nel sistema dei vulcani attivi della Campania.

Si colloca alla terminazione meridionale della piattaforma continentale che delimita geograficamente verso il Tirreno il settore settentrionale e centrale della Catena Appenninica; verso nord e verso est la piattaforma è direttamente connessa con il litorale e collega Ischia, Procida ed i Campi Flegrei; ad ovest invece scende gradualmente verso il bacino del golfo di Gaeta, mentre a sud e a sud-ovest si approfondisce rapidamente per 800 metri o più verso il fondale marino del bacino del Tirreno (Vezzoli, 1988).

L'isola copre un'area di 46 km² ed è formata, per la maggior parte, da rocce vulcaniche derivanti da differenti centri eruttivi, non sempre riconoscibili, in gran parte distrutti o ricoperti dai prodotti dell'attività successiva (Carlino et al.,2006) e da depositi caotici, derivanti da fenomeni franosi che hanno interessato i versanti del Monte Epomeo (de Vita et al., 2006).

Ischia ha una popolazione stabilmente residente di 61086 abitanti al censimento generale ISTAT del 2011. Il suo territorio è suddiviso in sei comuni: Barano d'Ischia, Casamicciola Terme, Forio, Ischia, Lacco Ameno e Serrara Fontana (Figura 1-2).



Figura 1-2 - Ortofoto dell'isola d'Ischia con indicazione dei limiti comunali

Tra questi, i comuni di Casamicciola Terme, Lacco Ameno e Forio sono stati maggiormente interessati dall'evento sismico del 21 agosto 2017, con significativi danni alle costruzioni, talvolta sino al loro crollo, decine di feriti, due vittime. Il recente terremoto è l'ultimo di una successione di eventi catastrofici che si sono verificati nei secoli, quanto meno sin dal 1228 d. C., con intensità macrosismiche spesso superiori al VII grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS).

Il territorio comunale di Lacco Ameno occupa una superficie di 2.08 km² ed è posto ad un'altezza sul livello del mare variabile da min 0 m a max 412 m.

In riferimento alla Carta Topografica Programmatica Regionale della Provincia di Napoli, aggiornata al 1989, in scala 1:25.000 denominata "Isola d'Ischia", l'intero territorio comunale ricade nella tavoletta n. 29 – Quadrante 183-III.

1.3 Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio

Lo studio geologico del territorio è stato eseguito nel rispetto della convenzione stipulata con il Comune di Lacco Ameno ed è iniziato con uno studio di massima del territorio e poi con la valutazione delle indagini pregresse messe a disposizione dall'Amministrazione nonché quelle in possesso dagli scriventi. Tale attività è stata accompagnata dallo studio della grande vastità di informazioni reperite da articoli scientifici e cartografie redatte negli anni, che testimoniano la complessità geologica, vulcanica, tettonica e geomorfologica dell'isola d'Ischia.

La sintesi dell'analisi territoriale svolta ha permesso di ricostruire un esaustivo quadro

dell'andamento geologico stratigrafico riferibile al territorio comunale di Lacco Ameno, evidenziandone le eventuali criticità.

Il rilevamento delle caratteristiche geomorfologiche e geolitologiche di superficie è stato integrato dalla lettura della carta geologica:

- Carta geologica d'Italia, fogli n°183-184 "Isola d'Ischia-Napoli" in scala 1:100.000
- Carta geologica d'Italia (Progetto CARG), foglio n° 464 "Isola d'Ischia" in scala 1:50.000
- Carta geologica dell'isola d'Ischia, quaderni de "La Ricerca Scientifica" P.F.G., CNR, 10, 114, in scala 1:10.000, Vezzoli L. 1988
- Carta geologica Regione Campania, foglio n° 464 "Isola d'Ischia" in scala 1:10.000, Sbrana & Toccaceli 2011

È stata inoltre consultata la Carta Topografica Programmatica Regionale della Provincia di Napoli aggiornata al 1989, in scala 1:25.000, denominata "Isola d'Ischia", Tavoleta n.29, quadrante 183-III.

Il supporto fornitoci dal Gruppo di Lavoro CNR-IGAG per il Centro MS (comprensivo di CNR-ISMA ex IAMC, INGV e DICEA – Università degli Studi di Napoli Federico II) è risultato fondamentale in quanto siamo stati indirizzati allo studio mirato di pubblicazioni scientifiche e cartografie, necessarie alla realizzazione dei prodotti elaborati per il presente lavoro. Inoltre ci è stata messa a disposizione la Cartografia tematica elaborata, nonché la relazione tecnica a corredo, per lo studio dei "Primi interventi urgenti di protezione civile conseguenti all'evento sismico che ha interessato i comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell'isola d'Ischia il giorno 21 agosto 2017". Gli elaborati comprendono:

- Allegato 1, Comune di Casamicciola terme, Forio e Lacco Ameno– Carta Geolitologica in scala 1:10.000
- Allegato 3, Comuni di Casamicciola Terme e di Lacco Ameno – Carta delle frequenze F0 e F1, in scala 1:10.000
- Allegato 4, Comune di Lacco Ameno – Carta Geologico tecnica e delle indagini, in scala 1:10.000

Per una completezza d'informazioni sono state reperite dagli scriventi e dall'ufficio tecnico del Comune di Lacco Ameno tutte le indagini geognostiche, geotecniche e sismiche pregresse eseguite nel Comune di Lacco Ameno, messe a disposizione dall'Amministrazione, da eventuali privati e liberi Professionisti. Tra i lavori acquisiti è risultata di notevole importanza la documentazione tecnica sui dati geologici e geofisici relativi allo studio geologico per il

Piano Regolatore Generale (P.R.G.).

Di seguito è riportata una tabella, realizzata dal gruppo di lavoro CNR-ISMAR (ex IAMC), che riassume tutte le indagini pregresse disponibili.

ELENCO INDAGINI PREGRESSE – COMUNE DI LACCO AMENO	
Piano Regolatore Generale	<p>Relazione Geologica e geotecnica Elaborati cartografici in scala 1/5.000:</p> <p>a) carta della pendenza dei versanti; b) carta geolitologica con ubicazione delle indagini geofisiche e geognostiche e delle sezioni geologiche; carta dell'esposizione dei versanti; carta della stabilità dei versanti; carta geomorfologica; carta della microzonazione in prospettiva sismica; carta idrogeologica sezioni geologiche</p> <p>Indagini Geognostiche e geofisiche:</p> <p>n.3 Sondaggi a carotaggio continuo fino a -30,00 m 9 prove S.P.T. 9 analisi di laboratorio complete 20 sondaggi penetrometrici dinamici leggeri 3 Prove down-hole</p>
Relazione geologico tecnica Bar Ristorante, Parco termale Negombo, Baia S. Montano	<p>Relazione Geologica e geotecnica Indagini Geognostiche e geofisiche:</p> <p>1 Prova Penetrometrica Dinamica Pesante (D.P.S.H.) 1 Prova Masw</p>
Relazione geologico tecnica Piscina Olimpionica, Parco termale Negombo Baia S. Montano	<p>Relazione Geologica e geotecnica Indagini Geognostiche e geofisiche:</p> <p>1 Prova Penetrometrica Dinamica Pesante (D.P.S.H.) 1 Prova Masw</p>
Relazione geologico tecnica Parcheggio, Parco termale Negombo, Baia S. Montano	<p>Relazione Geologica e geotecnica Indagini Geognostiche e geofisiche:</p> <p>3 Prova Penetrometrica Dinamica Pesante (D.P.S.H.) 1 analisi di laboratorio 1 Prova Masw</p>

Tabella 1-1- Elenco delle indagini pregresse disponibili

Sono state inoltre consultate tutte le cartografie tematiche online esistenti relative all'Isola d'Ischia ed in particolare:

- Cartografia disponibile sul sito del Geoportale Nazionale (www.pcn.minambiente.it);
- Cartografia a corredo del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (carta degli scenari di rischio);
- Pericolosità sismica mediante le indicazioni dell'Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Per la realizzazione degli elaborati finali previsti dal presente lavoro, sono state utilizzate diverse cartografie di base, sia in formato raster che vettoriale, tra cui:

- ortofoto del comune di Lacco Ameno dell'anno 2012
- Geodatabase Regione Campania dell'anno 2011, fornitoci a seguito della convenzione temporanea d'uso stipulata tra le Regione Campania e il Comune di Lacco Ameno, usufruibile fino alla consegna del presente lavoro.

L'inquadramento geologico, la ricostruzione della storia eruttiva e la definizione del contesto

sismotettonico sono stati delineati mediante lo studio di numerosi articoli scientifici, riguardanti l'isola d'Ischia, citati nei successivi paragrafi.

1.4 Aree da sottoporre agli studi di MS

Secondo quanto previsto dall'Ordinanza n. 1 del 27 novembre 2018, il Centro di Microzonazione Sismica ha trasferito al Comune di Lacco Ameno, così come è successo per i Comuni di Casamicciola Terme e Forio, i dati acquisiti e le elaborazioni propedeutiche alla Microzonazione Sismica prodotte dalla Struttura di Supporto CNR-IGAG per il Centro MS: Primi interventi urgenti di protezione civile conseguenti all'evento sismico che ha interessato il territorio dei Comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell'Isola d'Ischia il giorno 21 agosto 2017).

Il nostro raggruppamento, affidatario del presente incarico, ha proceduto alla realizzazione degli elaborati sulla base dei prodotti resi disponibili dall'ente attuatore.

Sulla base degli studi propedeutici eseguiti, il gruppo di supporto ha realizzato una carta nella quale sono indicate le aree MS approvate per i 3 Comuni coinvolti (Figura 1-3).

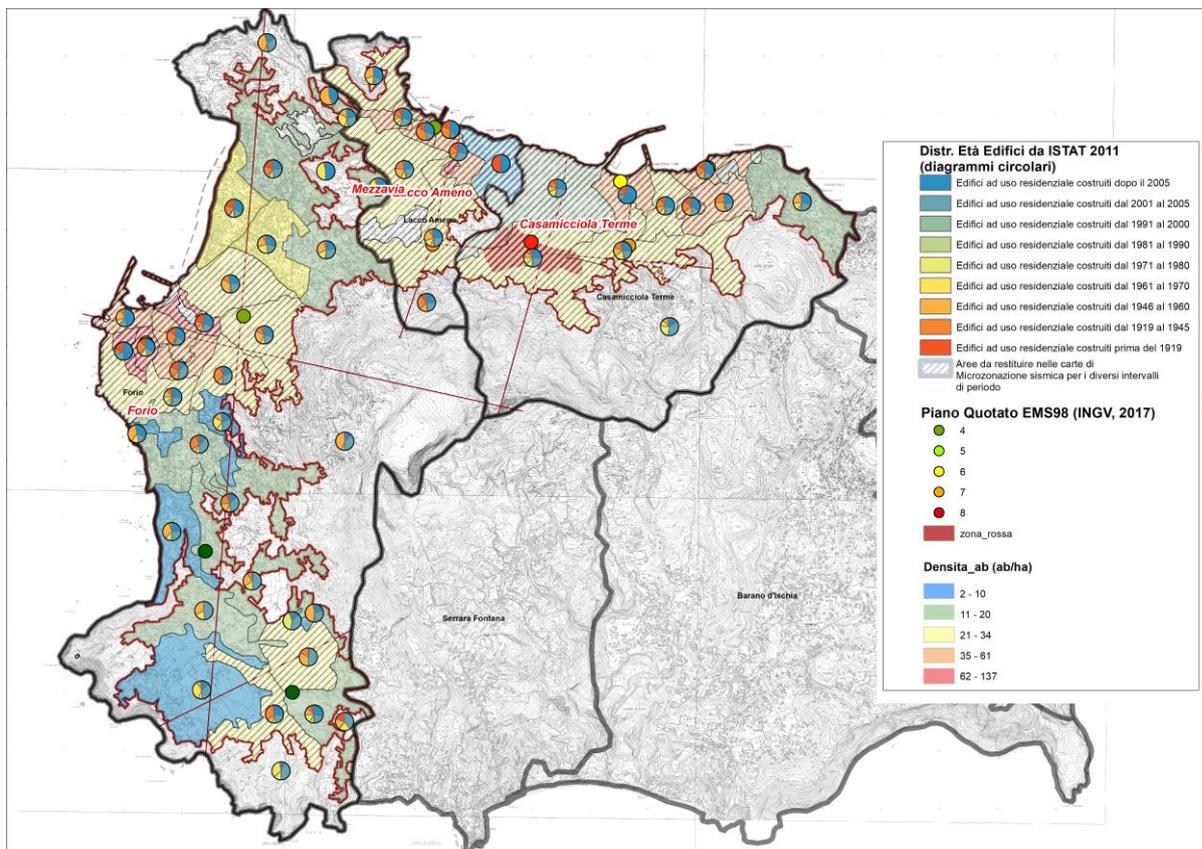


Figura 1-3 – Criteri di selezione delle aree approvate per studi MS nei comuni di Casamicciola Terme, Forio e Lacco Ameno (CNR-IGAG).

I criteri sui quali si è basata la scelta delle aree dipende dalla distribuzione degli edifici ad uso residenziale, differenziata in funzione dell'anno di costruzione, dal 1919 al 2005 e dalla

densità abitativa (ab/ha).

Nella sottostante figura sono indicate le aree da sottoporre agli studi di MS per il Comune di Lacco Ameno.

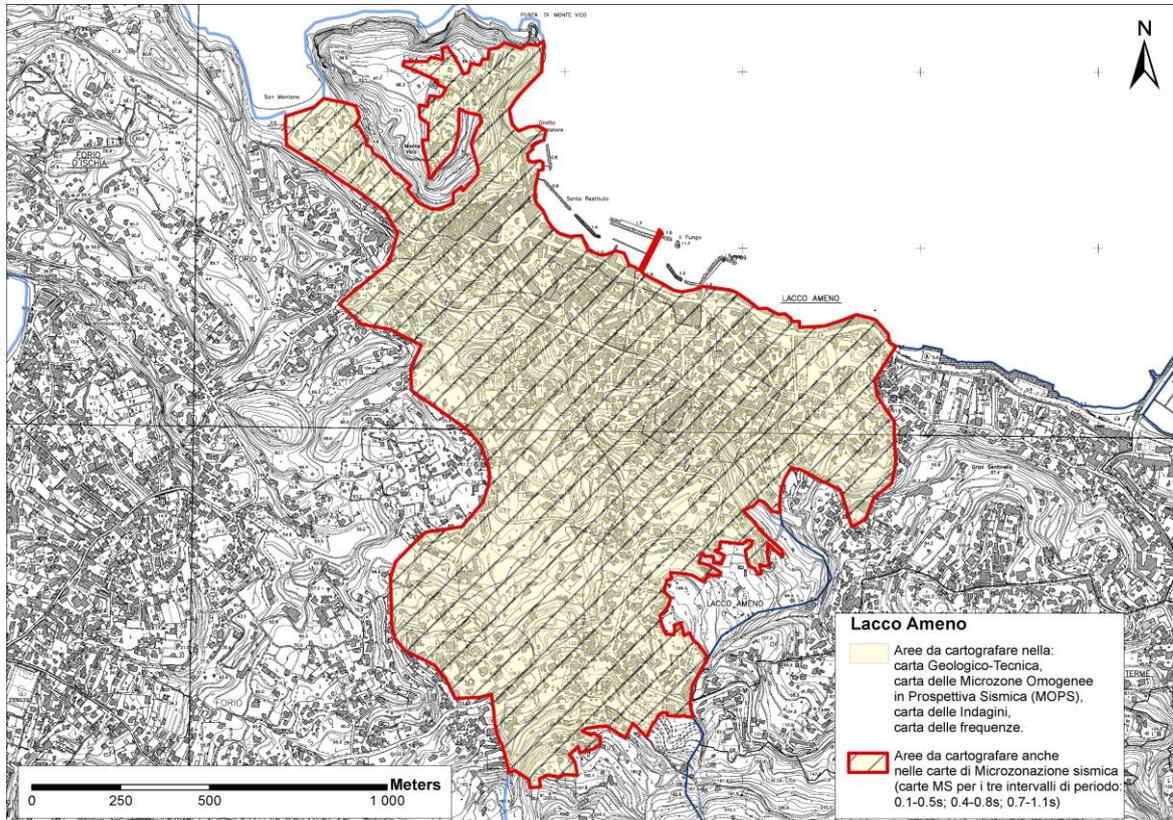


Figura 1-4 – Aree approvate per studi MS nel comune di Lacco Ameno (Struttura di Supporto CNR-IGAG per il Centro MS).

Si evince che le aree per le quali sono state realizzate le carte previste dalla prima fase di lavoro sono le stesse per le quali verranno realizzate anche le carte per la seconda fase di lavoro, di seguito elencate:

FASE I

- Carta Geologico-Tecnica
- Carte delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)
- Carta delle Indagini
- Carta delle Frequenze

FASE II

- Carte MS per i tre intervalli di periodo (0.1-0.5 s; 0.4-0.8 s; 0.7-1.1 s).

2 Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

2.1 Sismicità storica dell'area di studio

Le informazioni più antiche sulla sismicità dell'isola d'Ischia sono riportate nella letteratura classica, fino al III-IV secolo d.C.; dopo il 300 d. C., per quasi mille anni, non c'è memoria né di terremoti né di eruzioni avvenute nell'isola d'Ischia.

Le prime notizie attendibili successive risalgono al 1228, quando nel mese di luglio, viene segnalata una grossa frana lungo il versante settentrionale del Monte Epomeo. A questo fenomeno si associano il crollo di numerose abitazioni e 700 vittime. Per le dimensioni della catastrofe e sulla base dei fenomeni franosi sullo stesso versante del Monte Epomeo, in seguito ai terremoti del 1881 e del 1883, il disastro del 1228 è da attribuire ad un forte sisma piuttosto che ad una frana (Buchner, 1986; Guidoboni & Comastri, 2005). Nel 1301-1302, in concomitanza dell'eruzione dell'Arso, sono segnalati eventi sismici con il crollo di molti edifici. Informazioni più complete sulla sismicità si hanno dalla fine del XVIII secolo, quando inizia una consistente attività sismica che si sviluppa ulteriormente nel secolo successivo.

Degna di nota è la notizia relativa al terremoto del 1557 o 1559 che avrebbe provocato il crollo della chiesa di Campagnano.

Dal 1700 fino a tutto il 1800 si ha un'intensa attività sismica che produce danni consistenti e morti.

Il 4 marzo 1881, dopo le ore 13, preceduto da una leggera scossa, si verificò un terremoto disastroso con epicentro Casamicciola; la scossa fu accompagnata da un rombo e durò 7 secondi, facendo crollare quasi tutte le case della parte superiore della cittadina di Casamicciola. Furono colpite anche le cittadine di Lacco Ameno e di Forio. Altre piccole scosse seguirono l'evento principale; tra le più rilevanti si ricordano quelle del 6 e 7 marzo, e del 15-16 e 17 marzo.

Per il terremoto del 1881 i dati disponibili consentono di visualizzare solo in parte la distribuzione areale del danneggiamento, l'area epicentrale, le linee di maggiore propagazione dell'energia sismica, elementi questi necessari per la caratterizzazione dei parametri della sorgente di un terremoto storico; pertanto non è stato ricostruito il piano quotato e il tracciamento delle isosiste.

Il Palmieri sosteneva che il fenomeno avesse caratteristiche locali in quanto l'evento non fu registrato ai sismografi installati Napoli e al Vesuvio. Sulla base della distribuzione dei danni è possibile delimitare l'area di massima intensità, valutata del VIII grado MCS (con punte IX)

che si estende in direzione E-W a nord dell'Epomeo e interessa la parte alta di Casamicciola e Lacco Ameno (Figura 2-1).



Figura 2-1 – Ischia aree di danneggiamento dei terremoti più importanti a partire dal 1796. La distribuzione dei danni mostra che l'area epicentrale ricade sempre nel settore Nord-Occidentale dell'isola e le città più colpite sono Casamicciola e Lacco Ameno.

Il terremoto del 28 luglio 1883, avvertito anche a Napoli, rappresenta l'apice di energia sismica liberata in tempi storici nell'isola d'Ischia. Tale evento, che ebbe epicentro a Casamicciola, distrusse la parte alta della città, produsse crolli e gravi danni a Lacco Ameno e Forio e danni rilevanti in gran parte dell'isola.

Il numero dei morti secondo le varie fonti (Baratta, 1901; Mercalli, 1884 a; Palmieri & Oglialoro, 1884; Comitato Centrale di Soccorso, 1885; Giordano & Comotto, 1883; Relazione Commissione Collegio Ingegneri ed Architetti di Napoli, 1883) oscillano tra 2313 e 2333. Tra questi anche gli ospiti dell'isola, il cui numero varia tra 625 e 651, di cui 51 stranieri. I feriti ammontarono a 762.

I vani crollati furono complessivamente 5587, di cui 3316 nella sola Casamicciola e gli altri tra Forio, Lacco Ameno, Serrara Fontana e Barano; il comune di Ischia rimase indenne.



Figura 2-2 - L'Arena- 31 luglio 1883

Numerose scosse seguirono l'evento principale, la più forte avvertita il 3 agosto provocò nuovi danni ai fabbricati.

L'evento sismico provocò danni intensi non solo al Comune di Casamicciola, ma anche alla parte alta del paese di Lacco Ameno. Il numero di morti fu molto elevato rispetto al numero di abitanti. In particolare le contrade più colpite furono: Fango (X grado) lungo la strada che da Casamicciola porta a Forio; Casamonte (X grado) situata lungo la strada che da La Rita giunge alla Marina; Pannella (X grado) e Mezzavia (X grado) poste lungo la direttrice Fango-Lacco Ameno in direzione circa S-N. In località Fundera (VIII-IX grado), estremità orientale di Lacco Ameno, si osservano gravissimi danni e le abitazioni mostrano quasi tutti i tetti crollati.

Le fonti bibliografiche e la documentazione storica di questo terremoto sono particolarmente ricche ed hanno consentito di ricostruire fedelmente il danneggiamento a Casamicciola ed in tutta l'isola, ottenendo un dettagliato campo macrosismico. (Figura 2-3) (De Rossi, 1884; Mercalli, 1884; Johnston-Lavis, 1885; Palmieri & Oglialoro, 1884; Luongo et alii, 1987; Cubellis e Luongo, 1998; Boschi et alii, 2000; Molin et alii, 2003; Cubellis et alii, 2004; CPT04 Working Group, 2004; Luongo et alii, 2006). Da questo emerge il rapido decadimento dei valori

dell'intensità con la distanza dall'area di massima intensità (X-XI grado MCS), a testimonianza di una forte attenuazione di energia sismica nella propagazione delle onde e della notevole superficialità della sorgente.

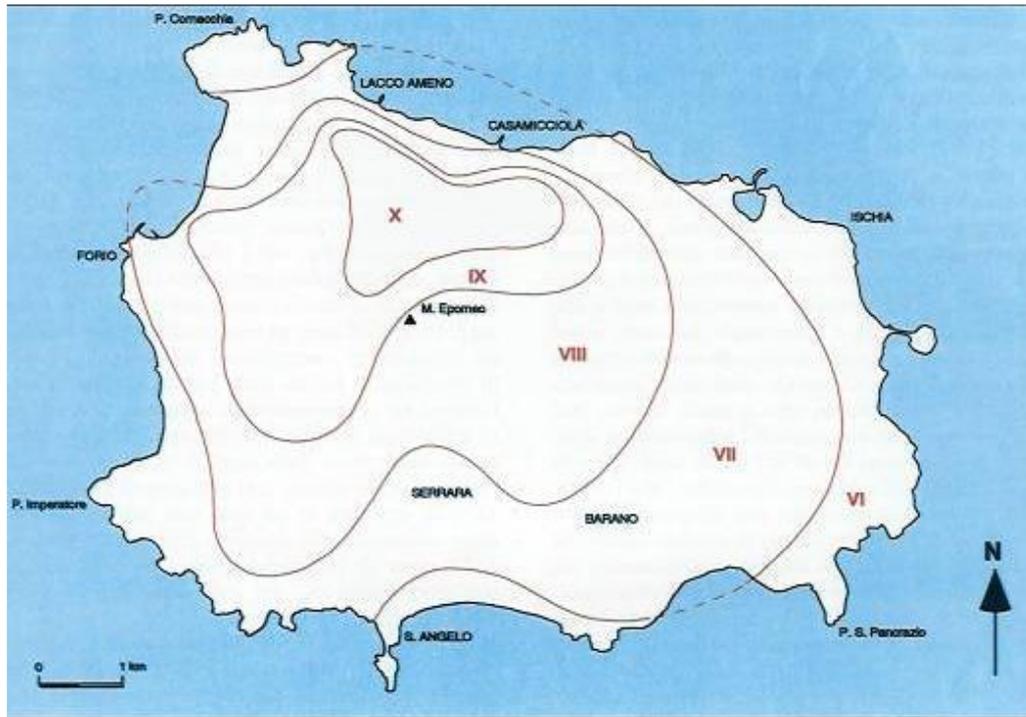


Figura 2-3 – Isosiste del terremoto del 28 luglio 1883. L'area epicentrale interessa Casamicciola e Lacco Ameno

L'analisi delle isosiste consente di localizzare il terremoto nella parte settentrionale dell'isola, al bordo del Monte Epomeo ad una profondità compresa tra 1 e 2 km e di ottenere, attraverso l'utilizzo di leggi empiriche, il valore della magnitudo compreso tra M 4.3 e 5.2.

Inoltre dall'analisi dello sviluppo delle isosiste di massimo grado è stata ottenuta la geometria della sorgente, mentre da quello relativo alle isosiste di medio-alta intensità sono state tratte informazioni sulle proprietà fisiche del mezzo attraversato dalle onde sismiche. Nel caso in esame l'allungamento dell'isosista di massimo grado in direzione E-W suggerisce che la sorgente del terremoto del 1883 abbia all'incirca la stessa direzione; mentre l'allungamento delle isosiste di intensità medio-alta in direzione N-S, prevalentemente lungo il versante occidentale del Monte Epomeo, mostrerebbe la presenza di strutture che canalizzano l'energia il cui significato tettonico appare alquanto oscuro. È stato ipotizzando che tale andamento sia causato da un effetto ombra per la presenza di masse a più bassa rigidità al di sotto dell'Epomeo (laccolite). In tal caso le faglie bordiere separerebbero volumi di roccia a diversa rigidità, simulando un canale di propagazione preferenziale dell'energia sismica.

Ai contributi della sorgente della propagazione si aggiungono gli effetti locali, conferendo

al campo macrosismico una notevole complessità. Una definizione più elevata dei vari contributi al campo macrosismico è stata ottenuta attraverso l'analisi integrata dei dati di dettaglio sul danneggiamento, rilevati da fonti archivistiche, e della geologia di superficie. Questo studio ha mostrato che nei siti caratterizzati da terreni sciolti affioranti l'intensità presenta un incremento di un grado MCS (Cubellis et alii, 2004; Lungo et alii, 2006; Carlino et alii, 2009).

Nella tabella seguente sono riportati gli eventi sismici più significativi a partire dal 1228, con l'attribuzione del grado di intensità nell'area epicentrale; per gli eventi del 1796 e 1828 sono state rappresentate anche le aree dei danneggiamenti (Figura 2-1).

Anno	Località	Intensità Max (MCS)	Note
1228	Casamicciola	IX-X	700 morti, grossa frana dell'Epomeo
1302	Settore orientale dell'isola	VIII	Crollo di molti edifici
1557	Campagnano	VII-VIII	Crollo della Chiesa Parrocchiale
1762	Casamicciola	VII	Danni alle abitazioni di Casamicciola
1767	Settore Nord dell'Isola	VII-VIII	Crollo della chiesa del Rotaro
1796	Casamicciola	VIII	7 morti, gravi danni alla parte alta
1828	Casamicciola	VIII-IX	30 morti, 50 feriti, gravi danni e crolli
1841	Casamicciola	VII	Lesioni agli edifici
1863	Casamicciola	VII	Crollo di muri a secco
1867	Casamicciola	VI-VII	Lievi danni agli edifici
1881	Casamicciola	IX	126 morti, molti feriti, crolli a Casamicciola e Lacco Ameno
1883	Casamicciola	XI	2333 morti, 762 feriti, molti crolli a Casamicciola, Lacco e Forio

Tabella 2-1 tabella rappresentativa degli eventi sismici di maggiore intensità che hanno interessato l'isola d'Ischia

I dati di intensità riportati in questa tabella si discostano in modo significativo da quelli del catalogo dei terremoti italiani del CNR (Postpischl, 1985) relativamente agli eventi del 1228 (VII grado MCS), 1841 (V grado MCS), 1883 (IX grado MCS). Per i terremoti più recenti il catalogo fornisce i seguenti dati: 1881, intensità VIII grado MCS, profondità ipocentrale $5 < h \leq 25$ km, magnitudo macrosismica $M_k = 5.1$ (Karnik, 1969); 1883, intensità IX grado MCS, profondità ipocentrale $5 < h \leq 25$ km, magnitudo macrosismica $M_k = 5.6$ (Karnik, 1969).

Per gli eventi riportati l'intensità macrosismica è stata valutata utilizzando la scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), introdotta nel 1903 alla Conferenza Internazionale di Strasburgo. Tale scala è adeguata alle tipologie costruttive preesistenti all'avvento del cemento armato ed inoltre è quella che più si adatta alla valutazione dell'intensità dei terremoti storici.

Nella seguente tabella sono illustrati i dati, relativi al comune di Lacco Ameno, derivanti dai cataloghi di sito DBMI15 e CPTI15 con indicazione delle intensità macrosismiche I_s nelle

località di interesse.

Lacco Ameno (NA)

Is	Data	Area epicentrale	Lat.	Long.	Io	Mw
9-10	28/07/1883 20:25	Isola d'Ischia	40.744	13.885	9-10	4.26
8	04/03/1881 12:15	Isola d'Ischia	40.747	13.895	9	4.14
7	02/02/1828 09:15	Isola d'Ischia	40.745	13.899	8-9	4.01
5-6	06/03/1841	Isola d'Ischia	40.749	13.899	5-6	3.25



Figura 2-4 – Epicentri dei terremoti che hanno prodotto $I_s \geq VIII$ MCS al sito di Fango (DBMI15)



Figura 2-5 – Epicentri dei terremoti che hanno prodotto $I_s \geq VIII$ MCS al sito di Fango (DBMI15)

Come si può osservare dai cataloghi sismici, gli epicentri dei terremoti che hanno portato ad un'intensità macrosismica al sito ($I_s \geq VIII$) (Figura 2-4) sono tutti ubicati all'interno dell'isola; inoltre è caratteristica comune di tutti gli eventi sismici, l'assenza di corrispondenza tra gli effetti macrosismici decisamente elevati (VIII-IX e X MCS) e la stima di magnitudo dell'evento che li ha provocati.

Ad Ischia, nonostante il lungo provvidenziale silenzio sismico, avuto fino ad agosto 2017, il problema della difesa dai terremoti è sempre attuale; infatti il quadro tettonico dell'isola non consente di escludere ancora una riattivazione delle strutture sismogenetiche, ma le condizioni geologiche dell'isola, sia per il ridotto spessore dello strato fragile che per la sua intensa fratturazione, tenderebbero a far escludere l'occorrenza di terremoti di elevata energia (Carlino et alii, 2006); Luongo et alii, 2006). Infatti i gradienti termici elevati nell'isola, anche superiori a 150°C/km , indicano la presenza di rocce ad alta temperatura a piccola profondità a tetto delle quali si sviluppa uno strato fragile dello spessore di circa 2 km. Le rocce ad elevata temperatura hanno un comportamento duttile e quindi incapaci di accumulare energia elastica. Queste condizioni trovano conferma nella bassa energia degli eventi sismici registrati nell'isola in tempi storici, caratterizzati da piccoli volumi sismogenetici. Questi sono stati calcolati usando lo spessore dello strato fragile e l'estensione complessiva delle aree epicentrali dei terremoti storici. Dal valore ottenuto è stata dedotta la magnitudo massima attesa di 5.3, nell'ipotesi che il volume sismogenetico liberi energia in un unico evento (Luongo et alii, 2006). Tale magnitudo è molto prossima al valore più elevato ottenuto dall'analisi del campo macrosismico del terremoto del 1833, che varia da 4.3 a 5.2.

2.2 Sismicità recente dell'area di studio

Come si evince dal catalogo dei terremoti registrati sull'isola a partire dal 1999 (Tab. 1.2), la sismicità locale è molto bassa, e localizzata entro i primi 2km di crosta. L'energia estremamente contenuta dei terremoti e la bassissima frequenza di accadimento non consente sempre di ottenere valutazioni statistiche per una migliore localizzazione degli eventi, che tuttavia si distribuiscono sempre in una area compresa alla base nord dell'Epomeo, tra Casamicciola e Lacco Ameno. (Rete sismica stabile dell'isola d'Ischia, gestita dell'Osservatorio Vesuviano, in funzione dal 1999). Tale dato conferma che la crosta fragile in grado di generare terremoti è localizzata a nord dell'isola, mentre il settore meridionale è sostanzialmente asismico.

Id.	Date	Time (UT)	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Depth (km)	Mag.
1	1999-01-20	12:40:42	N.D.	N.D.	N.D.	0.9
2	1999-09-05	02:11:32	N.D.	N.D.	N.D.	0.4
3	1999-09-05	02:16:45	N.D.	N.D.	N.D.	0.4
4	1999-11-06	23:54:27	N.D.	N.D.	N.D.	1.5
5	2000-01-09	23:36:55	N.D.	N.D.	N.D.	0.9
6	2000-08-26	12:48:41	N.D.	N.D.	N.D.	0.4
7	2000-08-26	12:49:14	N.D.	N.D.	N.D.	-0.1
8	2000-08-26	21:47:26	N.D.	N.D.	N.D.	-0.1
9	2000-11-13	08:07:06	N.D.	N.D.	N.D.	0.9
10	2001-07-03	21:40:01	40.7669	13.8724	1.06	1.5
11	2001-07-04	07:24:36	N.D.	N.D.	N.D.	0.9
12	2001-07-27	20:11:41	40.7411	13.9158	0.55	2.3
13	2001-11-29	21:03:01	N.D.	N.D.	N.D.	0.8
14	2001-12-06	09:23:08	N.D.	N.D.	N.D.	0.4
15	2002-03-31	01:20:33	N.D.	N.D.	N.D.	1.1
16	2002-06-07	08:22:46	N.D.	N.D.	N.D.	0.6
17	2002-06-07	13:47:51	N.D.	N.D.	N.D.	0.4
18	2003-07-21	15:35:54	N.D.	N.D.	N.D.	0.6
19	2003-12-14	17:51:28	40.7589	13.8971	0.01	1.3
20	2004-09-03	01:49:44	40.7385	13.9001	0.74	1.5
21	2005-03-25	12:49:18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
22	2005-05-04	15:27:27	40.7343	13.9034	1.13	0.5
23	2005-05-04	15:28:02	N.D.	N.D.	N.D.	0.5
24	2006-03-19	21:21:04	N.D.	N.D.	N.D.	0.9

25	2006-11-14	04:41:03	N.D.	N.D.	N.D.	-0.8
26	2007-06-06	07:25:55	40.7410	13.9138	0.55	1.3
27	2008-04-05	11:16:01	40.7390	13.9203	0.52	2.3
28	2009-07-17	03:26:29	N.D.	N.D.	N.D.	0.9
29	2011-06-04	23:13:40	40.7470	13.8728	1.45	1.4
30	2011-06-05	12:37:56	40.7410	13.9156	0.51	1.9
31	2011-06-05	14:10:03	40.7527	13.9154	1.88	2.2
32	2011-06-05	15:55:07	40.7390	13.9195	0.54	1.2
33	2011-06-05	16:20:26	N.D.	N.D.	N.D.	0.7
34	2011-06-05	20:26:47	N.D.	N.D.	N.D.	0.7
35	2011-06-22	00:55:05	N.D.	N.D.	N.D.	-0.8
36	2011-06-22	01:51:36	N.D.	N.D.	N.D.	-0.8
37	2011-06-22	02:31:08	N.D.	N.D.	N.D.	-0.5
38	2011-06-22	02:33:45	N.D.	N.D.	N.D.	-0.5
39	2013-12-10	13:07:05	N.D.	N.D.	N.D.	1.5

Tabella 2-2 *Terremoti ad Ischia registrati dalla rete sismica locale dell'Osservatorio Vesuviano in funzione dal 1999 (database INGV-OV)*

Come evidenziano i dati recenti raccolti dall'Osservatorio Vesuviano, dal punto di vista sismico, Ischia è caratterizzata da una sismicità abbastanza rara e di bassa magnitudo con alcuni eventi che hanno raggiunto magnitudo medio-basse. La gran parte della sismicità storica, localizzata solo sulla base degli effetti al suolo e dei danni, è concentrata nel settore nord-occidentale dell'isola, tra i comuni di Casamicciola e Lacco Ameno.

Con lo sviluppo e il potenziamento della Rete Sismica di Monitoraggio dell'INGV è stato possibile aumentare il livello di precisione registrando e localizzando anche eventi di bassa magnitudo. In ogni caso, negli ultimi anni la sismicità si è mantenuta su livelli decisamente bassi sia come frequenza che come energia. In Figura 2-6 sono riportate le localizzazioni degli eventi registrati dal 1999.

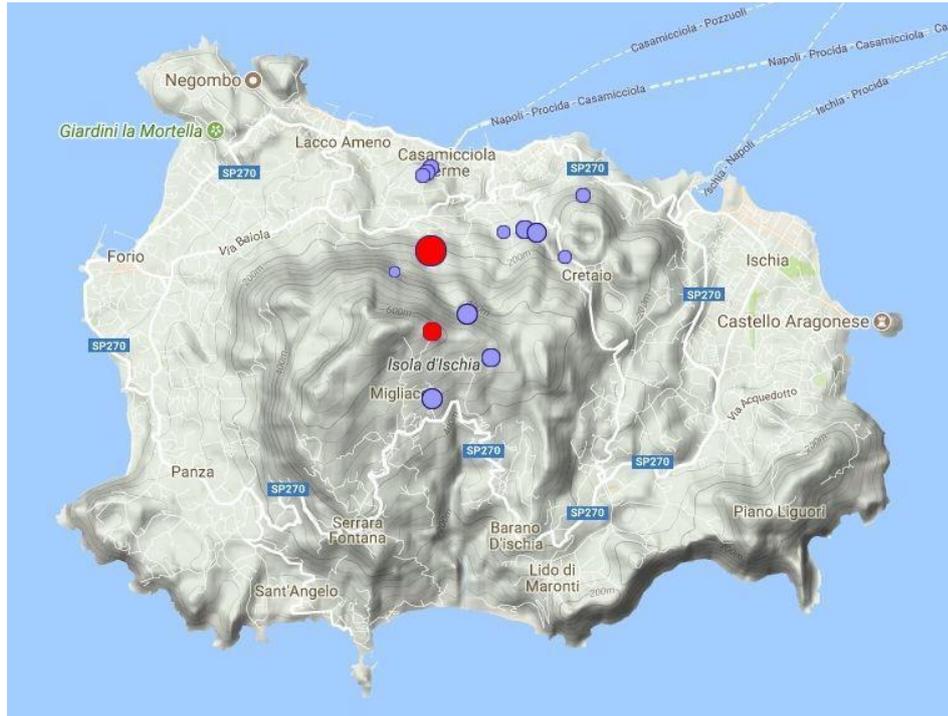


Figura 2-6 – Localizzazione dei terremoti ad Ischia dal 1999 al 2017. In rosso gli eventi del 21/08/2017 e del 23/08/2017.

A partire dalla seconda metà degli anni '90 da quando cioè sono disponibili dati strumentali affidabili della sismicità dell'isola d'Ischia, e fino all'evento del 21 agosto 2017, il livello di attività sismica rilevato è stato molto basso con solo tre eventi che hanno raggiunto una magnitudo massima di 2.4.

La superficialità degli ipocentri è la causa principale dell'avvertibilità da parte della popolazione anche di eventi di magnitudo inferiore a 2.4.

L'evento sismico che ha interessato l'isola di Ischia e in seguito al quale sono iniziate le indagini propedeutiche per la realizzazione del presente lavoro, è quello del 21 agosto 2017, quando alle 20.57, una forte scossa di terremoto è stata avvertita sull'isola e nella zona flegrea del comune di Napoli. Solo nei giorni successivi all'evento l'istituto INGV di Napoli ha localizzato l'ipocentro a 1 km a sud ovest di Casamicciola Terme, in corrispondenza delle coordinate geografica: lat. 40.74, long. 13.90, ad una profondità di circa 1.75 km.

Il terremoto è stato originato in condizioni quasi del tutto analoghe a quelle che provocarono il terremoto del 1883. La magnitudo (M_d) è stata stimata di circa 4.0, ha provocato due vittime, decine di feriti, numerosi danni alle costruzioni e crolli nei comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno (Figura 2-7).



Figura 2-7 – Foto dell’evento sismico del 21 agosto 2017 – Comune di Casamicciola Terme.

La zona più colpita, chiamata “Casamicciola Zona Rossa”, include i quartieri di Piazza Maio, La Rita e in parte Gran Sentinella e ha subito danni complessivamente gravi. La maggioranza delle abitazioni è in muratura, costruite con blocchetti di tufo tenero, solo occasionalmente con elementi lapidei più competenti o mattoni; assenti elementi vincolanti di rinforzo quali tiranti e catene.

Danni diffusi e significativi hanno interessato anche la frazione Fango (comune di Lacco Ameno), caratterizzata da una tipologia edilizia simile; qui i due crolli totali sono avvenuti in edifici fatiscenti. Anche il quartiere “Bagni” di Casamicciola ha subito danni diffusi di una certa entità, sebbene meno appariscenti per la miglior qualità costruttiva dell’edificio.

La zona costiera, della Marina di Casamicciola Terme e di Lacco Ameno, non è stata particolarmente colpita, avendo avuto danni lievi ma diffusi.

La distribuzione puntuale del danneggiamento all’interno della cosiddetta “Zona Rossa” configura un effetto di sito nella zona collinare di Casamicciola Terme, che ricalca perfettamente quanto osservato in occasione del terremoto distruttivo del 1883.

Catalogo da DBMI15

Il database macrosismico italiano (DBMI), nella sua attuale versione del 2015 (DBMI15), contiene dati di intensità relativi a 1681 terremoti dall’anno mille al 2006 provenienti dal

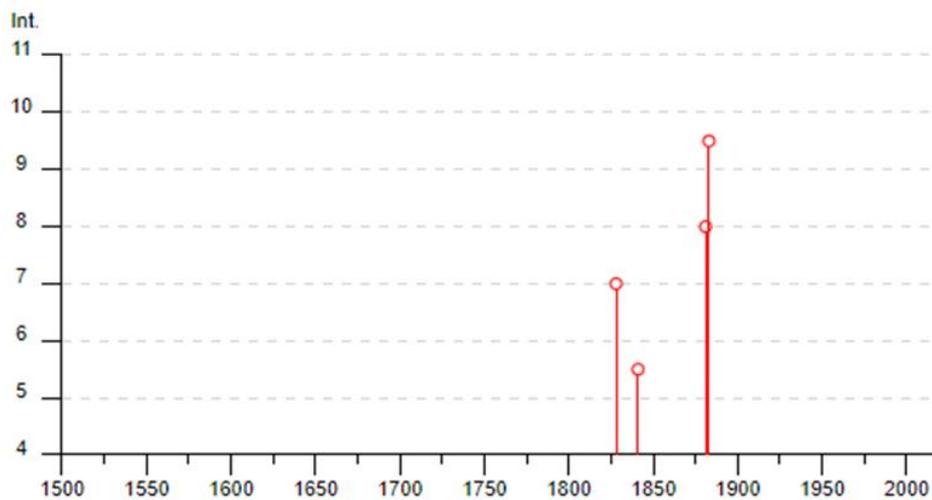
catalogo sismico nazionale (CPTI11), per un totale di 86071 punti. L'interrogazione per la località di Lacco Ameno ha portato all'estrazione di 4 eventi, con intensità al sito (Is) tra VIII e IX MCS (Fig. 2.2). mentre i restanti eventi mostrano una intensità che va dal IV al VI MCS.

Lacco Ameno



PlaceID	IT_60101
Coordinate (lat, lon)	40.752, 13.888
Comune (ISTAT 2015)	Lacco Ameno
Provincia	Napoli
Regione	Campania
Numero di eventi riportati	6

Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
7	1828	02	02	09	15		Isola d'Ischia	10	8-9 4.01
5-6	1841	03	06	12			Isola d'Ischia	3	5-6 3.25
F	1863	01	30	11	30		Isola d'Ischia	8	4 2.87
8	1881	03	04	12	15		Isola d'Ischia	17	9 4.14
9-10	1883	07	28	20	25		Isola d'Ischia	27	9-10 4.26
NF	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375	5.77



▼ Personalizza il diagramma

Di seguito si riporta la mappa estratta dal Catalogo dei forti terremoti in Italia CFTI con la potenziale fascia di origine dei terremoti.

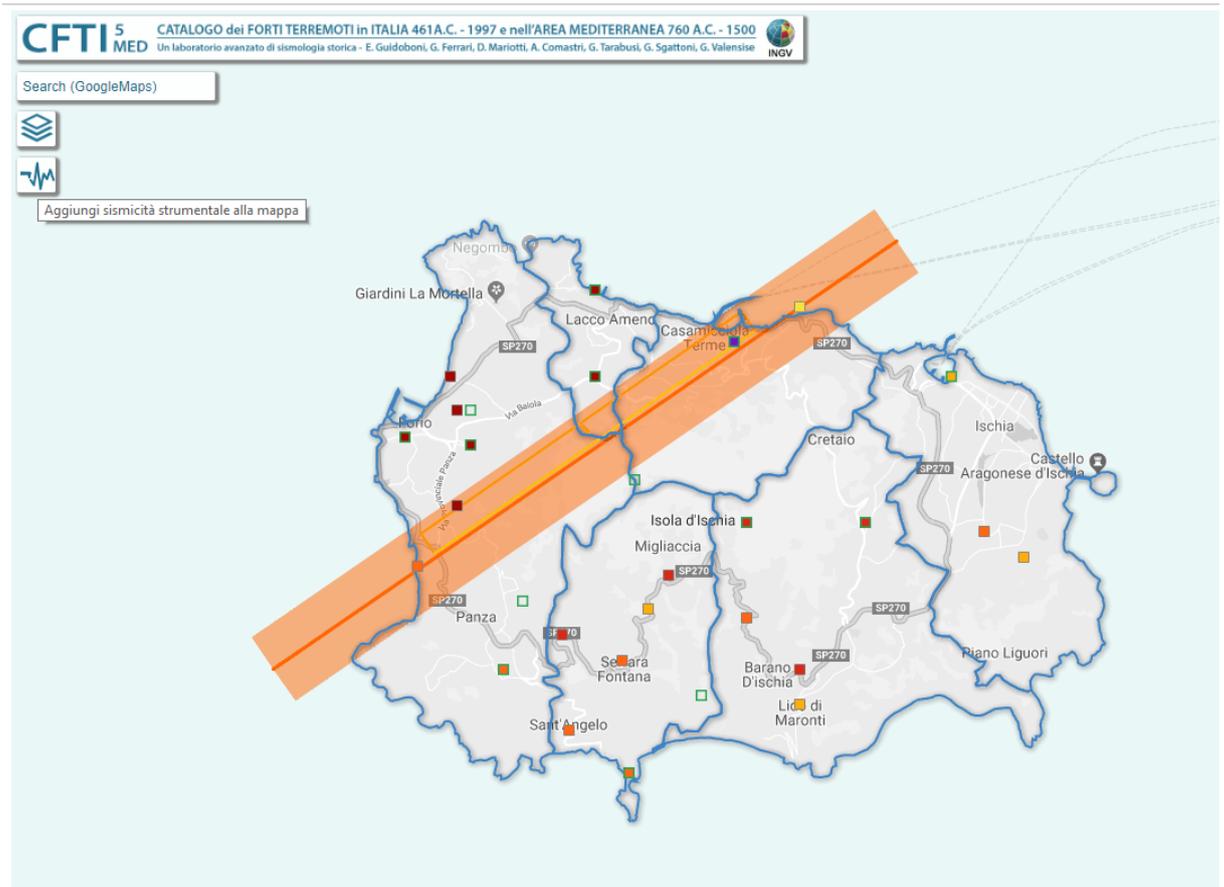


Figura 2-8 – DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1

2.3 Pericolosità sismica di base

Le norme per le costruzioni in zona sismica (Ordinanza del P.C.M. 3274 e Decreto 14 settembre 2005), suddividono il territorio nazionale in zone sismiche contrassegnate da diversi valori del parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A. I valori convenzionali di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale, si riferivano ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumevano i valori riportati nella Tabella che segue:

Zona	Valore di a_g
1	0.35 g
2	0.25 g
3	0.15 g
4	0.05 g

La Giunta Regionale della Campania nella seduta del 7 novembre 2002 con deliberazione n. 5447 dell'Area Generale di Coordinamento Ecologia, Tutela dell'Ambiente, CIA e Protezione Civile approvò l'aggiornamento della classificazione sismica dei comuni della Regione Campania e classificò il territorio del comune di Lacco Ameno di *categoria 2*.

Con l'entrata in vigore del D.M. 17/01/2018 e ancor prima del D.M. 14/01/2008, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Quindi per la stima della pericolosità sismica di base, si determinano le coordinate geografiche del sito di interesse, si sceglie la maglia di riferimento, e si ricavano i valori dei parametri spettrali come media pesata dei valori corrispondenti ai vertici della maglia (forniti in allegato al D.M. 14.01.08), moltiplicati per le distanze dal punto.

Le nuove Norme Tecniche per le costruzioni (NTC 2018) forniscono, per l'intero territorio nazionale, i parametri da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica. Tali parametri sono forniti in corrispondenza dei nodi, posti ad una distanza massima di 10 km, all'interno di un reticolo che copre l'intero territorio nazionale. I valori forniti di a_g , T_r , F_0 e T_c da utilizzare per la risposta sismica del sito sono riferiti al substrato, inteso come litotipo con $V_s > 800$ m/sec.

L'azione sismica sulle costruzioni viene dunque valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale (categoria A nelle NTC). La "pericolosità sismica di base" costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. Come anzi detto, essa, in un generico sito viene descritta in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale, sopra definito, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale. Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri: a_g accelerazione orizzontale massima del terreno; F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; $*T_c$ periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale. Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

- a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica,
- F_0 e T_c i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento, previste dalle NTC, scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica (la condizione di minimo è impostata operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati ad uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare: la vita di riferimento V_R della costruzione, le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} , associate a ciascuno degli stati limite considerati. Si possono così individuare, partendo dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Per il territorio di Lacco Ameno sono state prese in considerazione le coordinate geografiche del Liceo Statale di Ischia Sede di Lacco Ameno che identifica grosso modo il centro geografico Comunale:

WGS84	ED50
Lat. 40.750319	Lat. 40.751323
Long. 13.890409	Long. 13.891288

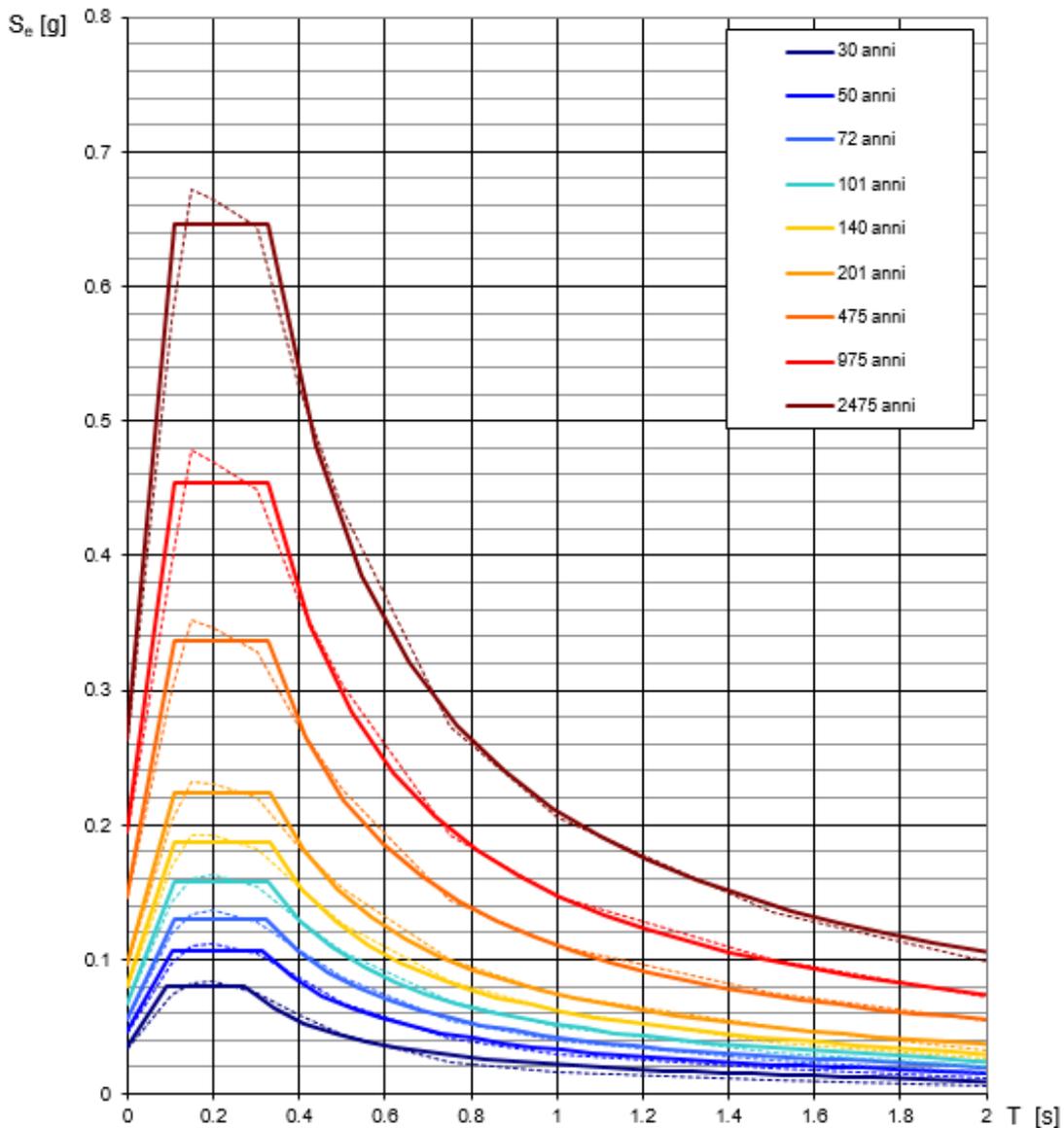
Nella tabella che segue sono riportati i valori dei suddetti parametri per l'area di interesse ai vari stati limite previsti dalla normativa (SLO stato limite di operatività, SLD stato limite di danno, SLV stato limite di salvaguardia della vita, SLC stato limite di prevenzione del collasso).

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.034	2.323	0.273
50	0.046	2.331	0.312
72	0.056	2.341	0.324
101	0.067	2.339	0.328
140	0.080	2.339	0.332
201	0.097	2.319	0.331
475	0.147	2.290	0.328
975	0.195	2.330	0.326
2475	0.263	2.461	0.326

Gli stessi valori sono di seguito riportati sotto forma di grafico

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Con riferimento alla Zonazione Sismogenetica ZS9 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>) attualmente in vigore per l'Italia esso è ubicato nella zona sismogenetica numero 928. Per tale zona il valore di magnitudo massima considerata per il calcolo della pericolosità sismica è MW 5.91, il valore di "b" della Gutenberg - Richter è -1.04 se si considerano gli intervalli di completezza prevalentemente storici, mentre è -0.66 qualora si considerino intervalli di completezza prevalentemente statistici. La magnitudo minima è MW 4.76 ed il tasso di occorrenza dei terremoti è 0.21 eventi per anno.

Per quanto concerne la relazione di attenuazione del moto del suolo, data l'assenza di registrazioni strumentali per eventi di interesse per il calcolo della pericolosità sismica, sono state calcolate delle tabelle di attenuazione utilizzando una tecnica di simulazione stocastica, assumendo un valore di stress-drop di 50 bar in linea con quanto riportato da De Natale et al. (1988). Le tabelle riportano i valori dell'accelerazione massima del suolo per magnitudo comprese tra 3 e 6.5 e distanze comprese tra 1 e 20 km.

Come si evince dalla Figura 2-9 il Territorio Comunale (il cui centro è identificato dall'incrocio delle due linee tratteggiate) non coincide con nessun nodo della griglia utilizzata per il calcolo della mappa nazionale. Pertanto, come previsto dalle Nuove norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008), il valore di pericolosità sismica espresso come valore di accelerazione con periodo di ritorno di 475 anni, \tilde{A} , è dato dalla media pesata dei valori di pericolosità nei quattro punti della griglia di riferimento, secondo l'equazione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (2)$$

dove $1/d_i$ rappresentano i pesi e corrispondono agli inversi delle distanze tra il sito in esame e i quattro vertici.

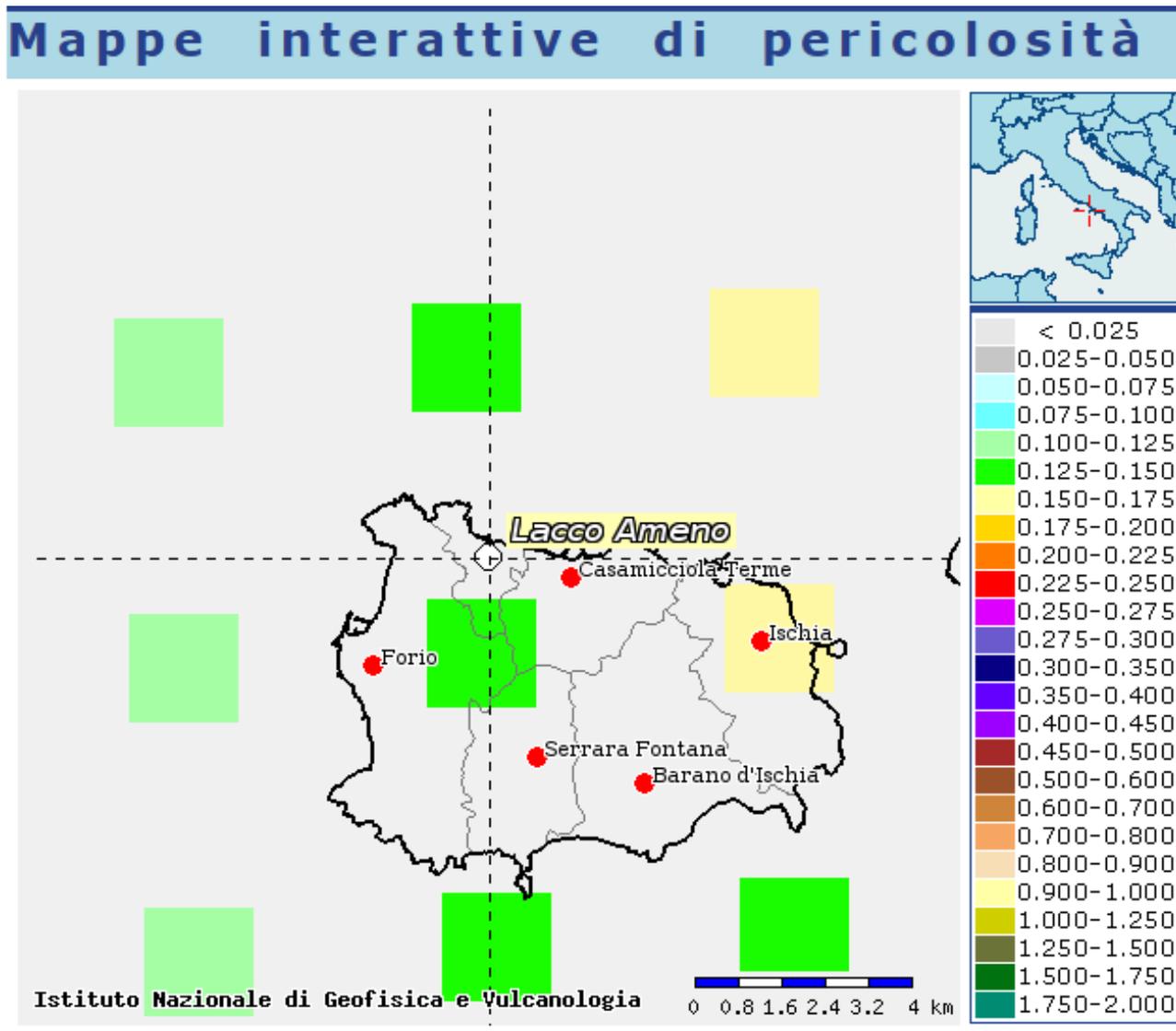
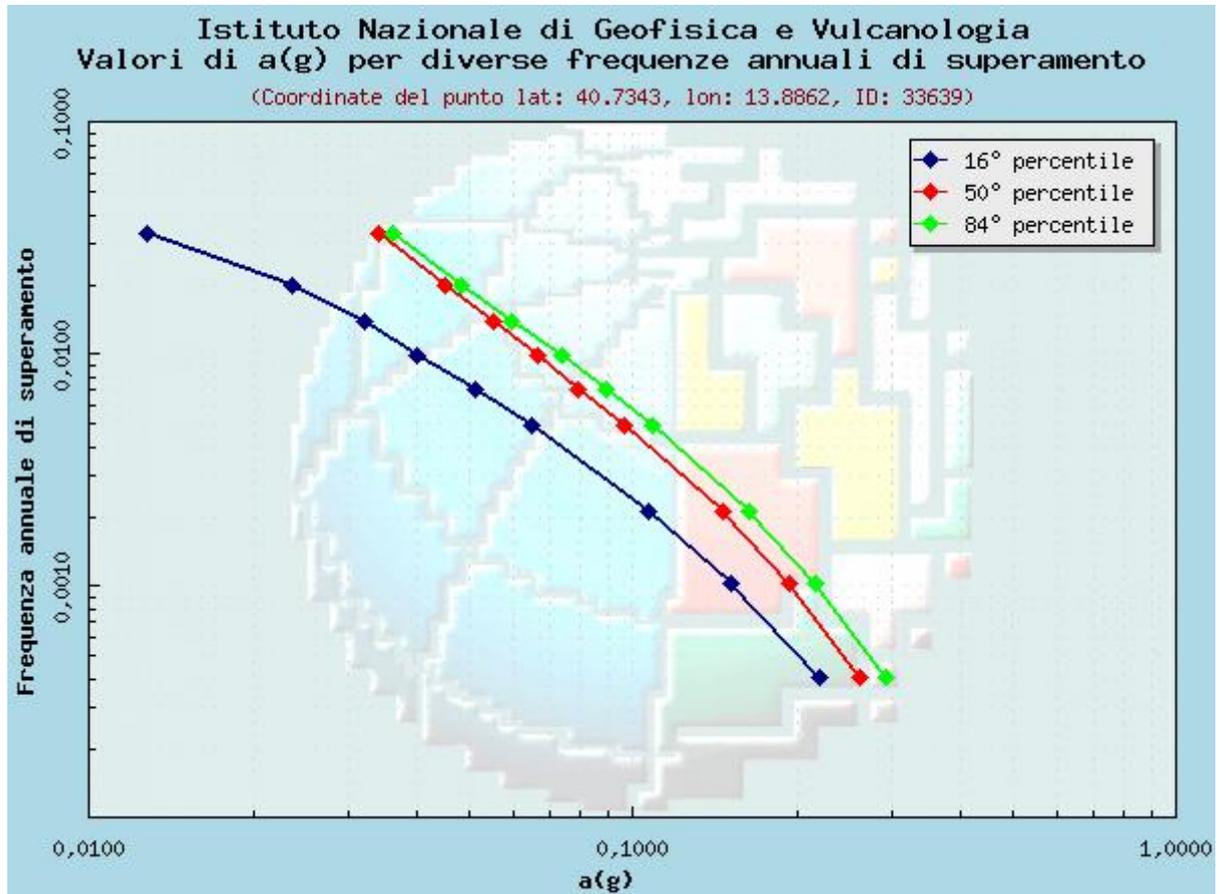


Figura 2-9 Griglia dei valori di pericolosità sismica in termini di accelerazione massima orizzontale a_g (espressi in g; essendo g l'accelerazione di gravità) su sito roccioso con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, o con periodo di ritorno di 475 anni. Nella figura sono riportati anche gli ID relativi ai siti utilizzati per calcolare il valore di a_g al sito in esame.

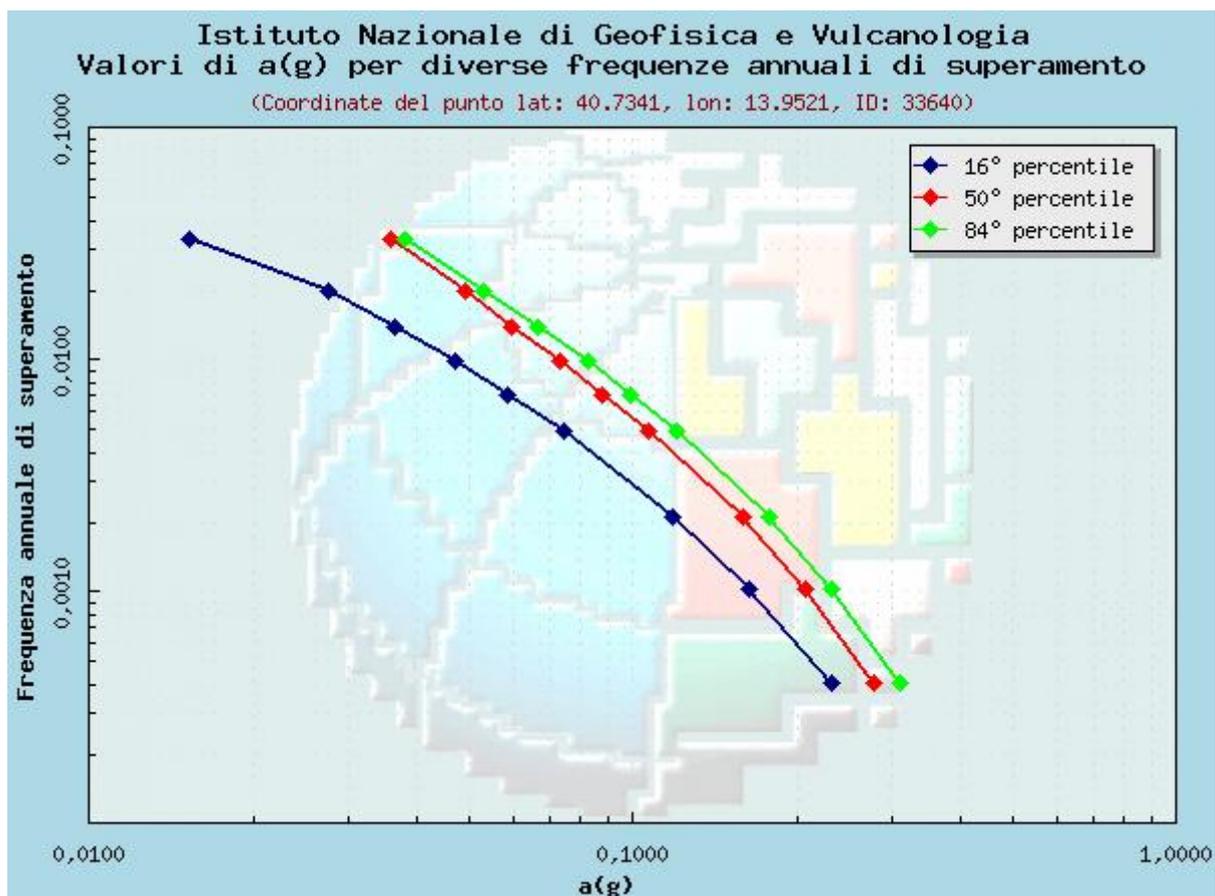
Nella tabella 6.1.1, che segue, si riportano i valori di a_g espressi in g, ai quattro punti indicati in figura 2-10 il cui ID è riportato nella prima colonna della Tabella stessa.

Punto Griglia	Latitudine	Longitudine	Distanza (km)	a_g (g)
33639	40,7343	13,8862	1937,763	0.1458
33640	40,7341	13,9521	5476,072	0.1595
33418	40,7841	13,9525	6313,122	0.1610
33417	40,7843	13,8865	3691,272	0.1488

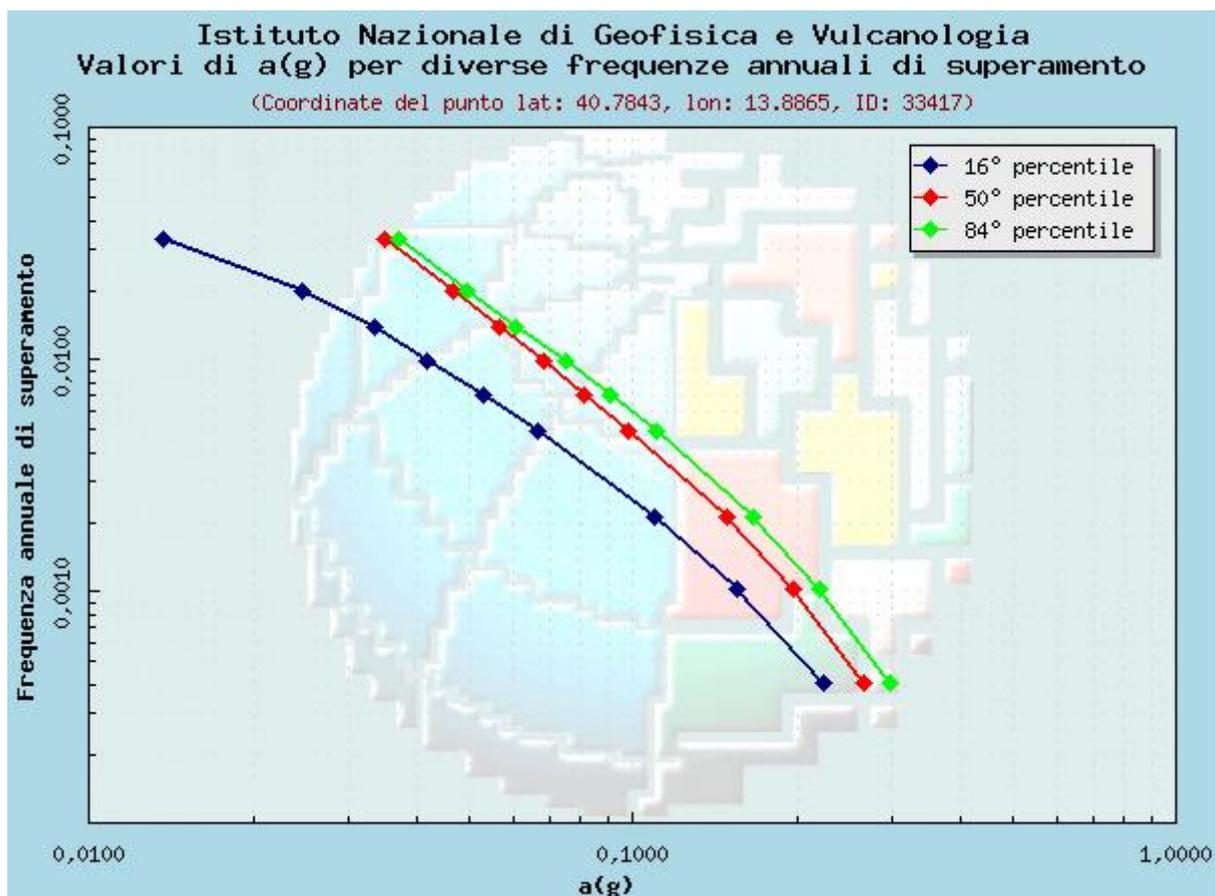
I valori di a_g riportati in Tabella si ottengono dalle curve di pericolosità riportate nelle figure da 6.2.3 a 6.2.7 e corrispondenti al valore di frequenza annuale di superamento di 0.0021 anni-1 che corrisponde a periodo di ritorno $TR=475$ anni.



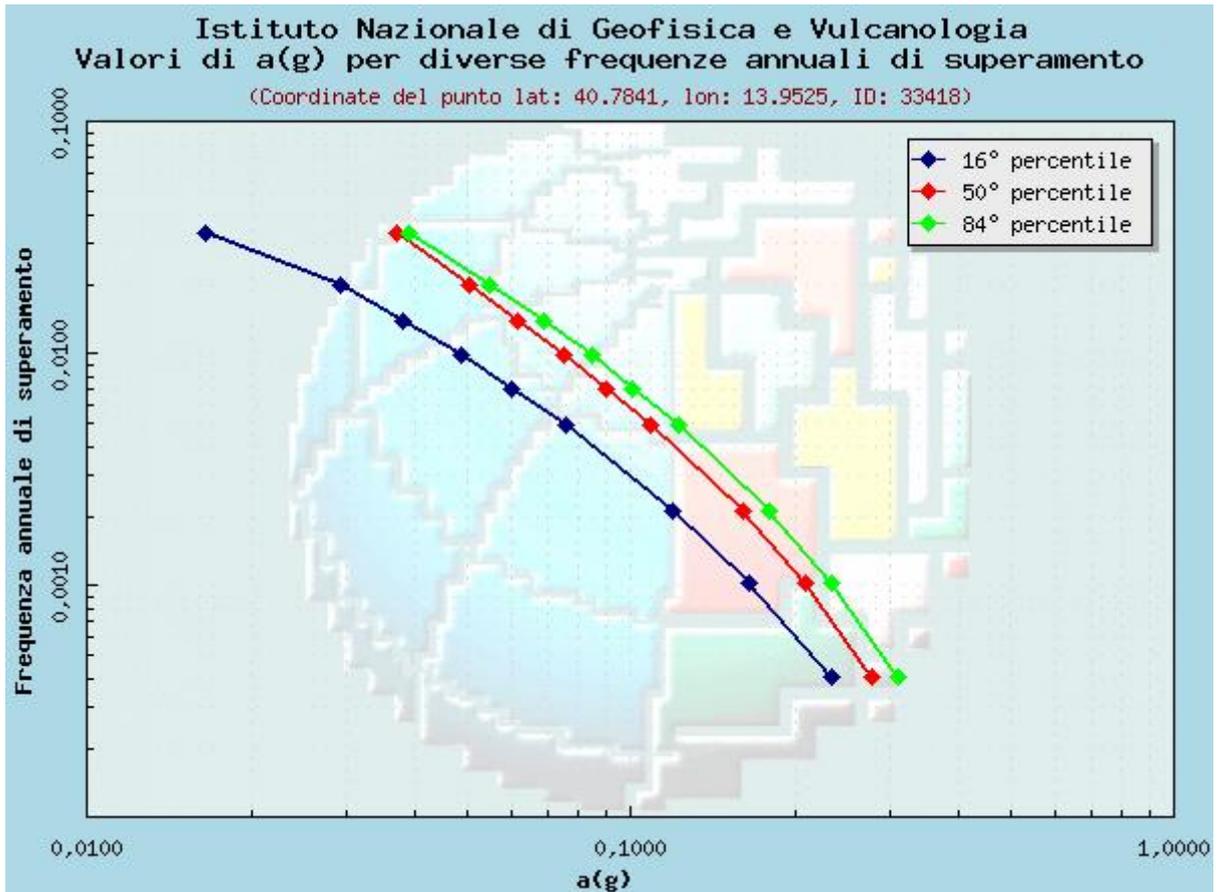
Frequenza annuale di superamento	$a(g)$ (Coordinate del punto lat: 40.7343, lon: 13.8862, ID: 33639)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2192	0.2614	0.2915
0.0010	0.1510	0.1936	0.2162
0.0021	0.1068	0.1458	0.1637
0.0050	0.0650	0.0963	0.1086
0.0071	0.0514	0.0792	0.0893
0.0099	0.0400	0.0667	0.0738
0.0139	0.0321	0.0554	0.0596
0.0200	0.0235	0.0452	0.0484
0.0333	0.0128	0.0341	0.0362



Frequenza annuale di superamento	a(g) (Coordinate del punto lat: 40.7341, lon: 13.9521, ID: 33640)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2324	0.2763	0.3091
0.0010	0.1636	0.2077	0.2319
0.0021	0.1183	0.1595	0.1785
0.0050	0.0744	0.1067	0.1197
0.0071	0.0588	0.0878	0.0989
0.0099	0.0471	0.0733	0.0825
0.0139	0.0365	0.0599	0.0669
0.0200	0.0276	0.0490	0.0531
0.0333	0.0152	0.0358	0.0380

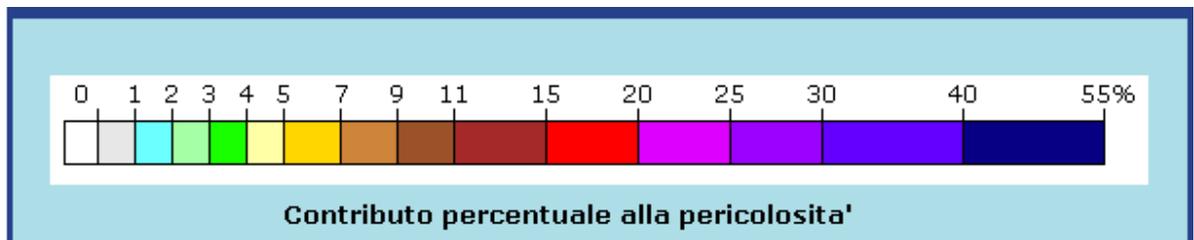
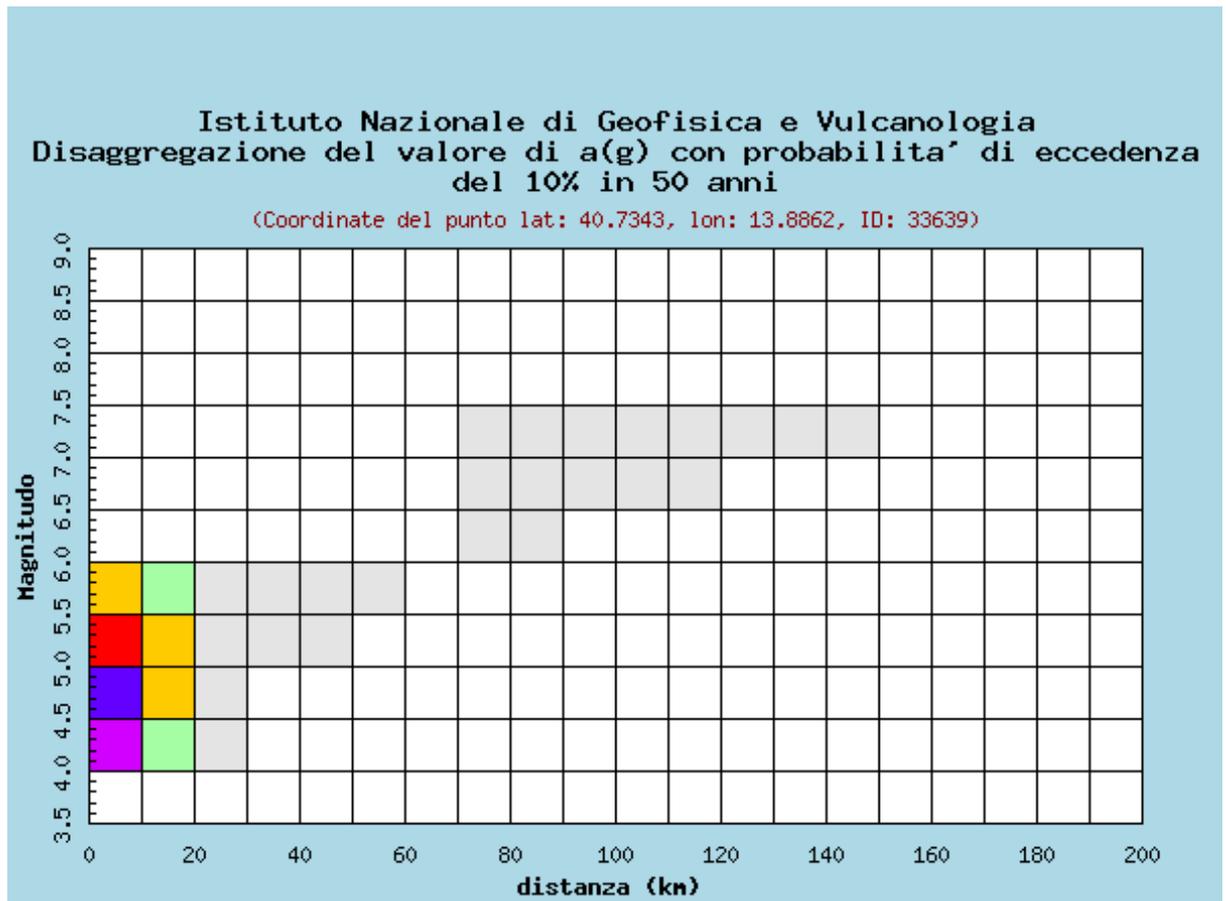


Frequenza annuale di superamento	a(g) (Coordinate del punto lat: 40.7843, lon: 13.8865, ID: 33417)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2247	0.2662	0.2973
0.0010	0.1557	0.1971	0.2201
0.0021	0.1098	0.1488	0.1665
0.0050	0.0669	0.0981	0.1108
0.0071	0.0528	0.0808	0.0909
0.0099	0.0418	0.0682	0.0752
0.0139	0.0333	0.0566	0.0609
0.0200	0.0245	0.0464	0.0496
0.0333	0.0136	0.0350	0.0372



Frequenza annuale di superamento	a(g) (Coordinate del punto lat: 40.7841, lon: 13.9525, ID: 33418)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2330	0.2771	0.3099
0.0010	0.1644	0.2086	0.2329
0.0021	0.1192	0.1610	0.1796
0.0050	0.0757	0.1086	0.1217
0.0071	0.0602	0.0895	0.1008
0.0099	0.0486	0.0750	0.0845
0.0139	0.0379	0.0616	0.0688
0.0200	0.0291	0.0505	0.0546
0.0333	0.0165	0.0369	0.0390

Di seguito si riporta il grafico e la tabella della disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 40.7343, lon: 13.8862, ID: 33639)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	20.300	35.500	18.500	6.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	2.090	5.950	5.480	2.950	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.004	0.201	0.513	0.430	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.044	0.089	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.110	0.185	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.174	0.368	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.083	0.284	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.176	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.056	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.910	7.580	0.699

3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area

3.1 Inquadramento geologico

L'isola d'Ischia è formata, per la maggior parte, da rocce vulcaniche derivanti da differenti centri eruttivi, non sempre riconoscibili, in gran parte distrutti o ricoperti dai prodotti dell'attività successiva (Carlino et al., 2006) e da depositi caotici, derivanti da fenomeni franosi che hanno interessato i versanti del Monte Epomeo (de Vita et al., 2006).

L'attività vulcanica dell'isola, così come quella di tutto il distretto vulcanico Flegreo, è connessa con le fasi tettoniche a carattere distensivo che hanno caratterizzato l'evoluzione nel margine Tirrenico della catena Appenninica tra il Pliocene ed il Quaternario (Acocella e Funicello, 1998).

L'evoluzione pliocenico-quadernaria del margine tirrenico dell'Italia centro-meridionale è caratterizzata da un processo estensionale responsabile della formazione del bacino tirrenico. La tettonica distensiva si è manifestata in particolare attraverso faglie normali a direzione NW-SE e subordinatamente da sistemi di trasferimento costituiti da faglie normali e trascorrenti, con direzione NE-SW (Funicello et al., 1976; Mariani & Prato, 1988, Faccenna et al., 1994). In tale contesto la Piana Campana rappresenta una depressione strutturale pliocenico-quadernaria con direzione NW-SE (Carrara et al., 1973, Finetti & Morelli, 1974. Fedi & Rapolla, 1987). L'attività vulcanica ha accompagnato i processi estensionali durante il Pliocene e il Quaternario, essendo controllata dai sistemi di faglie e fratture con direzione NE-SW, e subordinatamente da quelli NW-SE. Questi sistemi hanno costituito una via preferenziale per la risalita di fluidi magmatici verso la superficie (Carrara et al., 1973; Funicello et al., 1976; Faccenna et al., 1994). In particolare, le faglie hanno guidato l'instaurarsi dell'attività vulcanica recente su alcune direzioni preferenziali nella Piana Campana e, in particolare, nell'isola d'Ischia (Zuppetta et alii, 1993). Qui l'inizio dell'attività vulcanica viene collocato circa a 150.000 anni fa (Cassignol & Gillot, 1982) continuando, con diversi periodi di quiescenza, fino al 1302 d.C, quando una colata lavica fuoruscì dal centro eruttivo dell'Arso.

L'isola d'Ischia è un campo vulcanico che, probabilmente, nel passato aveva uno sviluppo areale maggiore di quello attuale.

Per quanto concerne gli aspetti strutturali Ischia risulta estremamente complessa in quanto risulta caratterizzata dalla presenza di diversi sistemi di faglie e fratture di origine tettonica e vulcano-tettonica (Orsi et al., 1991; 1994) (Figura 3-1).

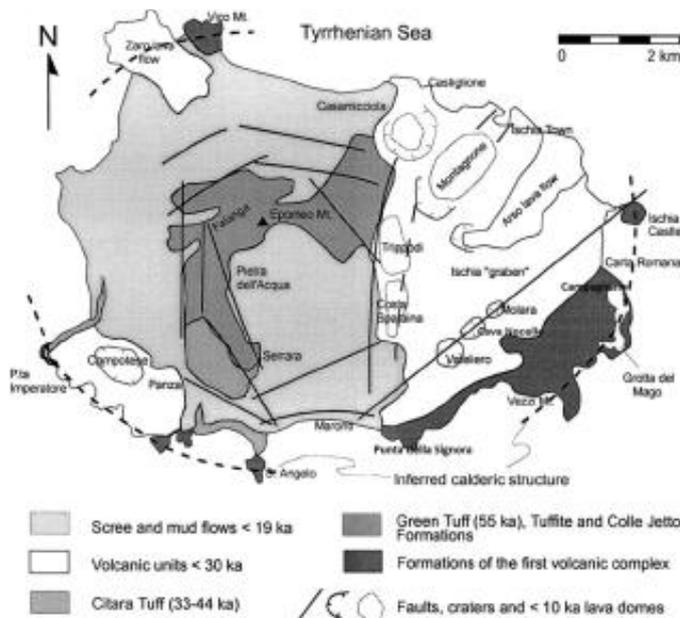


Figura 3-1 - Schizzo della mappa Geologica dell'isola d'Ischia, modificata da Gillot et al., (1982)

L'espressione superficiale di questo sistema di fratture nella parte sud-orientale dell'isola è data dalla faglia che disloca i duomi lavici di Campagnano, Monte Vezzi e Punta della Signora (150.000 - 55.000 anni fa). Anche gli edifici vulcanici di Vatellero, Molaro e Cava Nocelle (III sec. d.C.), ugualmente situati nel settore sud-orientale dell'isola, sono allineati lungo questo sistema di faglie.

Nel settore sud-occidentale dell'isola, l'area morfologicamente depressa compresa tra Sant'Angelo e Citara è invece legata ad una faglia con direzione NW-SE. La depressione morfologica (Rittmann, 1930) che attualmente corrisponde alla parte centrale dell'isola rappresenta verosimilmente una caldera formatasi nel corso dell'eruzione del Tufo Verde del Monte Epomeo (55.000 anni fa) (Gillot et al., 1982). Tale area colmata dai depositi del Tufo Verde e dai depositi marini che su di essi si sono andati depositando, è stata successivamente interessata da fenomeni di risorgenza.

Il processo di risorgenza del Monte Epomeo è probabilmente iniziato intorno a 28.000 anni fa, quando si registra un cambiamento nel chimismo dei prodotti delle eruzioni determinato dall'arrivo di nuovo magma (Civetta et al., 1991; Petrini et al., 2001), ed ha interessato la sola parte centrale della caldera, determinandone lo smembramento in una serie di blocchi dislocati in maniera differenziale.

La letteratura scientifica propone ad oggi tre diversi modelli per il sollevamento del blocco epomeico.

- 1) Modello dell'horst vulcano-tettonico: proposto da Rittman già nel 1930 il modello è stato poi ripreso da vari Autori tra cui Gillot et alii (1982), Vezzoli (1988) e Fusi et alii

(1990) e sostanzialmente tutti attribuiscono il sollevamento del Monte Epomeo alla spinta verticale di un corpo magmatico in espansione. La risorgenza avviene secondo una forma a cuneo, con faglie che immergono ad alto angolo ($70^\circ - 80^\circ$) verso l'esterno. Successivamente Tibaldi e Vezzoli (2000) hanno modificato il modello da loro proposto (Fusi et alii 1990) ipotizzando una struttura a piega monoclinale. Questi autori ipotizzano un blocco risorgente sempre delimitato da faglie dirette subverticali ma con associata la formazione di una piega monoclinale che immerge verso sud. La risorgenza è dovuta ad un meccanismo di tipo piston-like sia ad un dome-like.

- 2) Modello di simple-shearing: il secondo modello propone la risorgenza del blocco per taglio semplice (Orsi et alii 1991). Questi autori interpretano il sollevamento del blocco in assenza di deformazioni circostanti e di variazioni di volume. I margini del blocco risorgente sono svincolati da faglie ad alto angolo immergenti verso l'interno; è possibile che queste faglie derivino dalla riattivazione delle fratture della caldera. La risalita senza deformazione del blocco implicherebbe la formazione di un vuoto; per accomodare questo vuoto il blocco ruota intorno ad un asse con direzione NE-SW ortogonale alla sua massima lunghezza orizzontale, causando una deformazione interna del blocco attraverso un meccanismo di taglio semplice.

Nel settore nord occidentale il massimo sollevamento è stato accomodato da movimenti lungo faglie inverse, ad alto angolo, parallele all'asse rotazionale; in quest'area soggetta ad un regime di stress di tipo compressivo, si assiste al raccorciamento del blocco. Il settore opposto è caratterizzato invece da un regime di stress di tipo estensionale e da un sistema di faglie normali orientate come le precedenti (Figura 3-2).

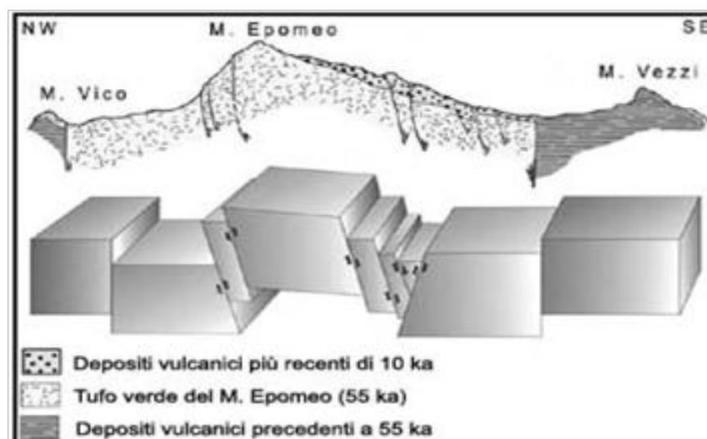


Figura 3-2 - Modello di risorgenza proposto da Orsi et al., 1991.

Un simile meccanismo rende conto della distribuzione dei centri eruttivi successivi all'instaurarsi del fenomeno e consente la conservazione del volume del blocco risorgente in

assenza di deformazioni significative delle aree circostanti (Figura 3-3).

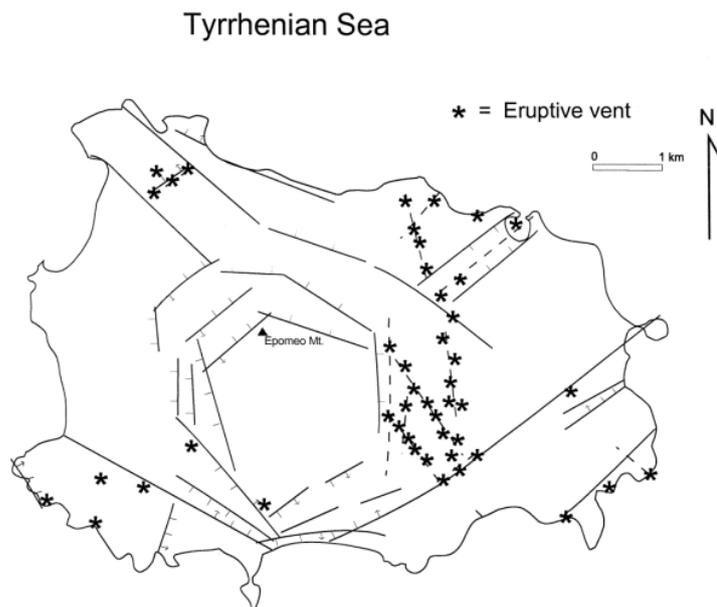


Figura 3-3 - Disposizione dei centri eruttivi negli ultimi 33.000 anni (Acocella e Funicello, 1998).

In figura viene mostrato come le modalità di sollevamento e deformazione del blocco del Monte Epomeo hanno influenzato la distribuzione dei centri vulcanici attivi negli ultimi 33.000 anni e in particolare negli ultimi 10.000 anni alla periferia del blocco stesso: essi infatti sono concentrati esclusivamente lungo il margine orientale (Orsi et al., 1991). Circa il 93% dei prodotti vulcanici degli ultimi 33.000 anni sono stati eruttati in prossimità del blocco risorgente, in particolare nella parte orientale dell'isola. L'attività vulcanica è stata controllata in prevalenza dalle strutture regionali in direzione NE-SW e NW-SE. Il restante 7% è stato eruttato in corrispondenza di faglie situate sul lato orientale del blocco risorgente.

La presenza di numerosi corpi di frana sovrapposti e intercalati anche nella successione stratigrafica delle unità vulcaniche testimonia che l'innalzamento del Monte Epomeo è avvenuto attraverso più fasi. La fase principale di risorgenza può essere collocata tra 55.000 e 28.000 anni fa, in particolare successivamente alla deposizione della Formazione di Citara (43.000-33.000 anni fa) (Gillot et al., 1982; Vezzoli et al., 1988). Il secondo periodo di deformazione, invece, può essere collocato tra 28.000 e 18.000 anni fa.

Negli ultimi 33.000 anni nell'area di risorgenza vi è mancanza di attività vulcanica probabilmente dovuta al fatto che tutta l'energia disponibile necessaria per generare eruzioni di media intensità è stata spesa in termini di energia meccanica per generare il sollevamento del blocco. Pertanto la risorgenza del blocco costituisce, da un punto di vista energetico, un'alternativa ad una eruzione di medie dimensioni.

3) Modello di Zuppetta et alii (1993): a questi due modelli può aggiungersi un terzo che è

stato proposto da Zuppetta et alii (1993) e che riguarda l'evoluzione dell'isola negli ultimi 35 ka, il modello è stato ricostruito attraverso uno studio delle forme ottenuto abbinando ai dati di campagna le immagini spettrali da aereo. L'analisi statistica dei lineamenti delle faglie ha consentito l'individuazione sull'isola di trends direzionali i cui valori angolari sono molto vicini a quelli evidenziati da ricerche svolte nell'appennino campano. Risulta quindi che l'attività vulcanica recente, sia stata guidata a Ischia e più in generale nella Piana Campana, dalla tettonica regionale. Se ne deduce che i lineamenti dell'isola sono l'espressione di superfici strutturali antiche che hanno svolto un ruolo importante fino alle fasi tettoniche del pleistocene inferiore e che sono state successivamente riprese anche per la messa in posto di prodotti dell'attività vulcanica recente. Il sollevamento del Monte Epomeo e la genesi del graben di Ischia, interpretato come un bacino di pull-apart di primo ordine dovuto all'attività delle faglie strike-slip sinistre ad andamento antiappenninico, sono determinati proprio dai movimenti lungo queste faglie. I centri eruttivi hanno una distribuzione localizzata soprattutto in corrispondenza di strutture distensive.

Altro aspetto fondamentale da analizzare è l'attività vulcanica che ha interessato l'isola che secondo Vezzoli (1988) può essere suddivisa in due cicli: il primo ciclo, più antico, comprende le prime due fasi di attività vulcanica (età compresa tra > 150.000 anni e 75.000 anni); il secondo ciclo, comprendente le tre successive fasi di attività, è caratterizzato dal sollevamento vulcano-tettonico del Monte Epomeo.

I FASE - I prodotti vulcanici più antichi hanno un'età di circa 150 ka e affiorano principalmente lungo la linea di costa, nel settore sud est. Questi appartengono ad un complesso vulcanico in parte eroso e ricoperto dai prodotti dell'attività più recente (Vezzoli, 1988). Tali depositi, caratterizzati da depositi pomiceo con intercalazioni di scorie, formano la struttura interna del Monte Vezi e sono affioranti nella falesia lungo la Spiaggia di San Pancrazio.

I prodotti successivi costituiscono la Formazione Inferiore della Scarrupata di Barano ed affiorano lungo la Scarrupata stessa e a Punta di San Pancrazio: si tratta di tufi e breccie di flusso piroclastico. La maggior parte di questi prodotti è stata erosa dall'azione del mare o è stata sepolta dai prodotti delle eruzioni successive.

II FASE – I prodotti di età compresa tra i 150.000 e i 75.000 anni fa, sono esposti principalmente lungo i bordi meridionali dell'isola. Questa fase è costituita quasi esclusivamente dalla messa in posto di duomi lavici. Questi affiorano nelle porzioni sud-orientale, sud-occidentale e settentrionale dell'isola, delineando la forma di un'ipotetica caldera

formatasi intorno ai 150.000 anni (Chiesa et al., 1987; Poli et al., 1989). Tra i 75.000 e 55.000 anni fa, il vulcanismo ischitano ha conosciuto un periodo di stasi che è testimoniato sia dalla mancanza di prodotti vulcanici, sia da paesaggi erosionali localmente marcati da formazioni sedimentarie. Si tratta di depositi di versante localizzati a Monte Vico e Punta Imperatore, o alluvionali, presenti nella Scarrupata di Barano e Porticello.

III FASE – I prodotti di età compresa tra 55.000 e 33.000 anni fa, vede la ripresa dell'attività vulcanica, caratterizzata dall'eruzione, fortemente esplosiva del Tufo Verde dell'Epomeo e costituiscono la parte sommitale e la copertura della struttura del M. Epomeo (Figura 3-4). Questa eruzione fortemente esplosiva, il cui centro di emissione sarebbe ubicato in mare al largo tra S. Angelo e i Maronti, fu responsabile della formazione di una caldera che occupava la parte centrale dell'isola e che poi fu parzialmente colmata dai flussi piroclastici prodotti dall'eruzione stessa.

L'ossatura del M. Epomeo è formata dal deposito piroclastico del Tufo Verde che affiora solo alle quote più elevate, mentre in gran parte dell'isola si rinviene come deposito caotico, rimaneggiato da fenomeni franosi. Dopo la fase di calderizzazione e di sommersione di una vasta area dell'isola ha inizio il processo di risorgenza che produrrà il sollevamento del settore centrale dell'isola e la struttura del M. Epomeo. Le ripetute sommersioni, seguite da emersioni, sono testimoniate dai depositi marini rinvenuti a quote diverse. Il Tufo Verde depositato in ambiente subacqueo è attualmente esposto al M. Epomeo e si distingue per la tipica colorazione verde dovuta al lungo contatto con l'acqua di mare. Il Tufo Verde, depositato in ambiente subaereo, è attualmente esposto al M. Vico, a Sant'Angelo ed alla Scarrupata di Barano ovvero lungo la periferia dell'isola e non presenta colorazione verde.

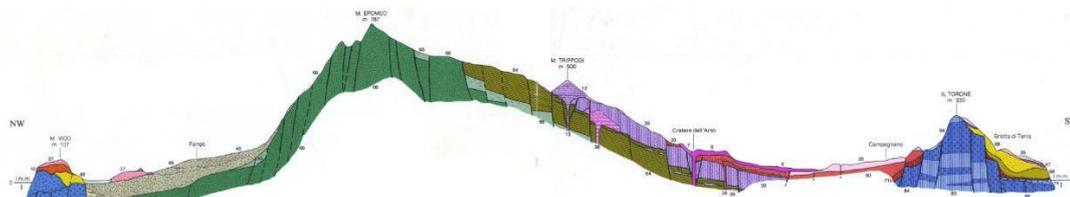


Figura 3-4 – Sezione geologica I (Vezzoli 1988).

L'azione congiunta del campo di sforzi regionale e di quello locale, associata alla spinta delle masse magmatiche, hanno prodotto lo smantellamento del M. Epomeo, secondo una struttura ad anfiteatro aperta verso sud, generando una morfologia tipica di un'avalanche caldera dovuta a fenomeni vulcanici esplosivi di tipo freatico o al collasso del versante per il carico dell'apparato.

Nel complesso, questa fase eruttiva è caratterizzata da prodotti costituiti da banchi di lapilli

e brecce pomicee di caduta con alla base una colata di lava intercalata, che vengono raggruppati nella Formazione del Pignatiello, in quella del Tufo Verde di Monte Epomeo e nella Formazione di Citara.

IV FASE – Tale fase di attività vulcanica, relativamente a breve distanza dalla precedente, si concentra nel settore sud-occidentale dell'isola (nell'area di Panza). Verso est, furono attivi altri centri eruttivi ubicati in corrispondenza degli Scogli di Sant' Anna e nell' area di Monte di Vezzi (i centri di Monte Cotto, Monte di Vezzi e Grotta di Terra). L'inizio di questa fase è segnato dall'eruzione del magma trachibasaltico di Grotta del Mavone, a sud di Punta Imperatore, lungo la costa sud-occidentale dell'isola, circa 28.000 anni fa.

V FASE – Circa 10.000 anni fa è cominciato un periodo di attività, dopo un periodo di stasi relativamente lungo, ed è proseguito anche in epoca storica con una serie di eruzioni sia effusive che esplosive alternate a lunghi periodi di quiescenza. L'ultima eruzione è avvenuta nel 1302 d.C. determinando la formazione della colata lavica dell'Arso. La maggior parte dei centri eruttivi attivi di questo periodo è situata nella depressione posta ad est del M. Epomeo e comprende M. Trippodi, M. Rotaro, S. Alessandro, Ischia Porto e Molaro. Solo alcuni centri, come ad esempio quelli da cui si sono originati la colata lavica di Zaro e il deposito piroclastico dell'unità di Chiarito, sono ubicati al di fuori dell'area descritta. Tale attività è strettamente legata al meccanismo di risorgenza che ha permesso l'ascesa del magma in superficie (Orsi et al.; Marotta, 2001, de Vita et al., 2010).

3.2 Assetto stratigrafico

Il comune di Lacco Ameno, oggetto del presente lavoro, è il più piccolo dei Comuni Ischitani, ma presenta ugualmente una grande variabilità geologica. È infatti possibile distinguere diverse aree (Figura 3-5).

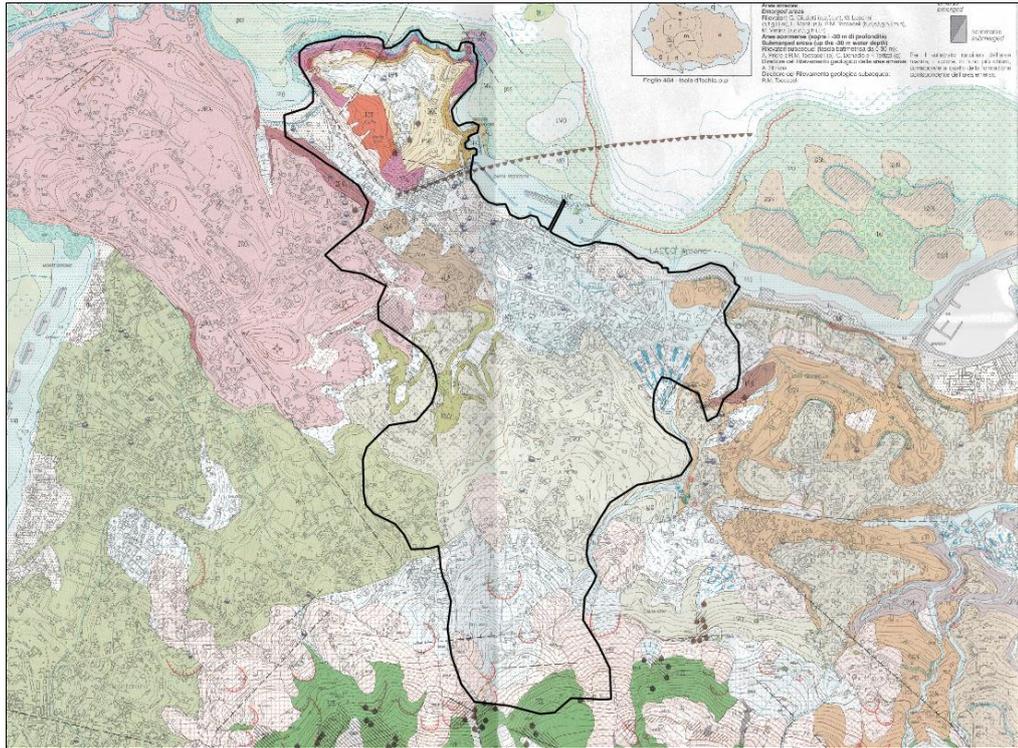


Figura 3-5 Stralcio carta Geologica (Sbrana & Toccaceli 2011) con indicazione del limite comunale di Lacco Ameno.

La prima area, ubicata a sud del comune, è caratterizzata dai prodotti in affioramento del Tufo Verde del Monte Epomeo, lungo scarpate con pendenze elevate (circa 50°). Tali tufi in affioramento si presentano massivi, saldati, di colore da grigio chiaro al verdastro, alterati dall'azione idrotermale e con spessore di circa 150 m. In Figura 3-6 sono indicati con la sigla PZE (Tufo del Pizzone in Sbrana e Toccaceli 2011, facies del Tufo Verde del Monte Epomeo Aucct.) in colore verde.

Alle pendici del Monte Epomeo, in località Crateca, tali prodotti presentano una coltre di copertura derivante dal disfacimento superficiale del tufo con spessori di circa 20 m. Le coltri sono associabili a depositi di frana antichi e recenti, composti da materiale eterogeneo ed eterometrico fino a blocchi monolitici di dimensioni superiori a vari metri cubi in matrice argilloso sabbiosa e sabbioso limosa (Figura 3-6).

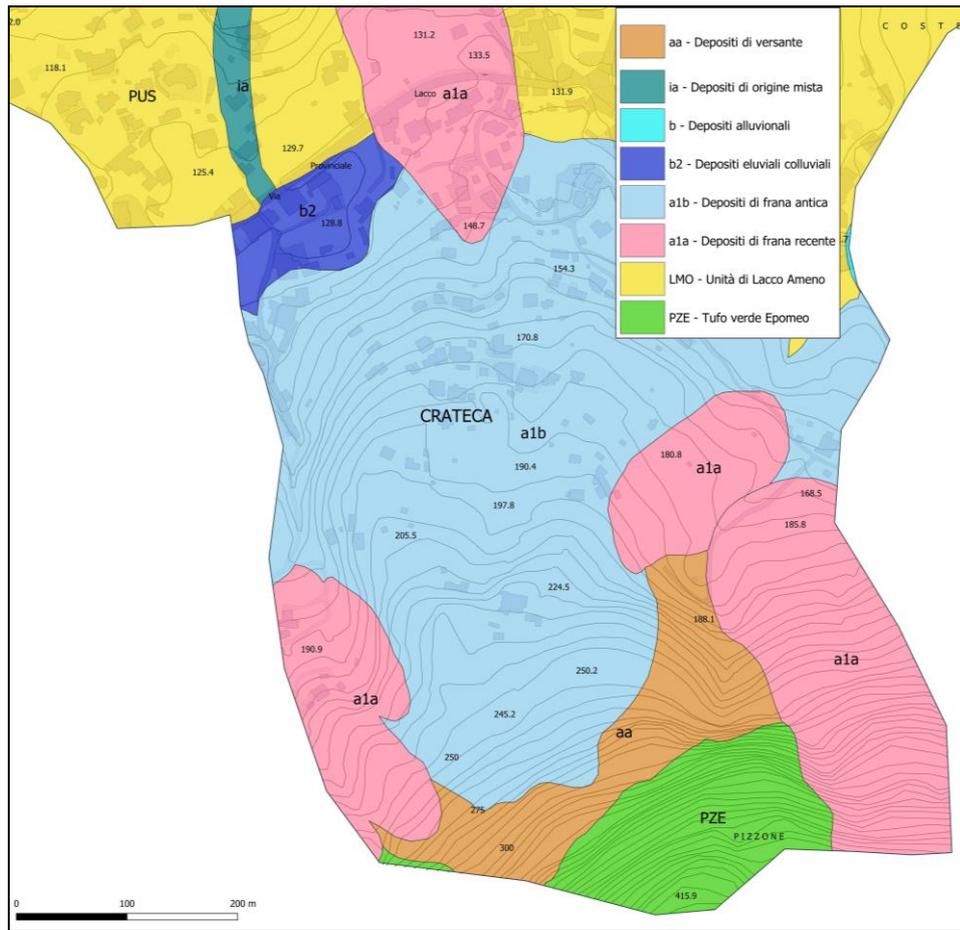


Figura 3-6 - Stralcio ingrandito carta geologica (Sbrana & Toccaceli 2011)- Località Crateca.



Figura 3-7 - affioramento dei depositi di frana antichi in via dei Carri, località Crateca.

Ad una quota più bassa rispetto alla precedente e in posizione adiacente ad essa è presente la seconda area, in corrispondenza della località Fango (Figura 3-8). Dal punto di vista morfologico può essere associata ad una conoide detritica di notevoli dimensioni, caratterizzata da prodotti di frana, del tipo debris flow e debris avalanche, derivanti dal collasso gravitativo

del settore settentrionale del blocco risorgente del Monte Epomeo, impostati sulla formazione del Tufo Verde, con spessori notevoli, variabili da 60 a 100 m, che occupano la quasi totalità della zona centrale comunale.

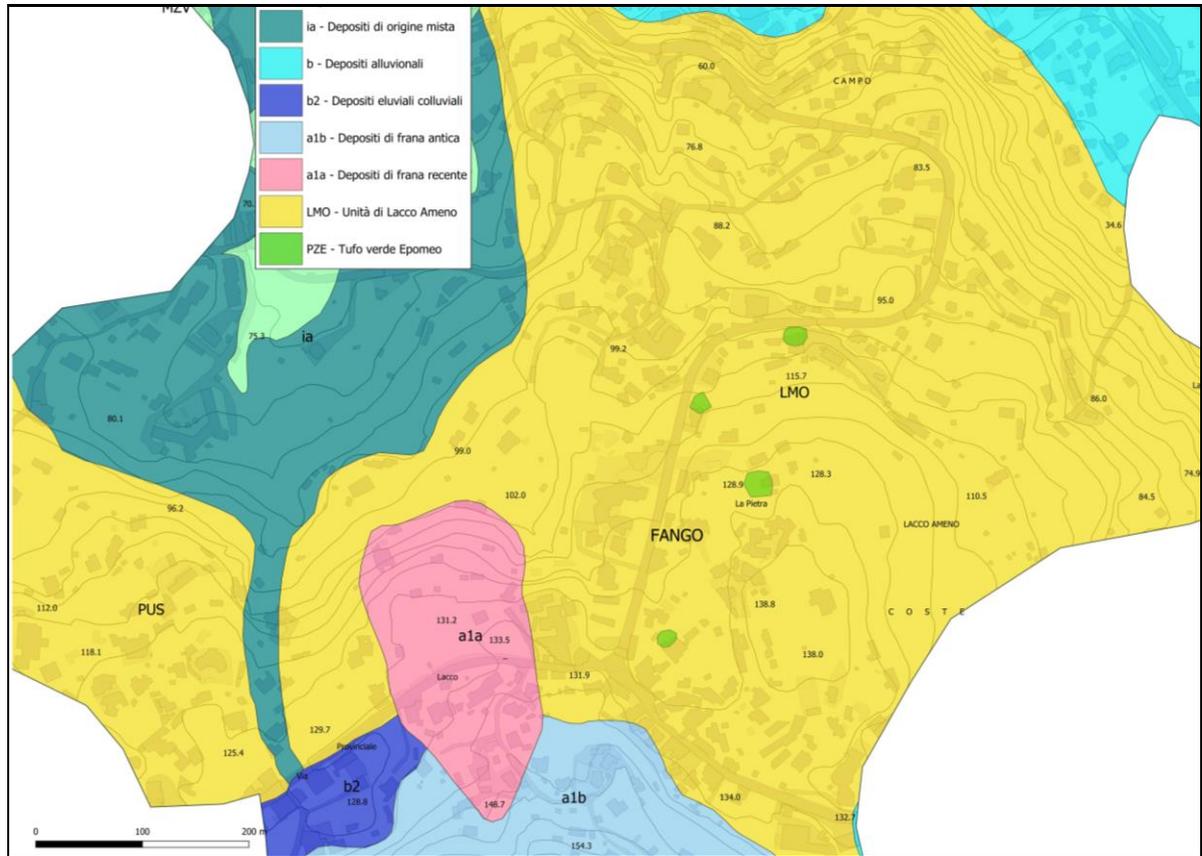


Figura 3-8 - Stralcio ingrandito carta geologica (Sbrana & Toccaceli 2011)- Località Fango.

Tale formazione identificata da Sbrana & Toccaceli 2011 come Unità di Lacco Ameno “LMO” risulta fortemente eterometrica; infatti è composta da una matrice a granulometria sabbioso limosa a tratti argillosa, massiva, in generale coerente e addensata (Figura 3-9) contenente spesso blocchi e mega-clasti tufacei di dimensioni tali da essere totalmente inglobati nelle murature degli edifici della zona, dal punto di vista geologico associabili ad olistoliti tufacei (Figura 3-10).

Tale formazione del tardo Pleistocene superiore-Olocene presenta una variabilità laterale e verticale importante, testimoniata dai risultati di indagini geognostiche pregresse e di nuova esecuzione.



Figura 3-9 - Affioramento dell'unità di Lacco Ameno, località Fango.



Figura 3-10 - Olistoliti tufacei, località Fango.

La terza area, occupa una ristretta parte del settore occidentale del comune di Lacco Ameno. Si differisce dalle altre per la locale presenza dell'unità di Mezzavia Vecchia, indicata da Sbrana & Toccaceli 2011 con la sigla "MZV" (Figura 3-11). La successione marino-continentale di piana costiera include depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie e argille sabbiose, terreni detritici caotici e comprende sedimenti marini di spiaggia fossilifera, attualmente sollevati a circa 55 m s.l.m., correlati a lembi di sabbie di spiaggia ritrovate in aree limitrofe.

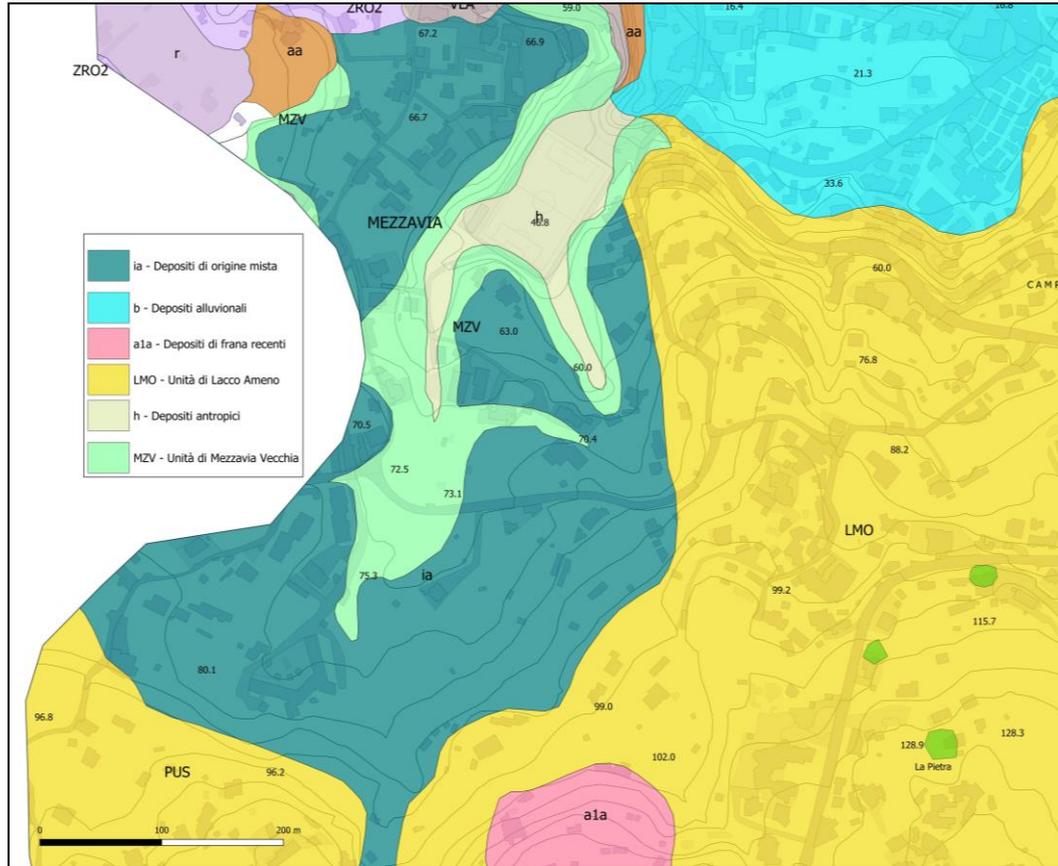


Figura 3-11 - Stralcio ingrandito carta geologica (Sbrana & Toccaceli 2011)- Località Mezzavia.

Tale formazione discordante sull'unità di Lacco Ameno e sul plateau lavico di Zaro, ha subito locali fenomeni di tettonizzazione per sollevamento, testimoniati da paleolinee di riva e superfici di abrasione estese tra Lacco ameno e Casamicciola Terme.

La quarta area ubicata nella zona nord occidentale del Comune è quella interessata dalla colata lavica di Zaro "ZRO2" e dalla formazione dei Tufi di Villa Arbusto "VLA" (Figura 3-12).

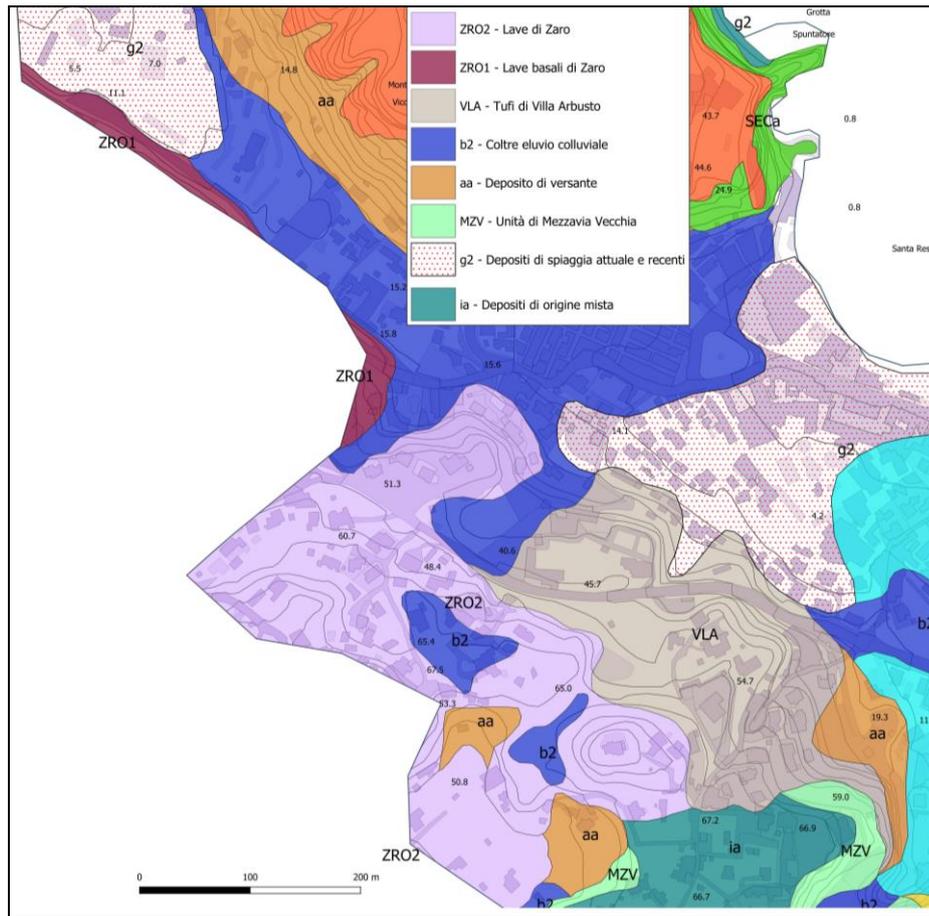


Figura 3-12 - Stralcio ingrandito carta geologica (Sbrana & Toccaceli 2011)- Località Zaro in viola, località Villa Arbusto in marroncino.

Le lave di Zaro sono state generate da un flusso di lava molto viscoso di dimensioni notevoli e con spessore di circa 100 m. Caratterizzate da lava nera trachitica a blocchi (Figura 3-13), le lave di Zaro sono associate ad un deposito basale massivo di breccie piroclastiche, ricche in matrice cineritica grossolana, di circa 20-25 m di spessore, contenente scorie trachitiche a testimonianza di un'eruzione esplosiva iniziale del centro eruttivo di Zaro, osservabili sul lato sinistro della baia di San Montano (Figura 3-14). Le breccie basali sono indicate in carta con la sigla ZRO1 (Sbrana & Toccaceli 2011).



Figura 3-13 - Affioramento della formazione delle Lave di Zaro.



Figura 3-14 - Affioramento delle breccie basali della formazione delle Lave di Zaro.

La formazione dei Tufi di Villa Arbusto messa in posto a contatto con le Lave di Zaro è rappresentata da tufi gialli stratificati ricchi in livelli di bombe e lapilli scoriacei e pomicei, con spessore di circa 5-10 m. La formazione prende il nome dall'omonimo Museo archeologico ivi impostato, la cui costruzione ha completamente coperto i pochi affioramenti visibili.

Spostandosi a nord, la quinta area riconoscibile è quella del promontorio di Monte Vico che rappresenta un duomo lavico ubicato tra la baia di San Montano e il cimitero Comunale di

Lacco Ameno (Figura 3-15).

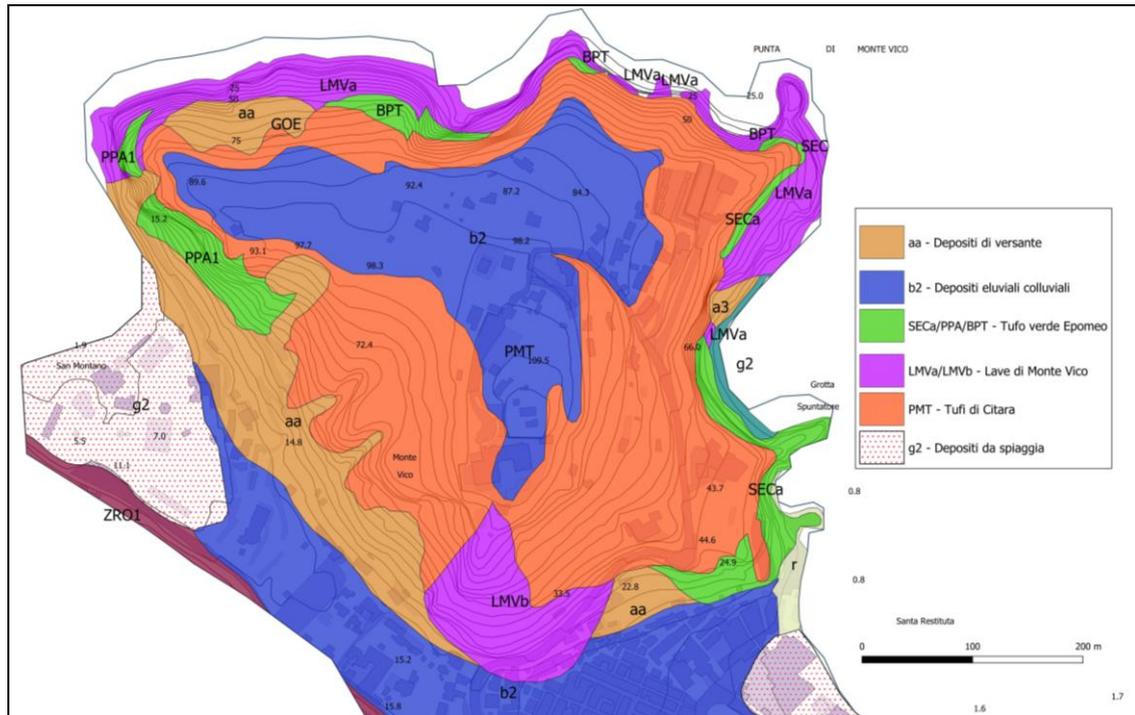


Figura 3-15 - Stralcio ingrandito carta geologica (Sbrana & Toccaceli 2011)- Località Monte Vico

Le lave che caratterizzano questa porzione comunale sono identificate con la formazione delle Lave di Monte Vico, trachitiche di colore grigio, da massive a grossolanamente stratificate. A tratti si presentano alterate, di colore rossiccio e altamente fratturate, ad esempio in corrispondenza degli affioramenti visibili lungo la strada che congiunge la località Ortola con il Cimitero di Lacco Ameno (Figura 3-16).



Figura 3-16 - Affioramento Lave Di Monte Vico adiacenti alla strada comunale del cimitero di Lacco Ameno.

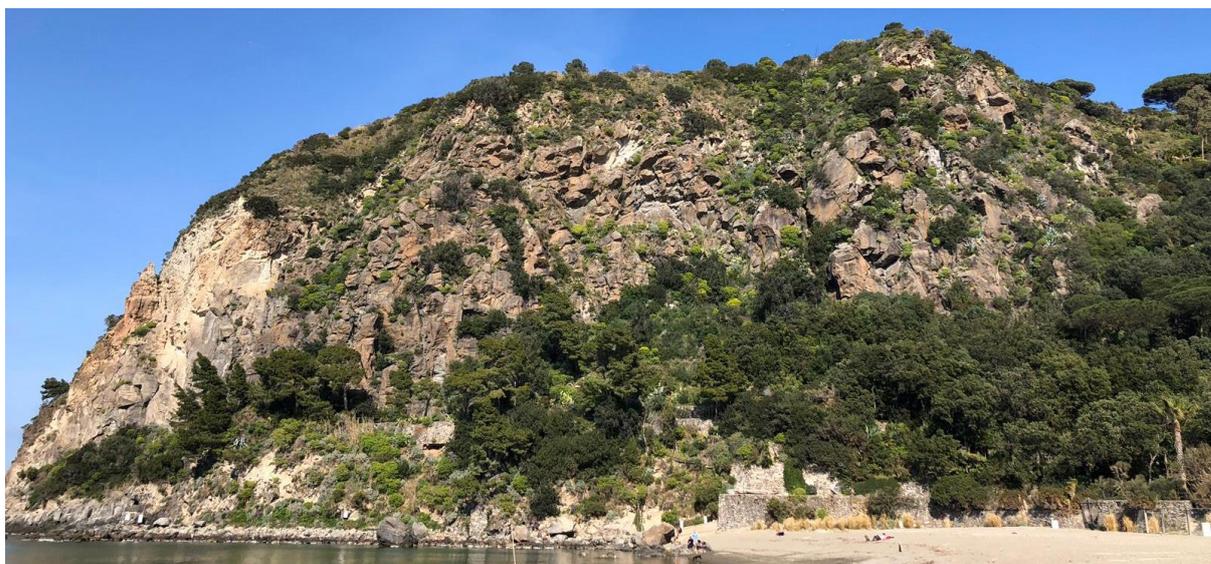


Figura 3-17 - Affioramento Lave Di Monte Vico viste dalla baia di San Montano.

I prodotti del centro eruttivo di Monte Vico sono separati per mezzo di un paleosuolo discordante ed irregolare dalla sovrastante facies recente del Tufo di Monte Epomeo e dei Tufi di Citara. Quest'ultimi sono derivanti da differenti centri vulcanici situati nei settori meridionale e occidentale dell'isola d'Ischia, non attualmente visibili ed ubicati a largo della costa ischitana.

I Tufi di Citara mantellano il duomo lavico di Monte Vico e si presentano estremamente complessi con intercalazioni di depositi di pomici da caduta, surge e flussi piroclastici, depositati in ambiente subaereo presentano una colorazione biancastra-giallastra (Figura 3-18).



Figura 3-18 - Affioramento Tufi di Citara – località Monte Vico.

Queste piroclastiti sono sormontate da una coltre eluvio-colluviale derivante dall'alterazione delle piroclastiti stesse; queste formano uno strato scarsamente addensato, pedogeneizzato a tetto.

Nella parte pedemontana dei versanti che bordano il rilievo sono presenti, infine, tipici prodotti detritici, derivanti dallo smantellamento delle porzioni a monte. Questi presentano associazioni litologiche differenti legate sia ai prodotti di origine che ai rimaneggiamenti subiti, come per esempio il trasporto e l'allontanamento ad opera del moto ondoso della parte più minuta, nei versanti costieri.

La marina di Lacco Ameno rappresenta la sesta area, differente dalle altre in termini geologico-stratigrafici e geomorfologici. Ad una quota molto più bassa rispetto alle altre aree, la zona della Marina è ubicata lungo la fascia costiera e nelle aree immediatamente retrostanti.

Dal punto di vista morfologico è identificabile con la presenza di terrazzamenti di tipo marino che si uniscono alla zona centrale della località Fango per mezzo di una fascia di raccordo del tipo falda detritica (Figura 3-19).

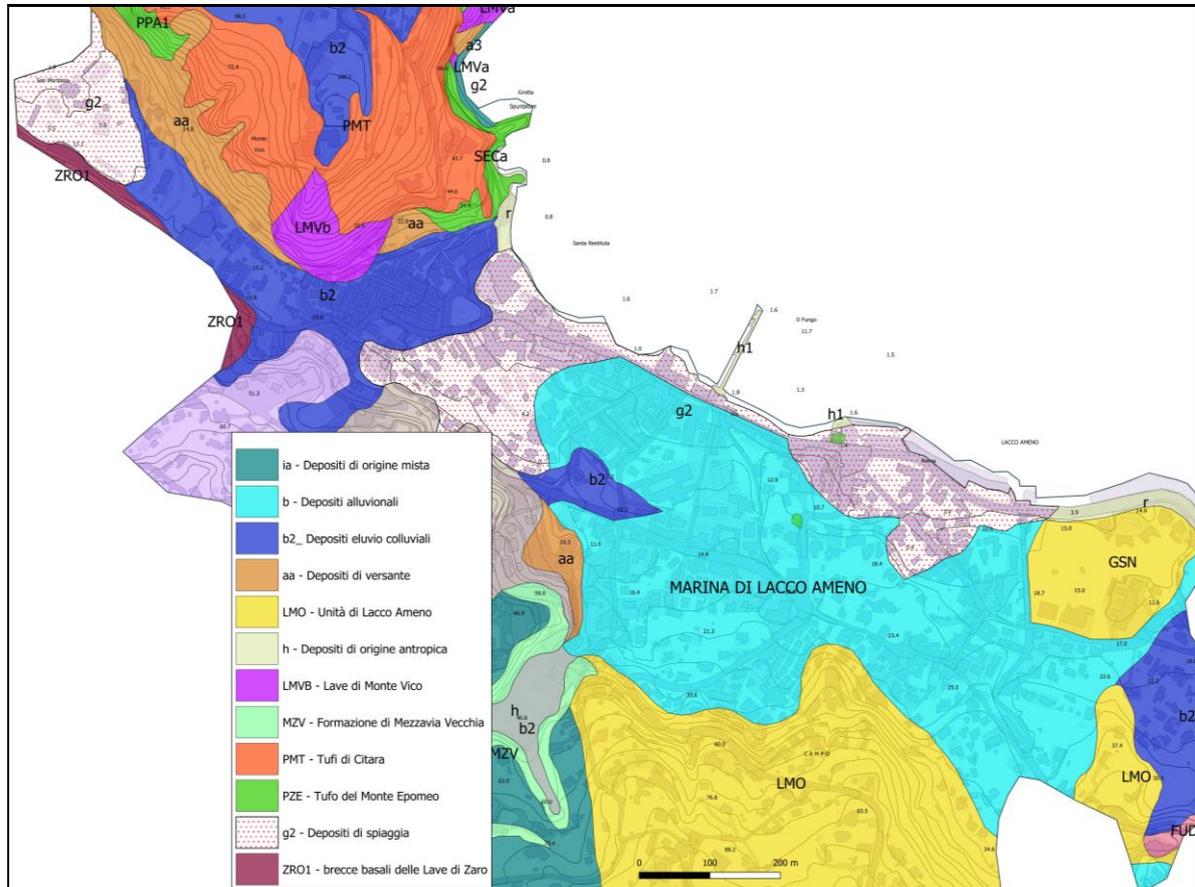


Figura 3-19 - Stralcio ingrandito carta geologica (Sbrana & Toccaceli 2011)- Località Marina di Lacco Ameno.

I depositi affioranti sono quelli di spiaggia, attuale e recente e quelli alluvionali e colluviali, eterometrici ed eterogenei a granulometria prevalentemente sabbioso limosa ed argillosa, con abbondante scheletro detritico.

Tali depositi di copertura sono impostati sull'unità della marina di Lacco Ameno caratterizzata dall'alternanza di argille torbose e di sabbie grigie e grigio azzurrognole, fossilifere e con locali intercalazioni di lenti sabbiose di ambiente deposizionale paludoso.

3.3 Assetto geomorfologico

Degna di nota è la morfologia del territorio ischitano per la sua articolata e caratteristica orografia, per la presenza di intensi fenomeni erosivi dovuti alle acque dilavanti e all'alta erodibilità dei terreni prevalentemente tufacei ed argillosi, per cui è caratteristica la presenza di fossi e burroni profondi, dall'andamento tortuoso, solcati da torrenti che spesso si perdono prima di giungere a mare.

L'assetto geomorfologico dell'isola d'Ischia risulta connesso alla sua evoluzione vulcano-tettonica. Le principali morfologie vulcaniche sono rappresentate da numerosi duomi lavici, principalmente rilevabili nel settore orientale del graben di Ischia. Tuttavia non mancano esempi di colate laviche affioranti, come quelle di Zaro, di Monte Rotaro e dell'Arso, che sepolte come quella di Rio Corbore. Numerose sono anche le forme crateriche.

Altro aspetto morfologico di rilevante interesse è la presenza di versanti subverticali a controllo strutturale strettamente connessi alla distribuzione dei lineamenti tettonici. Tali "pareti" si impostano sia su rocce lapidee (tufacee e laviche), variamente fratturate, che in terreni piroclastici sciolti. In particolare le creste tufacee che bordano il rilievo del Monte Epomeo verso N e verso E, sono interessate da un'intensa fratturazione che contribuisce ad isolare i blocchi in precarie condizioni di equilibrio e da cui si generano fenomeni di crollo.

Le coste sono assai incise e acclivi, intervallate da brevi arenili e promontori lavici; a luoghi, veri e propri litorali clastici e ristrette piane costiere si alternano a tratti di costa con alte falesie attive, con piccole insenature e pocket-beach.

I fenomeni di instabilità di versante sono ascrivibili ad eventi di crollo e colata. In generale essi si distribuiscono prevalentemente nei settori: settentrionale, occidentale e centrale dell'isola, nonché lungo tutta la fascia costiera e rientrano in stati di attività variabili dall'attivo allo stabilizzato sia naturalmente che artificialmente. Si osserva una concentrazione di scorrimenti traslativi nelle porzioni alterate più superficiali dei depositi detritici da debris-flow. Analoghe fenomenologie interessano le scarpate dei versanti planari del settore settentrionale del Monte Epomeo laddove affiorano depositi fumarolizzati ed alterati. Invece in corrispondenza delle pareti verticali o sub-verticali, che si impostano in materiali lapidei di natura tufacea e lavica, si generano fenomeni di crollo che producono massi di dimensioni variabili (Arrigoni et al., 1995; Mele & Del Prete, 1999).

Oltre alle forme descritte sono presenti morfologie attribuite a processi di instabilità riconducibili a fenomeni di debris-flow (Vezzoli, 1988; Fusi et al., 1990) corrispondenti a corpi detritici che, sotto forma di lobature più o meno ampie, si spingono fino alla costa dove talora vengono troncati dall'erosione del mare (Mele & del Prete, 1998; Del Prete & Mele, 1999). Tali fenomeni sono strettamente connessi all'evento vulcano-tettonico che ha maggiormente controllato l'evoluzione geodinamica dell'isola ed i processi morfodinamici, costituito dal sollevamento dell'horst del Monte Epomeo.

Oltre ai fenomeni franosi, il territorio dell'isola d'Ischia è stato anche interessato in passato da alluvionamenti con elevato trasporto solido associato alla presenza di un reticolo a regime

torrentizio che incide litologie ad alto grado di erodibilità, amplificati dal forte grado di antropizzazione del territorio.

Entrando nello specifico il territorio comunale di Lacco Ameno presenta un andamento per lo più montuoso-collinare, solo una piccola parte di esso, quella della marina di Lacco Ameno e delle fasce costiere si presenta sub pianeggiante.

Per lo studio geomorfologico del territorio è risultato necessario eseguire un dettagliato rilevamento di campagna da cui è emerso che la forte antropizzazione del Comune impedisce in molti casi il riconoscimento delle forme morfologiche presenti.

Tali rilevamento è stato integrato dalla lettura delle carte del Piano Stralcio per il rischio idrogeologico dell'Autorità di Bacino Regionale competente e dei cataloghi IFFI.

Il Comune di Lacco Ameno fa riferimento all'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale la quale ha trasmesso all'ufficio tecnico Comunale i dati vettoriali georeferenziati relativi alle aree a rischio individuate nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

Le carte di riferimento sono quelle dell'Ex AdB Nord Occidentale della Campania e sono riportate tutte le aree nell'ambito della definizione degli scenari di rischio presenti sul territorio del Comune di Lacco Ameno. Sono presenti aree a rischio variabile da R1 a R4 (rischio molto elevato in zona con presenza di infrastrutture).

Il comune di Lacco Ameno ricade all'interno di due fogli, i numeri 464030 e 464070 per i quali sono mostrati in figura degli stralci relativi agli scenari del rischio da frana.

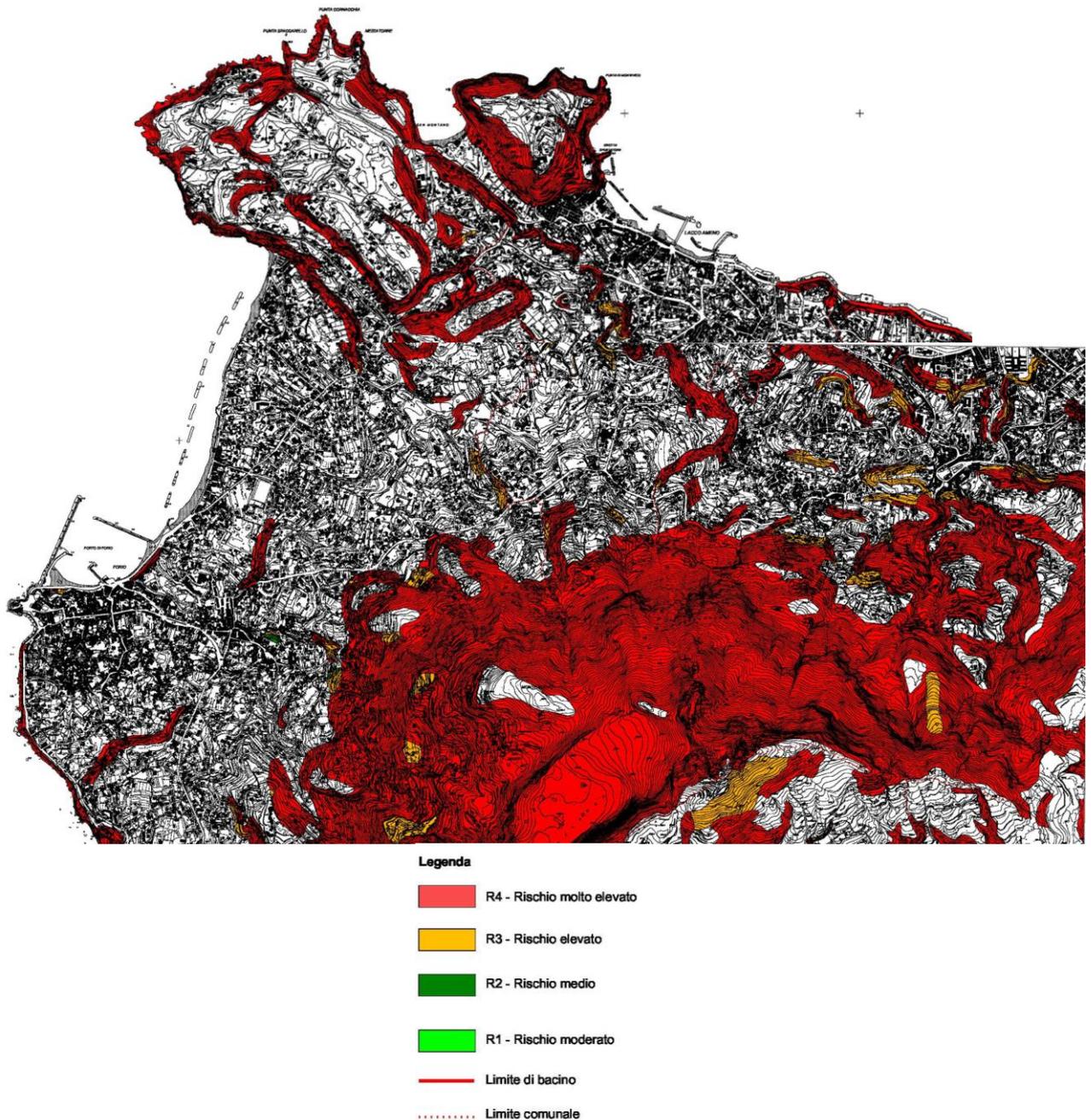


Figura 3-20 - Stralcio carta del Rischio Frana redatta dall'AdB Nord Occidentale della Campania.

Nella fattispecie le aree a rischio elevato e molto elevato, R3 e R4, vengono cartografate in località Monte Vico, Fango, Crateca e nei pressi della Villa Arbusto. Per queste aree la pericolosità è legata essenzialmente alla presenza di prodotti di spessori importanti di origine debris flow e debris avalanche e in corrispondenza di versanti rocciosi sub verticali in corrispondenza delle fasce costiere.

Secondo i criteri previsti dagli studi di Microzonazione Sismica sono da valutare, nello studio della cartografia del progetto PAI, solo le aree classificate R3 e R4 in relazione al rischio frana.

Nella sottostante Figura 3-21 è riportata la perimetrazione dei corpi di frana della banca dati del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia, ISPRA 2014) per il comune di Lacco Ameno.

Sono riportate in verde le frane da colamento lento e in rosso le frane da crollo/ribaltamento.

Per ciascuno frana sono identificati in rosso anche i PIFF (punti identificativi fenomeni franosi) e le direzioni delle frane dalle linee tratteggiate in nero.

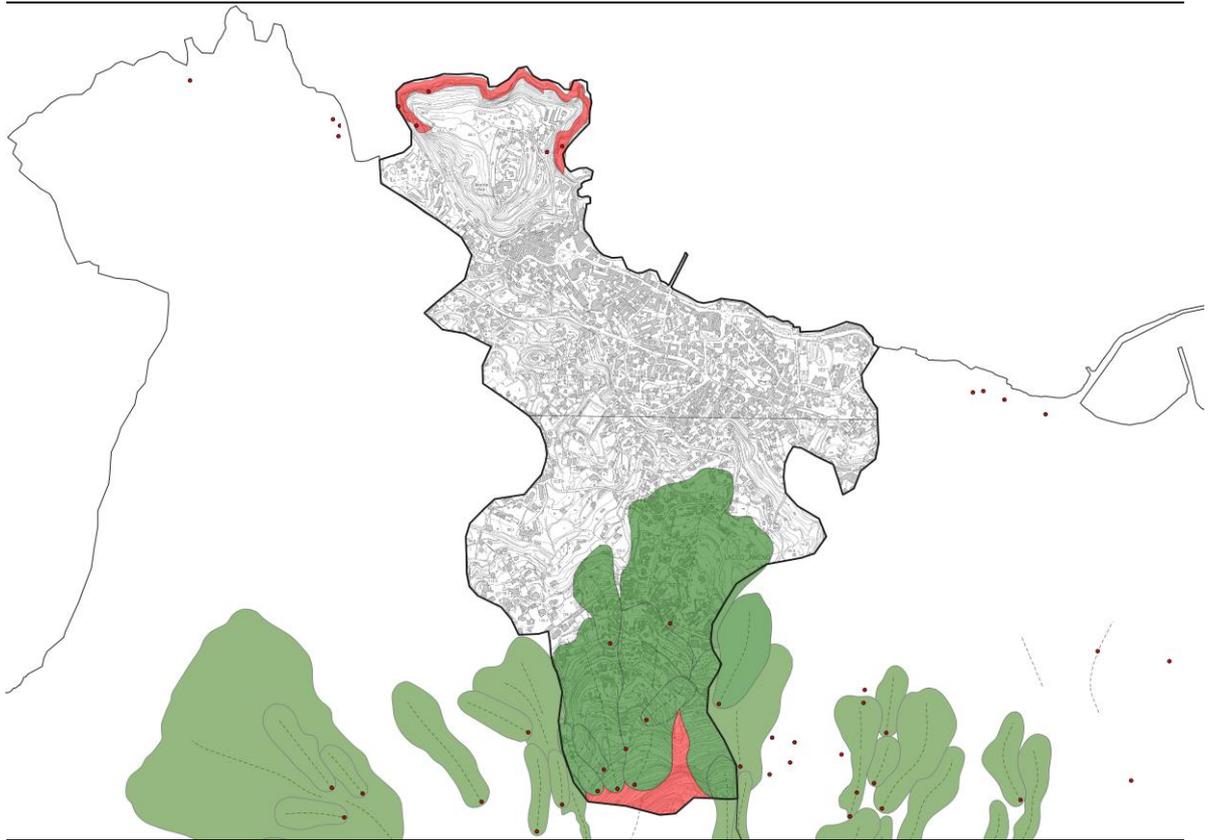


Figura 3-21 – Perimetrazione dei corpi di frana nel Comune di Lacco Ameno (IFFI-ISPRA,2014)

Le frane individuate sono di tipo colamento semplice o composto, sono frequenti dove, per fenomeni di alterazione idrotermale e fumarolizzazione, nella massa detritica prevale la componente argillosa e le caratteristiche morfometriche del versante sono favorevoli allo scorrimento delle coltri detritico-argillose. Per tali motivi, le fenomenologie franose di questo tipo risultano particolarmente evidenti in questo settore, lungo la fascia di raccordo tra il pedimonte e i versanti strutturali del Monte Epomeo, dove è particolarmente concentrata la distribuzione degli areali di alterazione idrotermale.

Particolarmente pericolosi e distruttivi risultano i fenomeni franosi del tipo “colata rapida di fango” che possono innescarsi lungo versanti, a medio-alta pendenza, la cui stratigrafia risulta

caratterizzata dalla presenza di coperture piroclastiche sciolte e/o debolmente addensate (cineriti, pozzolane), con orizzonte pedogenizzato e poggianti su substrato litoide e/o con una netta soluzione di continuità nelle caratteristiche litotecniche e stratigrafiche.

In generale le testate di frana possono trovarsi a quote anche molto elevate rispetto a quelle raggiunte dal materiale detritico a valle: si realizza così un dislivello di alcune centinaia di metri; i depositi assumono una geometria solitamente allungata che si adatta alla morfologia del territorio attraversato seguendo il reticolo idrografico o paleomorfologie sepolte. Le velocità sono nella maggior parte dei casi molto elevate, con un alto potenziale distruttivo al passaggio.

In alcuni casi il corpo di frana raggiunge e supera la linea di costa attuale. I materiali che costituiscono il corpo di frana risultano caratterizzati da una componente prevalentemente sabbiosa-limosa e argillosa con, a luoghi, abbondante scheletro detritico eterometrico, dal piccolo ciottolo al grosso blocco, (anche blocchi tufacei e pezzi di successione di alcuni metri cubi).

Nella fascia costiera del promontorio di Monte Vico e nella parte sommitale del Monte Epomeo, il progetto IFFI mette in evidenza la presenza di frane di tipo crollo/ribaltamento.

Le cornici sommitali dei versanti, impostate nella successione tufacea del Monte Epomeo, risultano caratterizzate dalla presenza di famiglie di discontinuità con forte carattere pervasivo; l'assetto geometrico delle discontinuità rispetto all'orientamento del versante esposto, individuando blocchi monolitici di varia dimensione, definisce uno dei principali aspetti predisponenti per l'innescio di fenomenologie franose del tipo crollo e/o ribaltamento. Molto spesso il crollo può evolvere in rotolamento lungo tutto il versante, così che i blocchi vengono portati anche molto lontano dall'area di alimentazione; in altri casi, i blocchi tufacei risultano ripresi da fenomeni franosi del tipo colamento e/o scoscendimento.

Ciò che è risultato evidente dallo studio del territorio comunale è che la porzione che presenta un andamento più articolato è quella meridionale, caratterizzata dalla presenza del Monte Epomeo.

Il versante è caratterizzato da una morfologia accentuata, disegnando un profilo fatto di pareti acclivi e morfologie terrazzate dislocate a più quote. È proprio lungo questo settore, tra la fascia pedemontana e il crinale del Monte Epomeo, che si ubicano le famiglie di faglie subverticali legate al sollevamento vulcano tettonico dell'horst del Monte Epomeo. Lungo il versante si riconoscono unità vulcaniche ed epiclastiche, nonché sedimentarie, dissecate e denudate in più punti a seguito di fenomeni franosi di varia entità e tipologia. Tutte le unità si presentano fortemente alterate per fenomeni fisico-chimici ed in alcuni punti, per alterazione

idrotermale; molto evidente risulta la fratturazione a carattere pervasivo delle unità tufacee che formano il blocco del Monte Epomeo e che contribuisce ad isolare blocchi eterometrici fino a qualche migliaio di metri cubi (Mele & Del Prete, 1998; Del Prete e Mele 199,2006).

L'acclività dell'area è molto accentuata ed è dovuta dalla presenza del Tufo di Pizzone, considerato il substrato geologico del comune di Lacco Ameno, litoide e molto fratturato a causa delle faglie normali che bordano il Monte Epomeo con direzione W-E e NE-SW, che determinano un ribassamento dei blocchi più settentrionali. In questa zona a causa delle grandi pendenze, dell'importante alterazione superficiale e della fratturazione profonda sono ben visibili blocchi di grandi dimensioni isolati e formazioni, significative per estensione, di coltri di depositi di versante (sigla "aa" in Sbrana & Toccaceli, 2011).

La zona sottostante, alle pendici del Monte Epomeo, è identificabile con una conoide di detrito che presenta il suo punto apicale in località Crateca e si estende verso nord passando per le località Fango e Pannella che ne rappresentano il corpo centrale. Lateralmente è delimitato a ovest dall'incisione torrentizia di Cava Petrone e a est da quella di Cava del Monaco. La morfologia risulta decisamente convessa e articolata da numerose irregolarità superficiali (hummocks), tipiche dei depositi da frana e paleo-frana del tipo debris flow e debris avalanche, in corrispondenza dell'unità di Lacco Ameno "LMO" (Sbrana & Toccaceli, 2011).

A luoghi si possono osservare, talora coperti dalla vegetazione e/o antropizzati, enormi blocchi di tufo verde dislocati lungo il versante a testimoniare una fenomenologia franosa e/o processi di alluvionamento intenso con trasporto di materiale solido di notevoli dimensioni. Il reticolo idrografico si presenta poco sviluppato gerarchicamente, ma profondamente inciso con evidenze di fenomeni franosi in atto e/o potenziali.

Le lobature dei depositi di frana, classificati come quiescenti e inattivi, si estendono verso nord e sono segnate da orli di terrazzamento in corrispondenza di scarpate dall'altezza variabile che in alcuni casi supera i 20 m.

Al piede del conoide si riconoscono differenti morfologie. A NW è bordato dal rilievo terrazzato costiero della formazione di Mezzavia, sollevato fino a 55 m s.l.m., discordante sull'unità di Lacco Ameno e sul plateau Lavico di Zaro e dai tufi e le tufiti della formazione di Villa Arbusto.

A Nord il conoide si raccorda alla piana costiera della Marina di Lacco Ameno su cui è edificato il centro storico, per mezzo di due conoidi di deiezione, ubicati allo sbocco di Cava Petrone e di Cava del Monaco e di una fascia di falda detritica caratterizzata da prodotti a granulometria più sottile rispetto a quelli del corpo centrale del conoide e che ne rappresentano

il piede.

All'estremità NE del Comune di Lacco Ameno si erge il promontorio di Monte Vico, caratterizzato da alte coste rocciose a falesia costituite dai prodotti Lavici di Monte Vico, dalle sovrastanti piroclastiti più recenti e dai lembi dei Tufi di Citara.

Il promontorio si estende dal cimitero di Lacco Ameno alla Baia di San Montano, la quale morfologicamente rappresenta una stretta valle alluvionale-costiera allineata in direzione NW-SE al margine di una faglia normale sepolta bordiera di Monte Vico, tra le sorgenti termali costiere e la zona del centro storico. Superfici terrazzate e sollevate a più altezze si rinvengono lungo l'allineamento costiero orientato circa EW, a partire dalla baia di San Montano fino nei pressi del Rotaro e Spiaggia degli Inglesi.

Il promontorio di Monte Vico è interessato nella sua parte sommitale da dissesti di versante associati a colate di detrito, che coinvolgono i depositi piroclastici sciolti (pomici, scorie, frammenti lavici e tufacei) presenti in superficie.

Generalmente, un ruolo non secondario ai fini della destabilizzazione è giocato dalle acque di infiltrazione, oltre ovviamente alla gravità, funzione della pendenza del versante esposto; le facies piroclastiche sciolte affioranti, risultano infatti, degradabili ed erodibili per la presenza di una elevata quantità di inclusi lapidei eterometrici ed una minore cementazione, per cui risulta possibile la caduta di ciottoli e/o di fenomeni di sgretolamento dovuta sia ad aumenti di pressione interstiziale e/o come è accaduto durante il terremoto del 21 agosto scorso, ad un aumento degli sforzi di taglio, legati alle vibrazioni ad alta frequenza. I blocchi allentati si distaccano e scendono lungo il pendio fino ad accumularsi ai piedi dello stesso, da dove vengono allontanati ad opera delle correnti e del moto ondoso, impedendo di fatto l'evoluzione in termini di slope replacement.

La presenza di una coltre vegetazionale di tipo arbustivo nel settore sommitale del versante, se da un lato esercita un discreto contenimento del terreno superficiale mediante gli apparati radicali, dall'altro determina un aggravio di peso e azioni applicate sul pendio, quindi a svantaggio di sicurezza.

Nel settore basale della falesia, dove sono evidenti piccoli sgrottamenti, la fratturazione svolge un ruolo determinante nell'instaurarsi dei fenomeni franosi, contribuendo ad isolare blocchi in precarie condizioni di equilibrio; i dissesti, in questo caso riconducibili a fenomeni di sliding (scivolamenti) e toppling (ribaltamenti,) sono legati alla fratturazione delle rocce laviche presenti e all'effetto destabilizzante che il moto ondoso, durante le mareggiate, svolge, sia iniettando acqua in pressione all'interno delle fratture, sia producendo continue

sollecitazioni dinamiche a seguito dei microsismi generati dall'impatto delle onde sulla costa.

3.4 Elementi tettonici

Il fenomeno tettonico principale che ha condizionato l'assetto strutturale attuale dell'Isola d'Ischia è iniziato durante la III fase di attività vulcanica, a seguito dell'intrusione di nuovo magma nel sistema che ha causato il sollevamento del blocco centrale dell'isola di almeno 900 m negli ultimi 30.000 anni (Orsi et al., 1991) (Figura 3-22). Molin et al., (2003) suggeriscono che l'innalzamento asimmetrico del blocco sia in gran parte controllato dall'attività di faglie inverse ad alto angolo, nel settore più esterno della zona di risorgenza, nel settore periferico settentrionale del blocco (Figura 3-22 a). Queste faglie sono direttamente indotte dal sollevamento differenziale (Acocella et al., 2000). L'attività sismica si verifica lungo la parte più superficiale di queste faglie innescando variazioni nell'attività idrotermale (Figura 3-22 b).

Le faglie normali si sviluppano nella parte più interna della periferia settentrionale del blocco. La loro formazione, secondo tali autori, è legata allo scorrimento gravitazionale dei volumi delimitati dalle faglie inverse (Figura 3-22 c).

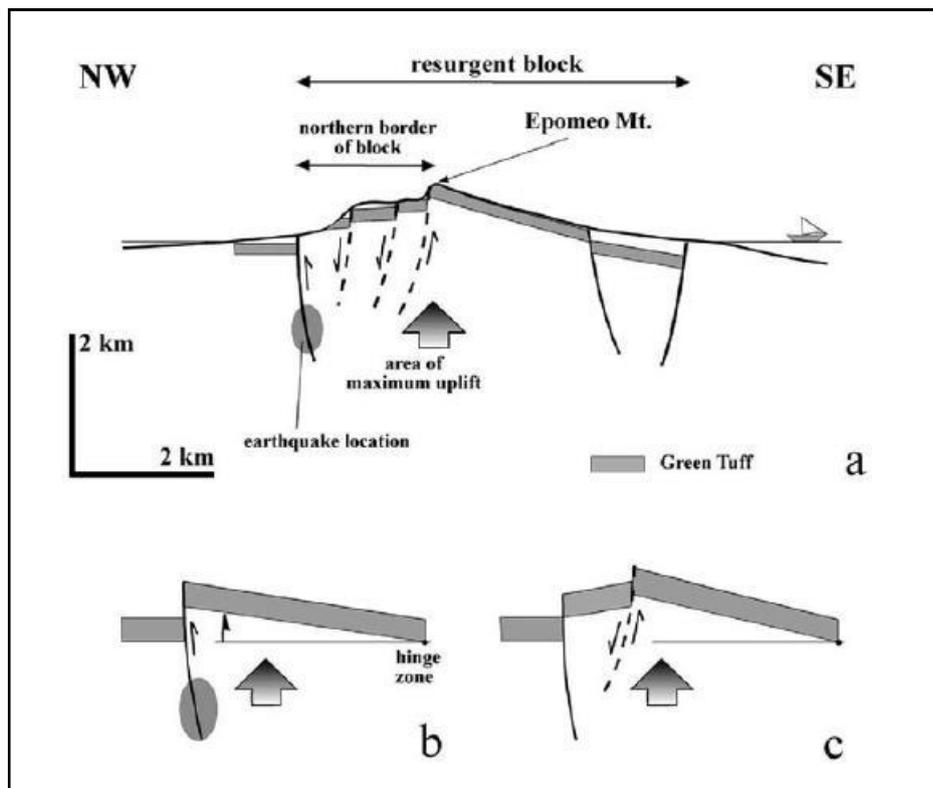


Figura 3-22 - Fenomeno della risorgenza. a) configurazione attuale; b) attività sismica innescata da alcune faglie inverse; c) collasso del blocco sollevato a causa del proseguire dell'attività delle faglie inverse con contemporanea formazione di faglie estensionali, ritenute responsabili della attuale sismicità. Interpretazione proposta da Molin et al. (2003).

Sintetizzando, l'assetto strutturale dell'isola risulta essere caratterizzato da una caldera

periferica e dall'alto strutturale e morfologico centrale del Monte Epomeo, interpretato come un Horst vulcano-tettonico (Rittmann, 1930; Fusi et al., 1990; Gillot, 1982; Vezzoli, 1988), risultato del precedentemente descritto fenomeno di risorgenza (Orsi et al., 1991).

Chiesa e Vezzoli (1983) suddividono strutturalmente e morfologicamente l'area di Ischia in quattro aree (Figura 3-23):

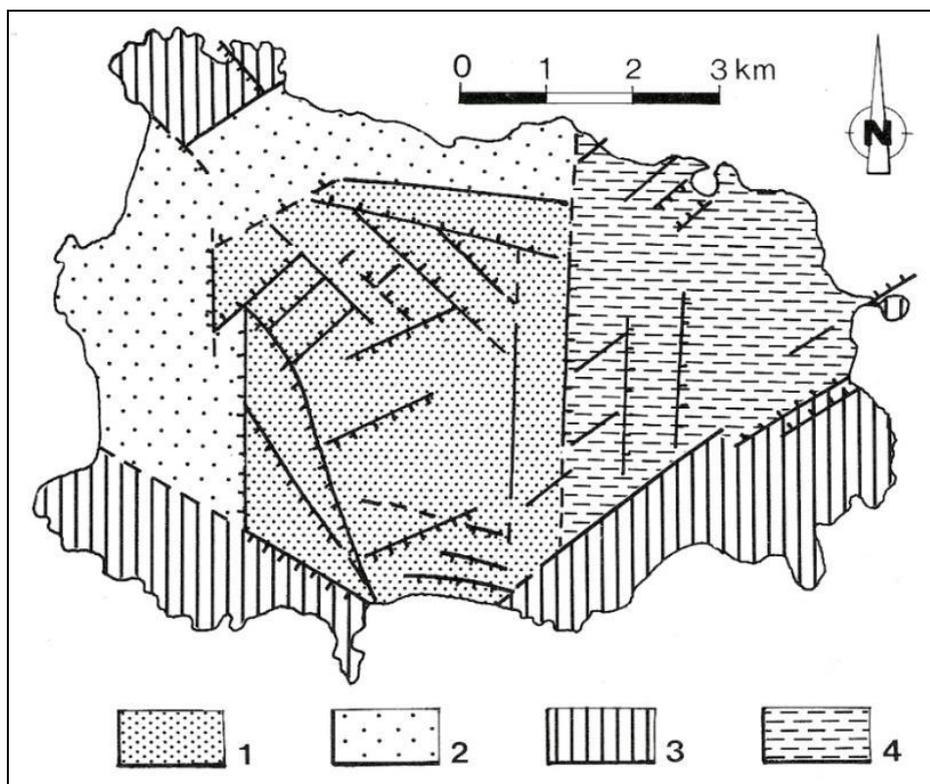


Figura 3-23 - Schema strutturale dell'Isola d'Ischia. 1) Horst di M. Epomeo. 2) Aree depresse marginali all'Horst. 3) Dorsale di M.te Vezzi-Torone-Cotto, Panza e Monte Vico. 4) Graben d'Ischia (Chiesa & Vezzoli, 1983).

- 1) L'Horst del Monte Epomeo (787 m s.l.m.) è delimitato da faglie con direzione N-S ed W-O. Il rilievo del Monte Epomeo è costituito principalmente dall'enorme espandimento ignimbrico del Tufo Verde datato intorno a 55.000 anni fa.
- 2) Il Graben di Ischia è rappresentato dall'area depressa del settore nord-orientale dell'Isola ed è limitato ad ovest dalla faglia marginale del Monte Epomeo e a sud-est dalla faglia Barano-Carta Romana ad andamento antiappenninico (NE-SW). Litologicamente è costituito da prodotti sia lavici che piroclastici dei centri vulcanici recenti (Figura 3-23).
- 3) Il blocco stabile del Monte Torone-Vezzi-Cotto, che costituisce la dorsale sud-orientale dell'isola, è limitato a nord-ovest dalla faglia Barano-Carta Romana ad andamento NE-SW e a Sud-Est dal mare. Questo blocco rappresenterebbe la testimonianza del complesso vulcanico antico, interessato alla fine della sua attività, intorno ai 130.000

anni fa, dal collasso calderico in corrispondenza dell'attuale zona centrale dell'isola.

- 4) Le aree depresse marginali dell'Horst del Monte Epomeo, sono costituite da una serie di accumuli di frane di crollo e di colata di materiali del Tufo Verde che hanno ricoperto gran parte dell'area occidentale e meridionale, a seguito del denudamento dei fianchi più ripidi dell'Horst.

Attualmente il versante meridionale del blocco strutturale del Monte Epomeo e il settore NW dell'isola sono caratterizzati da frane ascrivibili sia all'instabilità gravitativa dovuta alle forti pendenze dei versanti, sia allo scuotimento relativo ai forti terremoti che hanno colpito l'isola in tempi storici (Vezzoli, 1988; Alessio et al 1996).

I forti terremoti storici, tra cui Casamicciola del 1881 e 1883 (Cubellis, 1985; Servizio Sismico Nazionale, 1998), sono correlati alle faglie a direzione E-W e WNW-ESE che bordano il settore più settentrionale dell'isola; la deformazione recente è localizzata nella fascia settentrionale che va da Casamicciola alle propaggini settentrionali del Monte Epomeo (Alessio et al., 1996).

L'orientazione del sistema estensionale del settore settentrionale di Ischia, consistente con il campo di deformazione regionale recente ed attuale (Fusi et al., 1990), suggerisce una possibile relazione tra il campo di deformazione regionale e la dinamica recente dell'isola. Lo stato deformativo dell'isola risulta governato sia dal campo di stress regionale sia dai fattori che determinano la risorgenza calderica.

I sistemi di faglie che interessano l'isola possono essere distinti in quattro gruppi (Nappi, 2006):

- a) faglie ad orientazione E-W e WNW-ESE che bordano il settore nord del Monte Epomeo;
- b) il sistema di faglie NE-SW che taglia i depositi del settore orientale;
- c) faglie ad orientazione NW-SE relative al settore NO dell'isola;
- d) le faglie NNW-SSE e N-S che bordano il settore orientale ed occidentale del Monte Epomeo.

Nel Database of Individual Seismogenic Sources (DISS) dell'INGV (DISS; <http://diss.rm.ingv.it/diss/>) la sorgente sismogenetica che si presume responsabile dei più forti terremoti storici dell'isola di Ischia è denominata ITIS068 - Casamicciola Terme (Figura 3-24).



Figura 3-24 - Strutture sismogenetiche riportate nel Database of Individual Seismogenic Sources - DISS, per l'area in esame.

Nel comune di Lacco Ameno, sono individuabili intorno al Monte Vico e lungo le falesie una serie di faglie a differente orientazione che delimitano e dissecano le lave dell'omonimo centro eruttivo (75 ka). L'attività di queste faglie non coinvolge i Tufi di Citara.

Alcuni segmenti di faglia a direzione NE-SW delimitano il duomo della Fundera, probabilmente messo in posto in corrispondenza di una struttura morfotettonica ad orientamento E-W lungo cui sono presenti numerose sorgenti Termali (Bagni e la Rita nel Comune di Casamicciola Terme).

Lo studio dell'assetto strutturale del Comune di Lacco Ameno è stato mirato all'individuazione degli elementi significati per uno studio di Microzonazione Sismica. Secondo quanto stabilito negli ICMS (Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica) risulta necessario riconoscere le faglie eventualmente presenti sul territorio in funzione, tra le altre caratteristiche, del loro stato di attività. È considerata attiva una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene Superiore-Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno. Questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).

Nel corso dei rilevamenti di campagna eseguiti e degli studi di dettaglio condotti per il comune di Lacco Ameno, tutte le faglie individuate, e riportate nella Carta Geologico-Tecnica prodotta ed allegata al presente lavoro, sono risultate non potenzialmente attive e capaci, ovvero che hanno determinato un coinvolgimento dei terreni del Pleistocene medio-superiore, ma non di depositi più recenti di 40.000 anni.

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

Nel territorio comunale di Lacco Ameno si rinvengono terreni di natura vulcanica derivanti da differenti centri eruttivi, non sempre riconoscibili, in gran parte distrutti o ricoperti dai prodotti dell'attività successiva (Carlino et al., 2006) e da depositi caotici, derivanti da fenomeni franosi che hanno interessato i versanti del Monte Epomeo (De Vita et al., 2006).

In particolare sono state cartografate e individuate diverse coltri di coperture associabili a:

- ✓ depositi di frana antichi e recenti, composti da materiale eterogeneo ed eterometrico fino a blocchi monolitici di dimensioni superiori a vari metri cubi in matrice argilloso sabbiosa e sabbioso limosa;
- ✓ prodotti di frana, del tipo debris flow e debris avalanche, derivanti dal collasso gravitativo del settore settentrionale del blocco risorgente del Monte Epomeo;
- ✓ depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie e argille sabbiose, terreni detritici caotici e comprende sedimenti marini di spiaggia fossilifera;
- ✓ intercalazioni di depositi di pomici da caduta, surge e flussi piroclastici, depositati in ambiente subaereo presentano una colorazione biancastra-giallastra;
- ✓ depositi di spiaggia, attuale e recente, depositi alluvionali e colluviali, eterometrici ed eterogenei a granulometria prevalentemente sabbioso limosa ed argillosa, con abbondante scheletro detritico.
- ✓ depositi costituiti da alternanze di argille torbose e di sabbie grigie e grigio azzurrognole, fossilifere e con locali intercalazioni di lenti sabbiose di ambiente deposizionale paludoso.

Le coperture elencate poggiano su substrati geologici costituiti essenzialmente da:

- ✓ Tufi massivi, saldati, di colore da grigio chiaro al verdastro, alterati dall'azione idrotermale;
- ✓ Lave trachitiche nere costituite da depositi massivi di breccie piroclastiche, ricche in matrice cineritica grossolana di circa 20-25 m di spessore, contenente scorie trachitiche;
- ✓ Tufi gialli stratificati ricchi in livelli di bombe e lapilli scoriacei e pomicei;
- ✓ Lave trachitiche di colore grigio, da massive a grossolanamente stratificate

L'assetto geomorfologico dell'isola d'Ischia risulta connesso alla sua evoluzione vulcano-tettonica. Le principali morfologie vulcaniche sono rappresentate da numerosi duomi lavici, principalmente rilevabili nel settore orientale del graben di Ischia. Tuttavia non mancano esempi di colate laviche affioranti, come quelle di Zaro, di Monte Rotaro e dell'Arso, che sepolte come quella di Rio Corbore. Numerose sono anche le forme crateriche.

Altro aspetto morfologico di rilevante interesse è la presenza di versanti subverticali a controllo strutturale strettamente connessi alla distribuzione dei lineamenti tettonici. Tali “pareti” si impostano sia su rocce lapidee (tufacee e laviche), variamente fratturate, che in terreni piroclastici sciolti. In particolare le creste tufacee che bordano il rilievo del Monte Epomeo verso N e verso E, sono interessate da un’intensa fratturazione che contribuisce ad isolare i blocchi in precarie condizioni di equilibrio e da cui si generano fenomeni di crollo.

Le coste sono assai incise e acclivi, intervallate da brevi arenili e promontori lavici; a luoghi, veri e propri litorali clastici e ristrette piane costiere si alternano a tratti di costa con alte falesie attive, con piccole insenature e pocket-beach.

Nel corso dei rilevamenti di campagna eseguiti e degli studi di dettaglio condotti per il comune di Lacco Ameno, tutte le faglie individuate, e riportate nella Carta Geologico-Tecnica prodotta ed allegata al presente lavoro, sono risultate non potenzialmente attive e capaci, ovvero che hanno determinato un coinvolgimento dei terreni del Pleistocene medio-superiore, ma non di depositi più recenti di 40.000 anni.

4 Dati geotecnici e geofisici

4.1 Dati pregressi

Per una corretta definizione del modello geologico-tecnico del Comune di Lacco Ameno è stato eseguito un dettagliato rilievo geologico di tutta l'area in studio, finalizzato ad ottenere quante più informazioni possibili sull'assetto geologico di superficie e sulle criticità eventualmente presenti in termini geologici, geomorfologici e strutturali.

Lo studio eseguito è stato poi integrato dall'analisi dei risultati delle "indagini geofisiche pregresse" forniteci dal gruppo di lavoro CNR-ISMAR ex IAMC nell'ambito del progetto "Primi interventi urgenti di protezione civile conseguenti all'evento sismico che ha interessato il territorio dei Comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell'isola d'Ischia il giorno 21 agosto 2017", necessarie per una prima analisi degli aspetti geologici profondi e quindi per la pianificazione delle indagini di nuova esecuzione.

Inoltre l'Ufficio Tecnico del Comune di Lacco Ameno ha messo a disposizione tutte le indagini geologiche in suo possesso utili allo scopo del presente lavoro.

Le indagini pregresse eseguite dal gruppo di supporto sono state ubicate dopo aver delineato un quadro geologico complessivo dell'areale comunale e dopo aver individuato alcune condizioni locali predisponenti all'amplificazione sismica (motivi stratigrafici, topografici e geometrici del sottosuolo).

Da questa disamina sono stati da loro individuati 9 distinti areali del territorio comunale potenzialmente suscettibili di amplificazioni per condizioni locali.

Le misure HVSR sono state acquisite seguendo gli standards definiti dal Progetto SESAME (Acerra et al., 2004), con una copertura areale su griglia irregolare idonea (inter-distanza tra punti di misura minima di 80-100 m e generalmente non superiore a 370 m) a coprire adeguatamente gli areali del centro urbano e delle frazioni, e consentire una ricostruzione affidabile delle principali superfici di impedenza.

Per l'acquisizione dei dati sismici attivi di superficie (Rifrazione-MASW) è stata adottato uno schema di acquisizione tale da restituire almeno un profilo sismo-stratigrafico di sito 1D (V_s , V_p) per ognuno degli areali di indagine. Con le tomografie di resistività elettriche sono state investigate quelle aree con evidenze di letteratura di faglie sepolte e/o estesi campi di fratturazione e risalita di fluidi e/o condizioni di suscettibilità alla liquefazione.

L'ubicazione prevista dei siti di indagine è stata successivamente raffinata in funzione della distribuzione del danneggiamento e dalle condizioni logistiche delle aree di indagine, legate

soprattutto all'inaccessibilità di molti siti.

La campagna di indagini pregresse, realizzata nei mesi di ottobre e novembre 2017, da parte del gruppo di lavoro CNR-ISMAR ex IAMC per il comune di Lacco Ameno è stata caratterizzata dall'esecuzione di:

- 51 misure di rumore ambientale utili alla definizione della frequenza di risonanza del sito con la tecnica dei rapporti spettrali del rumore ambientale (Horizontal to Vertical spectral ratio – HVSR);
- 22 rilievi sismici a rifrazione con metodo MASW (Active Multichannel Analysis of Surface Waves);
- 4 profili di tomografia elettrica di resistività, di cui tre ubicati su baia San Montano (ERT3, ERT4, ERT5) e 1 in Loc. Crateca (ERT1);
- 1 profilo di sismica a rifrazione SR con tecnica tomografica per evidenziare eventuali anomalie di velocità sismica dei terreni dovuti alla presenza di eventuali faglie sepolte e/o estesi campi di fratturazione e risalita di fluidi (Via Crateca).

Le indagini messe a disposizione dall'Ufficio Tecnico Comunale consistono in:

- 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, di cui 3 realizzati nell'ambito del Piano Regolatore Comunale (PRG), spinti a 31 m di profondità e attrezzati per l'esecuzione di una prova Down Hole, e 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo spinto fino a 20 m di profondità, realizzato dalla Geol. Alessia Iannotta, libero professionista facente parte del presente raggruppamento.

4.1.1 Misure HVSR

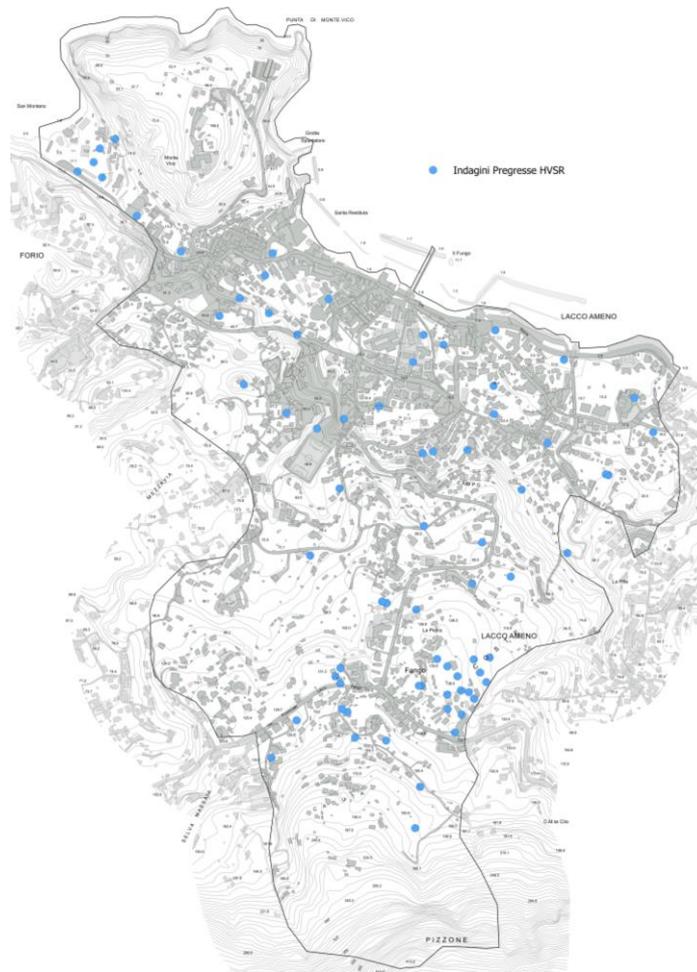


Figura 4-1 –Siti di misura pregressi HVSR nell’area Comunale di Lacco Ameno

Nell’ambito dei “Primi interventi urgenti di protezione civile conseguenti all’evento sismico che ha interessato il territorio dei comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell’Isola di Ischia il giorno 21 agosto 2017” sono state effettuate 51 misure di microtremore ambientale, tutte le misure a stazione singola in campo aperto sono state orientate secondo il Nord (Figura 4-1).

In termini generali, la determinazione della curva HVSR ha seguito la seguente procedura:

- 1) Misura delle tre componenti Verticale (Z), Nord-Sud (N), Est-Ovest(E);
- 2) Eliminazione manuale delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi transitori non conformi al rumore ambientale;
- 3) Lisciamento secondo finestre triangolare con ampiezza pari al 5% della frequenza centrale;
- 4) Definizione degli N intervalli stazionari (finestre temporali) entro cui calcolare le curve HVSR (30 secondi);

- 5) Rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine/media a lungo termine) superiore a 2;
- 6) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra le componenti orizzontali H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari;
- 7) Identificazione della frequenza fondamentale f_0 .

I risultati ottenuti sono stati verificati secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME (2004) e classificati tenendo conto della proposta di Albarello & Castellaro (2011).

Le principali informazioni relative a tutte le misure effettuate e ai risultati ottenuti sono riassunti nella seguente tabella.

NOME	LATITUDINE	LONGITUDINE	F0	F1	AMPIEZZA F0	AMPIEZZA F1
HV 1	40.754745	13.880214	9.15		2.91	
HV 2	40.753884	13.881624	5.46		2.11	
HV 3	40.753867	13.884527	3.49		3.21	
HV 4	40.753334	13.884299	0.5	2.8	2.29	2.22
HV 5	40.752777	13.886334	2.62		2.25	
HV 6	40.751932	13.889345	4.53		3.17	
HV 7	40.752062	13.891629	5.82		5.05	
HV 8	40.751371	13.89382	0.7		2.85	
HV 9	40.750732	13.897645	0.58	1.59	2.1	1.23
HV 10	40.750465	13.896074	0.71	2.86	2.29	1.29
HV 11	40.749633	13.89668	0.65	2.32	2.24	1.69
HV 12	40.748575	13.895276	0.87	8.03	2.76	2.03
HV 13	40.750026	13.891627	1.89	6.66	3.59	1.94
HV 14	40.751271	13.889024	1.98		2.56	
HV 15	40.751903	13.885353	5.78		1.49	
HV 16	40.752407	13.884433	1.32	4.63	2.33	2.1
HV 17	40.752767	13.883503	4.8		2.25	
HV 18	40.752329	13.882859	4.69		3.23	
HV 19	40.75067	13.883668	2.16		3.61	
HV 20	40.74999	13.88503	2.11		3.03	
HV 21	40.749621	13.886008	0.91	2.51	2.87	1.7
HV 22	40.749863	13.886856	0.99		3.31	
HV 23	40.75018	13.887976	1.42		3.27	
HV 24	40.74905	13.889381	0.97		3.9	
HV 25	40.747581	13.894072	1.01	4.43	3.15	1.77
HV 26	40.746077	13.892214	0.69	3.76	4.05	2.04
HV 27	40.747276	13.889446	0.8		4.9	
HV 28	40.748169	13.886754	0.74	2.16	2.87	2.39
HV 29	40.746529	13.885846	0.5	1.64	2.73	2.52
HV 30	40.745425	13.88815	0.55		3.18	
HV 31	40.745247	13.889231	0.66	3.56	2.69	1.67
HV 32	40.743393	13.889428	0.55	1.9	3.31	1.75

HV 33	40.7438	13.886851	0.49	1.33	3.01	1.75
HV 34	40.742508	13.885475	0.52	1.25	2.76	1.84
HV 35	40.743422	13.886845	0.53	1.38	3.04	1.73
HV 36	40.742801	13.886915	0.54	1.33	2.93	1.46
HV 37	40.742731	13.887094	0.54	1.32	2.8	1.41
HV 38	0.742112	13.887341	0.53	1.24	2.49	1.61
HV 39	40.742049	13.888325	0.54	1.26	2.43	1.62
HV 40	40.740933	13.889421	0.53	2.66	2.49	1.91
HV 41	40.739923	13.889284	0.55	2.66	1.85	2.2
HV 42	40.748197	13.892522	0.98		4.36	
HV 43	40.746298	13.89927	1.44		3.36	
HV 44	40.75567	13.879095	6.23		3.35	
HV 45	40.755807	13.878311	0.49	7.59	2.16	1.94
HV 46	40.756037	13.878816	10.98		3.86	
HV 47	40.756372	13.879012	6.05		3.09	
HV 48	40.756611	13.879494	6.64		4.06	
HV 49	40.74934	13.893333	1.47		3.39	
HV 50	40.75071	13.891592	2.13	8.89	3.39	3.65
HV 51	40.74915	13.890795	1.31		4.08	

Tabella 4-1 Ubicazione e caratteristiche delle stazioni di misura HVSR.

la tabella contiene per ognuno dei siti di misura, le coordinate, il valore della frequenza di risonanza (f_0), il valore di un eventuale secondo picco di risonanza, il valore di ampiezza del picco di risonanza.

L'analisi del gruppo di supporto dei risultati delle indagini HVSR da loro eseguite, hanno mostrato in termini generali risonanze nel campo delle basse frequenze (0.4 - 0.9 Hz), spesso con picco incerto per forma o livello, probabilmente legate ad una interfaccia profonda presente in particolare nei settori centro-meridionali dell'area indagata, interfaccia che si suppone profonda alcune centinaia di metri, forse corrispondente al tetto delle lave antiche. I risultati di tali analisi documentano ancor più chiaramente la presenza di zone caratterizzate da fenomeni di risonanza omogenei, e permettono di mapparne la distribuzione. In tutta l'area di studio sono state riconosciute delle fasce elongate in direzione circa NW-SE, caratterizzate da tipici fenomeni di risonanza con aumenti progressivi sia dei valori di F_0 che di A_0 spostandosi verso NE, con valori di F_0 oscillanti nel range $0.49 \div 1.89$ Hz con valori di ampiezza A_0 da 1.85 a 3.89. In alcuni casi le curve HVSR sono risultate caratterizzate da un secondo picco di frequenza (F_1) con valori da 1.24 a 2.51, con bassi valori di ampiezza A_1 da 1.24 a 2.66 (Figura 4-2). Spostandosi verso NE, nell'area di affioramento dei depositi detritici ed epiclastici da debris/rock avalanche dell'Unità di Lacco Ameno (UGT7), le misure qui eseguite mostrano che

il valore di F0 oscilla nel range 0.55÷1.31 Hz con un incremento dei valori di ampiezza A0, rispetto la zona precedentemente individuata, variabile tra 2.69 a 4.9. Tre curve HVSR sono inoltre caratterizzate anche da un secondo picco di frequenza (F1) nel range 1.9÷3.76 Hz con valori di ampiezza A1 da 1.67 a 2.04 (Figura 4-3). Queste risonanze sono probabilmente da porre in relazione o ad eterogeneità interne al LMO (Cod. Geo. GDF) o al passaggio con le sottostanti successioni.

Spostandosi verso i settori centro settentrionali, i contrasti di impedenza tendono a spostarsi verso il campo delle medie frequenze come nel caso delle misure ubicate tra via Mezzavia e Piazza Rosario con valori di F0 nel range 1.49÷5.05 Hz con un incremento dei valori di ampiezza A0 da 2.69 a 4.9 rispetto a quelli delle zone più meridionali a causa di condizioni geologiche peculiari (rastremazioni delle facies distali dell'Unità di Lacco Ameno e/o alla presenza di coperture detritiche e alluvionali).



Figura 4-2 – Mappa dei valori di F0 ricavati dalle indagini HVSR pregresse.

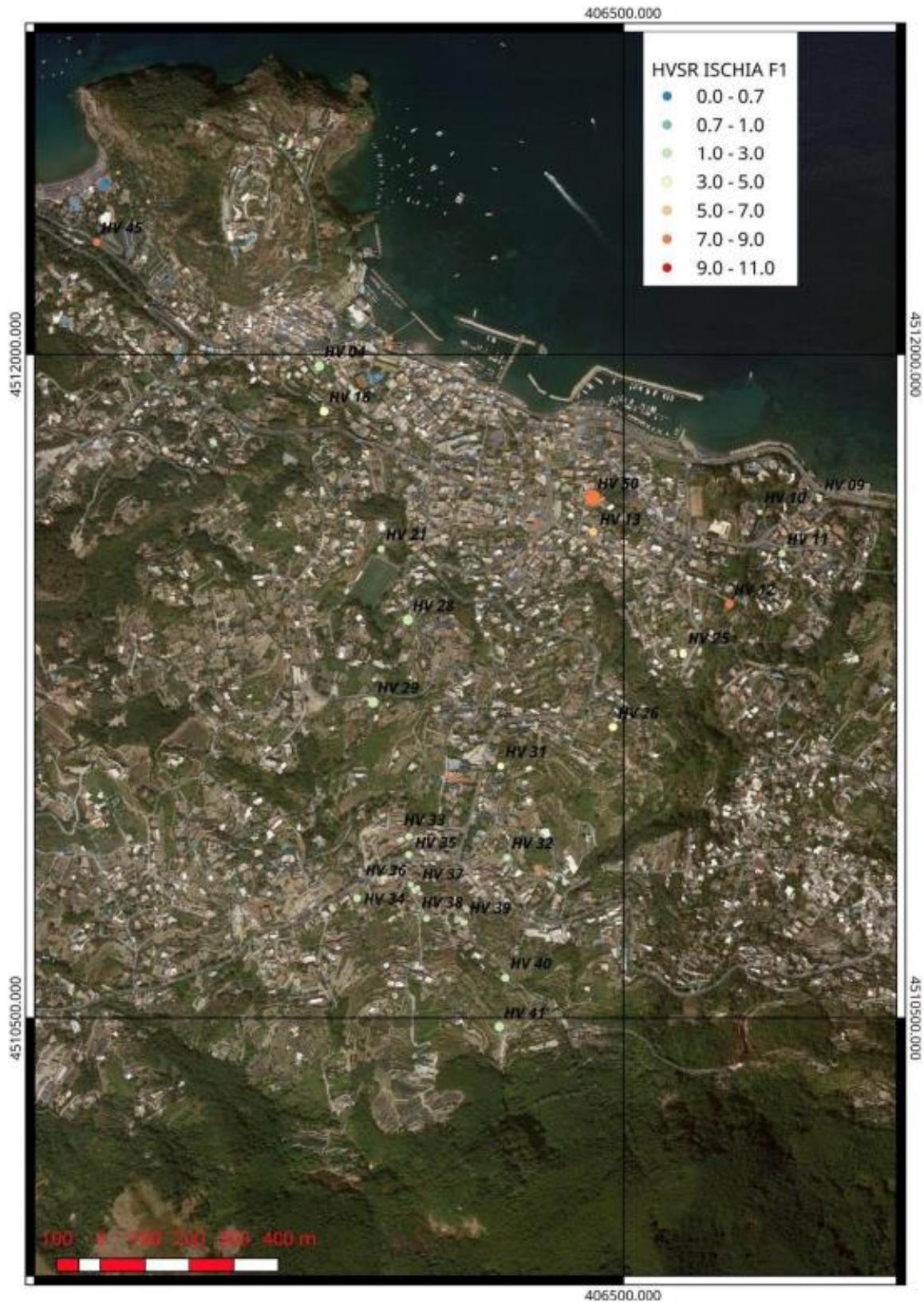


Figura 4-3 – Mappa dei valori di F1 ricavati dalle indagini HVSR pregresse.

4.1.2 Indagini sismiche MASW

Nell'ambito dei "Primi interventi urgenti di protezione civile conseguenti all'evento sismico

che ha interessato il territorio dei comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell'Isola di Ischia il giorno 21 agosto 2017" la caratterizzazione del sottosuolo è stata completata attraverso la determinazione dei profili delle onde Vs tramite analisi MASW (Park et al., 1999), in ognuna delle 9 zone individuate. I dati acquisiti sono stati sottoposti ad una fase di processing per stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza. La strumentazione utilizzata per la prospezione sismica è stata composta da: un sismografo modulare GEODE della Geometrics (da 24 canali) e 24 geofono Geospace 4.5 Hz verticali; (mod. GS-11D). il sistema di energizzazione è stato costituito da una mazza del peso di 10 kg battente verticalmente su piastra quadrata in alluminio con lato di 25 cm posta direttamente sul p.c. per la generazione prevalentemente di onde P. in particolare, per ogni punto di scoppio, si è energizzato per 3 volte, allo scopo di aumentare il rapporto segnale/rumore.

L'intera procedura per un MASW è consistita in 3 passi (Park et al., 1999):

- Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici generati da una sorgente energizzante artificiale, lungo uno stendimento rettilineo di geofoni;
- Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh;
- Sullo spettro di frequenza viene eseguiti il "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene un modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata.

Delle 22 misure effettuate, circa il 10% sono state eliminate per anomalie nel segnale acquisito. Di conseguenza solo 20 misure sono state considerate e successivamente analizzate per la finalità del seguente studio.

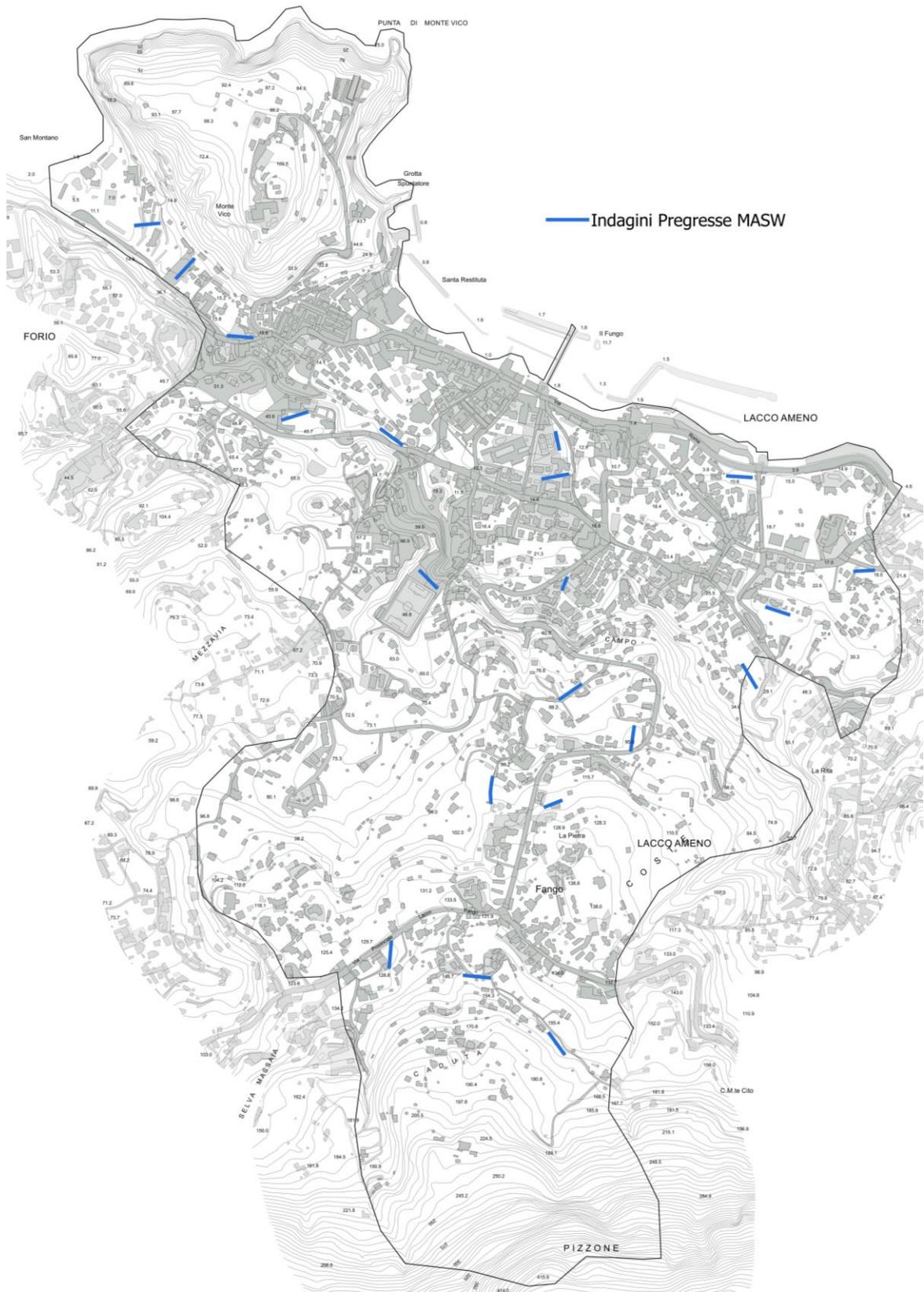


Figura 4-4 – siti di misura progressi MASW nell'area Comunale di Lacco Ameno

Le principali informazioni relative a tutte le misure effettuate e ai risultati ottenuti sono riassunte nella seguente tabella.

MASW	LATITUDINE	LONGITUDINE	PROFONDITA'(m)	VS MAX	VS 5m	VS 10m	VS 15m	VS 20m	VS 25m	VS 30m	MEDIA
22	40,747705	13,893937	7,59	276,257	205						VSm 05 205
3	40,753792	13,88168	12,54	407,109	181,679	252,28					VSm 10 216,9795
4	40,751996	13,885322	14,055	421,83	239,818	305,661					VSm 10 272,7395
5	40,747378	13,889667	10,11	300,856	445,146	300,856					VSm 10 373,001
11	40,74654	13,891164	12,004	648,853	300,634	648,853					VSm 10 474,7435
21	40,751964	13,889283	10,475	650,538	149	650,538					VSm 10 399,769
9	40,745566	13,887813	15,99	286,176	212	349,164	286,176				VSm 15 282,4466667
15	40,755824	13,879432	14,896	649,165	303	263,136	641,65				VSm 15 210,1003333
17	40,749658	13,89664	18,815	231,357	182	571,699	540,018				VSm 15 431,239
18	40,748904	13,89459	29,11	518,806	207	337,444	229,454				VSm 15 257,966
19	40,745328	13,88929	15,125	642,045	264	240,13	642,045				VSm 15 382,0583333
6	40,740946	13,889448	22,418	766,352	303,565	367,288	437,381	766,352			VSm 20 468,6465
2	40,755023	13,88035	22,19	646,5	208,838	292,737	401,566	646,5			VSm 20 387,41025
16	40,751348	13,893634	27,89	643,655	302	183,692	417,63	643,655			VSm 20 386,74425
1	40,752356	13,883.007	26,52	898,57	291,593	268,177	326,707	547,171	898,787		VSm 25 466,487
13	40,746338	13,899164	30,165	571,283	212,282	230,181	306,122	243,995	571,283		VSm 25 312,7726
7	40,742536	13,885452	31,96	942,347	304,5	346,789	306,318	555,71	555,71	942,347	VSm 30 413,8054
10	40,740731	13,892367	36,534	860,875	177,753	294,64	252,869	365,921	545,492	860,875	VSm 30 327,335
14	40,749401	13,886242	37,7	1156	300	494	369	336	619	1156	VSm 30 423,6

Tabella 4-2 – Ubicazione e velocità delle onde di taglio (Vs) da indagini MASW

Le 20 misure dirette di Vs disponibili hanno permesso di confermare che entro 15 m da piano campagna le velocità delle onde di taglio VS sono comprese tra 252 e 642 m/s su tutto il territorio indagato. Solo tre misure raggiungono i 30 m di profondità di investigazione raggiungendo velocità medie comprese tra 327 e 423 m/s.

I valori delle velocità dei profili delle indagini MASW sono riportati nel file Cdl_Tabelle.mdb allegato digitalmente al presente lavoro.

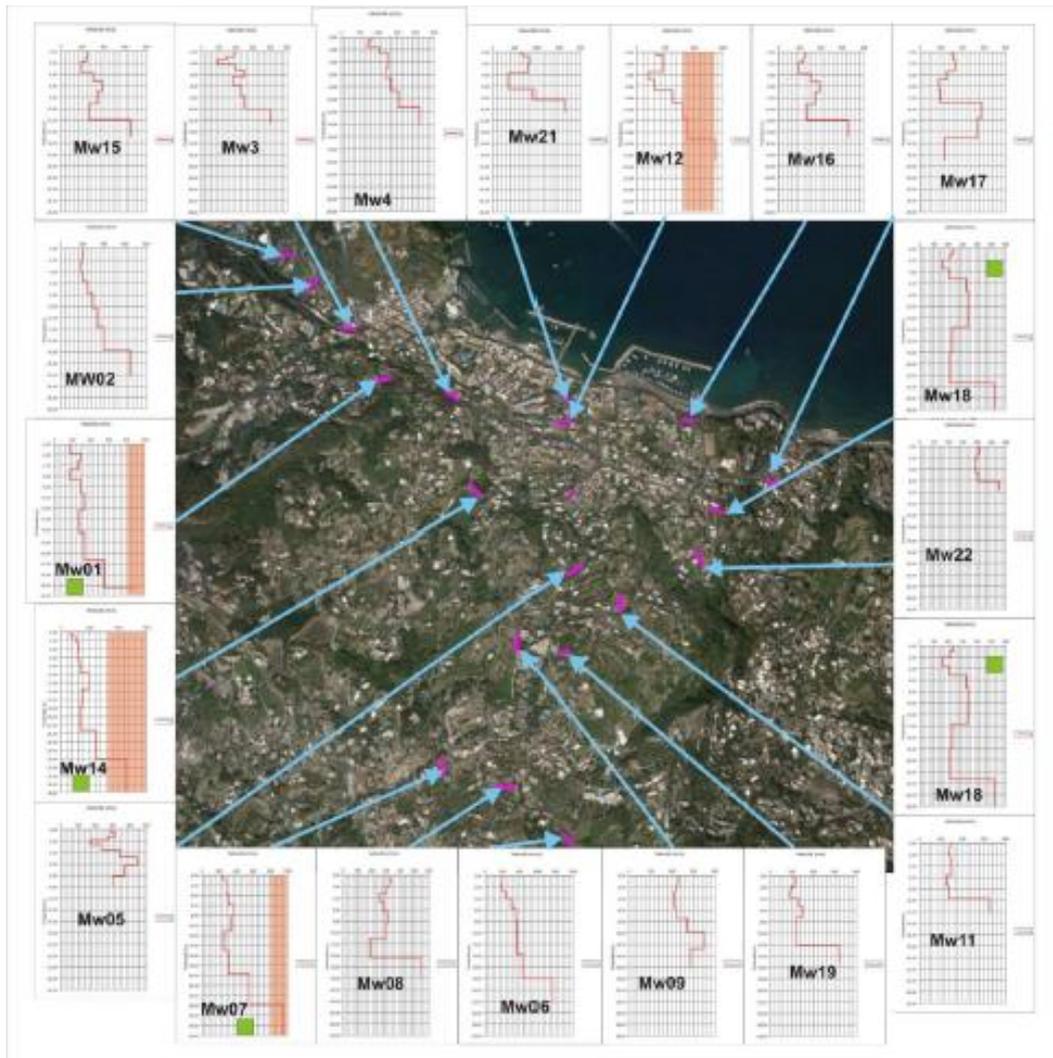


Figura 4-5 – Visione complessiva dei profili di velocità VS ottenuti dalle analisi MASW pregresse.

4.1.3 Indagini sismica a rifrazione (Tomografia)

L’attività di sismica svolta nell’ambito dei “Primi interventi urgenti di protezione civile conseguenti all’evento sismico che ha interessato il territorio dei comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell’Isola di Ischia il giorno 21 agosto 2017” ha previsto, per il comune di Lacco Ameno, l’acquisizione di un profilo sismica a rifrazione nella zona della frana del 1228 (SR1). Il profilo sismico è stato acquisito sia con una configurazione di tipo “long offset shot” che di tipo “global offset”.

Tale strategia di acquisizione, che ha previsto l’impiego di geofoni con spaziatura regolare di 2.5 metri, è consistita sia nell’esecuzione di energizzazioni ai due estremi dello stendimento geofonico che l’esecuzione di energizzazioni interdistanziate ogni 15 metri all’interno dell’array sismico.

Nella seguente tabella sono riassunti i parametri principali dello stendimento.

SR 1	
Lunghezza	112.5 m
Sorgente sismica	Mazza battente
Distanza geofonica	2.5 m
Spaziatura sorgenti	variabile
Numero energizzazioni	12
Numero canali complessivi	36 geofoni a 4.5 Hz
Massimo offset	100 m
Finestra temporale	2000 ms
Campionamento temporale	1 ms

Tabella 4-3 – Parametri principali del profilo di sismica a rifrazione SR1

La prima fase dell’elaborazione a rifrazione è stata la lettura dei tempi relativi alle onde rifratte. La lettura dei tempi di primo arrivo è stata eseguita su tutte le tracce dei profili sismici acquisiti. Il confronto sulla qualità delle letture è stato ottenuto graficando i primi arrivi in funzione della posizione sul terreno ed utilizzando le regole di parallelismo e reciprocità descritte da Ackerman (1986).

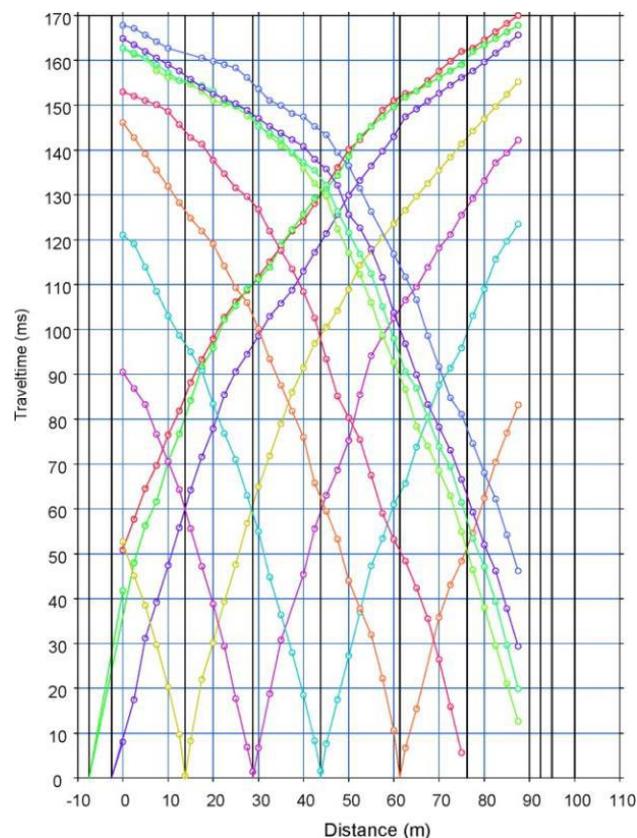


Figura 4-6 – Esempio di lettura dei tempi di primo arrivo

Le letture delle fasi dirette e rifratte sono state poi invertite sulla base di un modello di

velocità 1D che viene discretizzato in piccole celle a velocità o gradiente costante. La stima iniziale della velocità del sottosuolo è stata ottenuta mediante le procedure tradizionali di analisi di rifrazione (e.g. Burger, 1992). Il modello di velocità iniziale è stato poi iterativamente corretto per determinare la migliore distribuzione di velocità “apriori” del sottosuolo. Tramite il modello di velocità in ingresso, sono stati creati i tempi di arrivo teorici per ciascuna coppia sorgente-geofono via “raytracing”. L’algoritmo, procedendo con un approccio iterativo ai minimi quadrati, utilizza lo scarto tra il tempo misurato e quello calcolato per modificare la velocità nelle celle interessate dal raytracing finché l’errore RMS (Root-Mean Square) relativo alla differenza tra i tempi di percorso osservati e calcolati viene minimizzato.

Le tomografie in onde P hanno contribuito in modo efficace ad una prima definizione del modello geologico- tecnico del sottosuolo di alcune aree entro i primi 40-50 metri di profondità, in particolare attraverso la definizione delle geometrie sepolte di unità di copertura (debris avalanche, depositi colluviali ecc.), l’identificazione della profondità e geometria sepolta dei principali contrasti di impedenza.

La sezione tomografica è caratterizzata da un RMS finale abbastanza basso: 1.74 ms per il profilo SR1.

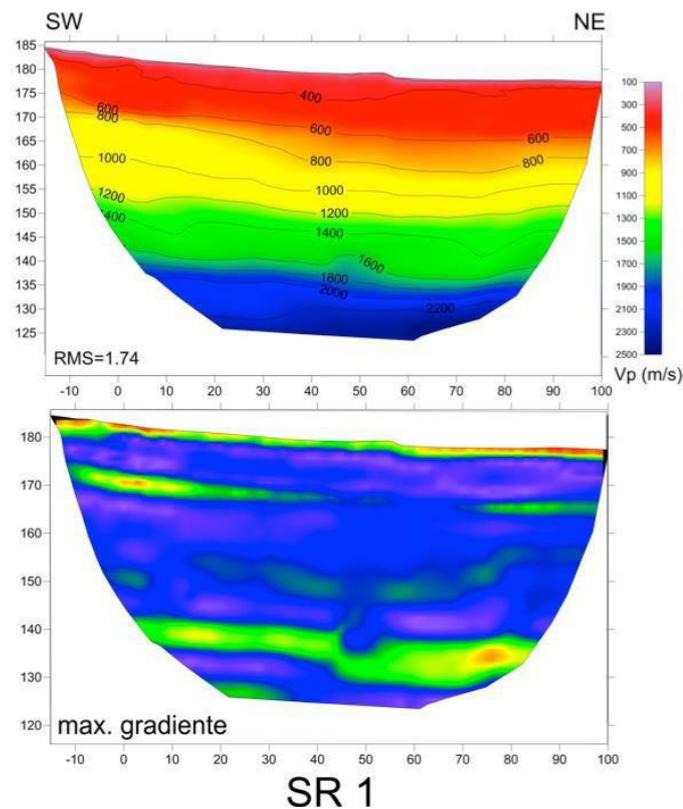


Figura 4-7 – Sezione sismica tomografica SR1

L’analisi tomografica del profilo SR1 mostra uno strato a velocità di 600-1200 m/sec che si

estende fino ad una profondità di circa 150 m s.l.m. Il tracciamento dei raggi (entro il limite di affidabilità della tomografia) individua un sismostrato con velocità massima di circa 2000 m/s fino ad una profondità di 135 m s.l.m. Il massimo gradiente di velocità si rinviene ad una profondità di circa 40 metri dal p.c.

4.1.4 Indagini geoelettrica di resistività e di polarizzazione indotta

Sempre per “Primi interventi urgenti di protezione civile conseguenti all’evento sismico che ha interessato il territorio dei comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell’Isola di Ischia il giorno 21 agosto 2017” i profili geoelettrici sono stati acquisiti al fine di fornire informazioni inerenti la resistività elettrica e la polarizzazione indotta di alcune sezioni di interesse. Sono stati acquisiti 4 profili geoelettrici del tipo 2D localizzati nel settore di Baia Montano e della Località Crateca (ERT1, ERT 3, ERT 4, ERT5). Le misure geoelettriche di resistività apparente e di caricabilità sono state eseguite con il georesistivimetro SYSCAL-Pro Switch 96 canali; i dati sono stati raccolti in campagna utilizzando la disposizione elettroica tipo Dipolo-Dipolo. La scelta è ricaduta su questo tipo di dispositivo perché permette, senza compromettere la qualità del dato, di raggiungere una maggiore profondità di investigazione.

	ERT 1	ERT 3	ERT 4
Lunghezza	115 m	117.5 m	70.5
Interdistanza elettroica	5 m	2.5 m	1.5
Numero elettrodi	24	48	48

Tabella 4-4– Parametri principali del profilo di resistività elettrica e di polarizzazione indotta

Per avere la resistività reale e ricostruire l’andamento delle resistività reali nel sottosuolo, è stata realizzata un’inversione dei dati. Prima di effettuare il processo di inversione, i dati acquisiti sono stati preliminarmente analizzati per operare un loro filtraggio basato sulla distribuzione dei valori misurati del potenziale, dell’intensità di corrente immessa, della resistività misurata, della deviazione standard ed infine sui valori di caricabilità. Attraverso questa operazione sono stati scartati i valori anomali, ossia quelli che si discostano eccessivamente dall’andamento generale dei valori rilevati. Terminata questa fase, i file sono stati esportati nel software di elaborazione per mezzo del quale è stata realizzata l’inversione dei dati. Partendo dai valori misurati, è stato creato un modello del sottosuolo composto da blocchi a caratteristiche diverse; sulla base del modello di partenza è stata ricalcolata la pseudo-sezione e confrontata con quella effettivamente ottenuta dalle misure, fino a minimizzare lo scarto tra la pseudo sezione misurata e quella calcolata.

Le indagini geoelettriche hanno fornito informazioni sulla resistività degli strati più

superficiali di terreno nelle aree investigate.

L'indagine localizzata nella zona della frana del 1228 (ERT 1), mostra un orizzonte superficiale resistivo con valori di resistività di circa 60 ohm m confinato entro i primi 10 metri di profondità. A partire da questa profondità e per uno spessore di 20 m, il profilo evidenzia bassi valori di resistività che oscillano tra 10 e 30 Ohm*m. Caratteristico è la presenza nella zona centrale della sezione, tra la metrica 50 e la 75, ad una profondità di circa 165 m s.l.m. di un corpo ad alta resistività (> 80 Ohm*m).

ERT 1

Parametri di acquisizione

Interdistanza elettroica dx: 5m

Numero elettrodi: 24

Tipologia di array: Dipolo-Dipolo

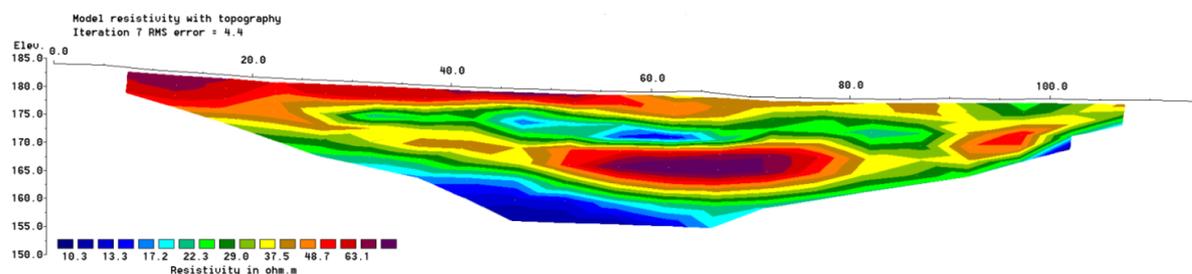


Figura 4-8 – Sezione elettrica tomografica ERT1

I profili ERT3, ERT 4, ERT5 sono localizzati nel settore di Baia Montano.

Il profilo ERT 3, mostra uno strato resistivo superficiale con valori di resistività di circa 100 Ohm*m ed uno inferiore con valori che oscillano tra circa 1 e 20 Ohm*m. Il passaggio tra questi due elettrostrati si trova a circa 12 m dal p.c.

ERT 3

Parametri di acquisizione

Interdistanza elettroica dx: 2.5m

Numero elettrodi: 48

Tipologia di array: Dipolo-Dipolo

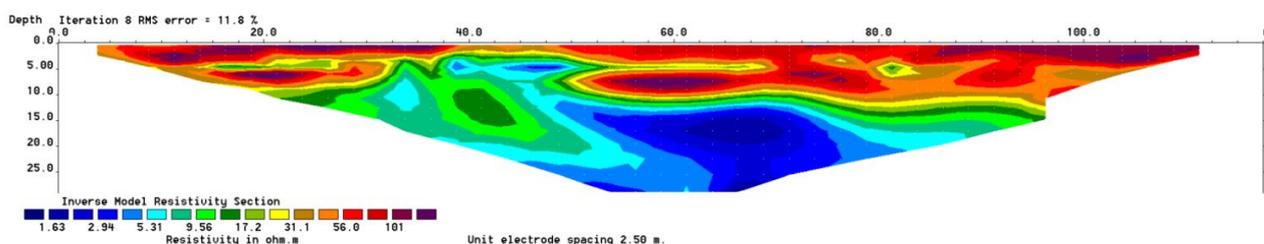


Figura 4-9 – Sezione elettrica tomografica ERT3

Il profilo ERT 4 pone in evidenza la presenza di un orizzonte con resistività di circa 80

Ohm*m entro i primi 6 metri di profondità dal p.c.; la porzione inferiore della sezione è invece caratterizzato da un unico “elettrostrato”, spesso circa 12 metri, con valori di resistività più bassi del precedente e compresi tra 20 e 50 Ohm*m.

ERT4

Parametri di acquisizione

Interdistanza elettroica dx: 1.5m

Numero elettrodi: 48

Tipologia di array: Dipolo-Dipolo

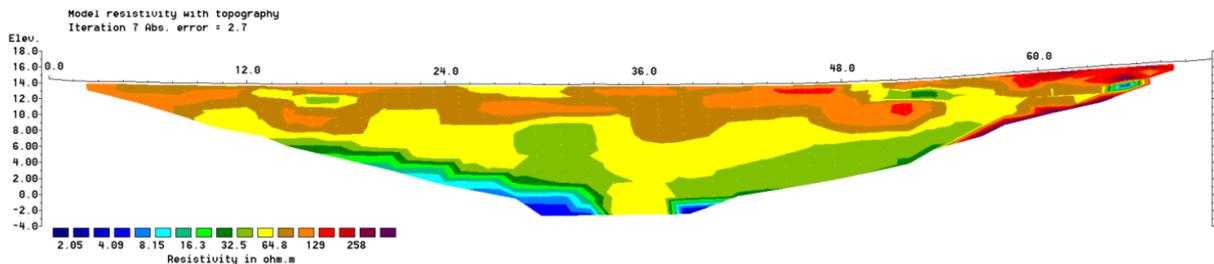


Figura 4-10 – Sezione elettrica tomografica ERT4

Il profilo ERT 5 mostra chiaramente un pattern di resistività caratterizzato da 2 distinti elettrostrati. Il primo, più superficiale, con valori di resistività che variano tra 10 e 60 Ohm*m, è caratterizzato da una fascia leggermente immergente verso Sud Ovest caratterizzata dalla presenza di piccoli nuclei conduttivi. L’elettrostrato inferiore si presenta con valori di resistività compresi tra 0.1 e 5 Ohm*m.

ERT 5

Parametri di acquisizione

Interdistanza elettroica dx: 1.5m

Numero elettrodi: 48

Tipologia di array: Dipolo-Dipolo

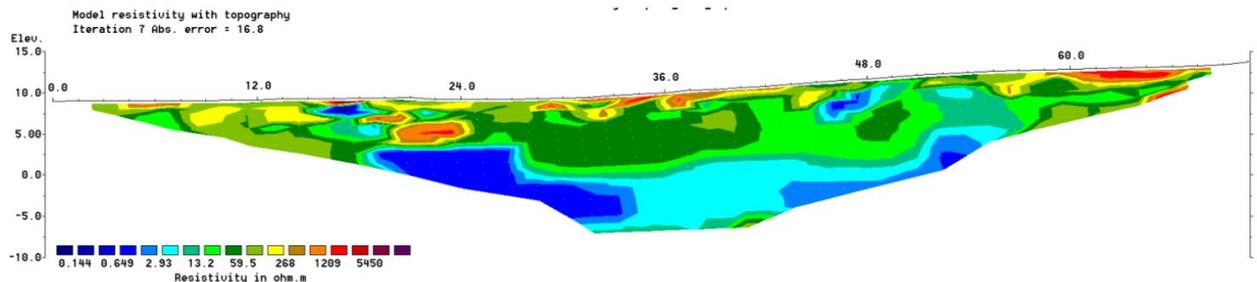


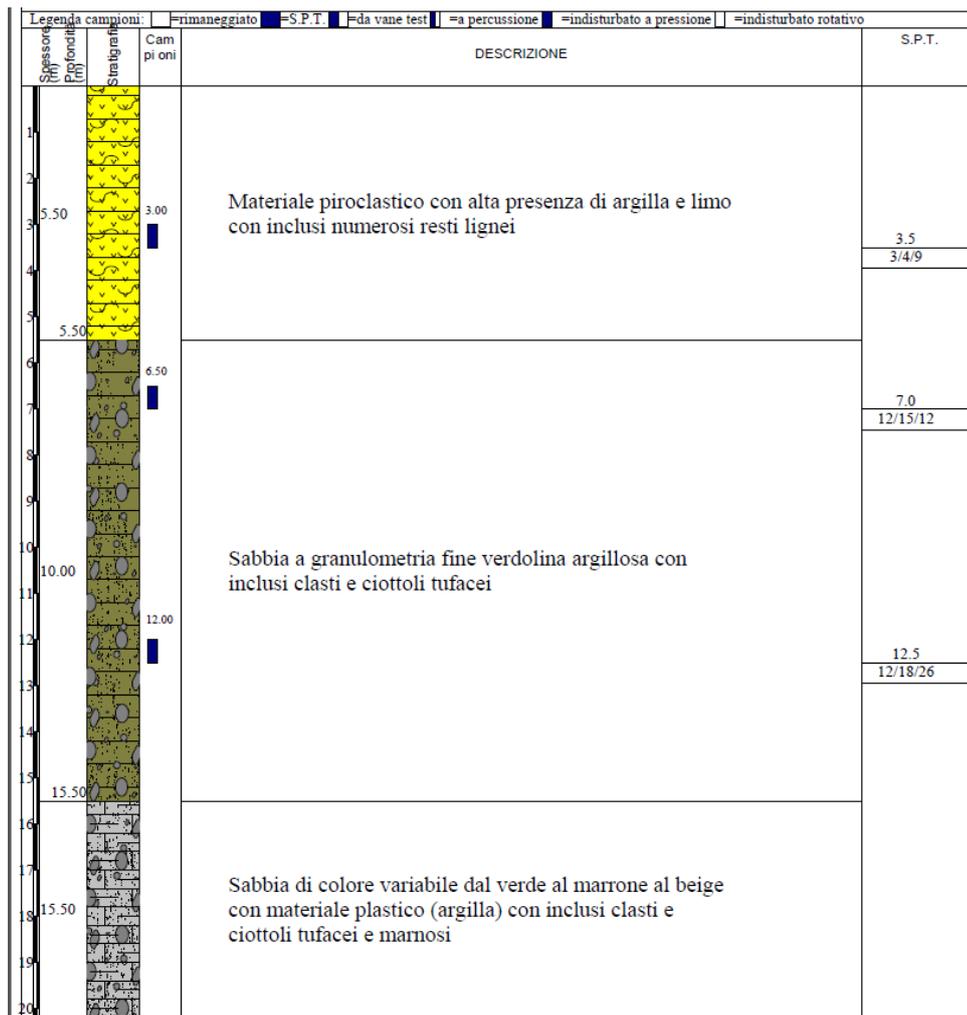
Figura 4-11 – Sezione elettrica tomografica ERT5

4.1.5 Sondaggi geonostici a carotaggio continuo

La raccolta di dati pregressi reperiti dall’amministrazione è stata sottoposta ad un’analisi critica in prospettiva geologico/tecnica e sismica, da cui è scaturita la scelta delle indagini

valutate idonee per il presente lavoro. In particolare sono stati selezionati 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, realizzati per la stesura del PRG, spinti fino alla profondità di 31 metri dal locale p.c. e attrezzati per misure sismiche in foro Down Hole. In aggiunta sono stati valutati i risultati emersi dall'esecuzione del sondaggio geognostico, spinto fino alla profondità di 20 m, realizzato in Loc. Monte Vico dalla Geol. Alessia Iannotta.

In Figura 4-12 è riportata la stratigrafia del sondaggio S1-DH-PRG e successivamente in maniera schematica, le indagini eseguite in foro.



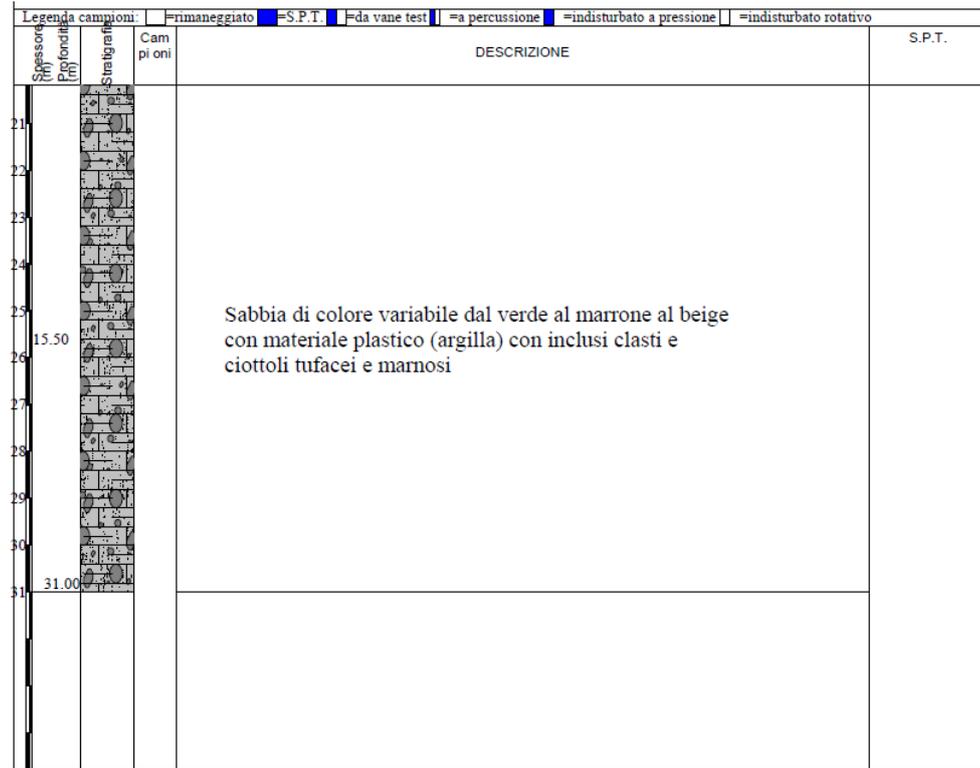


Figura 4-12 – Sondaggio S1 DH PRG

Sondaggio (Sigla)	Perforazione (m.l.)	Prelievo C.I. (Quota m)	S.P.T (Quota m).	Condiz D.H. (m.l)
S1DH-PRG	31.00	3.00-3.50	3.50	31.00
		6.50-7.00	7.00	
		12.00-12.50	12.50	

Tabella 4-5 Descrizione Sondaggio S1 DH PRG

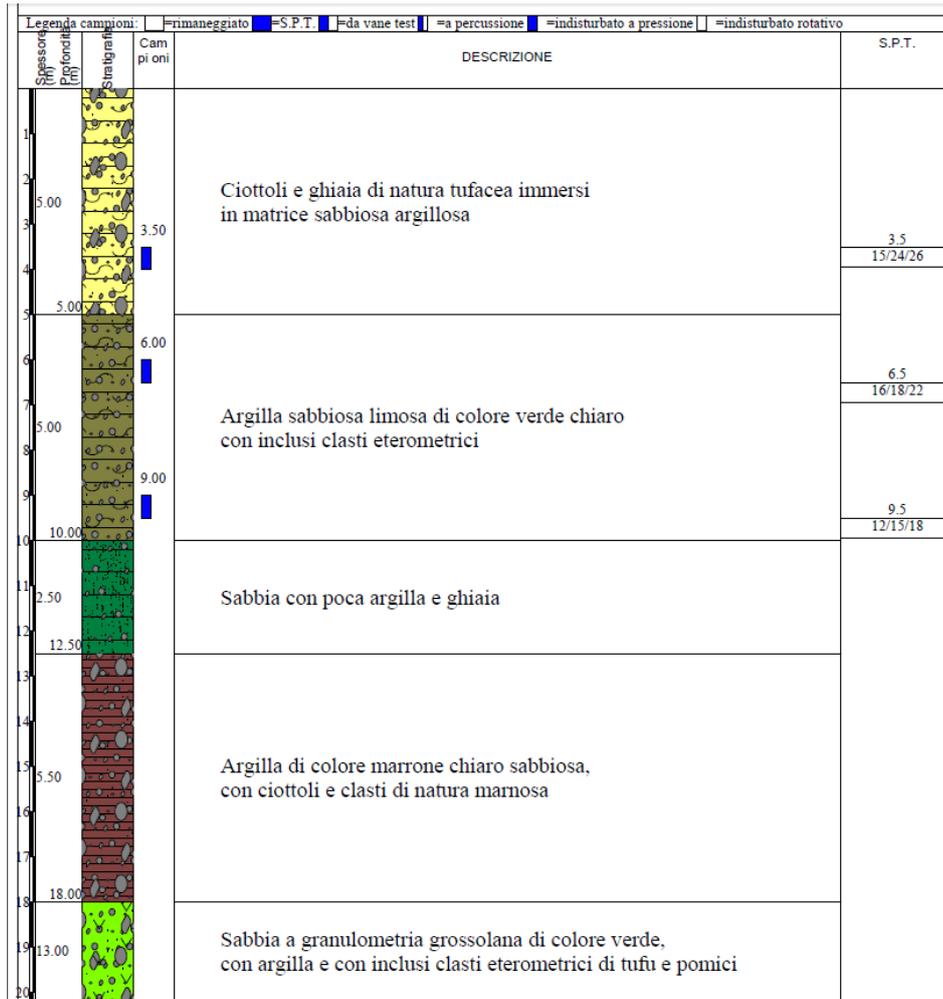
Tabella riassuntiva prove S.P.T. Sondaggio S1DH-PRG				
Prof. (m)	N_1	N_2	N_3	N_{SPT}
3.50	3	4	9	13
7.00	12	15	12	27
12.50	12	18	26	44

Tabella 4-6 Descrizione SPT S1 DH PRG

Campioni indisturbati		
Sigla Campione	Profondità iniziale	Profondità finale
S1DH-PRG -C1	3.00	3.50
S1DH-PRG -C2	6.50	7.00

Tabella 4-7 Descrizione Campioni indisturbati S1 DH PRG

In Figura 4-13 è riportata la stratigrafia del sondaggio S2-DH-PRG e successivamente in maniera schematica, le indagini eseguite in foro.



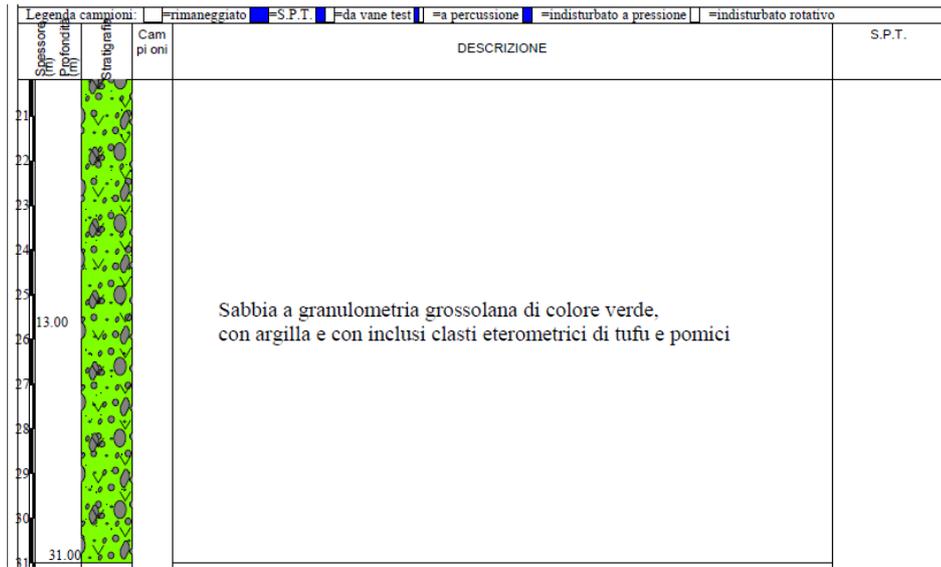


Figura 4-13 – Sondaggio S2 DH PRG

Sondaggio (Sigla)	Perforazione (m.l.)	Prelievo C.I. (Quota m)	S.P.T (Quota m).	Condiz D.H. (m.l)
S2DH_PRG	31.00	3.50-4.00	4.00	31.00
		6.00-6.50	6.50	
		9.00-9.50	9.50	

Tabella 4-8 Descrizione Sondaggio S2 DH PRG

Tabella riassuntiva prove S.P.T. Sondaggio S2DH-PRG				
Prof. (m)	N_1	N_2	N_3	N_{SPT}
3.50	15	24	26	50
6.50	16	18	22	40
9.50	12	15	18	33

Tabella 4-9 Descrizione SPT S2 DH PRG

Campioni indisturbati		
Sigla Campione	Profondità iniziale	Profondità finale
S2DH-PRG -C1	3.50	4.00
S2DH-PRG -C2	6.00	6.50
S2DH-PRG -C3	9.00	9.50

Tabella 4-10 Descrizione Campioni indisturbati S2 DH PRG

In Figura 4-14 è riportata la stratigrafia del sondaggio S3-DH-PRG e successivamente in maniera schematica, le indagini eseguite in foro.

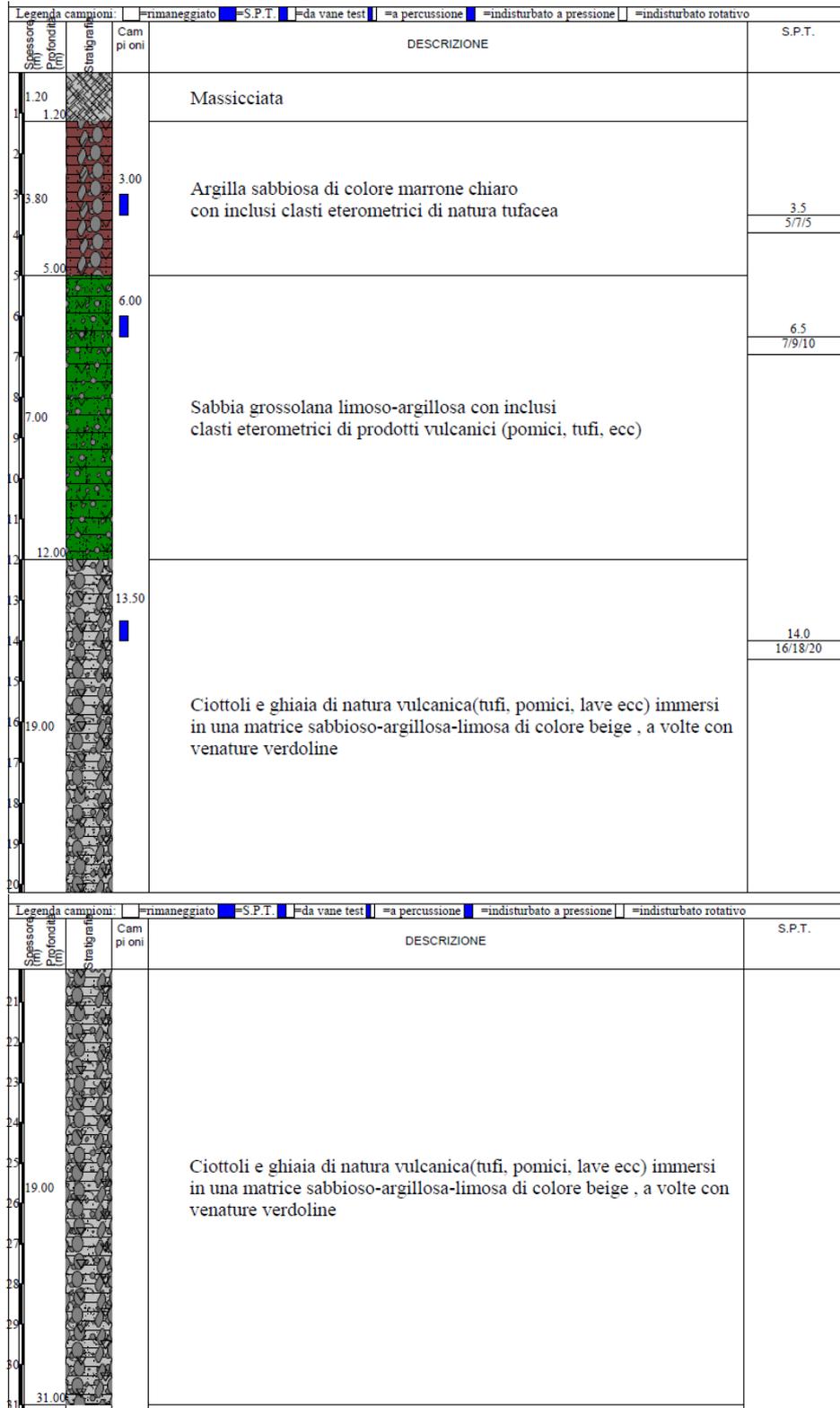


Figura 4-14 – Sondaggio S3 DH PRG

Sondaggio (Sigla)	Perforazione (m.l.)	Prelievo C.I. (Quota m)	S.P.T (Quota m).	Condiz D.H. (m.l)
S3DH-PRG	31.00	3.00-3.50	3.50	31.00
		6.00-6.50	6.50	
		13.50-14.00	14.00	

Tabella 4-11 Descrizione Sondaggio S3 DH PRG

Tabella riassuntiva prove S.P.T. Sondaggio S3DH-PRG				
Prof. (m)	N_1	N_2	N_3	N_{SPT}
3.50	5	7	5	12
6.50	7	9	10	19
9.50	16	18	20	38

Tabella 4-12 Descrizione SPT S3 DH PRG

Campioni indisturbati		
Sigla Campione	Profondità iniziale	Profondità finale
S3DH-PRG -C1	3.00	3.50
S3DH-PRG -C2	6.00	6.50

Tabella 4-13 Descrizione Campioni indisturbati S3 DH PRG

Nel corso dei sondaggi geognostici del PRG, sono stati prelevati 9 campioni indisturbati sui quali sono state effettuate analisi di laboratorio consistenti nelle seguenti prove:

- Caratteristiche fisiche generali;
- Analisi granulometrica per setacciatura
- Prova di taglio diretto consolidata drenata (C.I.D.)

Dai risultati delle prove di laboratorio eseguite si desume che questi terreni presentano un peso di volume naturale compreso tra 1.4 e 1.6 gr/cm³, si presentano quasi del tutto saturi con un contenuto d'acqua compreso tra 24 e 45 %

Dal punto di vista meccanico, le prove evidenziano che i terreni presenti in tutta l'area investigata presentano delle buone caratteristiche meccaniche con valori dell'angolo di attrito maggiori di 30° e coesione in condizioni drenate pari a 0 kg/cm²

Fanno eccezione a quanto detto i campioni: S2-C2 che presenta valori di coesione=0.09 kg/cm² e un angolo di attrito, $\varphi = 30.0^\circ$, caratteristici di una sabbia limoso argillosa.; S3-C1 caratterizzato da valori di coesione pari a 0.12 kg/cm² e valori di angolo di attrito di 27.8° , tipico di un'argilla limosa.

Tali depositi possiedono caratteristiche geotecniche che migliorano all'aumentare della profondità.

I risultati ottenuti dalle prove DH saranno illustrati e discussi nei successivi capitoli.

In aggiunta ai sondaggi del PRG è stato realizzato un sondaggio geognostico a carotaggio continuo, spinto a 20 m di profondità dalla Geol. Alessia Iannotta, in Loc. Monte Vico a corredo dell'opera di "lavori di consolidamento, ripristino e manutenzione straordinaria alle strutture cimiteriali ed al limitrofo costone a mare danneggiati dal sisma del 21/08/2017".

Nella figura sottostante è riportata la stratigrafia del sondaggio.

metri prof.	R V	A	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	Campioni	Standard Penetration Test			Pa	Class	
								m	S.P.T.	N			
0				0.5	0.5	Materiale di copertura costituito da resti di laterizi e cemento.							
1						Materiale di natura piroclastica a granulometria sabbioso limosa con diffusa presenza di pomici di dimensioni centimetriche. Materiale scarsamente addensato di colore grigio chiaro.							
2													
3								3.0	6-9-12	21		1	
4													
5				5.2	4.7	Materiale di natura piroclastica a granulometria limosa con sabbia fine, ricco in pomici di colore bianco di dimensioni centimetriche. Materiale da poco a mediamente consistente, di colore marrone. E' presente un livello da 6.00 a 6.90 m di profondità a granulometria prevalentemente limosa, di colore marrone scuro e con diffusa presenza di pomici di dimensioni massime di 0.5 cm.							
6													
7				7.3	2.1	Materiale di natura piroclastica a granulometria limosa debolmente sabbiosa, di colore nocciola, con presenza diffusa di pomici di dimensioni variabili che raggiungono 1 cm. Materiale poco consistente.	1) She -	8.00 8.40	8.4	7-9-9	18		2
8													
9				8.9	1.6	Materiale di natura piroclastica a granulometria sabbioso limosa con presenza diffusa di pomici di dimensioni centimetriche e di litici di natura vulcanica e di scorie, di colore nero e di dimensioni millimetriche. Materiale da sciolto a poco addensato, di colore giallo ocra.							
10				10.0	1.1	Materiale di natura piroclastica a granulometria sabbioso limosa, ricco in pomici di dimensioni centimetriche e di litici di natura lavica, di dimensioni eterometriche variabili da pochi centimetri fino a 7-8 cm. Sono presenti scorie millimetriche. Materiale di colore grigio da poco a mediamente addensato, alterato, di colore grigio.							
11													
12				12.0	2.0	Materiale di natura piroclastica a granulometria sabbiosa con presenza diffusa di pomici di dimensioni centimetriche e presenza di inclusi tufacei e lavici di dimensioni di 3-4 cm. Sono presenti livelli di tufo giallo terroso. Materiale di colore grigio, poco addensato.							3
13													
14													
15													
16													
17													
18													4
19				18.3	6.3	Materiale di natura piroclastica a granulometria sabbiosa con abbondante presenza di inclusi di origine lavica di 3-4 cm e tufacea. Materiale fortemente alterato di colore variabile, grigio, rosso e giallo ocra. Materiale poco addensato.							
20	101			20.0	1.7								

Figura 4-15 – Sondaggio S1, Geol. Alessia Iannotta

Sondaggio (Sigla)	Perforazione (m.l.)	Prelievo C.I. (Quota m)	S.P.T (Quota m).
S1-I.A.	20.00	8.00-8.40	3.00-3.45 8.40-8.85

Tabella 4-14 Descrizione Sondaggio S1 A.I.

Tabella riassuntiva prove S.P.T. Sondaggio S1-A.I.				
<i>Prof. (m)</i>	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>	<i>NSPT</i>
3.00-3.45	6	9	12	21
8.40-8.85	7	9	9	18

Tabella 4-15 Descrizione SPT S1 A.I.

Campioni indisturbati		
<i>Sigla Campione</i>	<i>Profondità iniziale</i>	<i>Profondità finale</i>
S1 I.A.-C1	8.00	8.40

Tabella 4-16 Descrizione Campione indisturbato S1 A.I.

Durante l'esecuzione del sondaggio geognostico è stato prelevato n.1 campione indisturbato denominato S1 I.A.-C1 alla quota di 8.00-8.40 m dal piano campagna, sul quale sono state effettuate analisi di laboratorio consistenti in prove preliminari di identificazione e di misura della resistenza al taglio (Pocket Penetrometer e Vane Test) e poi nelle seguenti prove:

- Caratteristiche fisiche generali
- Analisi granulometrica per setacciatura e per sedimentazione
- Prova di taglio diretto consolidata drenata (C.I.D.)

I risultati delle prove eseguite sul sondaggio S1 I.A., evidenziano la presenza di terreni con caratteristiche meccaniche discrete. In particolare fino a 0.30 m di profondità si rinviene un materiale di copertura al di sotto del quale sono presenti terreni caratterizzati da scarse caratteristiche meccaniche, con basso peso di volume, 1.25 g/cm³ a testimonianza di una abbondante presenza di pomici.

Da 10.00 a 12.00 m, fino alla profondità di investigazione di 20 m dal p.c., è presente un materiale le cui caratteristiche meccaniche risultano buone, rappresentato da una piroclastite a granulometria sabbioso limosa con presenza diffusa di inclusi lavici molto fratturati. Tale

condizione determina valori di coesione non drenata di circa 1.00 kg/cm², angolo di attrito di 35° e densità relativa di circa 72 %.

L'ubicazione dei 4 sondaggi geognostici è riportata in Figura 4-16 Per quanto riguarda l'analisi dei risultati di tali sondaggi si rimanda ai capitoli successivi.



Figura 4-16 – Ubicazione Sondaggi geognostici progressi

4.2 Dati acquisiti ex-novo

La campagna di indagini geofisiche ex novo realizzata nel Febbraio 2019 ha avuto la duplice finalità di tarare le aree già indagate nella campagna 2017/2018 con differenti metodologie geofisiche e di pervenire ad una caratterizzazione geometrica e fisico-meccanica in campo dinamico nelle aree non coperte dalle indagini pregresse citate nel precedente paragrafo.

Lo studio condotto dal gruppo di lavoro, si è basato sull'analisi dei dati geofisici pregressi e sulle condizioni morfologiche e geolitologiche di superficie e profonde.

Il materiale a nostra disposizione comprende 51 misure di rumore sismico ambientale eseguite su tutto il territorio comunale, elaborate per la determinazione della frequenza di risonanza dei terreni attraverso la tecnica HVSR.

Dall'analisi dei risultati abbiamo suddiviso le misure in tre gruppi in funzione della frequenza fondamentale F_0 ricavata dal rapporto spettrale H/V:

1. $F_0 > 2.5$ Hz. Tali misure si concentrano nella zona settentrionale del Comune di Lacco Ameno dove le altezze medie s.l.m. sono esigue, ricadendo infatti nella zona dei terrazzi marini del centro storico di Lacco Ameno e della valle alluvionale costiera della Baia di San Montano.

Dai valori di F_0 e dalla stima della V_s dei terreni, desunta dalle indagini MASW pregresse, è possibile ipotizzare la presenza superficiale (40 ÷ 50 m dal locale p.c.) del bedrock sismico.

2. $F_0 \leq 1$ Hz, ubicate nella zona centrale e centro settentrionale del comune di Lacco Ameno. Tali valori di F_0 testimoniano la presenza di spesse coltri di copertura, che si spingono a profondità in alcuni casi superiori a 100 m.
3. La frequenza F_0 è accompagnata da una seconda frequenza di picco F_1 . La F_0 inferiore a 1 Hz e un secondo picco F_1 a frequenze più alte, a testimonianza di un'eventuale contrasto di impedenza concentrato nei primi 50 m di profondità, associabile probabilmente alla presenza di un substrato rigido. Questi valori di H/V sono concentrati nella fascia meridionale del Comune, ovvero nelle zone caratterizzate dalla presenza della formazione del Tufo Verde del Monte Epomeo e delle sue pendici.

I valori di V_s desunti dalle indagini MASW disponibili hanno mostrato che entro 15 m dal piano campagna le velocità delle onde di taglio VS sono comprese tra 252 e 642 m/s su tutto il territorio indagato. Solo tre misure raggiungono i 30 m di profondità di investigazione raggiungendo velocità medie comprese tra 327 e 423 m/s.

Quindi dall'analisi di tali risultati è stato possibile risalire alle sole caratteristiche sismiche

dei terreni di copertura e in alcuni casi dei materiali immediatamente sottostanti.

Sulla scorta di queste informazioni è stato definito il piano di indagine integrative da eseguire per lo studio di microzonazione sismica, che prevede l'esecuzione di indagini sismiche di superficie e di indagini geognostiche.

Le indagini sismiche di superficie saranno eseguite allo scopo di individuare e caratterizzare fenomeni di risonanza sismica rappresentativi dell'amplificazione del moto sismico, e di eseguire la ricostruzione sismostratigrafica del profilo di velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità, all'interno delle diverse MOPS e delle diverse litologie presenti.

In un secondo momento i risultati delle indagini geofisiche sono stati utilizzati per il completamento e la validazione del modello geologico con particolare attenzione alle geometrie sepolte dei corpi geologici individuati.

La stima dei fenomeni di risonanza è stata ottenuta attraverso l'esecuzione della tecnica basata sulla misura dei rapporti spettrali medi del campo di vibrazione ambientale (tecnica HVSR). Per quanto riguarda invece la ricostruzione dei valori di Vs nel sottosuolo è stato utilizzato il metodo basato sulla stima della velocità di propagazione delle onde superficiali in configurazione attiva (MASW).

La scelta delle tecniche di indagine più appropriate è stata affidata al nostro raggruppamento di professionisti, responsabili delle attività sul campo. In accordo con la Struttura di supporto e coordinamento, è stato predisposto il piano delle indagini individuando le sopraccitate tecniche geofisiche come opportune, in funzione del modello geologico, dei dati di tipo geofisico già disponibili, della profondità di esplorazione richiesta, della strumentazione disponibile e dell'esperienza maturata.

Nell'ambito di questo piano è stata anche determinata la localizzazione dell'unico sondaggio geognostico a carotaggio continuo concordato con la Struttura di Supporto coordinata dal CNR IGAG per il CentroMS. L'obiettivo di questa indagine è caratterizzare il numero massimo di litotipi, infatti si è deciso di aumentare, in accordo con il gruppo di supporto, la lunghezza di perforazione da 35 a 50 m, con prelievo di cinque campioni indisturbati, esecuzione di 3 prove penetrometriche in foro SPT ed esecuzione di una prova sismica in foro Down-Hole (DH).

L'ubicazione del sondaggio geognostico ricade lungo una delle tracce delle sezioni geologico-tecniche finalizzate alle analisi di risposta sismica locale 2D in modo tale da garantire la rappresentatività del modello di sottosuolo.

Il piano di indagine ex novo prevede l'esecuzione di 12 indagini sismiche di superficie tipo MASW che vadano ad investigare quelle aree per le quali le indagini pregresse risultano scarse,

meno profonde e che presentano risultati dubbi:

- La prima area è quella del Monte Epomeo e delle sue pendici (Zona Loc. Crateca), nella quale è stata realizzata un'indagine per la caratterizzazione della velocità delle onde di taglio delle formazioni di copertura che mantellano la formazione del Tufo Verde del Monte Epomeo;
 - La seconda area è quella nelle immediate vicinanze dei 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo attrezzati a Down Hole, eseguiti per la realizzazione del PRG di Lacco Ameno, con l'obiettivo di validarne i risultati in termini di Vs.
 - Un'indagine sismica MASW è stata condotta in corrispondenza dell'area interessata dalla colata lavica di Zaro per colmare la carenza di indagini pregresse;
 - 3 indagini sismiche MASW nell'area della Marina di Lacco Ameno sufficienti a caratterizzarne le proprietà sismiche della vasta area già ben scandagliata dalle indagini pregresse;
 - Un'indagine sismica MASW nella Loc. Piazza Rosario che durante il terremoto del 21 agosto, ma anche quelli precedenti verificatisi nel 1883 e nel 1881, è tra le zone del Comune di Lacco Ameno che ha subito i danni maggiori;
 - Zona Fango, che oltre ad essere la zona più colpita del Comune dall'evento sismico del 21 agosto e di quelli precedenti, rappresenta morfologicamente una zona convessa di falda detritica che si spinge dalle pendici del Monte Epomeo fino alla zona centrale del Comune;
- Per ogni indagine sismica MASW è stata realizzata, ad uno dei due estremi, un'indagine HVSR così da poter ottenere, laddove possibile, attraverso un'inversione congiunta delle due misure, un profilo di Vs significativo dei terreni investigati che si spinga a profondità rilevanti, circa 100 m dal locale p.c.

Le 27 misure di microtremore a stazione singola realizzate sono state trattate con la tecnica dei rapporti spettrali HVSR. Di queste 12 realizzate in corrispondenza delle misure MASW e le restanti 15 distribuite in modo omogeneo sul territorio allo scopo di indagare tutti i siti caratterizzati da differenti situazioni morfologiche e geolitologiche.

Per quanto riguarda il sondaggio geognostico realizzato, secondo le indicazioni del gruppo di supporto, la sua ubicazione è stata scelta partendo dallo studio delle litologie affioranti e dalla ricostruzione di quelle sepolte utilizzando come base le sezioni geologiche ricadenti all'interno della carta geolitologica elaborata e messa a disposizione dal gruppo di supporto.

La scelta è ricaduta nell'area settentrionale del comune di Lacco Ameno, precisamente è stato realizzato all'interno della proprietà comunale dell'Istituto Comprensivo di primo grado V. Mennella, in località Via Fundera.

Tale sondaggio geognostico ha un duplice scopo, il primo è quello di individuare e caratterizzare i prodotti marini, tra cui le argille e le sabbie tipiche delle zone costiere settentrionali dell'isola d'Ischia, e il secondo è quello di poter caratterizzare i termini litologici profondi, rinvenibili su tutto il territorio comunale.

Di seguito è riportata una tabella nella quale sono elencate tutte le prospezioni ex novo realizzate, specificando per ciascuna di esse la tipologia, l'ubicazione e la sigla.

Nome indagine	coord_x	coord_y	quota(m)_slm
HVSR1	406491	4511548	22.00
HVSR2	406339	4511656	18.00
HVSR3	406103	4511973	0.00
HVSR4	405833	4512027	5.00
HVSR5	406738	4511599	17.00
HVSR6	406116	4510868	131.00
HVSR7	405774	4511129	78.00
HVSR8	405697	4510876	129.00
HVSR9	405583	4511141	84.00
HVSR10	406062	4510293	248.00
HVSR11	405775	4511597	66.00
HVSR12	406208	4510922	123.00
HVSR13	405475	4512191	15.00
HVSR14	406201	4511436	63.00
HVSR15	405873	4511707	42.00
HVSR16	406099	4511743	10.00
HVSR17	406649	4511645	11.00
HVSR18	406090	4511388	80.00
HVSR19	405733	4511866	42.00
HVSR20	406112	4510273	262.00
HVSR21	406266	4510759	131.00
HVSR22	406458	4511251	85.00
HVSR23	406448	4511792	4.00
HVSR24	406100	4511069	109.00
HVSR25	405962	4511225	81.00
HVSR26	405844	4510728	127.00
HVSR27	406039	4511390	74.00
S1 DH	406736	4511592	20.00

Tabella 4-17 – Indagini puntuali ex novo. Ubicazione e quota s.l.m.

Nome Indagine	a coord_x	a coord_y	b coord_x	b coord_y	a quota(m)_slm	b quota(m)_slm
MASW1	406484	4511556	406537	4511541	24.00	26.00
Masw 2	406333	4511709	406337	4511653	19.00	17.00
Masw 3	406047	4511999	406100	4511977	1.00	1.00
Masw 4	405756	4512045	405806	4512023	14.00	11.00
Masw 5	406685	4511591	406734	4511573	17.00	16.00
Masw 6	406122	4510856	406161	4510819	131.00	136.00
Masw 7	405749	4511132	405781	4511178	74.00	75.00
Masw 8	405716	4510841	405776	4510838	121.00	121.00
Masw 9	405577	4511119	405601	4511165	85.00	84.00
Masw 10	406015	4510259	406063	4510292	249.00	249.00
Masw 11	405773	4511598	405828	4511600	70.00	68.00
Masw 12	406173	4510892	406210	4510938	125.00	124.00

Tabella 4-18– Indagini lineari ex novo. Ubicazione e quota s.l.m.

Alle indagini delle tabelle 4.17 e 4.18 sono associate le coordinate geografiche per la loro individuazione, inoltre nel database Cdl_Tabelle.mdb, allegato digitalmente al presente lavoro, sono riportati i riferimenti ai nomi originari delle indagini.

L'ubicazione della nuova campagna di indagini geognostiche, geofisiche di superficie e in foro, condotte per il presente lavoro è illustrata nella Figura 4-17 ed è indicata dal colore rosso.

La distinzione tra le indagini pregresse e quelle ex-novo è riconoscibile dalla data di esecuzione, ed è desumibile dal database Cdl_Tabelle.mdb, allegato digitalmente al presente lavoro.

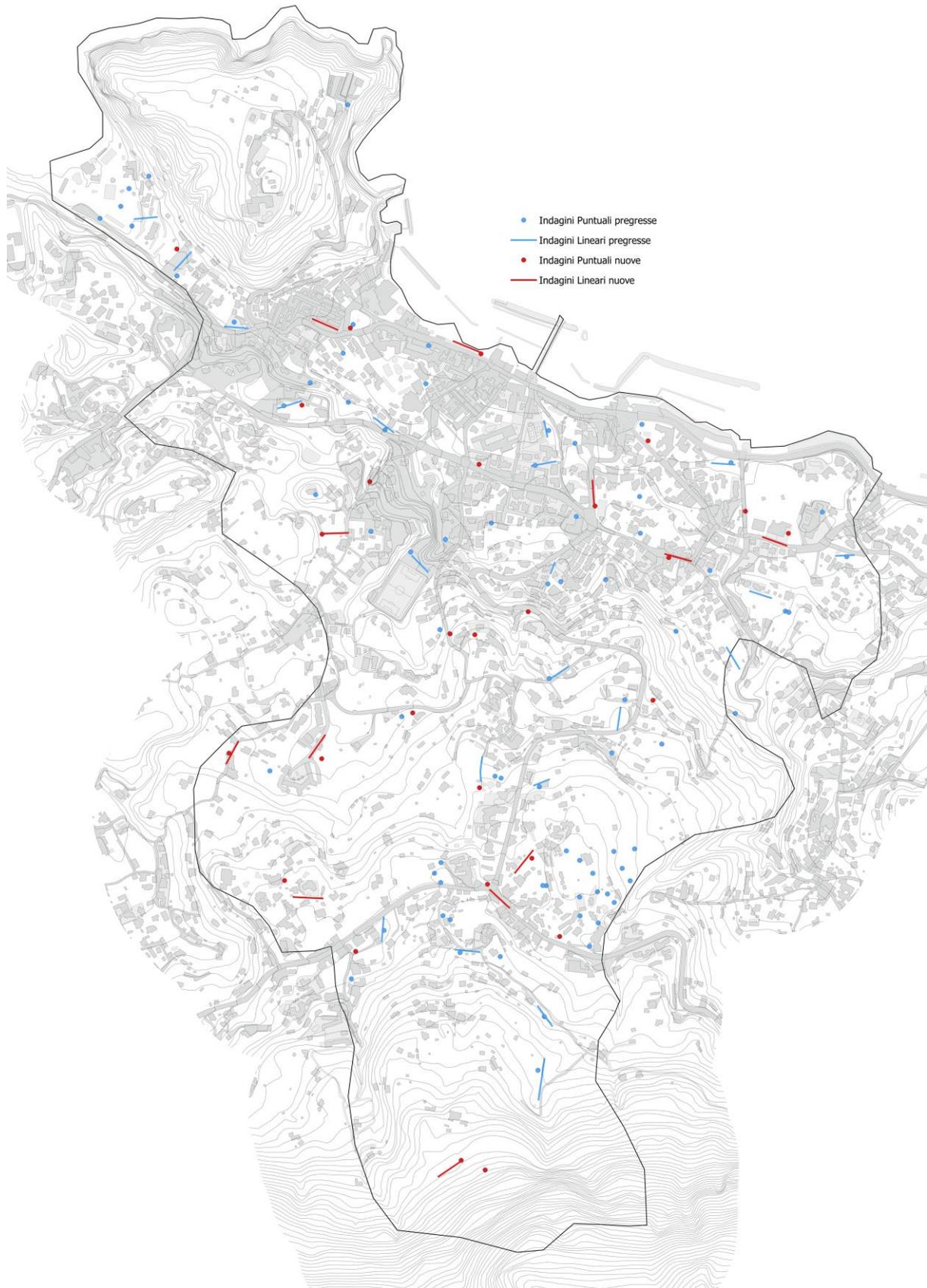


Figura 4-17 – Ubicazione di tutte le indagini disponibili per il comune di Lacco Ameno, pregresse e integrative.

4.2.1 Misure di vibrazione ambientale a stazione singola

Durante la propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo è possibile, in alcuni casi, osservare un'amplificazione del moto al suolo dovuto al contrasto di impedenza acustica tra gli strati più superficiali.

Questo fenomeno è detto "effetto di sito". Risulta necessario far ricorso a metodologie che permettano di definire come i terreni di copertura del "bedrock" possano influenzare l'ampiezza delle onde in superficie.

Uno dei metodi più utilizzati per stimare la frequenza dell'amplificazione del modo fondamentale è il metodo del rapporto spettrale HVSR.

Il rumore sismico detto anche vibrazione sismica ambientale, è costituito da onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di 10^{-4} – 10^{-2} mm. Se ci riferiamo alle frequenze, il rumore sismico è detto microtremore se contiene alte frequenze ($> 0,5$ Hz), ed è detto microsisma per basse frequenze.

Per quanto riguarda l'origine del rumore sismico, è certo che le sorgenti dei microsismi sono le perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti, mentre le sorgenti dei microtremori sono le attività antropiche come il traffico veicolare, le attività industriali etc. e si propagano come onde superficiali di Rayleigh.

La tecnica del rapporto HVSR consiste nel calcolare il rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (dato dalla media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali N-S ed E-W) e dalla componente verticale V. Il metodo è applicabile alle misure di rumore registrate in una singola stazione posta su sedimenti.

Il metodo è stato introdotto nel 1971 da scienziati giapponesi che mostrarono la relazione diretta del rapporto HVSR con la curva di ellitticità delle onde di Rayleigh. Il picco massimo di ampiezza si verifica alla frequenza di risonanza fondamentale della copertura dei terreni.

Nel 1989, Nakamura propose in Inglese il rapporto HVSR come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito. Le argomentazioni usate da Nakamura, si basano sull'ipotesi che i microtremori siano originati da sorgenti molto locali, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio.

Assumendo che le sorgenti, essendo molto locali, non eccitano la base dello strato dei sedimenti, è possibile stimare la forma spettrale della sorgente del microtremore, AS, come funzione della frequenza f , dal rapporto:

$$A_s(f) = \frac{V_s(f)}{V_B(f)}$$

VS e VB sono gli spettri di ampiezza di Fourier della componente verticale del moto, rispettivamente sulla superficie e alla base dello strato di sedimenti. Si assume poi che una stima degli effetti di sito per un terremoto, Se, è data da:

$$Se(f) = \frac{H_s(f)}{H_B(f)}$$

in cui Hs e HB sono gli spettri de ampiezza di Fourier del moto orizzontale, rispettivamente sulla superficie e alla base dello strato di sedimenti. Per compensare Se dello spettro della sorgente, Nakamura suggerisce di calcolare uno spettro modificato Sm come:

$$Sm(f) = \frac{Se(f)}{A_s(f)} = \frac{\frac{H_s}{V_s}}{\frac{H_B}{V_B}}$$

L'assunzione finale è che si verifichi per tutte le frequenze di interesse:

$$\frac{H_B}{V_B} = 1$$

Nakamura ha infatti dimostrato sperimentalmente che alla base dello strato superficiale, per tutte le frequenze, l'ampiezza della componente orizzontale è all'incirca la stessa di quella verticale, quindi tale rapporto è pari a 1. Pertanto una stima degli effetti di sito è data dal rapporto spettrale tra il moto orizzontale e verticale sulla superficie.

Si può affermare che la frequenza del picco massimo è correlata con l'ellitticità sulla superficie del modo fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh. Alla frequenza di risonanza l'ellisse dello spostamento di Rayleigh cambia di segno e il rapporto di Nakamura tende teoricamente all'infinito, per cui l'ampiezza del rapporto non può essere correlato all'amplificazione delle onde di taglio.

Le basi teoriche del metodo HVSR sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock, in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (modello 1D).

Si consideri un sistema geofisico con due strati a differenti impedenze acustiche.

Un'onda che viaggia nel primo mezzo viene parzialmente riflessa dall'interfaccia che separa i due strati, interferendo con le onde incidenti. L'interferenza costruttiva dà luogo ad onde le

cui ampiezze massime (condizione di risonanza) si ottengono quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato.

Per tale modello si può dimostrare che la frequenza fondamentale di risonanza (f_R) del primo strato relativo alle onde S è pari a:

$$f_R = \frac{V_{S1}}{4 H}$$

dove:

V_{S1} ed H sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dello strato più superficiale.

Le misure di vibrazione sismica ambientale a stazione singola sono state trattate con la tecnica dei rapporti spettrali HVSR allo scopo di supportare il modello geologico con una valutazione del livello di omogeneità delle diverse MOPS identificate su base geologica. La nuova campagna di indagine, integrata alla pregressa, fornisce una stima delle frequenze di risonanza che caratterizzano l'area esplorata mettendo in evidenza le situazioni dove sembrano esistere contrasti di impedenza maggiori e fornendo indicazioni di massima sulla profondità di questi contrasti.

È importante focalizzare l'attenzione sulle procedure operative utilizzate e necessarie per una corretta acquisizione e analisi dei dati:

- Laddove possibile, le misure sono state effettuate su terreno libero per garantire un buon accoppiamento dello strumento di misura con il terreno oppure in alcuni casi è stato effettuato l'interramento del sensore per la riduzione al minimo delle sorgenti di disturbo, e in aree a distanza dagli edifici pari all'altezza dell'edificio stesso;
- Dato che le misure hanno come obiettivo la determinazione delle proprietà medie del campo di vibrazione ambientale, la durata delle registrazioni è stata scelta variabile da 30 a 40 min con una frequenza di campionamento di 2000 Hz;
- Sono state evitate registrazioni in giorni in cui le condizioni meteorologiche sono risultate sfavorevoli (pioggia/vento eccessivi).

Per l'acquisizione del segnale di microtremore sismico è stato impiegato il geofono 3D da superficie 3DLG-2 della Pasi, dotato di un sensore verticale e due orizzontali con frequenze di risonanza di 2 Hz.

SPECIFICHE TECNICHE 3DLG-2	
Freq. nat. di risonanza	2 Hz \pm 10%
Sensibilità	2 V/cm \cdot S ⁻¹ \pm 5%
Resistenza interna	5.8 k Ω \pm 5%
Damping	0.7 \pm 10%
Distorsione armonica	\leq 0.2%
Impedenza d'ingresso	\geq 10 M Ω
Temperatura operativa	da -25°C a +55°C
Bloccaggio sensori	Con connettore di blocco
Dimensioni	Diam. 128 mm h. 175mm
Peso	2.3 Kg

Tabella 4-19 – Specifiche tecniche geofono 3DLG-2.

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software WinMASW 2018 della EliaSoft.

I dati di rumore ambientale sono stati ricampionati ad una frequenza di 64 Hz, amplificati e digitalizzati a 24 bit.

Il processing dei dati ha restituito il valore medio dei rapporti spettrali tra le componenti verticali e orizzontali del moto del suolo in funzione della frequenza consentendo di determinare le attuali frequenze fondamentali di vibrazione del terreno.

Si sono eseguite le seguenti operazioni:

1. Sono stati rimossi manualmente i transienti;
2. Le tracce sono state suddivise in finestre temporali della durata di 10 sec.;
3. Per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
4. Per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
5. Vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che:

- I rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano “stabili” ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato;
- Gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati, ovvero non ci siano state sorgenti “dominanti”;
- La misura non contenga errori sistematici (ad esempio dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Il Progetto europeo SESAME (Site Effects assessment using AMbient Excitations), infine,

si è recentemente occupato di stabilire linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola ed in array. Esso ha, inoltre, fornito dei criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati.

Identificativo Indagine	f0	a0	fr	ar	qualità
063038P62	1.7	2.4			A
063038P63	3.24	2.04	3.24	2.04	A
063038P64	0.8	2.73			A
063038P65	3.1	2.46	3.10	2.46	A
063038P66	0.938	2.94			A
063038P67	0.6	2.6			A
063038P68	2.1	7	2.10	7	A
063038P69	1.3	3.2	1.30	3.2	A
063038P70	2	4.7	2.00	4.7	A
063038P71	1.88	3.16	1.88	3.16	A
063038P72	2.06	3.97	2.06	3.97	A
063038P73	0.7	3.4			A
063038P74	5.19	5.21	5.19	5.21	A
063038P75	1.03	4.75	1.03	4.75	A
063038P76	1.09	3.56	1.09	3.56	A
063038P77	1.66	3.19	1.66	3.19	A
063038P78	0.938	4.04			A
063038P79	1	5.07			A
063038P80	4.06	4.03	4.06	4.03	A
063038P81	2.06	2.84	2.06	2.84	A
063038P82	0.657	2.27			A
063038P83	0.6	6.4			C
063038P84	3.57	3.07	3.57	3.07	A
063038P85	0.657	2.88			A
063038P86	0.59	3.42			A
063038P87	0.5	2.3			C
063038P88	0.97	3.77			A

Tabella 4-20 – Risultati delle indagini HVSR integrative.

4.2.2 Indagini sismiche MASW

Sono state eseguite 12 indagini sismiche M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde superficiali di Rayleigh) al fine di individuare gli spessori e geometrie dei litotipi, le caratteristiche sismostratigrafiche degli stessi e per classificare sismicamente il suolo dell'area oggetto di studi, come previsto dalla recente normativa antisismica (D.M. 17/01/18). Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh (componente principale delle onde superficiali). Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di

fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intera procedura per l'esecuzione e successiva elaborazione di un'indagine sismica di tipo MASW consiste in 4 passi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (mazza battente su piastra o fucile sismico), posta lungo uno stendimento rettilineo di sorgente - geofoni e spostata lungo la linea dello stendimento stesso dopo ogni acquisizione;

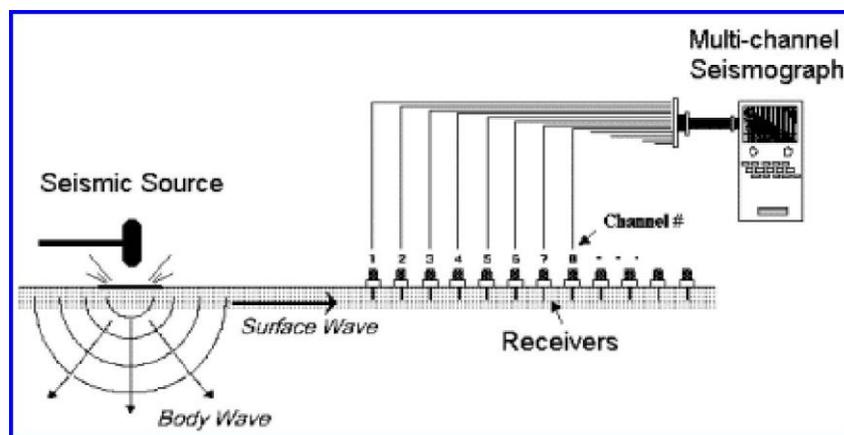


Figura 4-18 – Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo MASW.

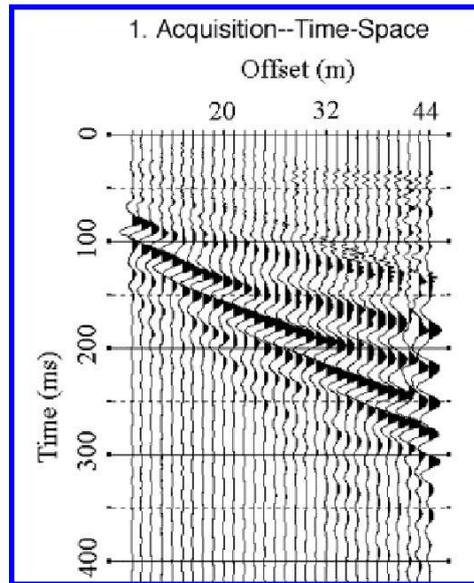


Figura 4-19 – Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento.

2. Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);

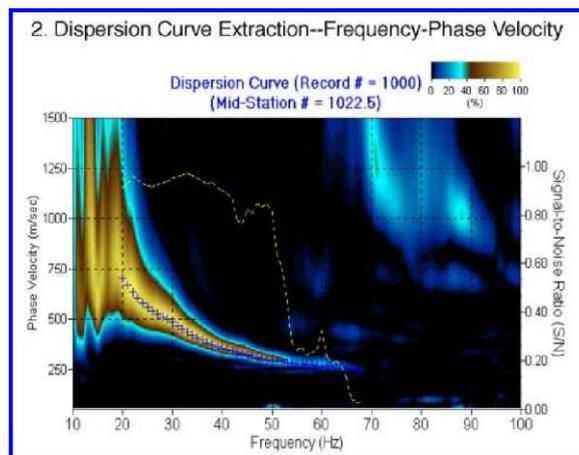


Figura 4-20 – Curva di dispersione delle velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh.

3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle V_s (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);

4. Ricostruzione di una sezione (modello 2D) delle V_s dei terreni con approccio multicanale (con almeno due acquisizioni dei segnali, ovvero due spostamenti lungo la linea dello stendimento).

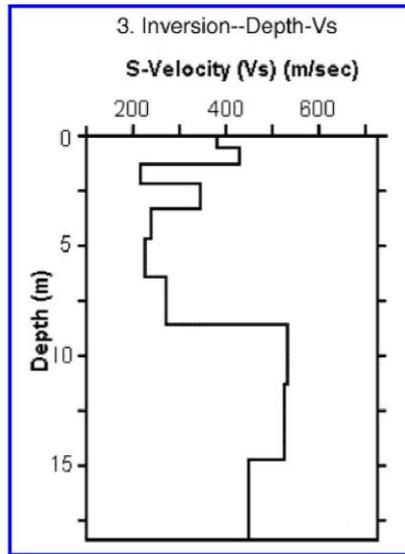


Figura 4-21 – Modello di velocità delle onde di taglio Vs ottenuto dalla curva di dispersione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso l'inversione di un modello multistrato del terreno.

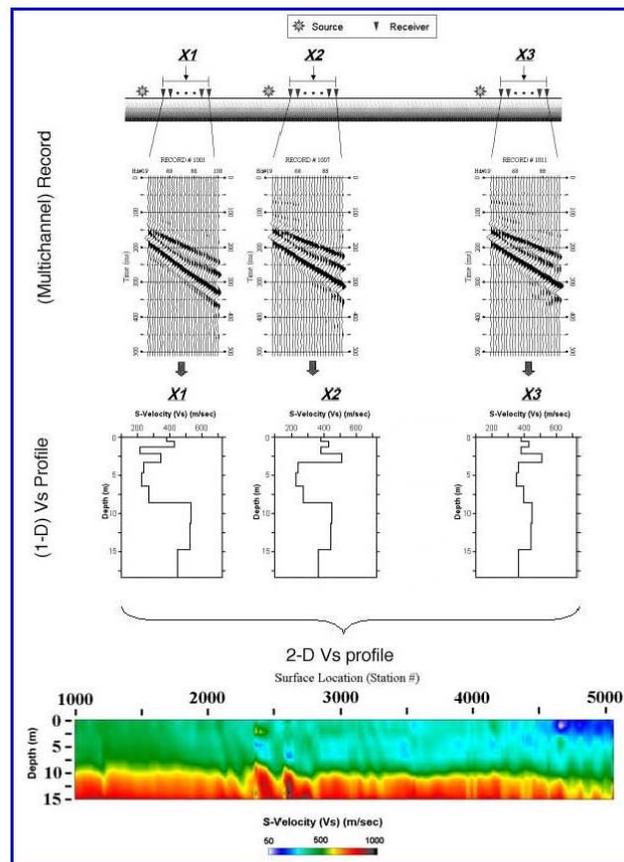


Figura 4-22 – Modello 2D di velocità delle onde di taglio Vs ottenuto da inversioni delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh

Quando si generano onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra, si generano sia onde di volume (P e S), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando

incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, canali sotterranei, trovanti lapidei, ecc.) e diventano rumore.

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella sua intrinseca capacità di distinguere le onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh, evidenziando così solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni. L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali.

Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni.

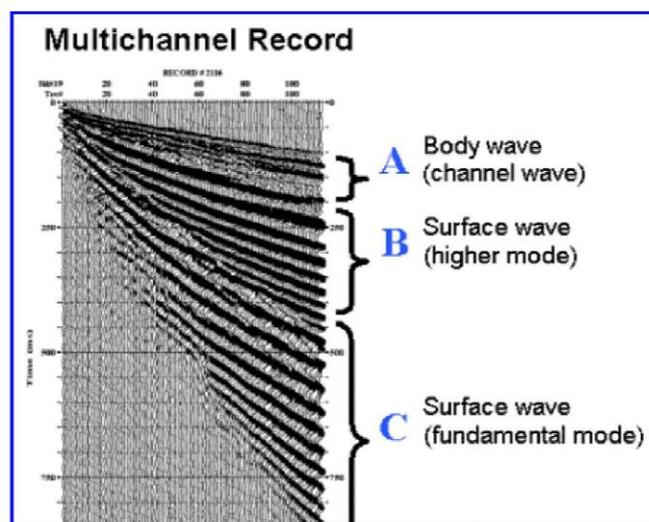


Figura 4-23 – Segnali sismici con acquisizione multicanale e riconoscimento delle varie fasi sismiche (onde di volume, modo fondamentale e modi superiori delle onde superficiali)

Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico. Tutte le altre onde (riflesse, disperse, modi superiori delle onde superficiali, noise ambientale) vengono quindi rimosse durante il processo di elaborazione.

La strumentazione geosismica utilizzata comprende:

- *GEA24 - sismografo 24 canali (serializzabile fino a 48 can.) con scheda di acquisizione 24 bit e interfaccia USB per PC esterno.*

www.pasigeophysics.com

SPECIFICHE TECNICHE GEA 24	
Numero di canali	24 can.+trigger (can. AUX) - 2 unità serializzabili per un tot. di 48 can.
Conversione Dati	Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)
Intervallo Campionamento	Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can. - fino a 31.25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.
Lunghezza Acquisizione	27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux) Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue
Guadagno Preamp.	0/52 dB, selezionabile via software
Stacking	Numero di stacking illimitato
Impedenza di ingresso	2M Ω // 22nF
Range Dinamico	144dB (sistema); >117dB (istantaneo, misurato @1kps)
Distorsione	0.007% @16kHz
Largh.Banda -3dB Largh.Banda +/- 0.1dB	6.8kHz@32kps - 0.21 kHz@1kps 3.5 kHz@32kps - 0.11 kHz@1kps
Filtri	Passa Basso: 125-200-500-1000Hz Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz
Filtri "Notch"	50-60Hz + armoniche
Trigger	Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software
Visualizzazione Tracce	Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / area variabile
Noise-monitor	Tutti i canali + trigger
Canale AUX (ausiliario)	1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)
Interfaccia comunicazione	1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente)
Formato Dati	SEG2, SAF (altri formati su richiesta)
Alimentazione	5VDC da USB, 0.25A
Temp.operativa/stoccaggio	-30°C to +80°C
Umidità	80% umidità relativa, non condensante
Dimensioni	24cm x19.5cm x11cm
Peso	2 Kg

Figura 4-24 – Scheda tecnica Sismografo Gea 24



Figura 4-25 – Sismografo Pasi GEA24

- 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile che consentono di convertire in segnali elettrici gli spostamenti che si verificano nel terreno, con risposta lineare a partire dalla frequenza di 4.5 Hz e relativo cavo di collegamento;



Figura 4-26 – Geofono

- massa battente e cannoncino sismico per l'energizzazione del terreno;
- durata delle registrazioni pari a 2 s, così da garantire la cattura dell'intero segnale.

Tutte le indagini MASW saranno realizzate lungo stendimenti di 24 geofoni e lunghezza massima variabile da 50 a 70 m, a seconda delle condizioni logistiche riscontrate, e per ciascuno stendimento sono state realizzate due energizzazioni agli estremi dello stesso, allo scopo di verificare la monodimensionalità del terreno investigato.

Codice	Nome originale	Località	Z max (m)	Vs (m/s) da - a
063038L21	MASW1	P. Rosario	20.00	304 - 304
063038L23	MASW2	Liceo Statale	12.00	160 - 160
063038L24	MASW3	Scuola Elementare	16.00	184 - 338
063038L25	MASW4	Ortola	14.00	153 - 343
063038L26	MASW5	Scuola Media	35.00	213 - 350
063038L27	MASW6	Via Borbonica	15.00	210 - 400
063038L28	MASW7	Case Popolari	9.00	218 - 252
063038L29	MASW8	Covo dei Borboni	11.00	274 - 340
063038L30	MASW9	Via Sant' Aniello	18.00	204 - 308
063038L31	MASW10	Cratea	17.00	175 - 451
063038L32	MASW11	Mezzavia	15.00	174 - 334
063038L33	MASW12	Via Pietra	15.00	192 - 402

Tabella 4-21 – Risultati delle indagini MASW integrative.

In allegato sono riportati i certificati delle indagini in cui sono indicate con precisione l'ubicazione dell'indagine e il profilo di Vs in funzione della profondità, dettagliato.

I risultati delle indagini MASW saranno discusse nei capitoli successivi.

4.2.3 Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

È stato eseguito N. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo indicato con la sigla S1DH, spinto alla profondità di 50 metri dal piano campagna. Tale sondaggio, condizionato a Down Hole, in accordo con il gruppo di supporto e coordinamento è stato ubicato all'interno del cortile della Istituto Comprensivo V. Mennella, alla Via Fundera 11. La scelta dell'ubicazione è ivi ricaduta per diversi motivi, tra cui la sicurezza degli operatori avvicendati

sul sito che hanno avuto a disposizione gli spazi necessari per lavorare in sicurezza e con efficienza; l'accessibilità del sito con gli strumenti e i mezzi per l'esecuzione della prova; la caratterizzazione del numero massimo di litotipi tra cui le argille e le sabbie tipiche delle zone costiere settentrionali dell'isola d'Ischia e i termini litologici profondi rinvenibili su tutto il territorio comunale.

Nella Tabella che segue vengono riportate in maniera sintetica le prove eseguite all'interno del sondaggio al fine di esibire un quadro di immediata lettura di quanto realizzato:

Sondaggio (Sigla)	Perforazione (m.l.)	Prelievo C.I. (Quota m)	S.P.T (Quota m).
S1DH	50.00	4.30-4.80	
		13.50-13.90	16.80-17.25
		23.30-23.80	28.50-28.95
		31.50-32.00	41.50-41.95
		47.20-47.70	

Tabella 4-22 – Sintesi indagini prove eseguite in S1DH.

Il sondaggio geognostico viene eseguito allo scopo di ricostruire il profilo stratigrafico del sito indagato, mediante l'esame del materiale estratto, per effettuare prove penetrometriche dinamiche S.P.T. e per consentire il prelievo di campioni indisturbati. I suddetti campioni si sottopongono a prove di laboratorio al fine di determinare le proprietà fisiche e meccaniche del terreno.

Per quanto riguarda il carotaggio continuo, con esso si intende un particolare e complesso metodo di indagine diretta che permette la ricostruzione stratigrafica dettagliata e puntuale dei litotipi presenti nel sottosuolo. In pratica, mediante un sistema oleodinamico, si imprime all'attrezzo di perforazione, costituito da una serie di aste alla cui estremità inferiore è montato un carotiere a diametro maggiore ed una punta tagliente (corona), sia pressione che rotazione così da "tagliare" il terreno nel modo più indisturbato possibile. Ad ogni variazione di strato ed ogni qualvolta si ritiene opportuno, smontando la batteria di aste, è possibile prelevare il nucleo di materiale (carote) penetrato nel carotiere durante l'approfondimento del perforo. Ogni carota viene riposta in apposite cassette catalogatrici con l'indicazione della profondità di prelievo.

Com'è facilmente intuibile, tale tecnica di avanzamento è molto più lenta di analoghi sistemi di perforazione ma permette un'analisi dettagliata e precisa della stratigrafia del sottosuolo.

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata la sonda idraulica cingolata Teredo DC203

con una capacità di coppia di 900 Kgm, mentre l'attrezzatura di perforazione aveva le seguenti caratteristiche ed i seguenti diametri:

- Aste di manovra cave dal diametro ϕ (mm) 76
- Aste di manovra lunghezza (m) 3.0
- Carotiere da ϕ (mm) 101
- Carotiere doppio da ϕ (mm) 101
- Carotiere lunghezza (m) 3.0
- Corona con denti in Widia da ϕ (mm) 101
- Corona diamantata da ϕ (mm) 101
- Tubi di rivestimento ϕ (mm) 140

4.2.3.1 Standard Penetration Test (S.P.T.)

Le prove penetrometriche dinamiche S.P.T. sono state praticate nei fori dei sondaggi per verificare le caratteristiche meccaniche dei terreni in attraversamento. Queste prove consentono di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di un campionatore RAYMOND battendo sulle aste di manovra per mezzo di un maglio normalizzato che cade da un'altezza standard.

L'attrezzatura adoperata presenta le seguenti caratteristiche:

- Maglio in acciaio da Kg 63.5
- Dispositivo di sgancio automatico del maglio
- Altezza di caduta del maglio cm 76
- Campionatore Raymond diametro cm 3.5
- Scarpa standard a punta aperta
- Punta conica standardizzata con angolo di apertura 60°

Il dato assunto come indice di resistenza alla penetrazione NSPT è il numero di colpi N necessario ad una penetrazione del campionatore pari a 30 centimetri, dopo 15 centimetri di infissione dinamica per il posizionamento.

Effettuando la prova con la punta a scarpa aperta è stato possibile prelevare un campione non indisturbato del terreno, utilizzato per il controllo della granulometria.



Figura 4-27 – Prova SPT1 a punta aperta



Figura 4-28 – Prova SPT2 a punta aperta



Figura 4-29 – Prova SPT3 a punta aperta

Tabella riassuntiva prove S.P.T. Sondaggio SIDH				
<i>Prof. (m)</i>	<i>N₁</i>	<i>N₂</i>	<i>N₃</i>	<i>N_{SPT}</i>
16.80-17.25	7	15	13	28
28.50-28.95	15	11	44	55
41.50-41.95	27	41	37	78

Tabella 4-23 – Sintesi prove SPT - SIDH.

4.2.3.2 Servizio fotografico



Figura 4-30 Postazione sondaggio SIDH



Figura 4-31 Sondaggio SIDH Cassetta C1



Figura 4-32 Sondaggio SIDH Cassetta C2



Figura 4-33 Sondaggio SIDH Cassetta C3



Figura 4-34 Sondaggio SIDH Cassetta C4



Figura 4-35 Sondaggio SIDH Cassetta C5



Figura 4-36 Sondaggio SIDH Cassetta C6



Figura 4-37 Sondaggio SIDH Cassetta C7



Figura 4-38 Sondaggio SIDH Cassetta C8



Figura 4-39 Sondaggio SIDH Cassetta C9



Figura 4-40 Sondaggio SIDH Cassetta C10

4.2.3.3 Prelievo dei campioni indisturbati

Il prelievo dei campioni viene realizzato adoperando un campionatore cilindrico “fustella”

che viene montata alle aste di manovra e poi infisso nel terreno alle profondità prestabilite, con la sola pressione esercitata dalla macchina perforatrice. Riempita la fustella di materiale, essa si estrae e immediatamente deve essere paraffinata alle due estremità, per evitare che, al contatto con l'aria, il materiale perda la sua umidità naturale. Tra i diversi tipi di campionatori esistenti in commercio, è stato utilizzato il campionatore "a pareti sottili", che tra tutti è quello che arreca minore disturbo al terreno. Durante l'esecuzione del sondaggio è stato prelevato un campione indisturbato alla profondità e con la sigla di seguito riportata:

Tabella riassuntiva campioni indisturbati. Sondaggio S1DH		
<i>Sigla campione</i>	<i>Profondità iniziale</i>	<i>Profondità finale</i>
S1DH-C1	4.30	4.80
S1DH-C2	13.50	13.90
S1DH-C3	23.30	23.80
S1DH-C4	31.50	32.00
S1DH-C5	47.20	47.70

Tabella 4-24 – Sintesi campioni indisturbati - S1DH.

4.2.4 Indagine sismica in foro Down Hole

Con il metodo sismico Down Hole (DH) viene misurato il tempo necessario affinché le onde P ed S si spostano dalla sorgente sismica, posta in superficie, ai ricevitori, posti all'interno di un foro di sondaggio (Figura 4-41;Figura 4-42).

Le componenti indispensabili per una misura DH accurata consistono in:

- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche ricche di energia e direzionali;
- uno o più geofoni tridimensionali, con appropriata risposta in frequenza (4,5-14 Hz), direzionali e dotati di un sistema di ancoraggio alle pareti del tubo-foro;
- un sismografo multi-canale, in grado di registrare le forme d'onda in modo digitale e di registrarle su memoria di massa;
- un trasduttore (trigger) alloggiato nella sorgente necessario per l'identificazione dell'istante di partenza della sollecitazione dinamica mediante massa battente.

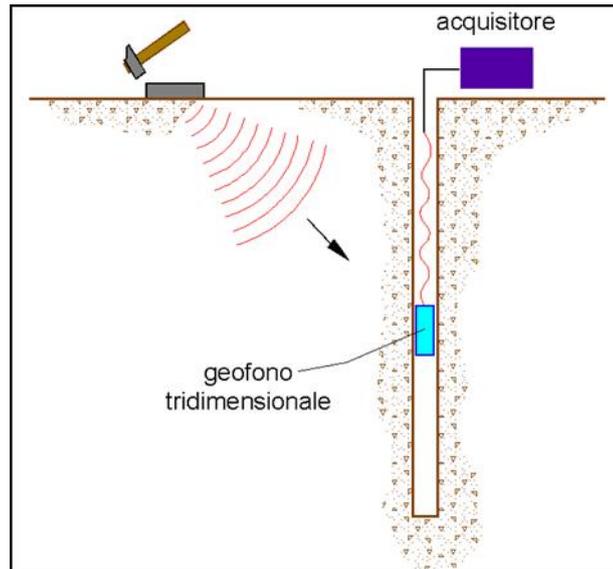


Figura 4-41 Schema Down Hole ad un solo ricevitore

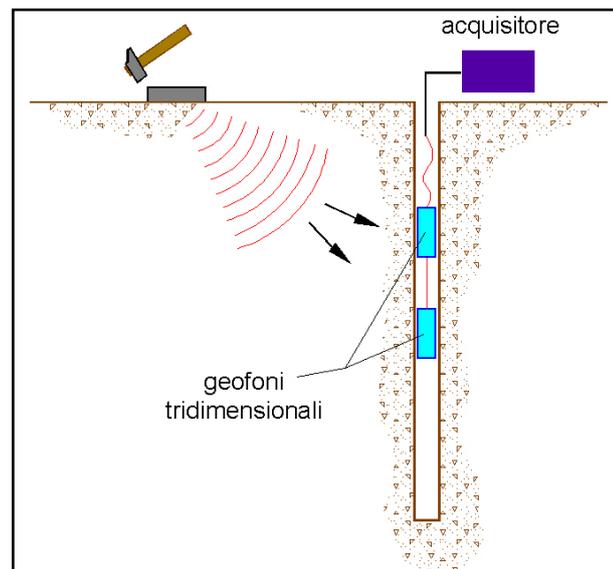


Figura 4-42 Schema Down Hole a due ricevitori

Nel nostro caso la strumentazione geosismica utilizzata consiste in un Sismografo GEA24 - sismografo 24 canali (serializzabile fino a 48 can.) con scheda di acquisizione 24 bit e interfaccia USB per PC esterno.



Figura 4-43 Sismografo GEA 24

La sorgente energizzante è costituita da un maglio del peso di 10 Kg battuto su di una piastra metallica infissa nel terreno. La piastra viene colpita tre volte, in tre direzioni tra loro ortogonali, al fine di generare sia onde di tipo trasversale (S) che longitudinale (P). Per la rilevazione dei tempi di arrivo è stata utilizzata una sonda a due sensori distanziati 1 metro l'uno dall'altro. Ognuno dei due sensori è costituito da tre geofoni di cui uno verticale e 2 orizzontali orientati a 90° tra loro. La sonda è dotata di un opportuno sistema pneumatico di ancoraggio alle pareti del foro ed è a tenuta stagna.



Figura 4-44 Sonda Down Hole

Durante la perforazione, per ridurre l'effetto di disturbo nel terreno, i fori vengono sostenuti mediante fanghi bentonici e il loro diametro viene mantenuto piuttosto piccolo (mediamente 15 cm).

I fori vengono poi rivestiti mediante tubazioni, generalmente in PVC e riempiti con una malta a ritiro controllato, generalmente composta di acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso.

Prima di ogni cosa, è però importante assicurarsi che il foro sia libero da strozzature e che il tubo di rivestimento non presenti lesioni.

L'interpretazione di una prova Down Hole può essere eseguita con due metodi differenti.

Il primo è il **metodo diretto** in cui inizialmente, bisogna correggere i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde. Se d è la distanza della sorgente dall'asse del foro, r la distanza fra la sorgente e la tripletta di sensori, z la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula di conversione:

$$1.0) t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

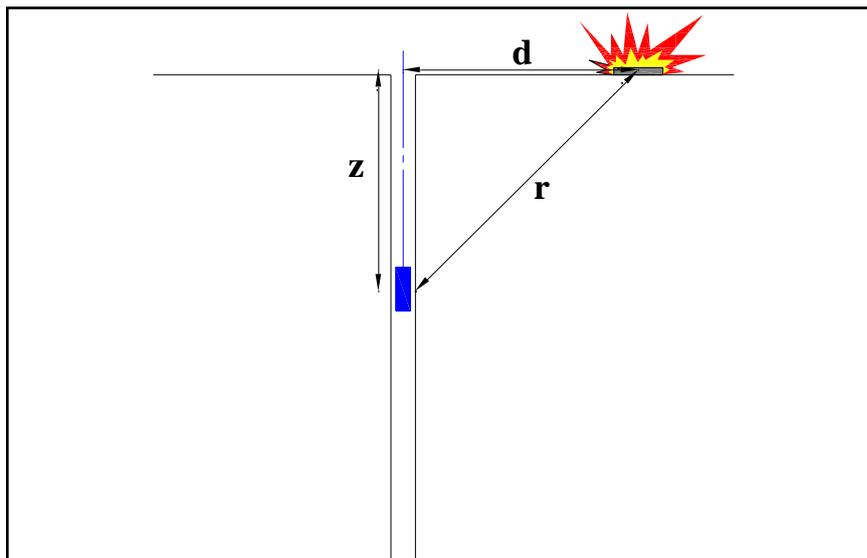


Figura 4-45 Schema prova Down Hole con metodo diretto

Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S si realizza il grafico $t_{corr} - z$ in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali (Figura 4-46).

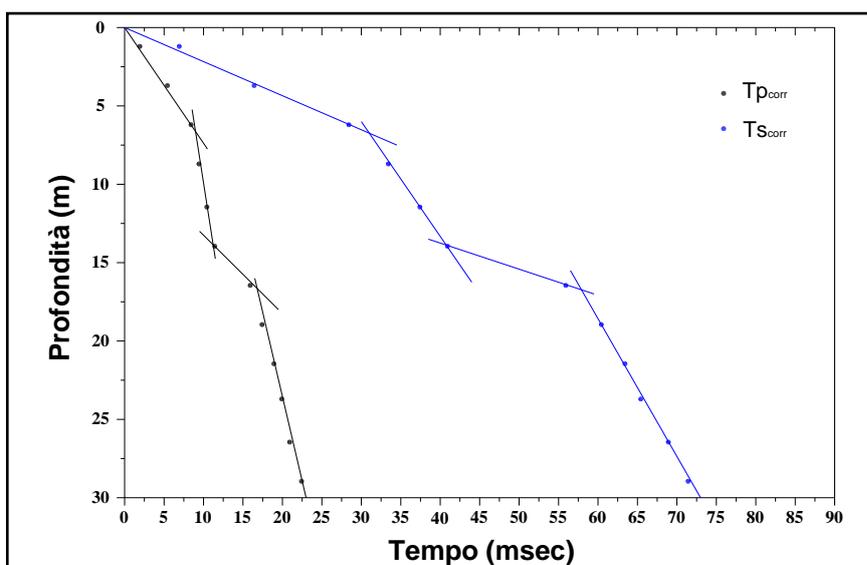


Figura 4-46 Dromocrone

Ottenuti graficamente i sismostrati si ottengono la densità media, funzione della velocità e della profondità, e i seguenti parametri:

- coefficiente di Poisson medio:

$$2.0) \nu_{\text{medio}} = 0.5 \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$$

- modulo di deformazione a taglio medio:

$$3.0) G_{\text{medio}} = \rho V_s^2$$

- modulo di compressibilità edometrica medio:

$$4.0) E_{\text{dmedio}} = \rho V_p^2$$

- modulo di Young medio:

$$5.0) E_{\text{medio}} = 2\rho V_s^2 (1 + \nu)$$

- modulo di compressibilità volumetrica medio:

$$6.0) E_{\text{vmedio}} = \rho \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$$

Con il **metodo intervallo** i tempi di tragitto dell'onda sismica si misurano fra due ricevitori consecutivi (Figura 4-47) posti a differente profondità, consentendo così di migliorare la qualità delle misure (velocità d'intervallo).

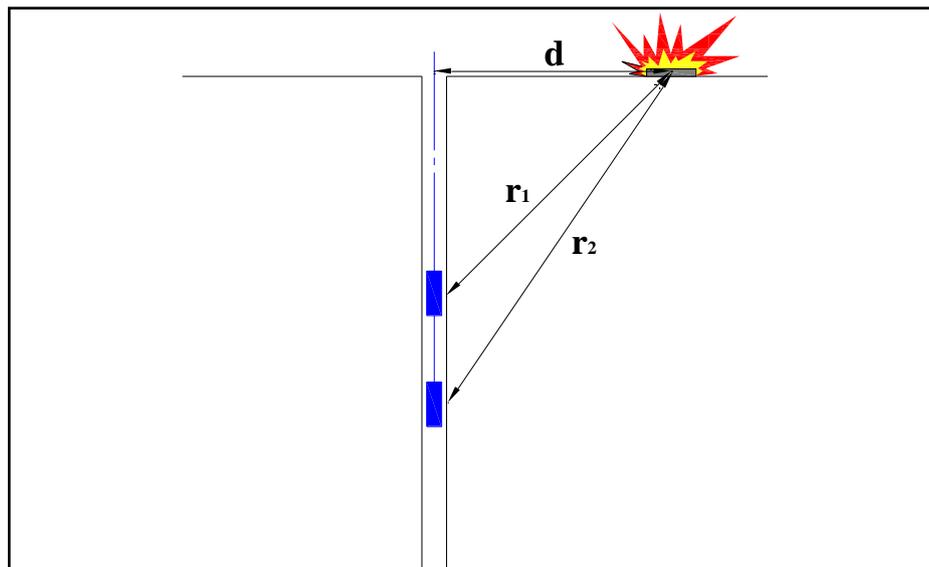


Figura 4-47 Schema di Down Hole con metodo intervallo

Quando si dispone di un solo ricevitore, cioè nell'ipotesi in cui le coppie non corrispondano ad un unico impulso, i valori di velocità determinati vengono definiti di pseudo-intervallo, consentendo solo un'apparente migliore definizione del profilo di velocità.

Ottenute le misure è possibile calcolare i tempi corretti con la 1.0) e la velocità intervallo delle onde P e S, con relativo grafico (Figura 4-48), con la formula seguente:

$$7.0) V_{p,s} = \frac{r_2 - r_1}{t_{2\text{corr}} - t_{1\text{corr}}}$$

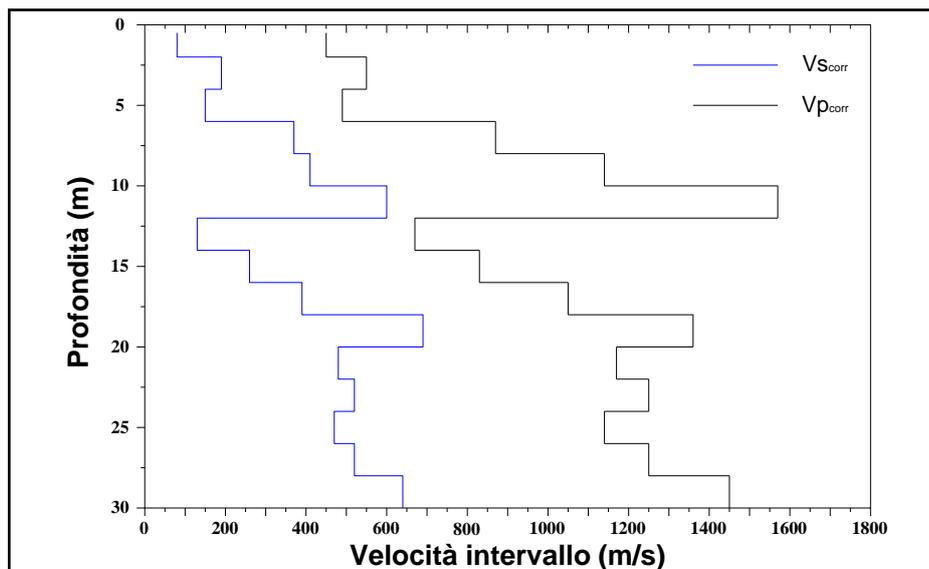


Figura 4-48 Profilo delle velocità sismiche con il metodo intervallo

Ottenute le velocità intervallo si calcolano la densità, il coefficiente di Poisson, il modulo di deformazione a taglio, il modulo di compressibilità edometrica, il modulo di Young, il modulo di compressibilità volumetrica per ogni intervallo con le formule riportate sopra.

Il metodo intervallo presenta però dei limiti:

- non tiene conto della velocità degli strati sovrastanti;
- non è applicabile nel caso in cui $t_{2corr} < t_{1corr}$.

Ambedue le procedure d'interpretazione sopra descritte sono comunque suscettibili di una critica fondamentale, cioè si basano sull'ipotesi che i percorsi delle onde siano rettilinei e coincidenti con quelli che collegano la sorgente ai ricevitori. Di solito ciò non è esatto, dato che, prima di giungere ai ricevitori, le onde subiscono fenomeni di rifrazione che ne modificano il percorso.

4.2.4.1 Risultati

L'indagine sismica in foro ha consentito la determinazione delle velocità delle onde trasversali e quindi, note le relazioni intercorrenti tra queste due grandezze e la densità naturale dei terreni, la definizione delle loro caratteristiche di risposta dinamica. In particolare tali caratteristiche vengono fondamentalmente quantificate attraverso il coefficiente di Poisson (ν), il modulo di Young (E), il modulo di incompressibilità (K) ed il modulo di taglio dinamico (G). Di questi tre parametri solo il primo è calcolabile mediante la velocità delle onde P ed S, mentre gli altri due necessitano, come già detto, della conoscenza della densità naturale del terreno.

I risultati delle indagini sismiche Down Hole sono riportati negli allegati sia in forma numerica che grafica e presentano velocità delle onde di taglio compatibili con le litologie

presenti, di seguito si riportano alcune tabelle con i principali risultati ottenuti:

Profond. (m)	Velocità onda P (m/s)	Velocità onda S (m/s)	Peso di volume (kN/mc)	Coeffic. Poisson (-)	Modulo elastico G (MPa)	Modulo edomet. Ed (MPa)	Modulo di Young E (MPa)	Modulo di incompr. Ev (MPa)
22.00	1217.73	281.19	18.56	0.47	149.64	2806.46	440.48	2606.94
23.00	1389.47	215.46	17.46	0.49	82.65	3437.34	245.92	3327.13
24.00	1617.33	267.04	18.29	0.49	133.00	4878.55	395.28	4701.21
25.00	1397.24	290.44	18.59	0.48	159.91	3700.84	472.50	3487.63
26.00	1626.81	267.59	18.24	0.49	133.18	4922.41	395.84	4744.84
27.00	1945.53	340.26	19.16	0.48	226.20	7395.21	671.45	7093.61
28.00	1950.84	427.55	20.00	0.47	372.81	7761.63	1099.64	7264.55
29.00	1099.75	353.02	19.25	0.44	244.63	2374.09	705.81	2047.92
30.00	1236.10	366.23	19.37	0.45	264.92	3017.98	769.27	2664.75
31.00	1961.55	261.57	18.03	0.49	125.79	7074.14	375.08	6906.42
32.00	2443.19	276.07	18.22	0.49	141.60	11090.27	422.96	10901.47
33.00	2447.38	449.14	20.08	0.48	413.05	12264.39	1224.78	11713.65
34.00	1970.83	430.27	19.90	0.48	375.68	7881.90	1108.26	7380.99
35.00	1972.77	471.01	20.22	0.47	457.43	8024.42	1344.66	7414.51
36.00	1416.83	381.72	19.41	0.46	288.40	3973.20	842.65	3588.67
37.00	1651.26	580.99	20.92	0.43	720.08	5816.64	2058.57	4856.54
38.00	1977.85	549.60	20.71	0.46	637.90	8261.26	1860.37	7410.72
39.00	1653.17	321.10	18.69	0.48	196.50	5208.63	581.80	4946.63
40.00	1243.78	521.68	20.50	0.39	568.91	3233.85	1585.33	2475.31
41.00	1981.77	705.67	21.50	0.43	1091.75	8610.42	3116.73	7154.76
42.00	1107.18	619.01	21.06	0.27	822.87	2632.54	2094.37	1535.37
43.00	1983.73	660.19	21.26	0.44	944.89	8531.15	2716.94	7271.30
44.00	2474.64	823.32	22.87	0.44	1580.82	14281.36	4545.81	12173.60
45.00	2476.47	332.27	18.73	0.49	210.86	11713.41	628.70	11432.26
46.00	2477.71	293.39	18.23	0.49	160.01	11412.14	477.76	11198.78
47.00	1658.65	762.08	21.67	0.37	1283.33	6079.22	3506.57	4368.11
48.00	1988.08	661.77	21.21	0.44	947.18	8548.46	2723.52	7285.54
49.00	1988.46	293.51	18.19	0.49	159.79	7334.08	475.82	7121.02
50.00	2482.00	383.42	19.23	0.49	288.28	12079.87	857.81	11695.50

Tabella 4.25 – Tabella riassuntiva Down Hole - SIDH.

Profond. Strato (m)	Velocità onda P (m/s)	Velocità onda S (m/s)	Peso di volume (kN/mc)	Coeffic. Poisson (-)	Modulo elastico G (MPa)	Modulo edomet. Ed (MPa)	Modulo di Young E (MPa)	Modulo di incompr. Ev (MPa)
6.07	393.39	180.12	17.80	0.37	58.90	280.97	161.09	202.44
15.29	747.77	269.35	19.03	0.43	140.81	1085.24	401.44	897.49
22.96	1315.61	194.82	17.91	0.49	69.31	3160.64	206.37	3068.23
31.94	1600.71	307.75	19.57	0.48	188.97	5112.60	559.66	4860.63
50.00	1840.98	461.89	20.55	0.47	447.05	7101.89	1311.13	6505.82

Tabella 4-25 – Tabella sismostratigrafica ricavata dal Down Hole - SIDH con il metodo diretto.

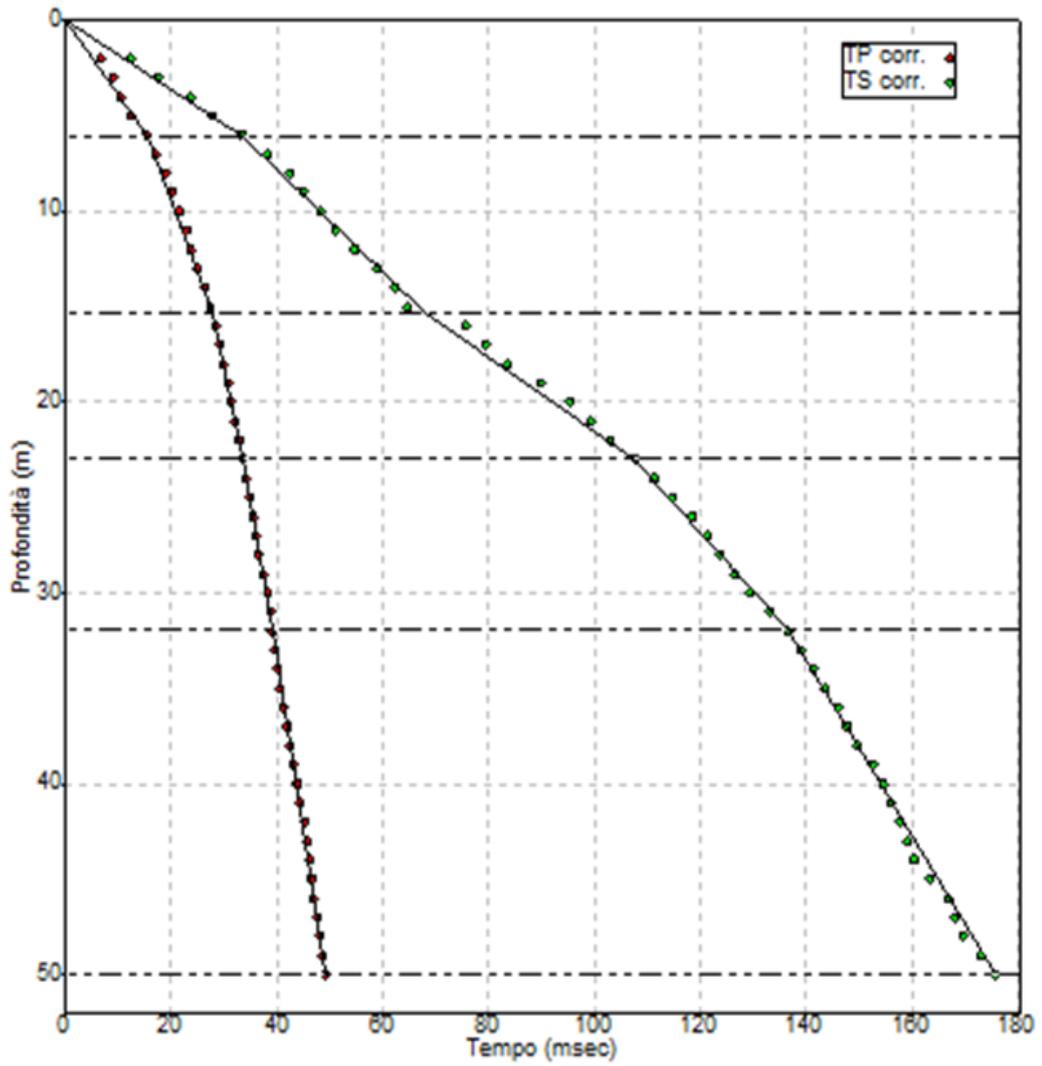


Figura 4-49 Dromocrone SIDH – Metodo diretto



Figura 4-50 Postazione Down Hole SIDH

I risultati saranno descritti dettagliatamente e commentati nei capitoli successivi.

5 Modello del sottosuolo finalizzato alla MS

5.1 Unità geologico-tecniche: definizione e parametrizzazione

Il modello del sottosuolo rappresenta lo strumento fondamentale per attingere le informazioni necessarie alla realizzazione della Carta delle Microzone a Comportamento Sismico Omogeneo e alla modellazione della risposta sismica locale.

Per la ricostruzione di tale modello sono state svolte le seguenti attività:

- Consultazione della carta geologica redatta da Sbrana & Toccaceli 2011;
- Analisi e interpretazione delle carte tematiche e dei risultati delle “indagini geofisiche pregresse” forniteci dalla Struttura di Supporto CNR-IGAG per il Centro MS nell’ambito del progetto “Primi interventi urgenti di protezione civile conseguenti all’evento sismico che ha interessato il territorio dei Comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell’isola d’Ischia il giorno 21 agosto 2017”
- Interpretazione delle indagini geognostiche eseguite per la realizzazione del Piano Regolatore Generale del Comune di Lacco Ameno
- Analisi e interpretazione del sondaggio geognostico a carotaggio continuo S1 (appositamente redatto per lo studio di MS di livello III), delle prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati prelevati nel corso del carotaggio e dei dati geofisici derivanti dalla misura sismica in foro Down-Hole eseguita ad hoc per tale studio

Come già descritto precedentemente, nel territorio comunale di Lacco Ameno si rinvengono terreni di natura vulcanica derivanti da differenti centri eruttivi, non sempre riconoscibili, in gran parte distrutti o ricoperti dai prodotti dell’attività successiva (Carlino et al., 2006) e da depositi caotici, derivanti da fenomeni franosi che hanno interessato i versanti del Monte Epomeo (De Vita et al., 2006).

In particolare, dalla carta geologica elaborata da Sbrana & Toccaceli 2011, sono state cartografate e individuate diverse coltri di coperture associabili a:

- ✓ depositi di frana antichi e recenti, composti da materiale eterogeneo ed eterometrico fino a blocchi monolitici di dimensioni superiori a vari metri cubi in matrice argilloso sabbiosa e sabbioso limosa;
- ✓ prodotti di frana, del tipo debris flow e debris avalanche, derivanti dal collasso gravitativo del settore settentrionale del blocco risorgente del Monte Epomeo;
- ✓ depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie e argille sabbiose, terreni detritici caotici e comprende sedimenti marini di spiaggia fossilifera;
- ✓ intercalazioni di depositi di pomici da caduta, surge e flussi piroclastici, depositati in ambiente subaereo presentano una colorazione biancastra-giallastra;

- ✓ depositi di spiaggia, attuale e recente, depositi alluvionali e colluviali, eterometrici ed eterogenei a granulometria prevalentemente sabbioso limosa ed argillosa, con abbondante scheletro detritico.
- ✓ depositi costituiti da alternanze di argille torbose e di sabbie grigie e grigio azzurrognole, fossilifere e con locali intercalazioni di lenti sabbiose di ambiente deposizionale paludoso.

Le coperture elencate poggiano su substrati geologici costituiti essenzialmente da:

- ✓ Tufi massivi, saldati, di colore da grigio chiaro al verdastro, alterati dall'azione idrotermale;
- ✓ Lave trachitiche nere costituite da depositi massivi di breccie piroclastiche, ricche in matrice cineritica grossolana di circa 20-25 m di spessore, contenente scorie trachitiche;
- ✓ Tufi gialli stratificati ricchi in livelli di bombe e lapilli scoriacei e pomicei;
- ✓ Lave trachitiche di colore grigio, da massive a grossolanamente stratificate

Tali informazioni sono state confrontate e integrate con la carta geolitologica in scala 1:10.000 eseguita dal gruppo di lavoro CNR-IGAG; in particolare, la cartografia suddetta è stata utilizzata per la redazione di n. 6 sezioni geologiche, indispensabili per chiarire il contesto geologico-stratigrafico-strutturale del territorio comunale.

Di seguito si riporta la carta geolitologica (CNR-IGAG) con l'ubicazione delle tracce di sezione geologica eseguite.

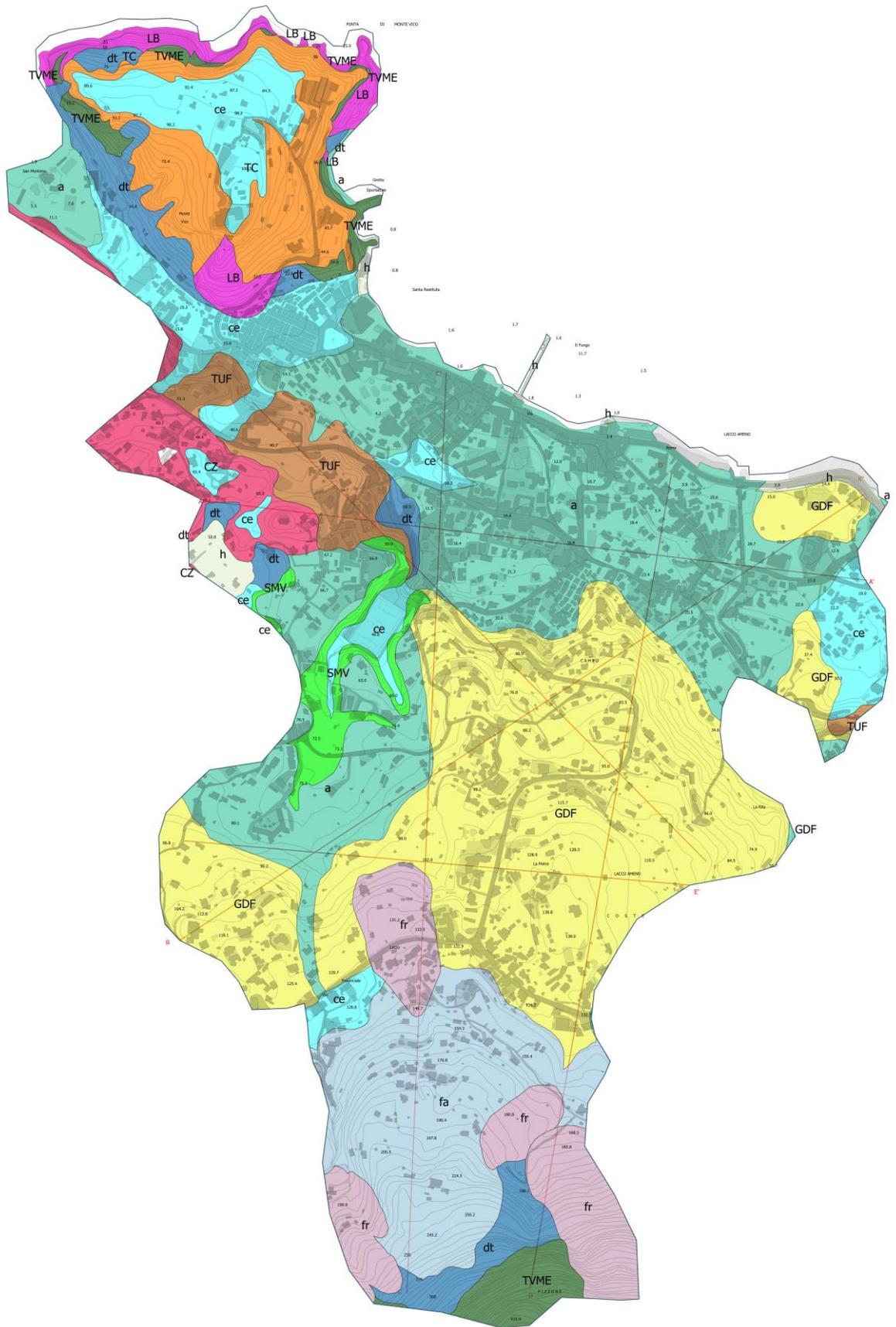


Figura 5-1 Carta geolitologica CNR-IGAG (2018) con l'ubicazione delle tracce di sezione geologica eseguite.

Dalla disamina e dall'interpretazione delle sezioni geologiche eseguite, in accordo con il gruppo di lavoro CNR-IGAG (2018), si è deciso di ubicare il sondaggio geognostico a carotaggio continuo lungo la piana costiera del territorio comunale con lo scopo di acquisire informazioni più dettagliate sui depositi marini presenti nel sottosuolo.

Di seguito si riporta la colonna stratigrafica del sondaggio geognostico eseguito.

SCALA 1 :100		SONDAGGIO - S1 DH				Pagina 1/3							
metri	σ mm	R v	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	Campioni	Standard Penetration Test					
								m	S.P.T.	N	Cass		
1				0.20	0.20	Materiale di copertura stradale (asfalto). Materiale di colore variabile dal marrone verdastro al grigio verdastro a granulometria sabbioso ghiaiosa con intercalazioni di livelli sabbioso limosi e abbondante presenza di inclusi litici di Colle Jetto (siltiti di colore biancastro di dimensioni fino a 4-5 centimetri). Materiale da poco a mediamente addensato. A partire da circa 6.00 metri dal piano campagna si rinvencono livelli tufacei di spessore variabile da pochi millimetri fino a 4-5 centimetri. Tali livelli si presentano alterati con abbondanti tracce di ossidazione.					1		
2													
3													
4							Formazione GDF (depositi dei grandi Debris Flow e Debris Avalanche) - Carta geolitologica elaborata dal CNR-ICAG, CNR-IAM. Codice CGT: GMfd						
5								1) She < 4.30 4.80					
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12				12.00	11.80	Materiale di colore variabile dal beige, al verde petrolio e al marrone grigiastro a granulometria limoso argillosa con presenza di inclusi pomicei rinvenuti sottoforma di livelletti di spessore millimetrico. Materiale poco consistente.							
13						Formazione ASM (Argille e siltiti marine) - Carta geolitologica elaborata dal CNR-ICAG, CNR-IAM. Codice CGT: CLpl							
14				14.20	2.20	Materiale di colore grigio verdastro a granulometria sabbioso ghiaiosa con presenza di pomici di dimensioni fino a 2 centimetri. Materiale mediamente addensato.							
15				15.30	1.10	Formazione ASM (Argille e siltiti marine) - Carta geolitologica elaborata dal CNR-ICAG, CNR-IAM. Codice CGT: CLpl							
16						Alternanze di limi argillosi e sabbie ghiaiose di colore grigio verdastro ricche di pomici di dimensioni fino a 1-2 centimetri. Materiale poco consistente/addensato. Da metri 15.80 a metri 16.20 si rinviene un livello poco consistente di colore marrone grigiastro a granulometria limosa con presenza di inclusioni lignee.							
17								16.8	7-15-13	28			
18				17.70	2.40	Formazione ASM (Argille e siltiti marine) - Carta geolitologica elaborata dal CNR-ICAG, CNR-IAM. Codice CGT: CLpl							
19						Materiale di colore grigio scuro-nerastro a granulometria limosa, talora torboso, plastico e poco consistente.							
20						Formazione ASM (Argille e siltiti marine) - Carta geolitologica elaborata dal CNR-ICAG, CNR-IAM. Codice CGT: CLpl							

metri	Ø mm	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	Campioni	Standard Penetration Test		Cass.
							m	S.P.T. N	
21.					Materiale di colore grigio scuro-nerastro a granulometria limosa, talora torboso, plastico e poco consistente. Formazione ASM (Argille e siltiti marine) - Carta geologica elaborata dal CNR-ICAG, CNR-IAM. Codice CGT: CLpl				
22.			22.00	4.30					5
23.					Materiale di colore variabile dal verde petrolio al beige, a granulometria limoso argillosa con presenza di inclusi pomicei rinvenuti sottoforma di livelletti di spessore millimetrico. Materiale poco consistente. Formazione ASM (Argille e siltiti marine) - Carta geologica elaborata dal CNR-ICAG, CNR-IAM. Codice CGT: CLpl	3) She - 23.30 23.80			
24.			23.80	1.80					
25.					Materiale di colore grigio chiaro a granulometria prevalentemente sabbiosa con rara presenza di pomici e scorie di dimensioni fino a 1 centimetro. Formazione ASM (Argille e siltiti marine) - Carta geologica elaborata dal CNR-ICAG, CNR-IAM. Codice CGT: CLpl				
26.									
27.			26.80	3.00					
28.					Materiale di colore grigio verdastro a granulometria limoso argillosa con presenza di inclusi pomicei rinvenuti sottoforma di livelletti di spessore millimetrico. Materiale poco consistente. Formazione ASM (Argille e siltiti marine) - Carta geologica elaborata dal CNR-ICAG, CNR-IAM. Codice CGT: CLpl				6
29.			28.10	1.30			28.5	15-11-44	
30.					Materiale di colore verdastro a granulometria sabbioso ghiaiosa con abbondante presenza di inclusi tufacei di dimensioni fino a 7-8 centimetri, pomici eterometriche di dimensioni fino a 2-3 centimetri e rari litici lavici di dimensioni fino a 7-8 centimetri. Materiale ben addensato. Talora il materiale si presenta con variegazioni giallastre e a tratti con matrice argillosa e sottili tracce di ossidazione. Da metri 43.60 a metri 44.00 si rinviene un livello torboso di colore nerastro, mentre da metri 45.00 a metri 50.00 il materiale presenta una maggiore frazione fine e un maggiore grado di addensamento. Formazione SEM (Sabbie epiclastiche di ambiente marino) - Carta geologica elaborata dal CNR-ICAG, CNR-IAM. Codice CGT: SWzz	4) She - 31.50 32.00			7
31.									
32.									
33.									
34.									
35.									
36.									
37.									
38.									8
39.									
40.									

metri	Ø mm	L	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	Campioni	Standard Penetration Test					
								m	S.P.T.	N	Cass.		
41						Materiale di colore verdastro a granulometria sabbioso ghiaiosa con abbondante presenza di inclusi tufacei di dimensioni fino a 7-8 centimetri, pomice eterometriche di dimensioni fino a 2-3 centimetri e rari litici lavici di dimensioni fino a 7-8 centimetri. Materiale ben addensato. Talora il materiale si presenta con variegazioni giallastre e a tratti con matrice argillosa e sottili tracce di ossidazione. Da metri 43.60 a metri 44.00 si rinviene un livello torboso di colore nerastro, mentre da metri 45.00 a metri 50.00 il materiale presenta una maggiore frazione fine e un maggiore grado di addensamento. Formazione SEM (Sabbie epiclastiche di ambiente marino) - Carta geolitologica elaborata dal CNR-ICAG, CNR-IAM. Codice CGT: SWzz		41.5	27-41-37	78			
42													
43													9
44													
45													
46													
47													
48													
49													
50	1101				50.00		21.90						

Figura 5-2 Stratigrafia sondaggio geognostico SIDH

Dal carotaggio eseguito è emerso sostanzialmente quanto riportato nella carta geologica di Sbrana e Toccacelli 2011.

In particolare, è stato individuato un deposito costituito da una successione di argille torbose e sabbie grigie e grigio azzurrognole con locali intercalazioni di lenti sabbiose di ambiente deposizionale paludoso. Tale deposito presenta una continuità laterale testimoniata dalla stratigrafia del sondaggio geognostico S2 realizzato per la stesura del piano regolatore generale del comune di Lacco Ameno.

Pertanto, il deposito individuato rappresenta un'informazione aggiuntiva e un tassello in più, di grande importanza, ai fini della microzonazione sismica e, in accordo con il gruppo di lavoro, è stato classificato come "Unità di Lacco Ameno" – ULA.

Successivamente, è stata svolta una campagna geologica di rilevamento di dettaglio eseguita nell'ambito dell'intero territorio comunale con lo scopo di procedere alla stesura di una carta geolitologica di maggior dettaglio.

Il rilevamento eseguito è stato essenziale per la definizione dei rapporti stratigrafici e per l'attribuzione degli ambienti di sedimentazione delle formazioni geologiche individuate e fondamentalmente per la redazione della carta geologico tecnica CGT indispensabile per la modellazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS.

Nel corso della campagna di rilevamento, in corrispondenza di ciascun affioramento, coperture e/o ammassi rocciosi individuati, è stata compilata una scheda di raccolta dati riportante tutte le informazioni caratteristiche di ciascun affioramento seguendo i protocolli

forniti dal gruppo di lavoro.

Inoltre, sono state individuate e cartografate tutte le porzioni di territorio interessate da squilibri diffusi e situazioni di criticità geoambientale.

Di seguito si riporta uno stralcio della carta geolitologica realizzata:

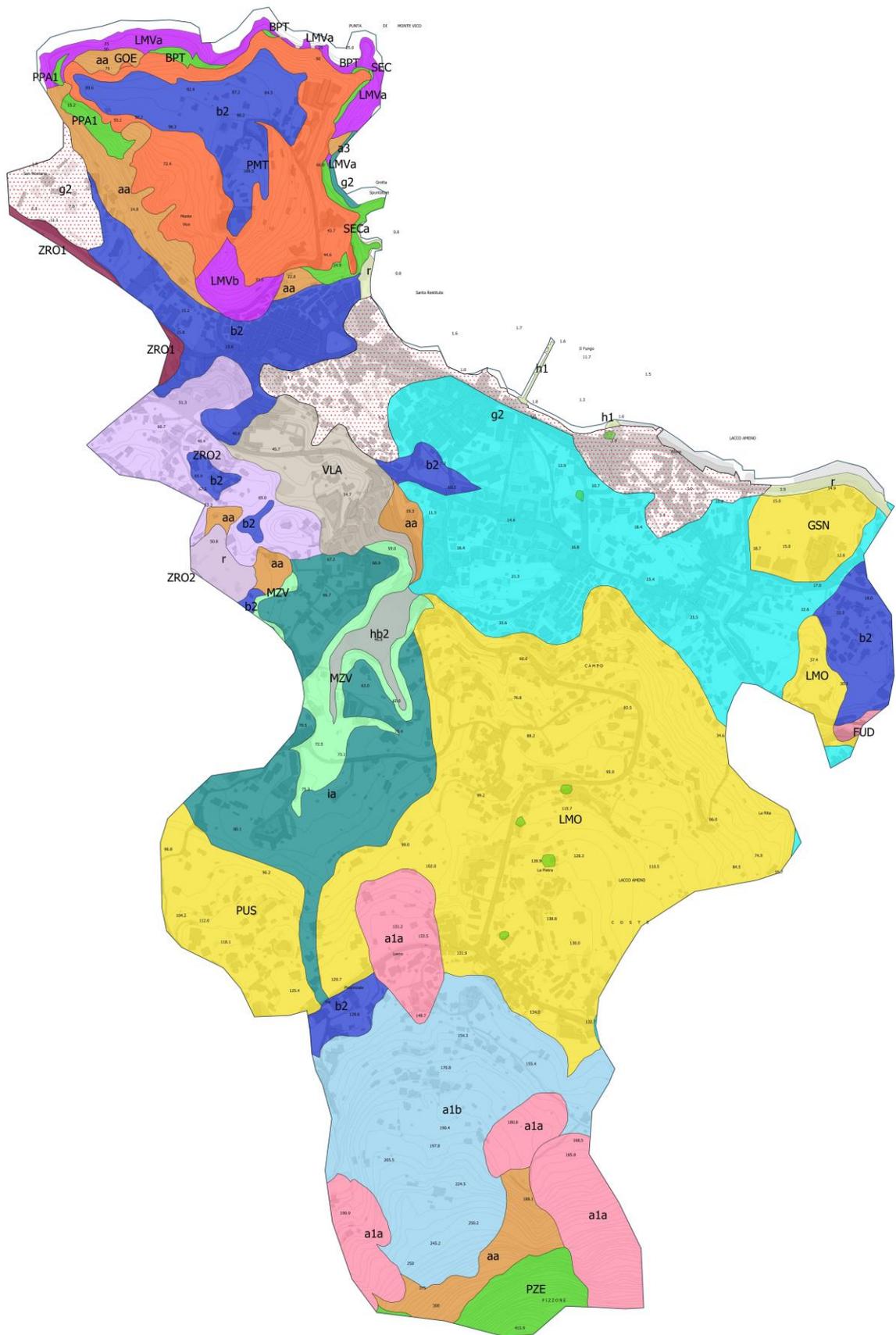


Figura 5-3 Carta Geolitologica con codici relativi alla carta di Sbrana e Toccaceli 2011

Le formazioni geolitologiche individuate sono state caratterizzate anche in prospettiva sismica, in termini di velocità di propagazione delle onde di taglio Vs, in modo da definire un modello sismico di sottosuolo da utilizzare per la definizione della MS.

Di grande importanza sono stati i risultati ottenuti dalle misure sismiche in foro Down Hole, realizzate nell'ambito del presente lavoro e il confronto degli stessi con le misure eseguite in corrispondenza del S2DH del PRG.

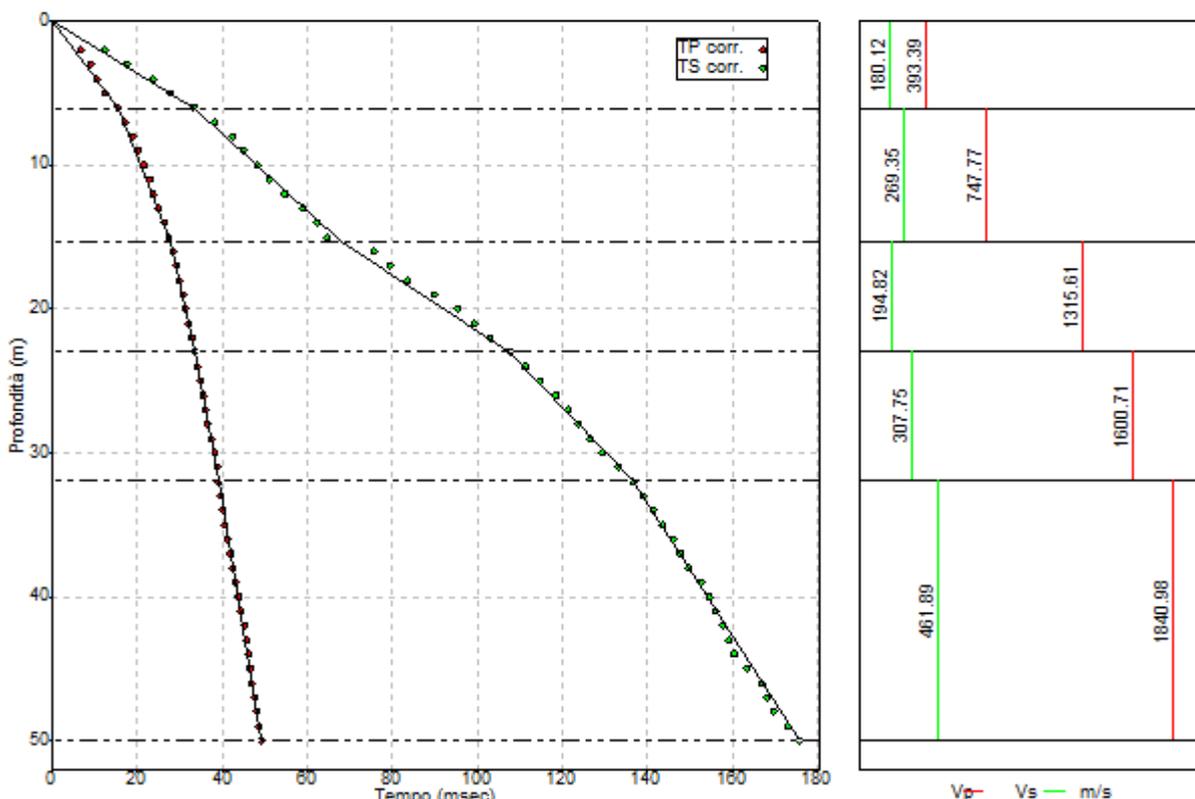


Figura 5-4 Dromocrone indagine sismica Down Hole SIDH

Profondità [m]	Vp medio [m/s]	Vs medio [m/s]	g medio [kN/mc]	ni medio	G medio [MPa]	Ed medio [MPa]	E medio [MPa]	Ev medio [MPa]
6.07	393.39	180.12	17.8	0.37	58.9	280.97	161.09	202.44
15.29	747.77	269.35	19.03	0.43	140.81	1085.24	401.44	897.49
22.96	1315.61	194.82	17.91	0.49	69.31	3160.64	206.37	3068.23
31.94	1600.71	307.75	19.57	0.48	188.97	5112.6	559.66	4860.63
50	1840.98	461.89	20.55	0.47	447.05	7101.89	1311.13	6505.82

Figura 5-5 Tabella descrittiva dei parametri relativi ai sismostrati identificati per SIDH

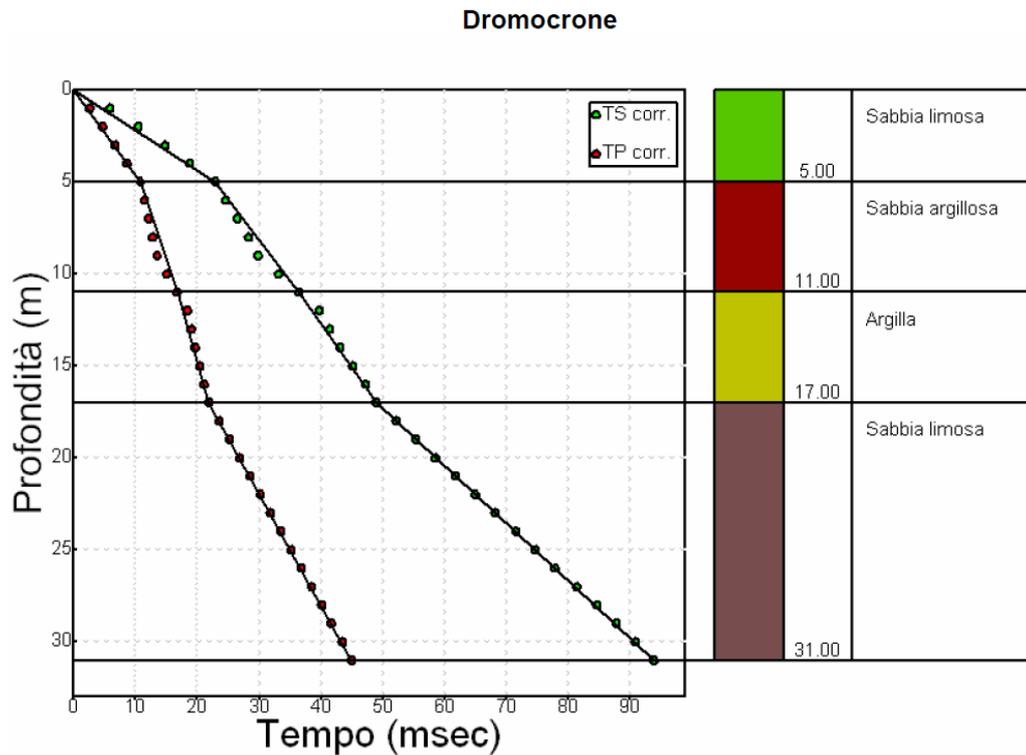


Figura 5-6 Dromocrone indagine sismica Down Hole S2DH-PRG

Sismostrati con metodo diretto

Descrizione (-)	Profondità (m)
Sabbia limosa	5
Sabbia argillosa	11
Argilla	17
Sabbia limosa	31

Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
464.25	218.91	18.76	0.36	91.69	412.36	248.85	290.1
1006.71	442.48	21.18	0.38	422.79	2188.51	1167.13	1624.79
1171.88	477.71	21.42	0.4	498.53	3000.08	1396.25	2335.37
607.11	312.15	19.28	0.32	191.54	724.55	505.79	469.16

Figura 5-7 Tabella descrittiva dei parametri relativi ai sismostrati identificati per S2DH-PRG

I valori di Vs dei primi 12 m di S1DH sono associabili ai depositi dei debris avalanche e debris flow (Cod. geo-litologico. GDF, sensu CNR-IGAG 2018) variabile da 180 a 270 m/s e confermati dalle misure sismiche MASW superficiali eseguite in questa zona.

Diversamente i primi 10 m di spessore del sondaggio S2DH-PRG identificano la presenza dei depositi di retro spiaggia e dei terrazzi marini, a granulometria prevalentemente sabbiosa con poca argilla e con abbondante scheletro detritico eterogeneo, caratterizzati da Vs di circa 270 m/s.

Al di sotto di questa profondità è presente la formazione ULA con valori di Vs compresi tra

194 e 307 m/s, desunta dalle misure di S1DH, che si estende in tutta l'area della marina di Lacco Ameno (così anche come evidenziato dalle MOPS 2006 e 2007, vedi paragrafo 8.4), con uno spessore costante di circa 20 m. Tale formazione è poggiate sui depositi sabbiosi marino costieri (Cod. Carg. CPMa), riconosciuti nelle due indagini Down Hole sopracitate e caratterizzate da Vs variabile da 307 a 461 m/s.

Da tale profondità in poi per la zona della Marina di Lacco Ameno, così come per le restanti porzioni del territorio del comune, i valori di Vs sono stati dedotti dall'interpretazione dei risultati dell'array sismico eseguito nella Località Fango dal gruppo di supporto e dai risultati delle inversioni congiunte eseguite dal nostro raggruppamento.

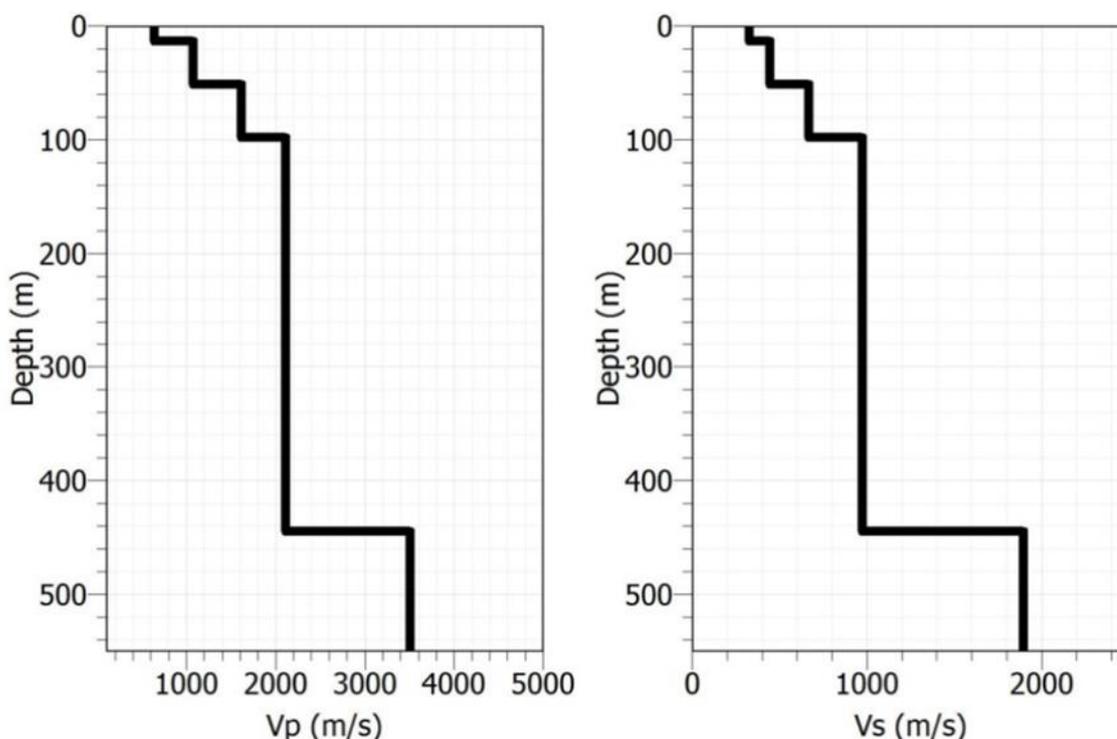


Figura 5-8 Profili medi di $V_p(h)$ e di $V_s(h)$ – Array Fango

From (m)	To(m)	Thickness (m)	V_s (m/s)	V_p (m/s)
0	13,0	13,0	328	636
13,0	51,6	38,6	446	1075
51,6	97,7	46,1	667	1616
97,7	444,6	346,9	974	2115
444,6		?	1897	3512

Figura 5-9 Modello di "Bestfit" ottenuto per Array Fango

L'inversione congiunta della curva H/V e di quella di dispersione è stata eseguita laddove le 2 misure realizzate per lo stesso sito, presentavano risultati chiari e affetti da piccole incertezze.

Il programma utilizzato per l'esecuzione di queste analisi è HV inv Beta 2.0 Win 64, il quale restituisce in seguito al processo di inversione una serie di profili di Vs al variare di z, differenti tra loro in funzione del minimo Misfit ricavato per ogni tipologia di inversione, ovvero della migliore approssimazione tra le curve teoriche e quelle sperimentali.

Non sempre i risultati dell'inversione congiunta hanno restituito profili di Vs(h) attendibili, per tanto sono stati ritenuti utilizzabili, allo scopo del presente lavoro, solo quelli eseguiti in Località Crateca, Località Mezzavia e Località Fundera.

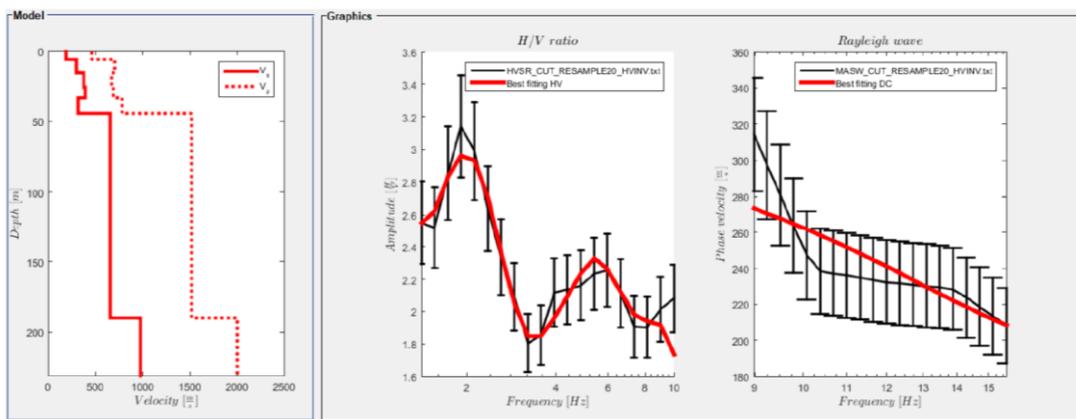


Figura 5-10 Dati grezzi del risultato dell'inversione congiunta in Loc. Crateca

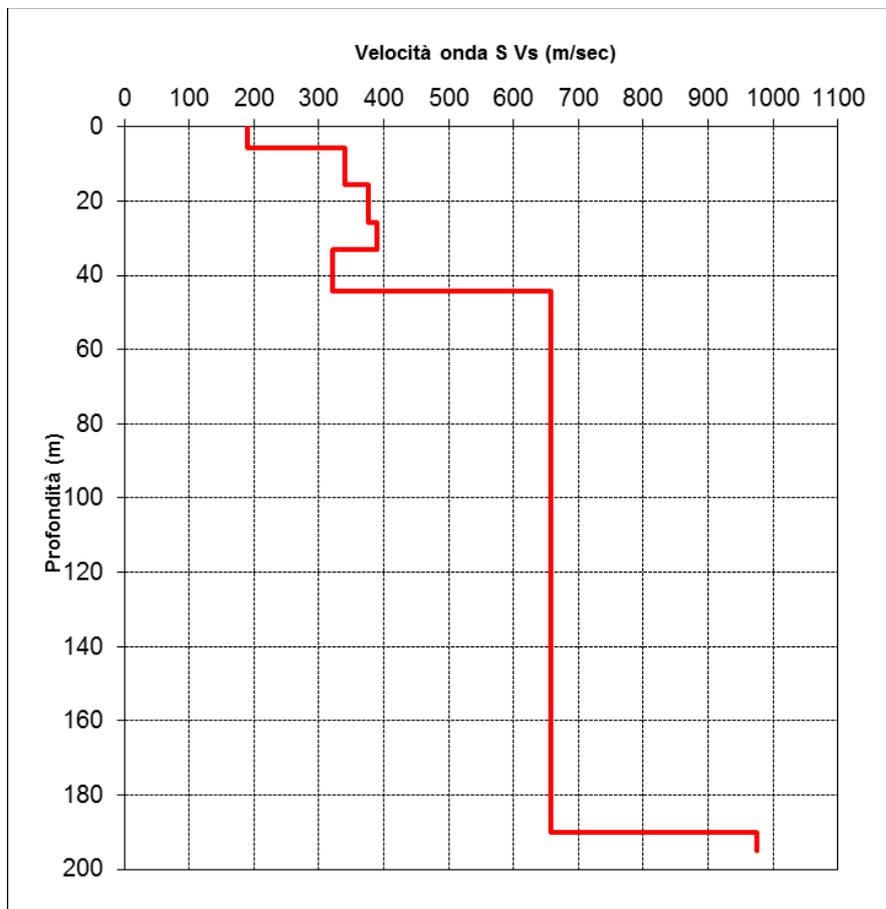


Figura 5-11 Profilo di Vs(h) in Loc. Crateca

Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0.00	5.80	190	0.0306
5.80	15.75	341	0.0292
15.75	25.71	376	0.0265
25.71	33.16	390	0.0191
33.16	44.26	321	0.0345
44.26	189.96	658	0.2215
189.96	194.96	976	0.0051

Figura 5-12 Modello rappresentativo di Vs in funzione della profondità per la Loc. Crateca.

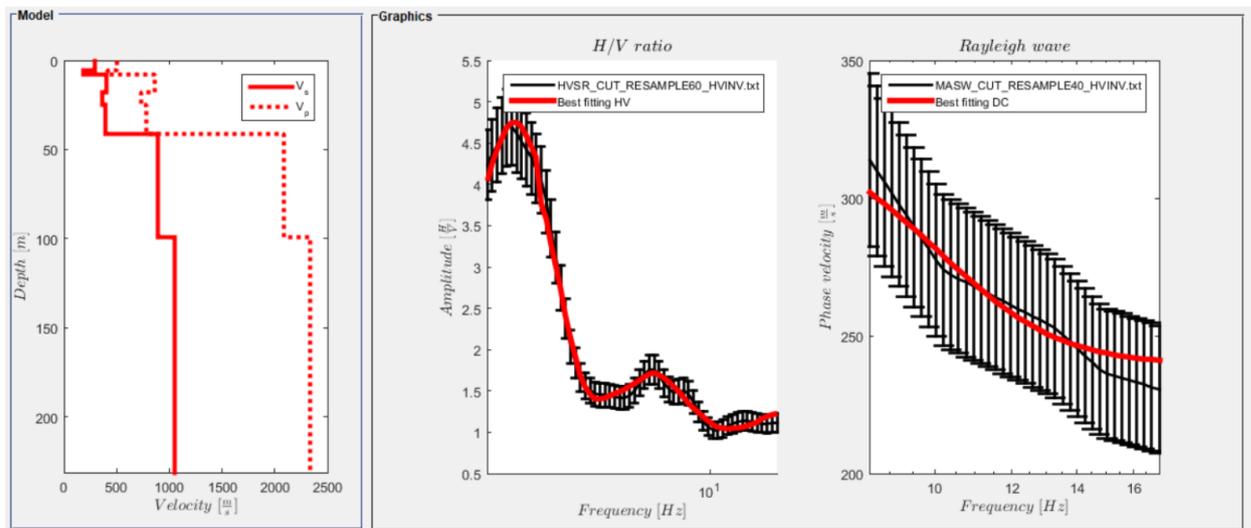


Figura 5-13 Dati grezzi del risultato dell'inversione congiunta in Loc. Mezzavia

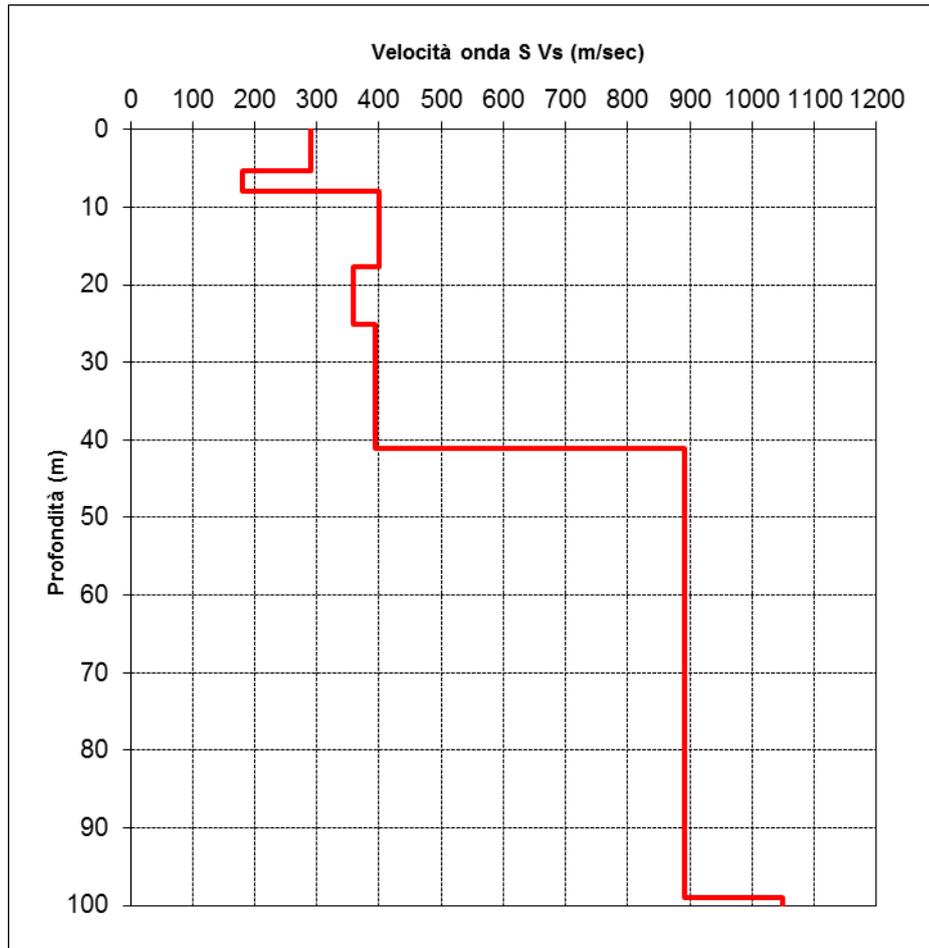


Figura 5-14 Profilo di Vs(h) in Loc. Mezzavia

Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0.00	5.30	289	0.0183
5.30	7.98	180	0.0149
7.98	17.74	400	0.0244
17.74	25.07	359	0.0204
25.07	41.17	395	0.0408
41.17	98.97	892	0.0648
98.97	99.97	1049	0.0010

Figura 5-15 Modello rappresentativo di Vs in funzione della profondità per la Loc. Mezzavia

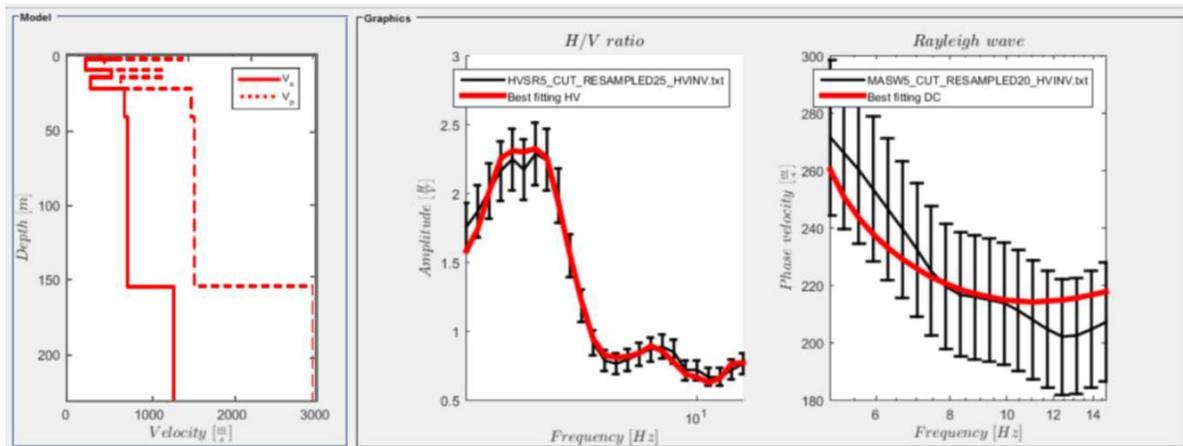


Figura 5-16 Dati grezzi del risultato dell'inversione congiunta in Loc. Fundera

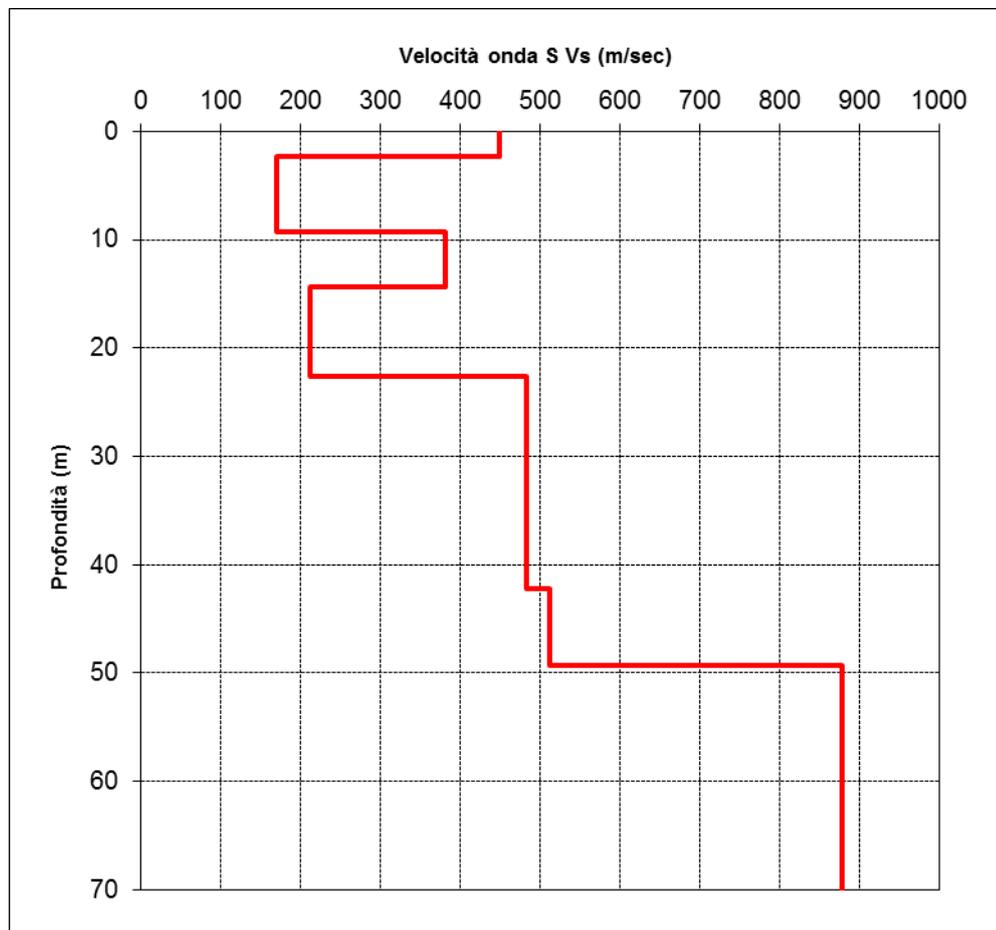


Figura 5-17 Profilo di Vs(h) in Loc. Fundera

Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0.00	2.28	449	0.0051
2.28	9.33	171	0.0412
9.33	14.33	382	0.0131
14.33	22.62	213	0.0389
22.62	42.19	484	0.0404
42.19	49.29	512	0.0139
49.29	70.00	879	0.0236

Figura 5-18 Modello rappresentativo di Vs in funzione della profondità per la Loc. Fundera

Dal confronto di queste misure profonde è stata valutata una velocità Vs per la formazione delle epiclastiti mediamente litificate (Cod. geo-litologico. SEM, sensu CNR-IGAG 2018; Cod. Carg. CPMa), derivanti dal disfacimento dei sottostanti depositi del Tufo Verde dell'Epomeo, variabile da 460 a 670 m/s.

Il Tufo Verde dell'Epomeo (Cod. geo-litologico. TVME, sensu CNR-IGAG 2018; Cod. Carg. TME) individuato come basamento sismico dell'isola d'Ischia, presenta valori di Vs variabili tra 512 e 879 m/s nelle sue porzioni sommitali interessate da fenomeni di disfacimento per alterazione idrotermale e fratturazione, e di 850 ÷ 1200 m/s per le porzioni sottostanti nelle quali il Tufo si presenta massivo e litoide. Il top di questa formazione si rinviene a profondità variabile che tende ad aumentare spostandosi dalle zone centrali del comune (circa 20 m dal locale p.c.) a quelle costiere (circa 90 m dal locale p.c.). Lo spessore di questa formazione si mantiene per lo più costante ed è di circa di 300 m.

Per la caratterizzazione sismica di tutte le altre aree comunali distanti dall'ubicazione delle sopracitate indagini Down Hole, sono state utilizzate le indagini sismiche MASW pregresse e di nuova realizzazione disponibili.

Tali risultati sono stati mediati, per una corretta valutazione del valore rappresentativo, attraverso metodologie statistiche descritte al capitolo 6, che hanno permesso di stimare la Vs dei restanti prodotti superficiali rinvenuti nel comune di Lacco Ameno. Tra questi la formazione delle sabbie di Mezzavia (Cod. Carg. MZV), localmente individuata nella MOPS 2005 (vedi paragrafo 8.4), pari a 317 m/s confermata anche dai risultati dell'inversione congiunta delle indagini P70-L30. La formazione VEC individuata da Sbrana & Toccaceli 2011 (Cod. geo-litologico. ASM, sensu CNR-IGAG 2018) è caratterizzata da valori di Vs pari a 670 m/s, così come evidenziato anche dall'Array Fango per le profondità comprese tra 50 e 70 m circa dal locale p.c. ed è presente esclusivamente nella zona del comune caratterizzata dalla presenza di

un graben tettonico, riconosciuto e descritto nella MOPS 2002 (paragrafo 8.4).

Il valore del parametro V_{seq} definito dalle NTC18 per la caratterizzazione della tipologia del suolo di fondazione che interessa le formazioni superficiali è stato valutato sulla base delle uniche indagini sismiche disponibili e significative che raggiungono profondità di almeno 30 m dal locale pc.: S1DH, S2DH-PRG e Array Fango e le 3 sopracitate inversioni congiunte, i cui risultati sono schematizzati nella sottostante tabella.

Indagine	V_{seq} (m/s)	Categoria suolo di fondazione
S1DH	230	C
S2DH-PRG	331	C
Array Fango	385	B
MASW(L26)	259	C
Inv. Congiunta (L31-P71)	308	C
Inv. Congiunta (L30-P70)	331	C
Inv. Congiunta (L26-P66)	264	C

Per la caratterizzazione delle V_s delle Lave di Zaro, dei Tufi di Citara e dei Tufi Di Villa Arbusto, per le quali formazioni non si dispone di indagini superficiali, si rimanda al capitolo 6, in cui è illustrato il ragionamento grazie al quale è stata risolta questa incertezza. Tali formazioni sono descritte in modo schematico, illustrandone anche i rapporti stratigrafici con le contigue formazioni, nel paragrafo 8.4 in riferimento alla MOPS 2099.

Nella parte finale del presente paragrafo sono state schematizzate le proprietà fisiche (statiche e dinamiche) delle unità geologico-tecniche riconosciute e quelle geofisiche rilevanti per la modellazione della risposta sismica locale.

Sulla base della carta geolitologica è stata realizzata la carta geologico-tecnica CGT, la quale è stata sviluppata secondo gli standard di archiviazione descritti sulla versione 4.0b redatta dalla commissione tecnica per la microzonazione sismica (art. 5 comma 7 dell'OPCM 13 Novembre 2010, n. 3907).

Di seguito si riporta uno stralcio della carta geologico-tecnica CGT:

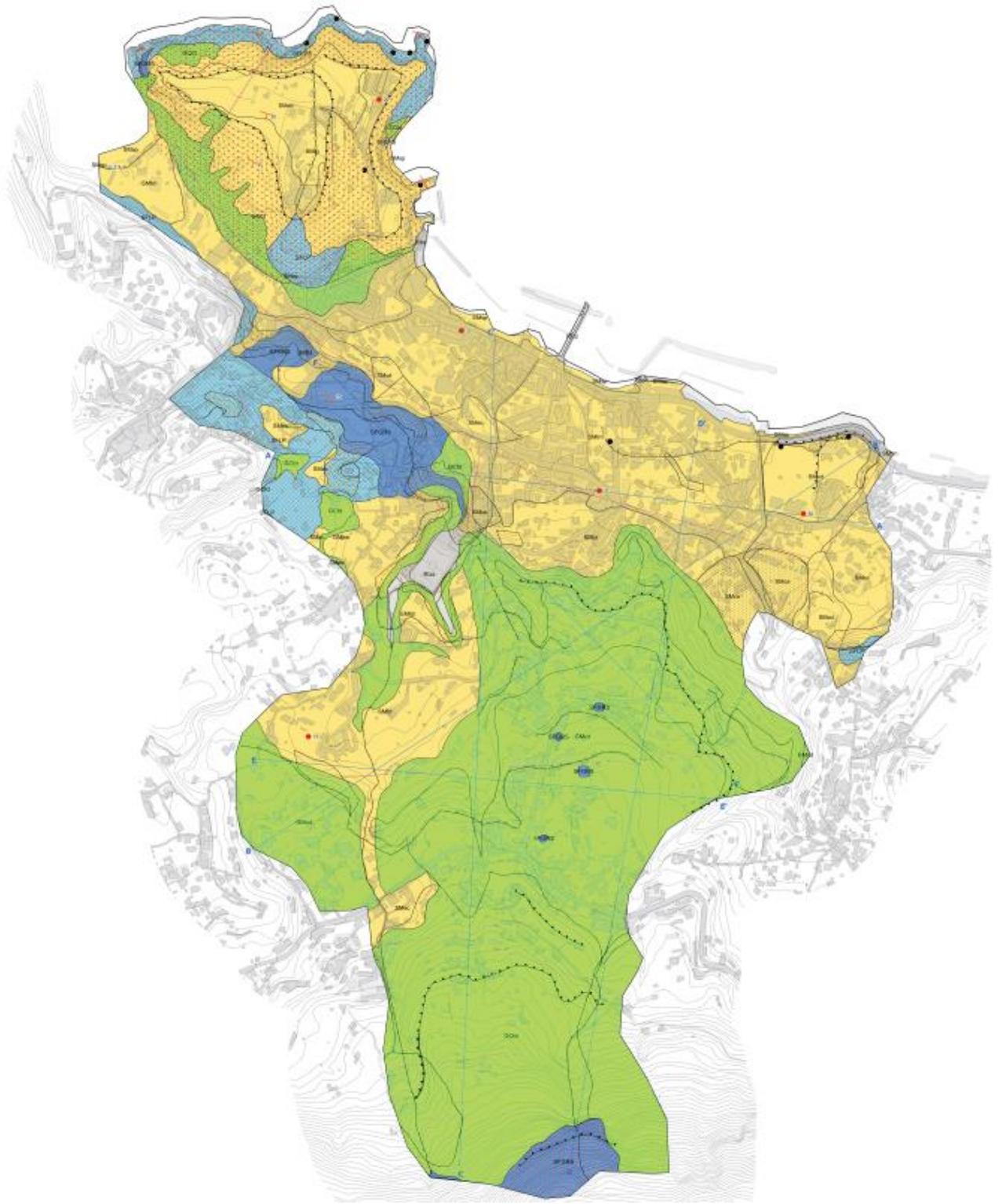


Figura 5-19 Carta geologico-tecnica CGT Comune di Lacco Ameno (NA)

LEGENDA

TERRENI DI COPERTURA

	Depositi e opere antropiche. Terreni di discarica e di re-interro grossolani eterometrici ed eterogenei con abbondante matrice limoso sabbiosa; opere di difesa costiera in cemento, calcestruzzo e grandi blocchi litici. (Codici CARG h1 e h3)
	Successione marino-continentale di piana costiera. Depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie e argille sabbiose, terreni detritici caotici. Essa comprende sedimenti marini di spiaggia fossilifera, attualmente sollevati a circa 55 m s.l.m. (Codici CARG MZV)
	Depositi epiclastici massivi molto grossolani formati da mega blocchi (> 10 m) e blocchi di tufo intensamente fratturati. Trattasi di depositi di debris avalanche (DA) derivanti dal collasso gravitativo del settore settentrionale del blocco risorgente del Monte Epomeo. Depositi eterometrici a granulometria variabile dalla ghiaia al limo, contenenti grandi blocchi tufacci granulari, fratturati e alterati. (Codice CARG LMO)
	Accumuli gravitativi di materiale eterogeneo (tufi, tufi saldati, piroclastiti e depositi epiclastici) ed eterometrico fino a blocchi monolitici di grandi dimensioni in matrice sabbioso argillosa. Depositi eterogenei a struttura da massiva a caotica a prevalente componente sabbioso limosa ed argillosa. di ambiente di falda detritica (Codici CARG a1a- a1b)
	Depositi di spiaggia costituiti prevalentemente da sabbie medio fini e grossolane e da depositi limosi e argillosi di ambiente di retrospiaggia. (Codici CARG g2)
	Depositi di spiaggia costituiti prevalentemente da sabbie medio fini e grossolane e da depositi limosi e argillosi con abbondante scheletro detritico eterometrico di ambiente di retrospiaggia in corrispondenza di terrazzi marini. (Codici CARG g2, b)
	Depositi eluvio-colluviali a granulometria sabbiosa, limoso sabbiosa e argillosa con scheletro detritico eterometrico da minuto a localmente grossolano. Derivano dall'alterazione di piroclastiti e tufi, talora contenenti lapilli pomicei e scoriacei in posto o sedimentati dopo un breve ruscellamento. (Codici CARG b2)
	Alternanze di livelli cineritici e pomicei stratificati incoerenti di colore biancastro. Depositi di caduta e di correnti di densità piroclastiche (surge) associabili ai prodotti di alterazione dei tufi di Citara affioranti nella zona di Monte Vico. (Codice CARG PMT)
	Depositi di conoide detritica a granulometria sabbioso limosa con scheletro detritico eterometrico da minuto a localmente grossolano derivanti dall'alterazione di piroclastiti e tufi, talora contenenti lapilli pomicei e scoriacei. (Codice CARG b2)
	Depositi di conoide falda detritica da incoerenti a debolmente litificate, da massivi, ricchi in matrice sabbiosa e limosa, a strutturati, costituiti da sabbie grossolane, sabbie limose e ciottoli eterometrici, fino a blocchi di tufi, tufi saldati ed epiclastiti. (Codice CARG ia)
	Depositi di conoide alluvionale a granulometria sabbioso limosa con scheletro detritico eterometrico da minuto a localmente grossolano derivanti dall'alterazione di piroclastiti e tufi, talora contenenti lapilli pomicei e scoriacei. (Codice CARG b2)
	Epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, composte da depositi a granulometria sabbioso ghiaiosa, poco addensati derivanti dallo smantellamento delle successioni dei tufi del Monte Epomeo e dalla sedimentazione in ambiente marino. (Codice CARG CPMa)
	Unità di Lacco Ameno costituita da successioni di argille torbose e sabbie grigie e grigio azzurrognole, fossilifere, con locali intercalazioni di lenti sabbiose di ambiente deposizionale paludoso. (Codice GEO ALM)
	Limi sabbiosi e argillosi colluviali poco consolidati, a luoghi pedogenizzati al top (codice CARG b2)

SUBSTRATO GEOLOGICO

	Substrato lapideo, alterato e fratturato, caratterizzato dalle formazioni laviche di Zaro, Monte Vico e della Fundera. Depositi massivi di breccie piroclastiche ricche in matrice cineritica grossolana, lave nere trachitiche a blocchi contenenti inclusi mafici. Lave trachitiche di colore grigio da massive a grossolanamente stratificate. (Codice CARG ZRO1, ZRO2, LMVb, FUD)
	Lave trachitiche di colore grigio-rossiccio grossolanamente stratificate. (Codice CARG LMVb)
	Tufi massivi di colore da verde smeraldo a verde chiaro, costituiti da lapilli e bombe pomicee e scoriacee. Tufi ignimbritici litoidi massivi organizzati in grandi bancate tabulari. Tufi gialli stratificati ricchi in livelli di bombe e lapilli scoriacei e pomicee. Epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, spesso contenenti olistoliti plurimetri. (Codice CARG TME, VLA, CPMa)
	Epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, composte da ceneri fini, litici lavici e tufi in matrice fine argillosa di colore variabile dal verdastro al giallo spesso contenenti olistoliti plurimetri. (Codice CARG VEC)

Figura 5-20 Legenda Carta geologico-tecnica CGT Comune di Lacco Ameno (NA)

Le informazioni fornite dalla carta geologico-tecnica, integrate dai dati geognostici, dalle indagini geofisiche e dalle prove geotecniche di laboratorio, hanno consentito di sviluppare n. 6 sezioni geologico-tecniche e il riconoscimento di n. 9 stratigrafie “tipo”, ognuna caratteristica di ciascuna area investigata.

Tali stratigrafie hanno consentito la redazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, descritte successivamente al paragrafo 8.5.

Pertanto sulla base delle indagini reperite ed eseguite ad hoc per la redazione del presente studio sono stati individuati i parametri geotecnici e geofisici delle diverse formazioni che sono riassunti nella tabella che segue:

PARAMETRI	DEPOSITI DI COPERTURA												SUBSTRATO GEOLOGICO					
	RIzz	GMtm	GMcd	GCfd	SMtm	SMec	SMigi	SMcd	SMfd	SMca	SWzz	CLpl	SFLP	SFLPS	SFGRS ₂ (TVME ALLENATATO)	SFCO	SFGRS (SEM LACCO)	SFGRS
Vs (m/s) min-max	/	273-394	330-503	227-364	200-350	200-300	400-500	180-270	243-270	180-270	307-461	194-307	850-1200	850-1200	512-879	555-730	460-670	850-1200
Peso di Volume (KN/m ³)	17.00	14.60	16.36	17.06	18.97	14.74	14.50	16.18	16.00	15.59	16.31	15.94	17.89	17.89	17.89	20.24	17.89	17.89
S.P.T. (Prof/Nspt))	/	/	/	/	3.50/50 6.50/40	3.00/21	8.40/18	/	/	/	28.50/Rif 41.50/Rif	9.50/33 16.80/28	/	/	/	/	/	/
Indice di plasticità	/	/	/	/	/	0.106	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Coesione efficace (KPa)	/	/	/	/	0.00	/	/	3.00	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Angolo di attrito (°)	/	/	/	/	32	/	/	34	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Coeff. Poisson	/	/	/	/	/	0.37	/	/	/	/	0.48	0.46	/	/	/	/	/	/
Modulo di Elasticità (Mpa)	/	/	/	/	/	160	/	/	/	/	935	304	/	/	/	/	/	/

Le informazioni disponibili sulla caratterizzazione geotecnica dei litotipi sono archiviate nel database Cdl_Tabelle.mdb allegato digitalmente al presente lavoro.

Per l'esecuzione delle modellazioni di risposta sismica locale 1D sono state utilizzate le seguenti curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio (G/G_0) e smorzamento (D) fornite dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II e di seguito riportate:

Litotipo (GMtm)				Litotipo (GMcd)				Litotipo (GCfd)				Litotipo (SMtm)				Litotipo (SMec)			
γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]	γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]	γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]	γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]	γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.00001	1	0.00001	2.27	0.0001	0.998983	0.0001	3.514379	0.0001	0.998983	0.0001	3.514379	0.00010	0.99951	0.00010	1.509418	0.00010	0.99951	0.00010	1.5094181
0.000255	0.99	0.000255	2.458011	0.0002	0.997896	0.0002	3.528736	0.0002	0.997896	0.0002	3.528736	0.0002	0.998996	0.0002	1.51883	0.0002	0.99899624	0.0002	1.51883
0.00053	0.98	0.00053	2.646022	0.0003	0.996783	0.0003	3.543074	0.0003	0.996783	0.0003	3.543074	0.00030	0.99846	0.00030	1.528236	0.00030	0.99846	0.00030	1.5282355
0.00082	0.97	0.00082	2.834033	0.0004	0.995653	0.0004	3.557393	0.0004	0.995653	0.0004	3.557393	0.0004	0.997924	0.0004	1.537635	0.0004	0.99792393	0.0004	1.5376349
0.001124	0.96	0.001124	3.022045	0.0005	0.994512	0.0005	3.571692	0.0005	0.994512	0.0005	3.571692	0.00050	0.99738	0.00050	1.547028	0.00050	0.99738	0.00050	1.547028
0.001443	0.95	0.001443	3.210056	0.0006	0.993362	0.0006	3.585972	0.0006	0.993362	0.0006	3.585972	0.0006	0.996826	0.0006	1.556415	0.0006	0.99682561	0.0006	1.5564148
0.002306	0.925	0.002306	3.680084	0.0007	0.992205	0.0007	3.600233	0.0007	0.992205	0.0007	3.600233	0.00070	0.99627	0.00070	1.565795	0.00070	0.99627	0.00070	1.5657954
0.002413	0.9221	0.002413	3.734607	0.0008	0.991042	0.0008	3.614474	0.0008	0.991042	0.0008	3.614474	0.0008	0.99571	0.0008	1.57517	0.0008	0.99571	0.0008	1.5751697
0.002491	0.92	0.002491	3.774089	0.0009	0.989875	0.0009	3.628696	0.0009	0.989875	0.0009	3.628696	0.00090	0.99515	0.00090	1.584538	0.00090	0.9951491	0.00090	1.5845377
0.003273	0.9	0.003273	4.1501	0.001	0.988704	0.001	3.642899	0.001	0.988704	0.001	3.642899	0.00100	0.99458	0.00100	1.593899	0.00100	0.9945847	0.00100	1.5938995
0.008445	0.8	0.008445	6.0302	0.002	0.97689	0.002	3.783868	0.002	0.97689	0.002	3.783868	0.002	0.98885	0.002	1.687172	0.002	0.988852	0.002	1.6871724
0.016758	0.7	0.016758	7.9103	0.003	0.965053	0.003	3.922937	0.003	0.965053	0.003	3.922937	0.003	0.98304	0.003	1.779821	0.003	0.983036	0.003	1.7798214
0.055853	0.5	0.055853	11.6706	0.004	0.953305	0.004	4.06014	0.004	0.953305	0.004	4.06014	0.004	0.97719	0.004	1.871851	0.004	0.97719	0.004	1.8718508
0.577215	0.2	0.577215	17.3109	0.005	0.941695	0.005	4.195514	0.005	0.941695	0.005	4.195514	0.005	0.97134	0.005	1.963266	0.005	0.9713402	0.005	1.9632657
2.647944	0.1	2.647944	19.191	0.006	0.930251	0.006	4.329094	0.006	0.930251	0.006	4.329094	0.006	0.96550	0.006	2.054072	0.006	0.96550	0.006	2.0540715
				0.007	0.91899	0.007	4.460915	0.007	0.91899	0.007	4.460915	0.007	0.95969	0.007	2.144274	0.007	0.9596852	0.007	2.1442738
				0.008	0.907919	0.008	4.591013	0.008	0.907919	0.008	4.591013	0.008	0.953897	0.008	2.233878	0.008	0.95389706	0.008	2.2338783
				0.009	0.897045	0.009	4.719421	0.009	0.897045	0.009	4.719421	0.009	0.948143	0.009	2.322891	0.009	0.94814258	0.009	2.3228906
				0.01	0.88637	0.01	4.846173	0.01	0.88637	0.01	4.846173	0.01	0.942426	0.01	2.411316	0.01	0.94242557	0.01	2.4113165
				0.02	0.790242	0.02	6.02952	0.02	0.790242	0.02	6.02952	0.02	0.887711	0.02	3.26456	0.02	0.88771135	0.02	3.2645599
				0.03	0.711082	0.03	7.078946	0.03	0.711082	0.03	7.078946	0.03	0.837785	0.03	4.065166	0.03	0.83778454	0.03	4.0651663
				0.04	0.645331	0.04	8.017008	0.04	0.645331	0.04	8.017008	0.04	0.792452	0.04	4.818053	0.04	0.792452	0.04	4.8180528
				0.05	0.590076	0.05	8.861361	0.05	0.590076	0.05	8.861361	0.05	0.751283	0.05	5.527568	0.05	0.75128335	0.05	5.5275676
				0.06	0.543103	0.06	9.62601	0.06	0.543103	0.06	9.62601	0.06	0.713824	0.06	6.197546	0.06	0.71382431	0.06	6.1975463
				0.07	0.502746	0.07	10.32221	0.07	0.502746	0.07	10.32221	0.07	0.679652	0.07	6.831377	0.07	0.67965195	0.07	6.8313774
				0.08	0.467739	0.08	10.95912	0.08	0.467739	0.08	10.95912	0.08	0.648389	0.08	7.432063	0.08	0.64838887	0.08	7.4320628
				0.09	0.437111	0.09	11.54428	0.09	0.437111	0.09	11.54428	0.09	0.619704	0.09	8.002271	0.09	0.61970413	0.09	8.0022707
				0.1	0.410106	0.1	12.08397	0.1	0.410106	0.1	12.08397	0.1	0.59331	0.1	8.544381	0.1	0.59330958	0.1	8.5443806
				0.2	0.251368	0.2	15.83349	0.2	0.251368	0.2	15.83349	0.2	0.413348	0.2	12.79929	0.2	0.41334836	0.2	12.799294
				0.3	0.179894	0.3	17.96331	0.3	0.179894	0.3	17.96331	0.3	0.315209	0.3	15.6799	0.3	0.31520877	0.3	15.679899
				0.4	0.139538	0.4	19.33443	0.4	0.139538	0.4	19.33443	0.4	0.253895	0.4	17.76886	0.4	0.2538951	0.4	17.768857
				0.5	0.113706	0.5	20.28549	0.5	0.113706	0.5	20.28549	0.5	0.212111	0.5	19.35537	0.5	0.21211129	0.5	19.35537
				0.6	0.095793	0.6	20.97882	0.6	0.095793	0.6	20.97882	0.6	0.181877	0.6	20.60115	0.6	0.1818768	0.6	20.601155
				0.7	0.082661	0.7	21.50251	0.7	0.082661	0.7	21.50251	0.7	0.15902	0.7	21.60442	0.7	0.15901951	0.7	21.604424
				0.8	0.072632	0.8	21.90865	0.8	0.072632	0.8	21.90865	0.8	0.141153	0.8	22.42857	0.8	0.14115261	0.8	22.428573
				0.9	0.06473	0.9	22.23009	0.9	0.06473	0.9	22.23009	0.9	0.126815	0.9	23.1165	0.9	0.1268146	0.9	23.116495
				1	0.058346	1	22.48859	1	0.058346	1	22.48859	1	0.115062	1	23.69831	1	0.11506161	1	23.698315

Litotipo (SMig)				Litotipo SMcd				Litotipo (SMfd)				Litotipo (SMca)				Litotipo (SWzz)			
γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]	γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]	γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]	γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]	γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.00084	1	0.00084	0.5	0.00010	0.99951	0.00010	1.509418	0.0001	0.998878	0.0001	1.019651	0.0001	0.998951	0.0001	1.015589	0.0001	0.99968	0.0001	1.00976
0.00126	0.997437	0.00126	0.5	0.0002	0.998996	0.0002	1.51883	0.0002	0.997679	0.0002	1.039272	0.0002	0.997904	0.0002	1.031158	0.00020	0.999295	0.00020	1.01951
0.00183	0.994098	0.00183	0.5	0.00030	0.99846	0.00030	1.528236	0.0003	0.996452	0.0003	1.058865	0.0003	0.996859	0.0003	1.046708	0.0003	0.99888	0.0003	1.02926
0.00286	0.977704	0.00286	0.5997	0.0004	0.997924	0.0004	1.537635	0.0004	0.995207	0.0004	1.078428	0.0004	0.995816	0.0004	1.062239	0.00040	0.99844	0.00040	1.03901
0.00414	0.957583	0.00414	0.92305	0.00050	0.99738	0.00050	1.547028	0.0005	0.993949	0.0005	1.097962	0.0005	0.994776	0.0005	1.077749	0.00050	0.99798	0.00050	1.04875
0.00642	0.932172	0.00642	1.07	0.0006	0.996826	0.0006	1.556415	0.0006	0.992682	0.0006	1.117468	0.0006	0.993738	0.0006	1.093241	0.0006	0.99751	0.0006	1.05849
0.01007	0.89363	0.01007	1.37	0.00070	0.99627	0.00070	1.565795	0.0007	0.991408	0.0007	1.136944	0.0007	0.992701	0.0007	1.108713	0.0007	0.99703	0.0007	1.06822
0.01028	0.880485	0.01028	1.47	0.0008	0.99571	0.0008	1.57517	0.0008	0.990127	0.0008	1.156391	0.0008	0.991667	0.0008	1.124165	0.0008	0.99654	0.0008	1.07796
0.01442	0.835609	0.01442	1.98	0.00090	0.99515	0.00090	1.584538	0.0009	0.988842	0.0009	1.175809	0.0009	0.990636	0.0009	1.139599	0.0009	0.99604	0.0009	1.08768
0.02071	0.778154	0.02071	2.82	0.00100	0.99458	0.00100	1.593899	0.001	0.987553	0.001	1.195198	0.001	0.989606	0.001	1.155013	0.001	0.99553	0.001	1.09741
0.03038	0.691964	0.03038	4.14	0.002	0.98885	0.002	1.687172	0.002	0.974566	0.002	1.387506	0.002	0.979426	0.002	1.3081	0.002	0.99013	0.002	1.19445
0.04713	0.588411	0.04713	6.21	0.003	0.98304	0.003	1.779821	0.003	0.961587	0.003	1.576972	0.003	0.969453	0.003	1.459303	0.003	0.98436	0.003	1.2911
0.07737	0.472129	0.07737	8.66	0.004	0.97719	0.004	1.871851	0.004	0.948735	0.004	1.763654	0.004	0.959681	0.004	1.60866	0.004	0.97836	0.004	1.387348
0.14126	0.337934	0.14126	12.24	0.005	0.97134	0.005	1.963266	0.005	0.936065	0.005	1.947611	0.005	0.950104	0.005	1.756207	0.005	0.972205	0.005	1.483192
0.28442	0.217718	0.28442	15.71	0.006	0.96550	0.006	2.054072	0.006	0.923606	0.006	2.128901	0.006	0.940717	0.006	1.901983	0.006	0.965942	0.006	1.578623
0.49734	0.150158	0.49734	17.19	0.007	0.95969	0.007	2.144274	0.007	0.911374	0.007	2.307582	0.007	0.931513	0.007	2.046022	0.007	0.959603	0.007	1.673634
				0.008	0.953897	0.008	2.233878	0.008	0.899376	0.008	2.483713	0.008	0.922487	0.008	2.188359	0.008	0.953211	0.008	1.768222
				0.009	0.948143	0.009	2.322891	0.009	0.887618	0.009	2.657347	0.009	0.913635	0.009	2.329027	0.009	0.946786	0.009	1.862381
				0.01	0.942426	0.01	2.411316	0.01	0.876101	0.01	2.82854	0.01	0.904951	0.01	2.468059	0.01	0.94034	0.01	1.956109
				0.02	0.887711	0.02	3.26456	0.02	0.773505	0.02	4.417233	0.02	0.826402	0.02	3.774947	0.02	0.876583	0.02	2.869175
				0.03	0.837785	0.03	4.065166	0.03	0.690503	0.03	5.812091	0.03	0.7604	0.03	4.948195	0.03	0.816704	0.03	3.737766
				0.04	0.792452	0.04	4.818053	0.04	0.622554	0.04	7.04815	0.04	0.704161	0.04	6.009057	0.04	0.761939	0.04	4.562533
				0.05	0.751283	0.05	5.527568	0.05	0.566136	0.05	8.152289	0.05	0.655668	0.05	6.974259	0.05	0.71233	0.05	5.34508
				0.06	0.713824	0.06	6.197546	0.06	0.518658	0.06	9.145464	0.06	0.613424	0.06	7.85719	0.06	0.667535	0.06	6.087463
				0.07	0.679652	0.07	6.831377	0.07	0.478216	0.07	10.04427	0.07	0.576293	0.07	8.668722	0.07	0.627097	0.07	6.791927
				0.08	0.648389	0.08	7.432063	0.08	0.443394	0.08	10.86206	0.08	0.543402	0.08	9.417794	0.08	0.590546	0.08	7.460758
				0.09	0.619704	0.09	8.002271	0.09	0.413123	0.09	11.60966	0.09	0.514062	0.09	10.11184	0.09	0.557438	0.09	8.096191
				0.1	0.59331	0.1	8.544381	0.1	0.386583	0.1	12.29604	0.1	0.487728	0.1	10.7571	0.1	0.527374	0.1	8.700371
				0.2	0.413348	0.2	12.79929	0.2	0.233347	0.2	16.98269	0.2	0.322513	0.2	15.39546	0.2	0.334587	0.2	13.40737
				0.3	0.315209	0.3	15.6799	0.3	0.165862	0.3	19.57988	0.3	0.240907	0.3	18.18009	0.3	0.239796	0.3	16.51574
				0.4	0.253895	0.4	17.76886	0.4	0.128162	0.4	21.22462	0.4	0.19226	0.4	20.05159	0.4	0.184729	0.4	18.70794
				0.5	0.212111	0.5	19.35537	0.5	0.104181	0.5	22.35107	0.5	0.159958	0.5	21.39789	0.5	0.149155	0.5	20.32906
				0.6	0.181877	0.6	20.60115	0.6	0.08762	0.6	23.16345	0.6	0.13695	0.6	22.41176	0.6	0.124453	0.6	21.57064
				0.7	0.15902	0.7	21.60442	0.7	0.075515	0.7	23.7711	0.7	0.119728	0.7	23.2009	0.7	0.106387	0.7	22.54737
				0.8	0.141153	0.8	22.42857	0.8	0.066291	0.8	24.23806	0.8	0.106354	0.8	23.83063	0.8	0.092646	0.8	23.33209
				0.9	0.126815	0.9	23.1165	0.9	0.059034	0.9	24.60432	0.9	0.095667	0.9	24.34304	0.9	0.08187	0.9	23.97334
				1	0.115062	1	23.69831	1	0.053181	1	24.89621	1	0.086932	1	24.76654	1	0.073212	1	24.50466

Litotipo (CLpl)				Litotipo (SFCO (ASM, Casamicciola))				Litotipo (SFGRS (SEM, Lacco))				Litotipo (SFGRS-2 (TVME allentato))			
γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]	γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]	γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]	γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.00010	0.999738	0.00010	0.907294	0.0001	0.99974	0.0001	2.006672	0.0001	0.998939	0.0001	1.61005	0.00001	1	0.00001	0.5
0.0002	0.999438	0.0002	0.91458	0.0002	0.999443	0.0002	2.013341	0.0002	0.997952	0.0002	1.620089	0.001471	0.99	0.001471	0.800021
0.00030	0.999122	0.00030	0.921873	0.0003	0.99913	0.0003	2.020008	0.0003	0.996993	0.0003	1.630117	0.00465	0.98	0.00465	1.100041
0.0004	0.998795	0.0004	0.92916	0.0004	0.998807	0.0004	2.026672	0.0004	0.996052	0.0004	1.640134	0.00922	0.97	0.00922	1.400062
0.00050	0.99846	0.00050	0.936441	0.0005	0.998476	0.0005	2.033334	0.0005	0.995124	0.0005	1.650141	0.015107	0.96	0.015107	1.700082
0.0006	0.998119	0.0006	0.94372	0.0006	0.998138	0.0006	2.039993	0.0006	0.994207	0.0006	1.660138	0.022299	0.95	0.022299	2.000103
0.00070	0.997772	0.00070	0.950998	0.0007	0.997794	0.0007	2.04665	0.0007	0.9933	0.0007	1.670124	0.046158	0.925	0.046158	2.750154
0.0008	0.997421	0.0008	0.95827	0.0008	0.997446	0.0008	2.053304	0.0008	0.9924	0.0008	1.680099	0.049493	0.9221	0.049493	2.83716
0.00090	0.997065	0.00090	0.965543	0.0009	0.997094	0.0009	2.059956	0.0009	0.991508	0.0009	1.690065	0.051985	0.92	0.051985	2.900165
0.001	0.996706	0.001	0.972812	0.001	0.996738	0.001	2.066605	0.001	0.990622	0.001	1.700019	0.079084	0.9	0.079084	3.500206
0.00200	0.992965	0.00200	1.045342	0.002	0.993034	0.002	2.132954	0.002	0.982041	0.002	1.799	0.331477	0.8	0.331477	6.500412
0.003	0.989054	0.003	1.117587	0.003	0.989162	0.003	2.199045	0.003	0.973823	0.003	1.896968	0.908049	0.7	0.908049	9.500618
0.00400	0.98504	0.00400	1.189545	0.004	0.985187	0.004	2.264876	0.004	0.965876	0.004	1.993943	5.024195	0.5	5.024195	15.50103
0.005	0.980958	0.005	1.261216	0.005	0.981143	0.005	2.330446	0.005	0.958155	0.005	2.089943				
0.006	0.976827	0.006	1.3326	0.006	0.977052	0.006	2.395757	0.006	0.950633	0.006	2.184987				
0.007	0.972662	0.007	1.403697	0.007	0.972926	0.007	2.460807	0.007	0.943289	0.007	2.279091				
0.008	0.968473	0.008	1.474508	0.008	0.968776	0.008	2.525598	0.008	0.936108	0.008	2.372271				
0.009	0.964267	0.009	1.545032	0.009	0.96461	0.009	2.590129	0.009	0.92908	0.009	2.464544				
0.01	0.960052	0.01	1.615272	0.01	0.960433	0.01	2.654402	0.01	0.922195	0.01	2.555925				
0.02	0.918111	0.02	2.302168	0.02	0.918858	0.02	3.283076	0.02	0.859852	0.02	3.423722				
0.03	0.877712	0.03	2.961647	0.03	0.878779	0.03	3.886878	0.03	0.806726	0.03	4.216409				
0.04	0.839496	0.04	3.594928	0.04	0.840837	0.04	4.466902	0.04	0.760528	0.04	4.944265				
0.05	0.803612	0.05	4.203284	0.05	0.805184	0.05	5.024289	0.05	0.719824	0.05	5.61564				
0.06	0.770029	0.06	4.787978	0.06	0.771792	0.06	5.560177	0.06	0.683604	0.06	6.237427				
0.07	0.738639	0.07	5.350239	0.07	0.740563	0.07	6.075671	0.07	0.651114	0.07	6.815382				
0.08	0.709308	0.08	5.891242	0.08	0.711362	0.08	6.571829	0.08	0.621774	0.08	7.354358				
0.09	0.681888	0.09	6.412102	0.09	0.68405	0.09	7.049658	0.09	0.595125	0.09	7.858483				
0.1	0.656236	0.1	6.913876	0.1	0.658485	0.1	7.51011	0.1	0.570796	0.1	8.331295				
0.2	0.471058	0.2	11.0733	0.2	0.473547	0.2	11.33199	0.2	0.407722	0.2	11.85207				
0.3	0.363106	0.3	14.11076	0.3	0.365419	0.3	14.12855	0.3	0.318954	0.3	14.08058				
0.4	0.293518	0.4	16.42579	0.4	0.295593	0.4	16.26314	0.4	0.26272	0.4	15.63831				
0.5	0.245304	0.5	18.24811	0.5	0.247158	0.5	17.9454	0.5	0.223764	0.5	16.79623				
0.6	0.210092	0.6	19.71885	0.6	0.211754	0.6	19.30441	0.6	0.195121	0.6	17.69388				
0.7	0.183332	0.7	20.92959	0.7	0.184832	0.7	20.42406	0.7	0.173143	0.7	18.41135				
0.8	0.162353	0.8	21.94244	0.8	0.163716	0.8	21.36137	0.8	0.155727	0.8	18.99828				
0.9	0.145495	0.9	22.80109	0.9	0.146741	0.9	22.15648	0.9	0.141576	0.9	19.48728				
1	0.131669	1	23.53721	1	0.132815	1	22.83851	1	0.129842	1	19.90073				

5.2 Sezioni geologico-tecniche

Al fine di rappresentare graficamente il modello del sottosuolo del comune di Lacco Ameno sono state realizzate n. 6 sezioni litostratigrafiche schematiche riportate nella tavola Sezioni Geologico-tecniche allegata al presente studio.

L'obiettivo delle sezioni eseguite è stato quello di mettere in evidenza la morfologia, l'assetto strutturale e la geometria fra copertura e substrato geologico.

5.2.1 Sezione geologico-tecnica A-A'

La sezione A-A' orientata in direzione WNW-ESE, si sviluppa partendo dalla Località Zaro, attraversa il territorio comunale all'altezza di Via Sant'Aniello e termina in Località Fundera.

Lungo tale sezione è possibile osservare la presenza del substrato geologico lapideo, alterato e fratturato della formazione lavica di Zaro (spessore compreso tra 24 e 84 m) presente in affioramento nella suddetta località per poi approfondirsi spostandoci verso est-sud est.

Le indagini puntuali e lineari (pregresse e integrative) presenti lungo la sezione, sono state un valido strumento per l'interpretazione e la definizione dei rapporti stratigrafici tra le varie formazioni individuate.

In particolare, il sondaggio S1DH è stato particolarmente rilevante per il rilevamento della formazione geologico-tecnica SMcd (spessore compreso tra 9 e 16 m), ascrivibile alla formazione LMO della carta geologica di Sbrana e Toccacelli 2011), in quanto è emerso che essa interessa solamente il terrazzo di secondo ordine ivi presente, al di sotto del quale si riprende la continuità laterale con le litologie tipiche della piana costiera.

Il sondaggio S2, eseguito per la stesura del PRG, è stato fondamentale per constatare la presenza e la continuità laterale dell'Unità di Lacco Ameno (ULA) – (spessore compreso tra 12 e 20 m), così come il down-hole eseguito in località Fundera è stato utile per “tarare” lo spessore e il passaggio da una formazione all'altra, per l'elaborazione degli HVSR e per lo sviluppo delle modellazioni numeriche.

Inoltre, l'inversione congiunta realizzata tra l'HVSR P89 e il Masw M5 (codice 063038L26), eseguita utilizzando il software HV/inv è stata molto importante per avere maggiori informazioni sulle velocità degli strati più profondi, tanto è vero che dall'analisi dei dati si evince una forte coincidenza tra la curva teorica e le curve sperimentali (curva H/V e curva di dispersione) sia per l'HV che per la Masw, sinonimo di una buona e realistica affidabilità del dato.

Infine, lungo la sezione si individuano sistemi di faglie dirette certe che dislocano a varie altezze i substrati geologici individuati e diverse aree, presenti soprattutto nel primo tratto della sezione, interessate da frane quiescenti da scivolamento, ampiamente descritte nel paragrafo 7.2.

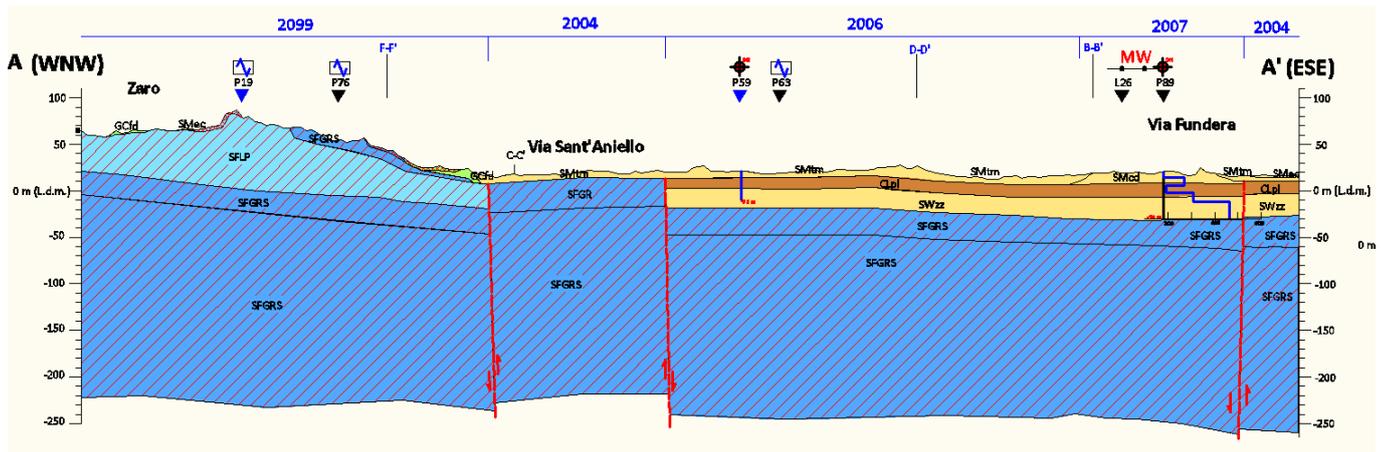


Figura 5-21 Sezione geologico-tecnica A-A'

5.2.2 Sezione geologico-tecnica B-B'

La sezione B-B', orientata in direzione SW-NE si sviluppa partendo dalla località Mezzavia e termina in località Fundera. Essa si distingue principalmente per l'individuazione della formazione delle Sabbie di Mezzavia (Codice CARG MZV), identificate nella carta geologico-tecnica con il termine GMtm (spessore compreso tra 3 e 15 m) e costituite essenzialmente da depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie e argille sabbiose e terreni detritici caotici. Tale formazione è stata fondamentale per la determinazione della MOPS 2005.

Lungo la sezione si rinvencono depositi di debris avalanche (GMcd) derivanti dal collasso del blocco risorgente del Monte Epomeo, costituiti da depositi massivi grossolani formati da blocchi e megablocchi di tufo intensamente fratturati per uno spessore complessivo compreso tra i 6.00 e i 25.00 metri.

Tali depositi sono mantellati, nel tratto iniziale della sezione, da depositi di conoide di falda detritica costituiti da sabbie grossolane, sabbie limose e ciottoli, fino a blocchi di tufo, tufi saldati e epiclastiti. (SMfd – spessore compreso tra 3 e 8 m)

I materiali descritti si rinvencono lungo gran parte della sezione passando in direzione Nord Est a depositi di spiaggia costituiti prevalentemente da sabbie medio fini e grossolane e da depositi limosi e argillosi con abbondante scheletro detritico eterometrico di ambiente di retrospiaggia in corrispondenza di terrazzi marini (SMtm – spessore compreso tra 15 e 30 m).

I substrati geologici presenti lungo la sezione sono rappresentati dalle epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallo verdastro con olistoliti plurimetrici (SFCO-SFGRS) – (Codici CARG VEC e CPMa) e dai tufi massivi verde smeraldo organizzati in grandi bancate tabulari (Codice CARG TME), dislocati da sistemi di faglie dirette certe presenti lungo la sezione.

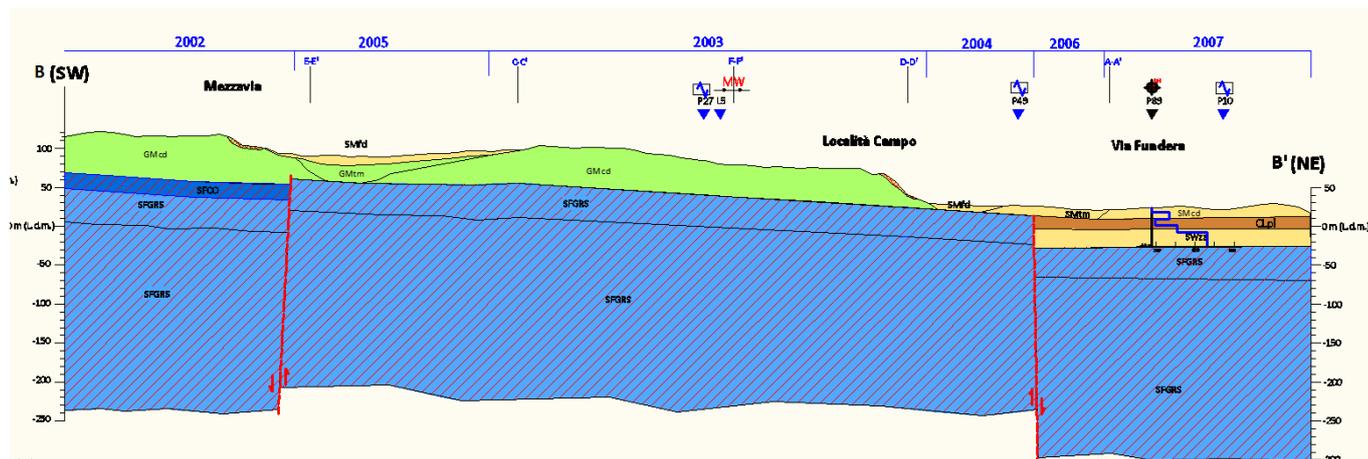


Figura 5-22 Sezione geologico-tecnica B-B'

5.2.3 Sezione geologico-tecnica C-C'

La sezione C-C' si articola partendo dal rilievo di Monte Epomeo e procede in direzione nord verso la piana costiera di Lacco Ameno.

Il primo tratto di sezione si contraddistingue per la presenza di numerose frane quiescenti da scivolamento costituite da materiali eterogenei ed eterometrici (tufi, tufi saldati, piroclastiti e depositi epiclastici) fino a blocchi monolitici di grandi dimensioni in matrice sabbioso argillosa poggianti (GCfd) aventi spessori compresi tra 20 e 30 metri per il primo tratto di sezione e tra 3 e 18 m lungo il secondo tratto.

Essi inizialmente poggiano direttamente sul substrato geologico di riferimento rappresentato dal tufo verde di Monte Epomeo caratteristico della località Crateca.

L'inversione congiunta eseguita tra l'HVSR P71 e la Masw 10 (Codice 06303L31), conferma l'estrema variabilità dei depositi gravitativi sopradescritti e mostra un contrasto di impedenza importante alla profondità di circa 40.00 metri (contatto tra accumuli gravitativi e substrato geologico).

Procedendo verso valle si nota che i depositi GCfd mantellano i depositi di debris avalanche (Codice Geo GDF – spessore compreso tra i 20 e i 45 m) i quali si esauriscono verso nord al di sotto delle sabbie di Mezzavia (GMtm).

Dal punto di vista strutturale tale sezione è particolarmente importante per la presenza di gradinate di faglie normali subverticali con inclinazione verso mare che tagliano il Monte Epomeo e per la presenza di una faglia antitetica con inclinazione verso monte che determina la formazione del graben in località Fango.

Tale depressione morfostrutturale disloca e ribassa i substrati geologici di riferimento e consente l'accumulo di spessori notevoli (compresi tra i 30 e i 45 m) di depositi di debris avalanche.

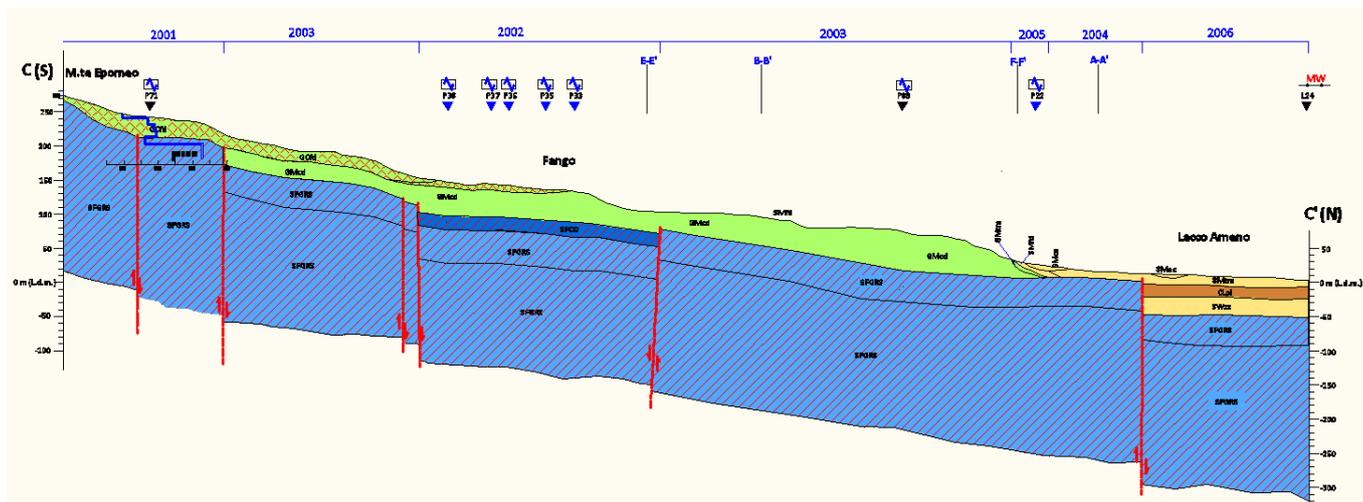


Figura 5-23 Sezione geologico-tecnica C-C'

5.2.4 Sezione geologico-tecnica D-D'

La sezione D-D' con orientamento Sud-Nord si sviluppa a partire dalla località Pizzone, attraversa la zona Fango e termina lungo la piana costiera.

Essa si contraddistingue per la presenza dell'array sismico in località Fango, realizzato in corrispondenza del graben descritto per la sezione C-C'.

L'array sismico ha consentito di tarare e definire sia gli spessori delle coperture GCfd (spessore compreso tra 3 e 10 M) e GMcd (spessore compreso tra 30 e 45 m) che gli spessori dei diversi substrati geologici di riferimento (SFCD – spessore compreso tra 15 e 20 m) e in particolare il substrato SFGRS, suddiviso in funzione delle Vs in un primo tratto pari a 33 m con velocità di 667 m/s e un secondo tratto per uno spessore pari a 150 m con una Vs di 947 m/s.

Lungo la sezione, inoltre, si notano le frane quiescenti descritte per la sezione C-C' le quali poggiano direttamente, nel primo tratto di sezione, sul substrato geologico di riferimento rappresentato dal tufo verde di Monte Epomeo.

Dal punto di vista strutturale si evidenziano la presenza di faglie normali subverticali con inclinazione verso mare che tagliano il Monte Epomeo e l'individuazione di una faglia antitetica con inclinazione verso monte che contribuisce alla formazione del graben in località Fango.

Tale depressione morfostrutturale disloca e ribassa i substrati geologici di riferimento e consente l'accumulo di spessori notevoli (compresi tra i 30 e i 45 m) di depositi di debris avalanche (GMcd).

La parte terminale della sezione è rappresentata da depositi di conoide falda detritica da incoerenti a debolmente litificati (SMfd) aventi spessori compresi tra 10 e 17 m e depositi di spiaggia costituiti prevalentemente da sabbie medio fini e grossolane e da depositi limosi e argillosi (SMtm) per spessori compresi tra 10 e 17 m.

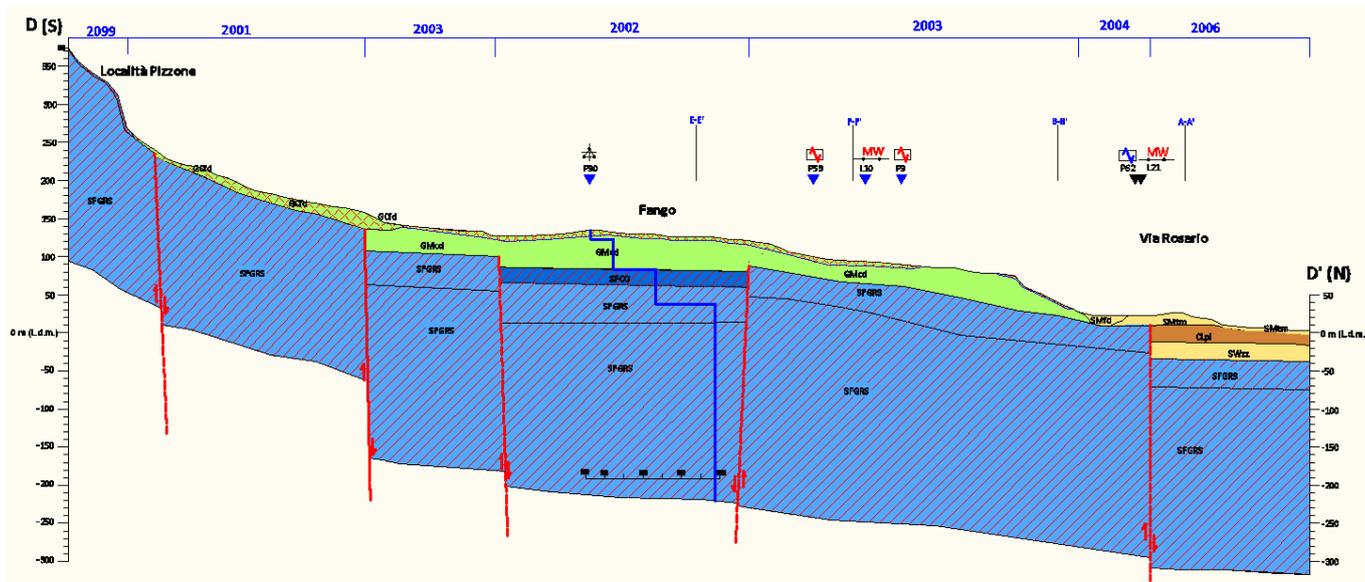


Figura 5-24 Sezione geologico-tecnica D-D'

5.2.5 Sezione geologico-tecnica E-E'

La sezione E-E' orientata in direzione WNW- ESE, si sviluppa partendo dalla località Mezzavia terminando in località La Pietra.

Tale sezione si distingue principalmente per l'individuazione della formazione delle Sabbie di Mezzavia (Codice CARG MZV), identificate nella carta geologico-tecnica con il termine GMtm (spessore compreso tra 3 e 15 m) e costituite essenzialmente da depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie e argille sabbiose e terreni detritici caotici.

Altro elemento di rilevanza è rappresentato dall'inversione congiunta tra l'HVSR P70 e il Masw 9 (codice 063038L30) eseguito in località Mezzavia.

Dai risultati ottenuti è emersa una sostanziale variabilità e eterogeneità in termini di velocità all'interno della formazione GMcd e una variazione notevole di velocità registrata intorno ai 45 m di profondità in corrispondenza del substrato geologico di riferimento rappresentato dalla formazione SFGRS (Codice GEO SEM).

Infine, procedendo verso E-SE si individuano aree caratterizzate dalla presenza di frane quiescenti per scivolamento aventi spessori compresi tra 3 e 10 m, le quali ricoprono i depositi della formazione GMcd (spessore compreso tra 30 e 45 m).

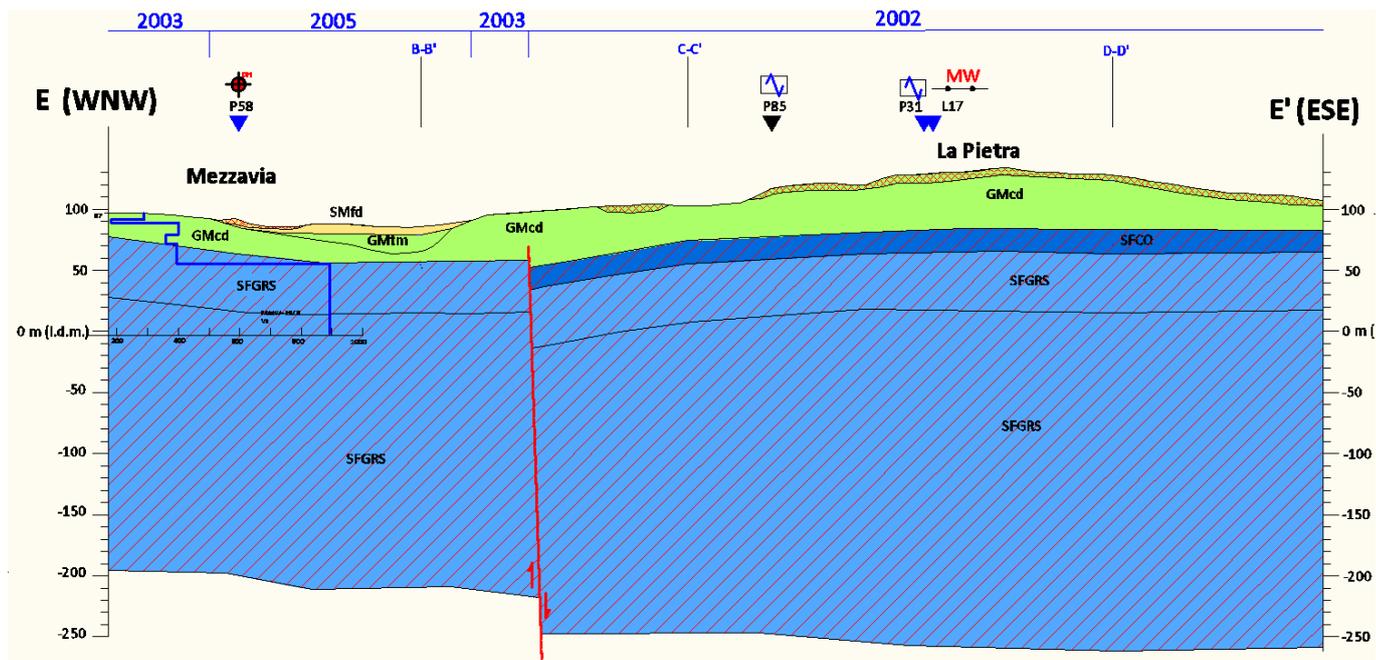


Figura 5-25 Sezione geologico-tecnica E-E'

5.2.6 Sezione geologico-tecnica F-F'

La sezione F-F' orientata in direzione NW-SE attraversa per il primo tratto i substrati geologici rappresentati da tufi gialli stratificati, ricchi in livelli di bombe e lapilli scoriacei e pomicei (Codice Carg VLA) per spessori compresi tra 3 e 15 m, depositi massivi di breccie piroclastiche ricche in matrice cineritica grossolana, lave nere trachitiche a blocchi contenenti inclusi mafici per spessori compresi tra 26 e 84 m (Codice Carg ZRO), epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, spesso contenenti olistoliti plurimetrici. Spessore compreso tra 23 e 30 m (Codice Carg CPMa) e tufi massivi di colore da verde smeraldo a verde chiaro, costituiti da lapilli e bombe pomicee e scoriacee e tufi ignimbritici litoidi massivi organizzati in grandi bancate tabulari. Spessore massimo 300 m (Cod. CARG TME).

Tali substrati geologici definiscono la MOPS 2099 di seguito discussa nel capitolo 10.

Inoltre la sezione si caratterizza per la presenza di frane quiescenti da crollo e ribaltamento che interessano la porzione iniziale della sezione.

Procedendo lungo la sezione si rinvencono i depositi della formazione GMcd per uno spessore massimo pari a 20 m che poggiano sul substrato geologico rappresentato dalle epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate (Codice Geo EM) per spessori compresi tra 35 e 50 m e dal Tufo Verde di Monte Epomeo per spessori massimi di 300 m.

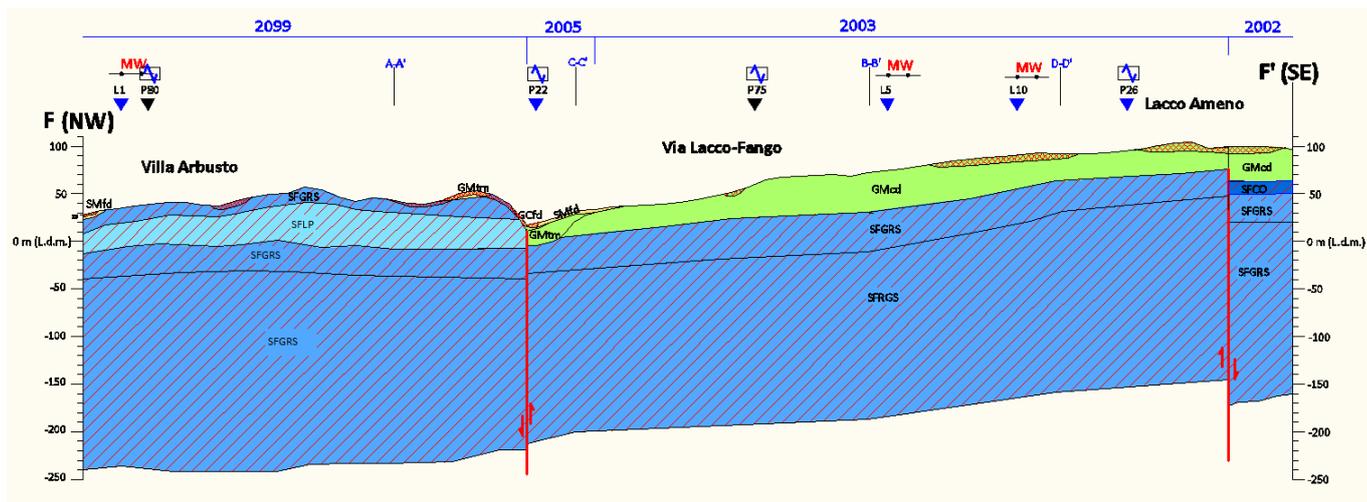


Figura 5-26 Sezione geologico-tecnica F-F'

6 Interpretazioni e incertezze

I dati raccolti per il presente studio comprendono un totale di 78 misure di rumore sismico ambientale trattate con tecnica HVSR, 32 indagini sismiche MASW, 1 Array sismico, 4 tomografie elettriche, 1 profilo di sismica a rifrazione, 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, 4 prove Down Hole e svariati campioni indisturbati e prove penetrometriche SPT eseguite all'interno dei fori di sondaggio.

L'obiettivo dello studio di Microzonazione Sismica di livello 3 è quello di caratterizzare i litotipi affioranti e quelli profondi, in termini di velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio Vs. Il primo passo fondamentale per il raggiungimento dell'obiettivo è il riconoscimento delle formazioni geolitologiche affioranti e di quelle profonde, campionate in alcuni casi durante il corso dell'esecuzione dei sondaggi geognostici o eventualmente intercettate attraverso l'esecuzione di indagini indirette.

L'analisi di tutti i risultati ottenuti dalle prove dirette e dall'elaborazione delle misure delle prove indirette, ha permesso di associare ad ogni formazione geologico – tecnica intercettata un valore di velocità delle onde di taglio Vs univoco, derivante dal valore medio dell'intervallo di Vs identificato per ciascuna formazione.

Uno dei prodotti cartografici elaborati per il presente lavoro è la carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica), ovvero una carta in cui sono identificate e distinte le zone per le quali il comportamento sismico dei terreni risulti simile o comunque assimilabile ad un unico profilo di Vs rappresentativo per ciascuna zona individuata.

Il raggiungimento di questo risultato è stato complesso a causa del livello di incertezza variabile associato alle misure di Vs per le varie formazioni e di conseguenza di quello associato ai profili di Vs ottenuti per ciascuna zona.

Per la valutazione di tale incertezza la procedura di inversione alla quale sono state sottoposte le indagini sismiche indirette è stata ripetuta più volte, ottenendo dei modelli che hanno prodotto un analogo adattamento dei dati sperimentali. L'insieme di queste soluzioni e di quelle ottenute dalle altre misure effettuate nella stessa microzona sono state utilizzate per definire i limiti di confidenza associati al profilo di Vs da utilizzare per la modellazione della risposta sismica locale della microzona analizzata.

Le incertezze più significative che influenzano i risultati di un'analisi di RSL sono proprio quelle legate alla definizione del modello geotecnico, infatti riguardano il profilo di Vs in funzione della profondità, le curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato (G/G_0) e di incremento di smorzamento (D) associate ai materiali presenti e la profondità del basamento sismico.

Per il presente lavoro una delle maggiori difficoltà riscontrate è stata proprio la definizione del modello di Vs(h), in quanto all'interno della singola microzona esistono vari profili di Vs(h) differenti tra di loro in termini di spessore, indicando spesso un'accentuata eterogeneità laterale degli stessi.

Nella maggior parte dei casi le indagini integrative eseguite, ad eccezione del Sondaggio geognostico attrezzato a Down Hole fino a 50 m, non sono riuscite a ridurre le incertezze. Le numerose indagini

MASW eseguite congiuntamente alle HVSR non sempre sono risultate affidabili per quanto riguarda la caratterizzazione dei terreni in termini di Vs e spessori a causa del fatto che, vista la natura dei terreni queste tipologie di indagini spesso non hanno permesso di spingerci a profondità superiori ai 20 m. Non è stato possibile quindi valutare la profondità del basamento sismico con l'esecuzione delle suddette indagini.

Il bedrock sismico nel comune di Lacco Ameno è ascrivibile alla formazione del Tufo Verde del Monte Epomeo (Cod. geo-litologico. TVME, sensu CNR-IGAG 2018) al quale è stata associata una velocità delle onde Vs di circa 970 m/s. Tale valore è stato dedotto dai risultati emersi dall'array sismico condotto in Località Fango dal gruppo di supporto, confrontati con quelli derivanti dalle inversioni congiunte (della curva H/V e della curva dispersione) condotte in diverse aree del comune di Lacco Ameno. Le modalità con la quale sono state svolte le inversioni congiunte e i relativi risultati sono illustrati al paragrafo 5.1.

Per alcune MOPS le indagini a disposizioni sono risultate scarse come ad esempio per la MOPS 2099 della Località Zaro e per la MOPS 2008 del promontorio di Monte Vico, illustrate in dettaglio al paragrafo 8.4, a causa della morfologia del territorio e/o della fitta antropizzazione. In questi casi per la parametrizzazione di alcuni litotipi ci si è basati su indagini eseguite su terreni analoghi dell'Isola ricadenti nei comuni di Casamicciola Terme e Forio. Un esempio sono i Tufi di Citara (Cod. geo-litologico. TC, sensu CNR-IGAG 2018) e per analogia a questi anche i Tufi di Villa Arbusto (Cod. geo-litologico. VLA, sensu CNR-IGAG 2018), il cui valore di Vs è variabile da 450 a 500 m/s ed è stato dedotto dai risultati ottenuti dall'array sismico svolto nel comune di Forio nei pressi dell'Istituto e indicato dalla Sigla "IF".

Per gestire la variabilità dei valori Vs e degli spessori dei sismostrati ascrivibili alla maggior parte dei terreni di copertura è stato necessario, far ricorso a metodologie di tipo statistico grazie alle quali è possibile descrivere la variabilità di una certa "popolazione" a partire dall'osservazione di un insieme di unità estratte dalla popolazione.

In tal caso la distribuzione più adatta alla rappresentazione di queste grandezze è la distribuzione asimmetrica di tipo log-normale che non ammette la presenza di valori di Vs negativi.

I parametri d'interesse caratteristici di questa distribuzione sono "m_{ln}" e "s_{ln}" che con riferimento ad un insieme N di valori Vs_i, possono essere stimati come segue:

$$m_{ln} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(Vs_i)$$
$$s_{ln} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [\ln(Vs_i) - m_{ln}]^2}$$

Dove ln indica il logaritmo naturale (in base e) dell'argomento.

Il valore di riferimento V_{Srif}, ovvero il valore "vero" che può essere immaginato come quello

misurato in condizioni “ideali” senza fattori perturbanti, è rappresentato dalla mediana della distribuzione log-normale.

$$V_{S_{rif}} = e^{m_{ln}}$$

Sulla base di queste ipotesi, è stato generato un singolo profilo di V_s di riferimento per ogni microzona a partire dagli N profili di V_s ottenuti dalle misure. Ogni profilo è stato discretizzato definendo il valore di V_s per ogni metro fino alla massima profondità investigata.

Il procedimento è stato svolto grazie all'utilizzo di un foglio di calcolo EXCEL.

A questo punto è stato costruito un nuovo insieme di colonne contenenti i valori del logaritmo naturale di V_s che possono esseri utilizzati per calcolare i valori di m_{ln} e s_{ln} .

Successivamente è stato calcolato il valore di $V_{S_{rif}}$ al variare della profondità, che rappresenta proprio il valore associato a ciascuna copertura, nella microzona considerata.

7 Metodologie di elaborazione e risultati

7.1 Zone stabili suscettibili di amplificazione

7.1.1 Scelta dell'input sismico (fornito dal CNR IGAG per il CentroMS)

L'input sismico utilizzato per le simulazioni numeriche sia 1D che 2D è stato definito da un apposito Gruppo di Lavoro, coordinato dalla Struttura di Supporto CNR-IGAG per il Centro MS (2019).

In particolare, la metodologia ha previsto l'utilizzo del codice di calcolo InSpector (Acunzo et al., 2014) per la scalatura degli accelerogrammi scelti.

Qui di seguito si riportano i passaggi salienti seguiti per la scelta corretta dei 7 accelerogrammi spettro-compatibili.

Disaggregazione della pericolosità sismica

La disaggregazione della mappa di pericolosità sismica (disponibile al sito <http://esse1.mi.ingv.it>) rappresenta il riferimento per l'individuazione dello scenario, in termini di magnitudo e distanza, che maggiormente contribuisce alla pericolosità del sito in esame.

Gli intervalli delle coppie di valori Magnitudo-Distanza ottenuti dall'analisi di disaggregazione in termini di PGA per il tempo di ritorno di 475 anni sono: Mag Min:4; Mag Max:5.5; Distanza:0-20 Km.

Spettro di riferimento

Lo spettro elastico in accelerazione di riferimento al sito è costruito a partire dalle indicazioni di NTC18, specificando le coordinate geografiche del sito, la categoria di sottosuolo (A, B, C, D o E), la categoria topografica (T1, T2, T3, T4), la "Vita Nominale" dell'opera strutturale, la "Classe d'Uso" e lo "Stato Limite" di interesse.

Comune	α_g	F_0	T_c
Casamicciola Terme	0.152	2.285	0.325
Lacco Ameno	0.148	2.289	0.327
Forio	0.137	2.321	0.333

Tabella 7-1

Viste le differenze osservate in Tabella 4-1, visto l'aggiornamento attuale in corso della mappa di pericolosità e data la contiguità dei territori comunali, si è deciso di definire un solo spettro di input per i tre comuni e di calibrarlo rispetto al valore di pericolosità di base relativo al limitrofo comune di Ischia, che risulta essere più cautelativo (Figura7-1). In particolare, le coordinate adottate per la taratura dello spettro di target sono le seguenti: Lat WGS84=40.733°, Lon WGS84=13.947°.

Di seguito vengono specificati i criteri per la costruzione dello spettro elastico di riferimento e i criteri per la ricerca della spettrocompatibilità.

Lo spettro elastico in accelerazione di riferimento, per un tempo di ritorno T_r 475 anni, è stato costruito a partire da:

1. Categoria di sito secondo NTC18 (Site classification (EC8)): A, A*;
2. Classe topografica secondo NTC18 (Topography): T1;
3. Vita nominale (Nominal life): 50 anni;

4. Classe d'uso (Building functional type): II, $cu = 1.0$;
5. Stato limite, espresso come probabilità (Limit state probability): 10%.

I criteri per la compatibilità con lo spettro di normativa sono:

- 1) Intervallo di periodo (Period range): 0.1 - 1.1s
- 2) Tolleranza (Tolerance): upper: 30; lower: 10
- 3) Scalatura dei records (Scaled records): Si

Per l'intervallo di periodi si fa riferimento all'Ord. n. 1/2018 del Commissario Straordinario per la ricostruzione nei territori dei Comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell'isola di Ischia.

Selezione delle registrazioni accelerometriche

Di seguito vengono specificati i criteri per la scelta delle registrazioni da scalare, rispetto alle quali occorre verificare la spettrocompatibilità.

Gli accelerogrammi naturali tra i quali si è effettuata la ricerca della spettrocompatibilità sono stati scelti tra quelli presenti nella banca dati ESM - Engineering Strong-Motion database (<https://esm.mi.ingv.it>; Luzi et al., 2016) ed aventi ben definite caratteristiche in termini di: i) intervallo di magnitudo e distanza sorgente-sito; ii) tipo di meccanismo focale dell'evento; iii) categoria di sottosuolo della postazione di registrazione. Per quanto riguarda gli intervalli di magnitudo da utilizzare nella ricerca degli accelerogrammi si utilizza di prassi il diagramma di disaggregazione, che consente di verificare il contributo delle varie sorgenti sismogenetiche alla pericolosità. Nel caso di Ischia sono stati adottati criteri di scelta delle registrazioni meno restrittivi per quel che riguarda la classe di sito e il meccanismo focale della sorgente, allo scopo di includere registrazioni relative ad eventi vicini e caratterizzati da profondità ipocentrali paragonabili a quelle delle sorgenti presenti nell'area di studio.

La ricerca delle registrazioni nella banca dati è stata quindi effettuata per eventi con le seguenti caratteristiche:

1. Classificazione di sito (Station site classification criteria): A, A* oppure Non Definito (allo scopo di includere registrazioni accelerometriche relative ad eventi vicini);
2. Magnitudo minima e massima per la selezione dei record (Magnitude min - max): 4-5.5;
3. Tipo di magnitudo (Type of magnitude to consider): Mw o MI indifferentemente (Mw or MI indifferently)
4. Distanza epicentrale minima e massima per la selezione dei record (Epicentral distance min - max): 0-20 km
5. Inclusione / Esclusione records (Include...): late triggered: No; analog records: No
6. Meccanismo focale (Focal mechanism): faglia normale (Normal faulting), faglia trascorrente (strike-slip faulting) e faglia indefinita. Questi ultimi due meccanismi focali sono stati scelti allo scopo di avere un dataset di registrazioni comprensivo di forme d'onda rappresentative di terremoti avvenuti a profondità ipocentrali dell'ordine dei 2-3 Km.

Risultati

Per la selezione degli accelerogrammi da utilizzare come input è stato utilizzato il codice In-Spector (Acunzo et al, 2014).

L'insieme dei 7 accelerogrammi è stato selezionato in modo che la loro media, in un intervallo di periodo di interesse, risulti compresa tra una tolleranza minima e massima rispetto allo spettro di riferimento. NTC18 definisce una tolleranza minima del 10% (fissata quindi anche nel presente caso). NTC18 non definisce invece una tolleranza massima, che, nel caso presente, è stata fissata al 30%.

I dati sono resi disponibili tramite un apposito servizio FTP raggiungibile all'indirizzo ftp://150.146.31.30. Per accedere al servizio sono state configurate una serie di utenze, con accesso ristretto ai singoli Comuni. Le credenziali di accesso sono già disponibili presso le amministrazioni comunali.

Per ogni comune vengono forniti:

- 1) 7 accelerogrammi in formato ASCII (due colonne: tempo in s, valori di accelerazione in g);*
- 2) 7 spettri di risposta in accelerazione corrispondenti ai 7 accelerogrammi in formato ASCII (due colonne: periodo in s, accelerazione spettrale in g);*
- 3) Tabella_Parametri, in formato .xls, in cui vengono sintetizzate le caratteristiche degli eventi selezionati;*
- 4) SPETTRO_INPUT_g.txt, in formato ASCII (periodo in s, accelerazione spettrale in cm/s²), che rappresenta lo spettro di riferimento NTC18 per il sito in esame.*

In Figura 2 e in Figura 3 sono rappresentate rispettivamente le forme d'onda selezionate e i relativi spettri di risposta in accelerazione. In Tab. 2 sono riportate invece le caratteristiche degli eventi selezionati, espresse in termini di: Magnitudo Mw/MI, Distanza Epicentrale (km), Profondità ipocentrale (km), Fattore di scala (SF), Scarto Quadratico Medio delle distanze rispetto alla forma spettrale obiettivo nel campo di periodi di interesse 0.1-1.1s (DRMS, Distance Root Mean Square), Intensità di Arias (Ia, cm/s), Durata Spettrale (SD, s).

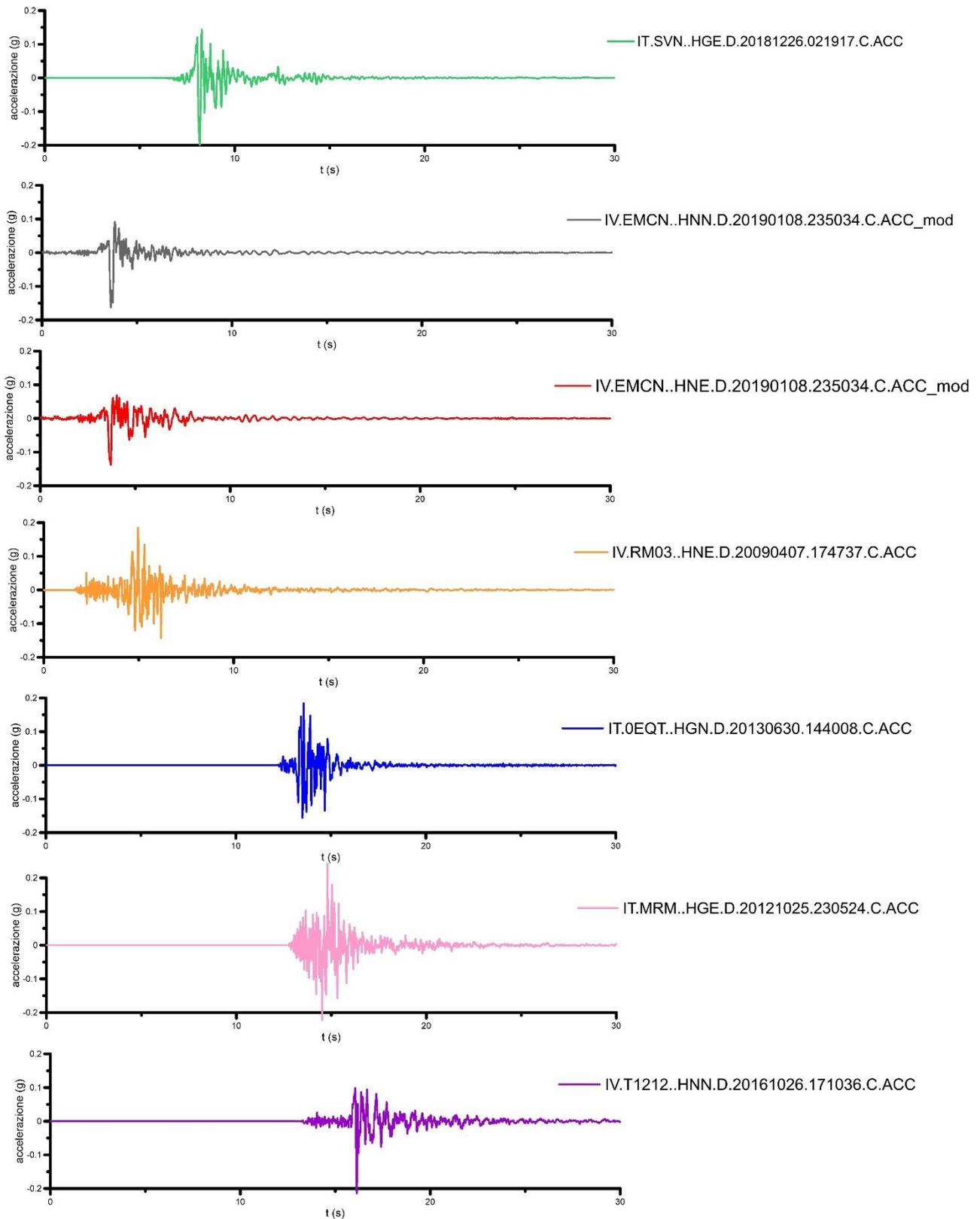


Figura 7-1 Forme d'onda selezionate scalate

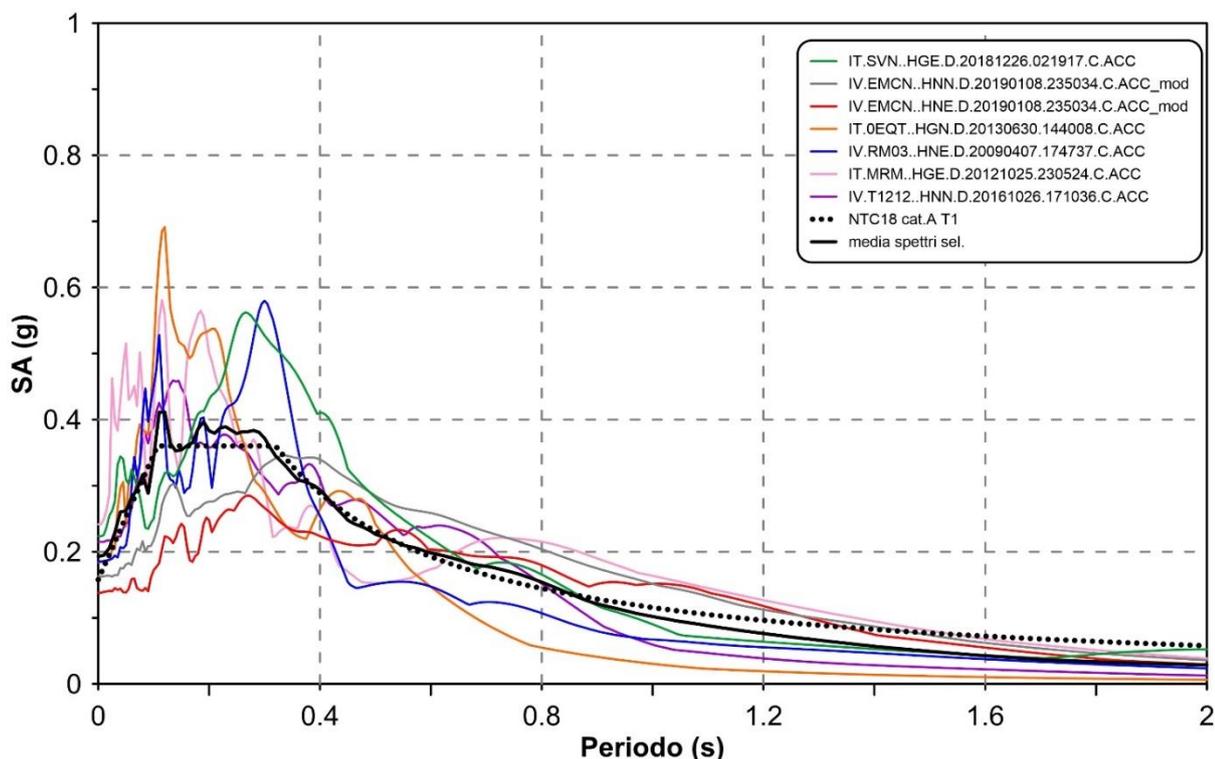


Figura 7-2 Spettri di risposta in accelerazione (g) degli accelerogrammi selezionati scalati. Sono riportati anche lo spettro di riferimento NTC18 (curva nera tratteggiata) e la media degli spettri di risposta della settupla di accelerogrammi selezionata (curva nera continua).

Evento	Mw	Distanza Epicentrale e [Km]	Profondità ipocentrale [Km]	Classe di sottosuolo (ECB)	Fattore di Scala (SF)	Drms	Ia [cm/s]	SD [s]
CENTRAL_ITALY [07/04/2009 17:47:37 - Station: RM03 - Component: E/O - MagnitudeW: 5.5 - Epicentral Distance: 3.4]	5.5	3.4	17.1	A*	2	0.045093	14.4775	3.625
CENTRAL_ITALY [26/10/2016 17:10:36 - Station: T1212 - Component: N/S - MagnitudeW: 5.4 - Epicentral Distance: 15.2]	5.4	15.2	8.1	A*	1.1	0.041261	10.7506	3.755
COSENZA [25/10/2012 23:05:24 - Station: MRM - Component: E/O - MagnitudeW: 5.2 - Epicentral Distance: 2.4]	5.2	2.4	9.7	A	1.3	0.056107	18.06469	2.99
IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC_mod4.ASC	4.1 (M)	1.2	2.2	N/A	1.28	0.039256	7.531587	3.49
IV.EMCN..HNN.D.20190108.235034.C.ACC_mod4.ASC	4.1 (M)	1.2	2.2	N/A	1.28	0.035833	8.257111	2.405
NORTHERN_ITALY [30/06/2013 14:40:08 - Station: OEQT - Component: N/S - MagnitudeW: 4.5 - Epicentral Distance: 3]	4.5	3	6.1	A*	1.6	0.056093	14.28527	1.65
SICILY_ITALY [26/12/2018 02:19:17 - Station: SVN - Component: E/O - MagnitudeW: 4.9 - Epicentral Distance: 4.5]	4.9	4.5	/	A*	0.4	0.032829	13.88658	1.945

Tabella 7-2 Tabella dei parametri: Magnitudo Mw/MI, Distanza Epicentrale (km), Profondità ipocentrale (km), Fattore di scala (SF), Scarto Quadratico Medio delle distanze rispetto alla forma spettrale obiettivo nel campo di periodi di interesse 0.1-1.1s (DRMS, Distance Root Mean Square), Intensità di Arias (Ia, cm/s), Durata Spettrale (SD, s)

Considerazioni

Le registrazioni accelerometriche selezionate sono differenti rispetto alle registrazioni individuate nella Relazione Finale "Primi interventi urgenti di protezione civile conseguenti all'evento sismico che ha interessato il territorio dei Comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell'Isola di Ischia il giorno 21 agosto 2017. Misure di carattere non strutturale finalizzate alla riduzione del rischio residuo" (CNR IGAG, 2018) di cui all'Art.8 del OCDPC n. 476/2017. In particolare, le differenze principali riguardano i seguenti due aspetti:

1. Le registrazioni selezionate nel presente elaborato sono scalate;
2. Nella settupla di accelerogrammi vi sono tre forme d'onda caratterizzate da meccanismi focali differenti da quello di fagliazione normale, caratteristico dell'area in esame. Più dettagliatamente, le forme d'onda IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC, IV.EMCN..HNN.D.20190108.235034.C.ACC, IT.SVN..HGE.D.20181226.021917.C.ACC sono state incluse nella scelta perché ritenute confrontabili con le caratteristiche delle strutture sismogenetiche presenti nell'area in esame e rappresentative quindi di eventi vicini.

7.2 Simulazioni numeriche bidimensionali (fornite dal CentroMS per le simulazioni 2D)

Le simulazioni bidimensionali sono state eseguite a cura del Dipartimento di Ingegneria Geotecnica dell'Università di Napoli Federico II e fornite dal Centro MS; di seguito si riporta una sintesi di quanto eseguito dal predetto Dipartimento di Ingegneria e trasmessoci, pertanto per ulteriori approfondimenti si rimanda alla specifica relazione in fase di redazione a cura del citato Dipartimento.

Le analisi 2D sono state condotte lungo 2 sezioni tra di esse perpendicolari: sezione A-A' (WNW-ESE) e sezione D-D' (S- N) come si può notare nella figura seguente

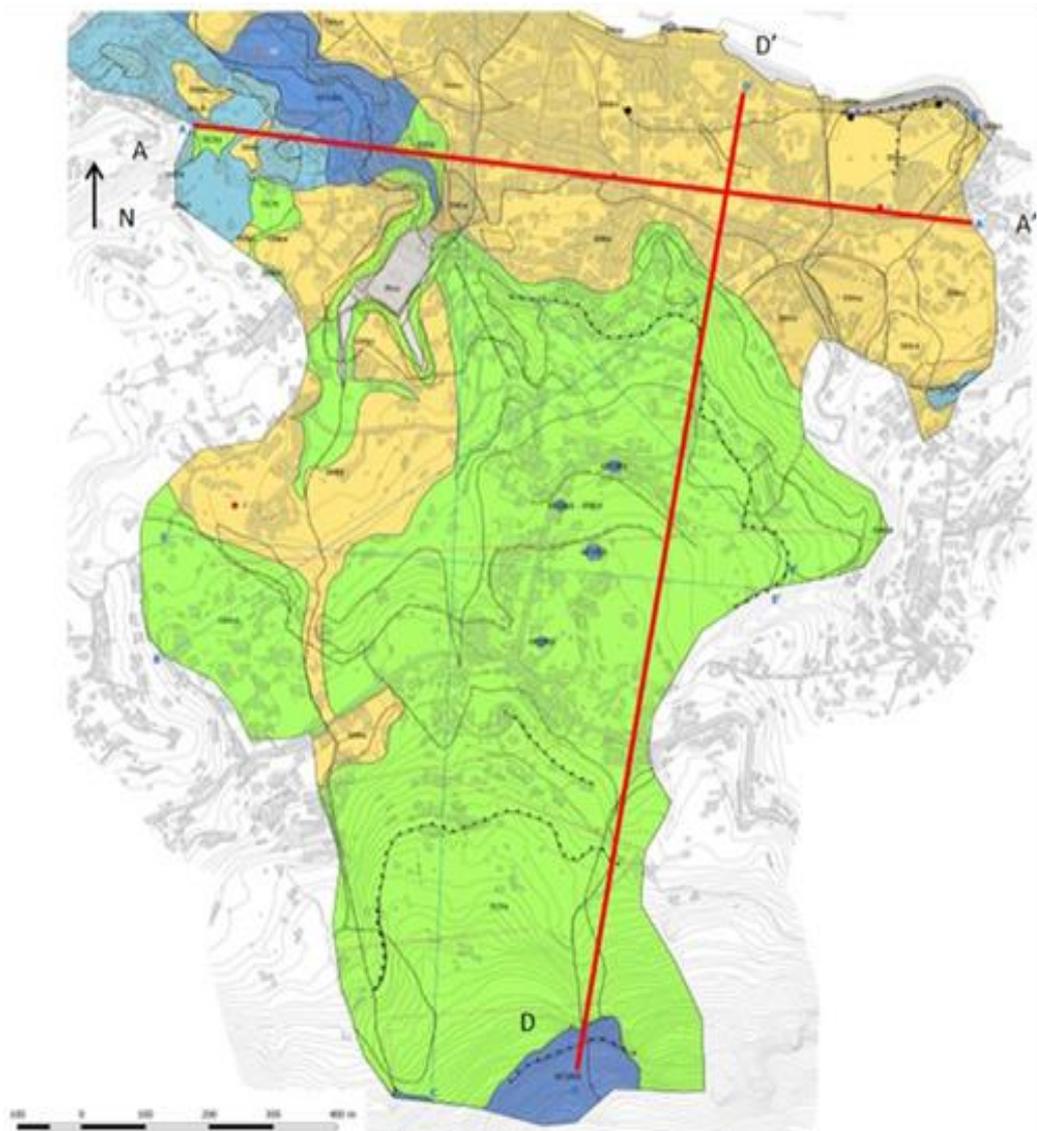


Figura 7-3 Stralcio Carta GCT con ubicazione dei profili interessati dalle simulazioni numeriche bidimensionali

Le proprietà fisico-meccaniche dei terreni e rocce adottate nelle analisi sono sinteticamente riportate nelle Tabelle 7-3 e 7-4, rispettivamente per le sezioni AA' e DD'.

Formazione	z (m)	γ (kN/m ³)	V _S (m/s)	V _P (m/s)	ν	G ₀ (MPa)	D ₀ (%)	Riferimento curve G(γ)/G ₀ e D(γ)
SM _{ec}	0-6	15.66	230	457	0.33	84.45	1.5	MS3_LAC_DH1_C1
SM _{cd}	0-15	16.18	230	563	0.40	87.25	1.5	MS3_LAC_DH1_C1
SM _{tm}	0-14	14.74	230	506	0.37	79.48	1.5	MS3_LAC_DH1_C1
CL _{pl} (sup)	16-22	15.94	200	735	0.46	64.99	0.9	MS3_LAC_DH1_C3
CL _{pl} (inf)	22-32	15.94	310	735	0.46	64.99	0.9	MS3_LAC_DH1_C3
SW _{zz}	32-57	16.31	480	1370	0.43	383.06	1.0	MS3_LAC_DH1_C4
GC _{fd}	0-11	17.06	230	563	0.40	92.00	3.5	MS3_FO_DH1_C2
SFGRS	0-13	17.89	260	505	0.32	123.28	1.6	Tufo giallo napoletano (Vinale, 1988)
Bedrock sismico	0-4 4-	17.89	980	1905	0.32	1751	0.5	Visco elastico lineare

Tabella 7-3 Proprietà fisiche e meccaniche dei terreni per la sezione AA' (i codici delle formazioni fanno riferimento alla Figura 7-4).

Formazione	z (m)	γ (kN/m ³)	V _S (m/s)	V _P (m/s)	ν	G ₀ (MPa)	D ₀ (%)	Riferimento curve D(γ) e G(γ)/G ₀
SM _{tm}	0-17	14.74	230	506	0.37	79.48	1.5	MS3_LAC_DH1_C1
CL _{pl} (sup)	4-10	15.94	200	735	0.46	64.99	0.9	MS3_LAC_DH1_C3
CL _{pl} (inf)	10-18	15.94	310	735	0.46	64.99	0.9	MS3_LAC_DH1_C3
SW _{zz}	18-40	16.31	480	1370	0.43	383.06	1.0	MS3_LAC_DH1_C4
GC _{fd}	0-22	17.06	300	735	0.40	150.09	3.5	MS3_FO_DH1_C2
GM _{cd}	0-46	16.36	450	1102	0.40	304.27	3.5	MS3_FO_DH1_C2
SFCO	51-71	17.89	670	1751	0.34	926.17	2.0	MS3_FO_DH1_C4
SM _{fd}	0-13	16.00	230	479	0.35	86.28	1.0	MS3_CAS_DH2_C2
SFGRS(SEM)	71-91	17.89	670	1302	0.32	818.64	1.6	MS3_LAC_DH1_C5
Bedrock sismico	0-8 8-	17.89	980	1905	0.32	1751	0.5	Visco elastico lineare

Tabella 7-4 Proprietà fisiche e meccaniche dei terreni per la sezione DD' (i codici delle formazioni fanno riferimento alla Figura 7-5).

I profili di VS delle diverse formazioni adottate nei modelli di calcolo sono riassunti e confrontati in Figura 7-6. Il bedrock sismico, lungo entrambe le sezioni, risulta costituito da depositi tufacei massivi; la sua velocità VS è stata definita mediante l'unico array disponibile in zona Fango. Nella sezione AA' è stata individuata una fascia molto alterata e superficiale di tali depositi (tufi di Villa Arbusto), i quali presentano valori di velocità VS di molto inferiori (260 m/s) a quelli del bedrock sismico. Nella zona in prossimità della costa, costituita da strati superficiali di sabbie di varia natura e di spessore modesto, è stata assunta un'unica velocità VS (230 m/s). Nella sezione DD', mancando esiti di sondaggi e prove Down Hole, le velocità dei vari terreni sono state definite mediante le MASW disponibili e l'unico array presente (zona Fango). Analizzando i risultati di tale array, è stata intercettata una fascia di depositi argillosi di natura piroclastica (SFCO) di circa 20 m di spessore che poggia su un banco di depositi

tufacei alterati (SFGRS(SEM)) anch'essi spessi circa 20 m; entrambi gli strati hanno la stessa velocità VS (670 m/s). Il confronto delle misure di rumore presenti ha indotto ad assumere la presenza di assumere uno strato di depositi tufacei alterati (SFGRS(SEM)) di spessore di circa 40 m al di sotto dei terreni di natura ghiaiosa (GMcd, GCfd) e al di sopra del bedrock sismico, costituito dallo stesso tipo di materiale non alterato.

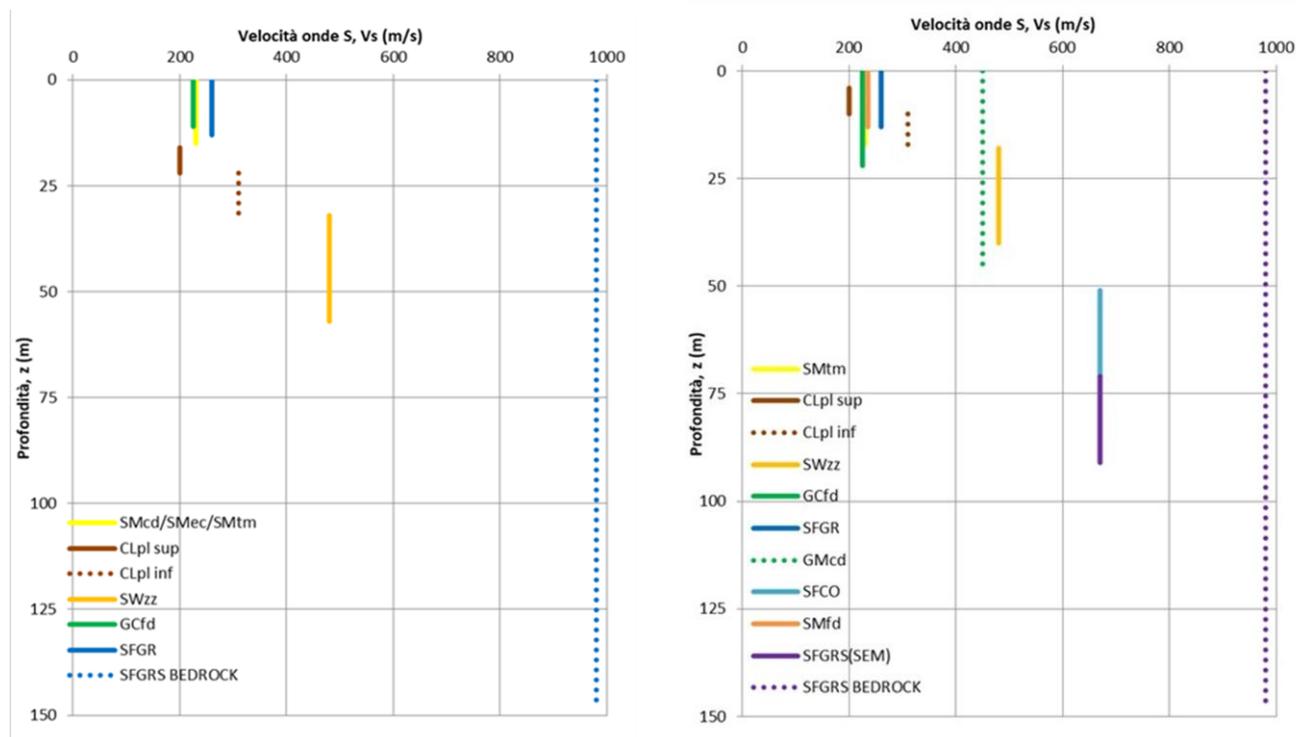


Figura 7-6 Profili di velocità delle onde S: a) sezione A-A', b) sezione D-D'

Nelle Figure 7-7 e 7-8 sono riportate le curve di variazione di rigidezza al taglio normalizzata e fattore di smorzamento con la deformazione tangenziale adottate per le analisi, rispettivamente, delle sezioni AA' e DD'.

Il comportamento non lineare e dissipativo dei terreni è stato caratterizzato interpretando con le relazioni analitiche derivate dal modello di Darendeli (2001) sia risultati di prove di taglio torsionale ciclico, effettuate sui campioni appositamente prelevati nell'ambito delle attività di microzonazione ed indicati con il prefisso MS3 nelle Tabelle 1-2, sia curve di letteratura relative a materiali con caratteristiche litologiche simili a quelli interessati dal presente studio.

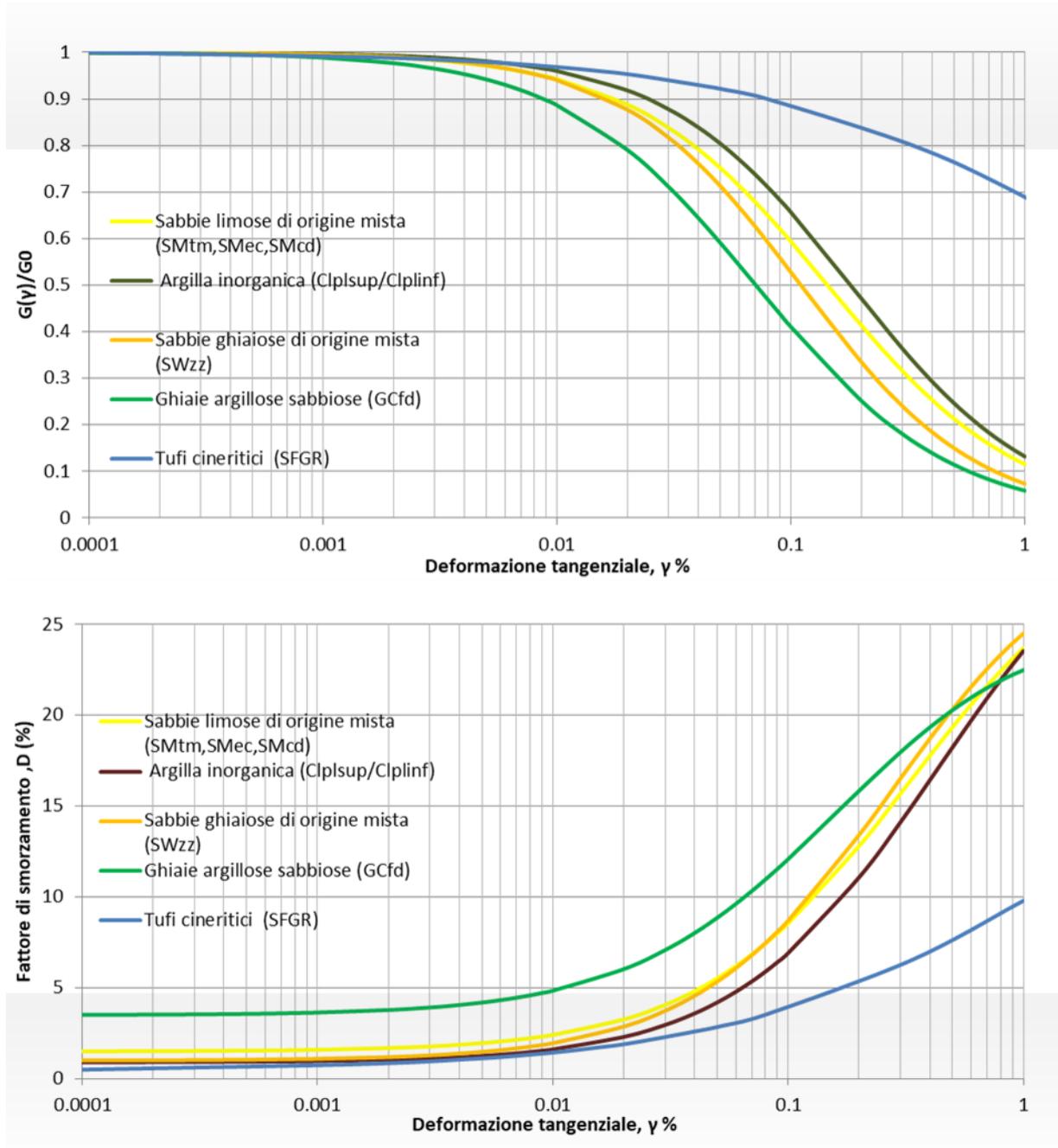


Figura 7-7 Curve del decadimento del modulo di taglio e dell'andamento del fattore di smorzamento con il livello di deformazione per la sezione AA'

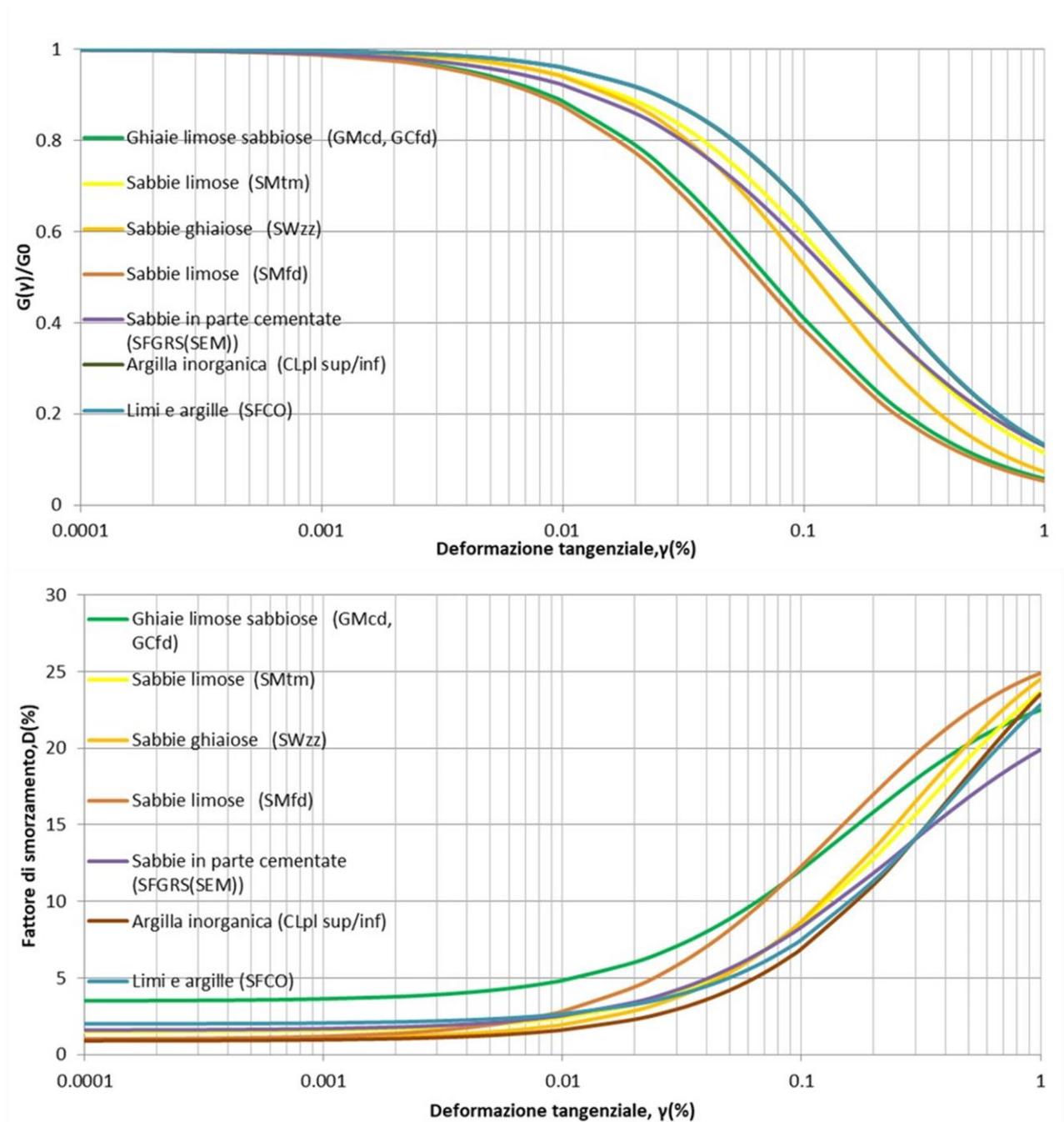


Figura 7-8 Curve del decadimento del modulo di taglio e dell'andamento del fattore di smorzamento con il livello di deformazione per la sezione DD'

7.2.1 Risultati

Per ogni punto in superficie dei domini delle analisi 2D o delle verticali 1D considerate, FA è stato calcolato con riferimento a 3 intervalli di periodi (rappresentati in seguito con i colori indicati tra parentesi):

- Bassi periodi (rosso): $T_a = 0.1$ s, $T_b = 0.5$ s;
- Medi periodi (verde): $T_a = 0.4$ s, $T_b = 0.8$ s;
- Alti periodi (blu): $T_a = 0.7$ s, $T_b = 1.1$ s.

Per ogni accelerogramma, e per ogni campo di periodi, si è ottenuto il profilo di variazione del

fattore di amplificazione lungo le sezioni analizzate. Sono stati quindi calcolati i valori massimi e minimi (linee tratteggiate colorate) e la media logaritmica (linea continua colorata) di FA fra i 7 fattori di amplificazione dei singoli accelerogrammi. Per quest'ultimo valore, si è poi calcolato la media aritmetica lungo ogni Microzona Omogenea in Prospettiva Sismica (MOPS), valore che è stato assunto come rappresentativo dell'amplificazione 2D relativa alla MOPS considerata.

Per attribuire infine ad ogni MOPS gli spettri di risposta elastici relativi ad ogni segnale di input nonché il corrispondente spettro medio, si è individuata, all'interno della porzione di sezione 2D competente alla medesima MOPS, la verticale caratterizzata dal valore di FA_{0.1-0.5s} più prossimo a quello medio della stessa porzione.

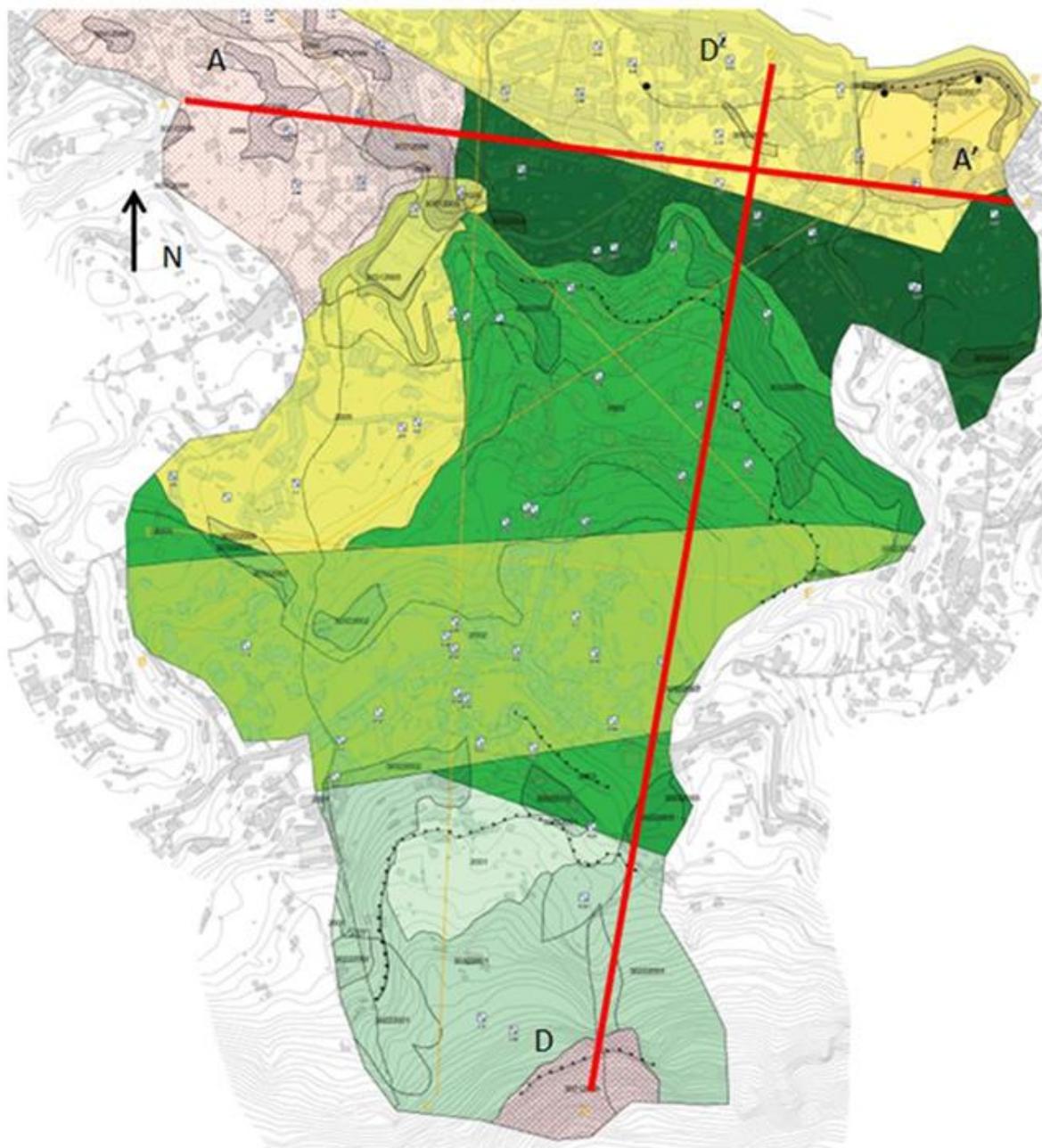
In Figura 7-9 è riportata la carta delle MOPS per il comune di Lacco Ameno, mentre nelle Figure 7-10 e Figura 7-11 si rappresentano i risultati per le sezioni analizzate in termini di profilo del fattore di amplificazione per i 3 intervalli di periodo; sono, inoltre, riportati con simboli circolari i risultati delle analisi monodimensionali effettuate su alcune verticali estratte dalle sezioni bidimensionali.

I risultati della sezione AA' (Figura 7-10) mostrano due andamenti diversi, rispettivamente nella zona Nord- Ovest e nella zona Sud-Est. Nella prima le massime amplificazioni si hanno nettamente per i periodi più bassi e sono localizzate nella zona dove affiorano i tufi di Villa Arbusto (MOPS 2099) e in via Sant'Aniello (MOPS 2004). Questo è dovuto dal contrasto di impedenza tra gli strati superficiali di tali zone (di spessore massimo pari a circa 20 m) ed il bedrock sottostante. Tali valori sono giustificati dal fatto che la frequenza di risonanza di queste zone varia fra circa 6 e 9 Hz, e quindi le massime amplificazioni sono attese in un intervallo di periodi compreso fra 0.1 e 0.2 s. Il profilo è inoltre molto più irregolare e risente anche di modesti cambi di pendenza. In zona Sud-Est, avvicinandosi alla costa, prevalgono (seppur di poco) le frequenze relative ai medi periodi dato che le massime amplificazioni si hanno tra un intervallo di frequenze di 1.7 e 3 Hz e di conseguenza tra periodi di 0.3 e 0.6 s. Questa circostanza è attribuibile, oltre che alla presenza di una successione di strati più deformabili, alla maggiore profondità del substrato rigido.

I risultati della sezione DD' (Figura 7-11) mostrano anch'essi un andamento differenziato tra monte e valle. Lungo la zona estesa dal Monte Epomeo fino alla progressiva di circa 1800m, non vi sono rilevanti effetti bidimensionali (profilo abbastanza regolare) e le frequenze di amplificazione variano tra 1.5 e 2.3 Hz. Nella zona prospiciente la costa (dove viene intercettata tra l'altro la sezione AA'), le frequenze di amplificazione sono relative, in maniera alternata, ai bassi e/o ai medi periodi in conformità con quel che si osserva in prossimità della stessa zona nella sezione AA'.

Il confronto con i risultati ottenuti dalle analisi monodimensionali, per entrambe le sezioni, mostra che i fenomeni di amplificazione bidimensionale, derivanti sia da effetti topografici sui rilievi (in particolare alle alte frequenze lungo le numerose piccole creste locali), sia da effetti di valle (anche se non particolarmente accentuati) nei graben, nella maggior parte dei casi non sono affatto trascurabili,

in quanto in genere le analisi 2D forniscono fattori di amplificazione nettamente superiori rispetto a quelle 1D.



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Figura 7-9 Carta delle MOPS per il comune di Lacco Ameno

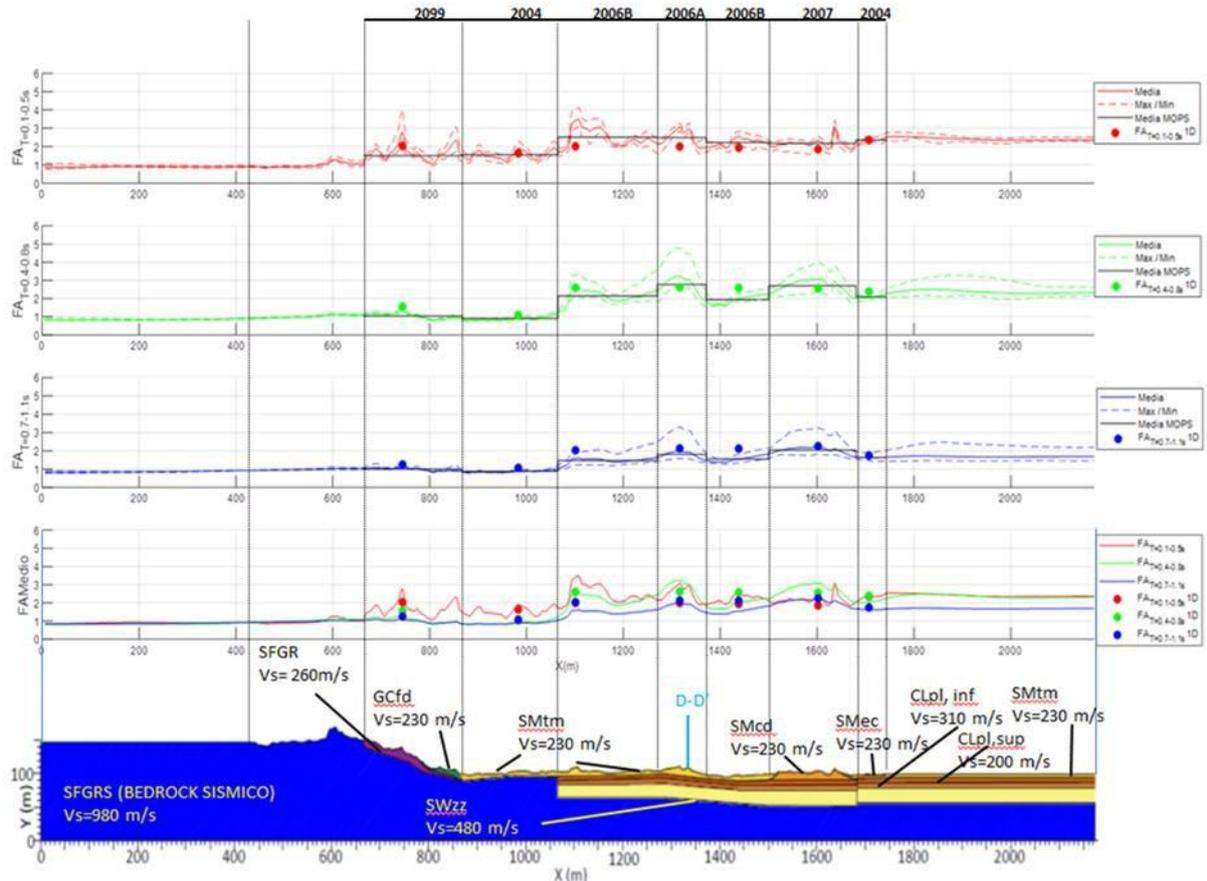


Figura 7-10 Profilo dei fattori di amplificazione per la sezione AA'

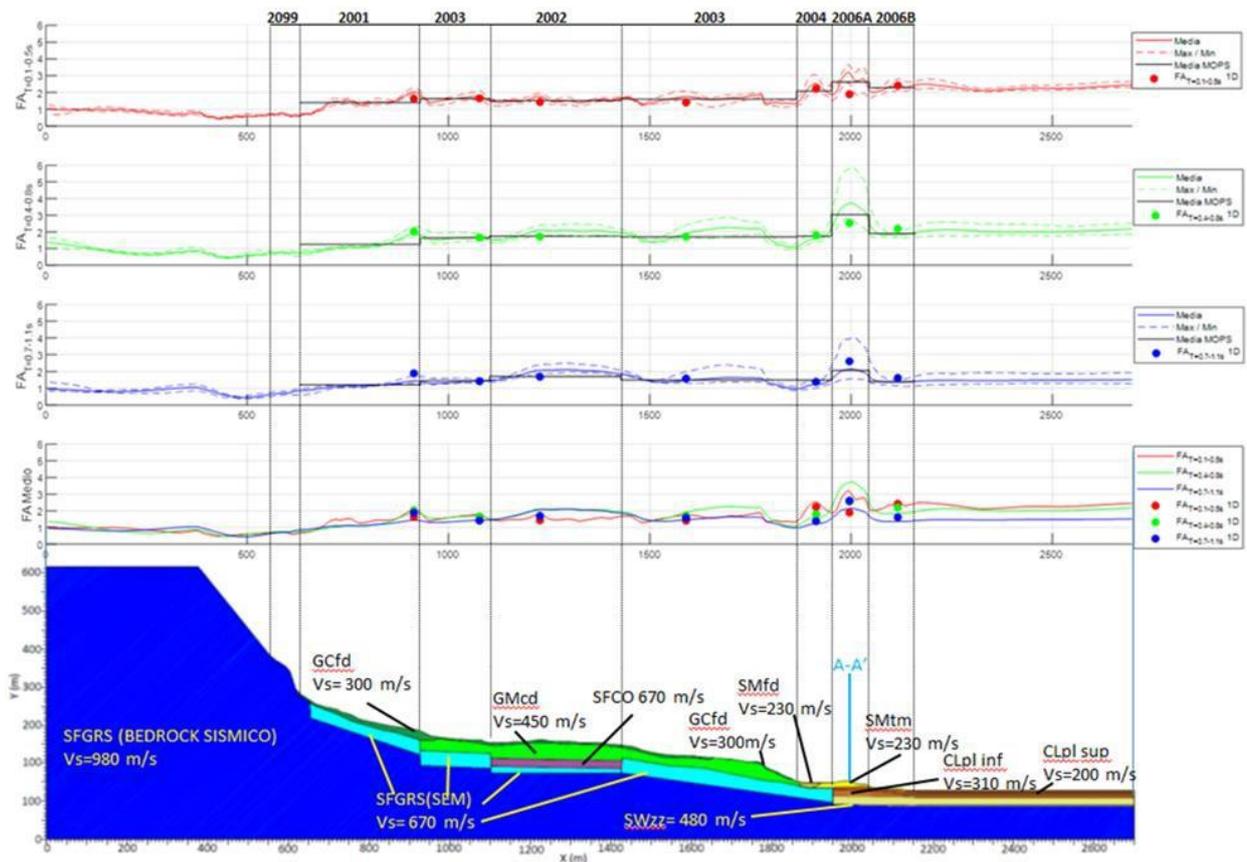


Figura 7-11 Profilo dei fattori di amplificazione per la sezione DD'

In Tabella 7-5 si riportano i valori dei fattori di amplificazione medi per i tratti di MOPS attraversati dalle due sezioni d'analisi, mentre in Tabella 7-6 si riportano i valori finali dei fattori di amplificazione attribuibili alle singole MOPS.

	Sezione A-A'							Sezione D-D'						
	2099	2004	2006B	2006A	2006B	2007	2004	2001	2003	2002	2003	2004	2006A	2006B
FA _{0.1-0.5s}	1.50	1.55	2.51	2.49	2.22	2.18	2.36	1.40	1.60	1.52	1.60	2.10	2.63	2.29
FA _{0.4-0.8s}	1.04	0.90	2.14	2.78	1.94	2.71	2.10	1.25	1.64	1.74	1.70	1.75	3.04	1.90
FA _{0.7-1.1s}	1.00	0.88	1.47	1.81	1.56	2.04	1.63	1.20	1.46	1.71	1.50	1.49	2.07	1.43

Tabella 7-5 Fattori di amplificazione medi per le MOPS attraversate dalle sezioni AA' e DD'

MOPS	2001	2002	2003	2004	2006A	2006B	2007	2099
FA _{0.1-0.5s}	1.40	1.52	1.60	2.36	2.63	2.51	2.18	1.50
FA _{0.4-0.8s}	1.25	1.74	1.70	2.10	3.04	2.14	2.71	1.04
FA _{0.7-1.1s}	1.20	1.71	1.50	1.63	2.07	1.47	2.04	1.00

Tabella 7-6 Fattori di amplificazione attribuibili alle MOPS del comune di Lacco Ameno

7.3 Simulazioni numeriche monodimensionali

Le simulazioni numeriche monodimensionali sono state eseguite in ottemperanza a quanto previsto nei "Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III nei territori dei Comuni dell'Isola di Ischia interessati dall'evento sismico del 21 agosto 2017" e per le sole zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, come previsto nel punto 6 dei suddetti protocolli.

Per le simulazioni numeriche monodimensionali si è scelto di utilizzare il Software free STRATA realizzato dal Dott. Albert Kottke e il Prof. Ellen Rathje at the University of Texas at Austin.

Tale codice di calcolo è liberamente distribuito sotto la licenza pubblica generica GNU o GNU GPL i cui dettagli sono consultabili nel seguente link: <http://www.gnu.org/licenses>.

Il codice STRATA calcola la risposta dinamica monodimensionale (1D) di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno variabili in funzione del livello deformativo. Il programma permette di eseguire analisi lineari elastiche (EL), dove le proprietà elastiche e lo smorzamento sono mantenute costanti, o analisi equivalenti lineari (EQL) dove le proprietà elastiche e lo smorzamento vengono fatti variare in funzione del livello deformativo.

In prima analisi è stata eseguita una calibrazione del modello del sottosuolo con applicazione del metodo Lineare Elastico e raffronto tra le frequenze fondamentali di sito registrate mediante

indagine diretta HVSR (f_0) e quelle determinate numericamente (funzione di trasferimento)

Una volta validato il nostro modello del sottosuolo si è proceduto con la simulazione numerica.

Per la nostra analisi, sono stati impostati i seguenti parametri generali di input:

- *Metodo lineare equivalente o EGL, con G e D variabili in funzione della deformazione;*
- *Serie temporali dei sismogrammi forniti dal Gruppo di Supporto coordinato dal CNR-IGAG per il Centro MS; (vedi paragrafo 7.1.1)*
- *Smorzamento del bedrock sismico pari al 1%;*
- *Modellazione G e D e pesi dell'unità di volume secondo le curve e le proprietà fisico-meccaniche, fornite dal Centro di Microzonazione Sismica elaborate a cura del DICEA dell'Università Federico II di Napoli ricavate da specifiche prove geotecniche di laboratorio.*
- *Elaborazione con metodo probabilistico con n. 100 realizzazioni per ogni input sismico (metodo Montecarlo).*

Di seguito si riportano una serie di screenshot della fase di input del software STRATA al fine di mostrare le scelte operate circa la variabilità per quanto riguarda l'intervallo di Vs, lo spessore degli strati e la profondità del top del bedrock sismico:

The screenshot displays the input parameters for the STRATA software. The parameters are organized into several sections:

- Type of Analysis:**
 - Method: Equivalent Linear (EQL)
 - Approach: Time Series
 - Vary the properties
- Site Property Variation:**
 - Number of realizations: 100
 - Vary the nonlinear properties
 - shear-modulus reduction curve
 - damping ratio curve
 - damping of the bedrock
 - Vary the site profile
 - shear-wave velocity
 - layer thickness
 - depth to bedrock
 - Specify seed number: 42
- Calculation Parameters:**
 - Error tolerance: 2.0 %
 - Maximum number of iterations: 20
 - Effective strain ratio: 0.65
- Layer Discretization:**
 - Maximum frequency: 20 Hz
 - Wavelength fraction: 0.12
 - Disable auto-discretization

Variation of the Site Profile

Toro (1992) Site Variation Model

Vary the shear-wave velocity of the layers

Vary the layer thickness

Vary the depth to bedrock

Velocity Variation Parameters

Layer specific standard deviation

Distribution: Log Normal

Standard deviation: USGS C, 180 to 360 m/s

0.310

Correlation model: USGS C, 180 to 360 m/s

Correlation Parameters

Correl. coeff. at surface (ρ_0): 0.990

Correl. coeff. at 200 m (ρ_{200}): 0.980

Change in correl. with depth (Δ): 3.900

Depth intercept (d_0): 0.00 m

Exponent (b): 0.3440

Correlation applied in meters

Layer Thickness Variation Parameters

Bedrock Depth Variation Parameters

Figura 7-12 Input del software Strata

Variation of the Site Profile

Toro (1992) Site Variation Model

Vary the shear-wave velocity of the layers

Vary the layer thickness

Vary the depth to bedrock

Velocity Variation Parameters

Layer Thickness Variation Parameters

Parameters: Default (Toro 1995)

Layer rate model: $\lambda(d) = a(d + b)^c$

Coefficient (a): 1.980

Initial (b): 10.860

Exponent (c): -0.890

Correlation applied in meters

Bedrock Depth Variation Parameters

Variation of the Site Profile

Toro (1992) Site Variation Model

Vary the shear-wave velocity of the layers

Vary the layer thickness

Vary the depth to bedrock

Velocity Variation Parameters

Layer Thickness Variation Parameters

Bedrock Depth Variation Parameters

Distribution: Uniform

Standard deviation: 0.000

Minimum depth to bedrock: 75.00

Maximum depth to bedrock: 100.00

Figura 7-13 Input del software Strata

Per ogni MOPS individuata sono state condotte 7 analisi, una per ogni input sismico fornito.

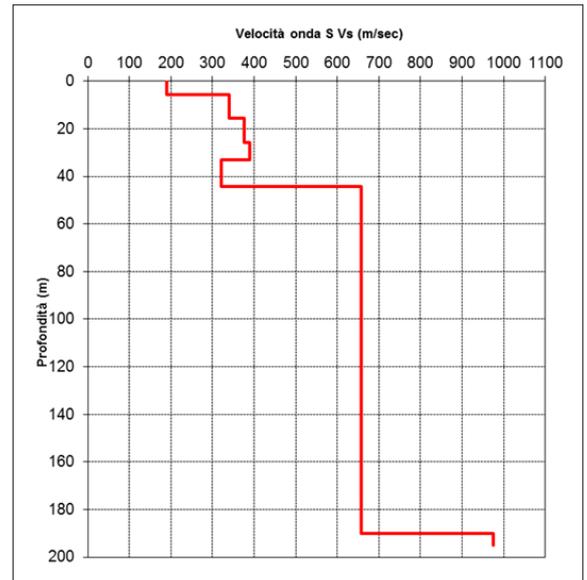
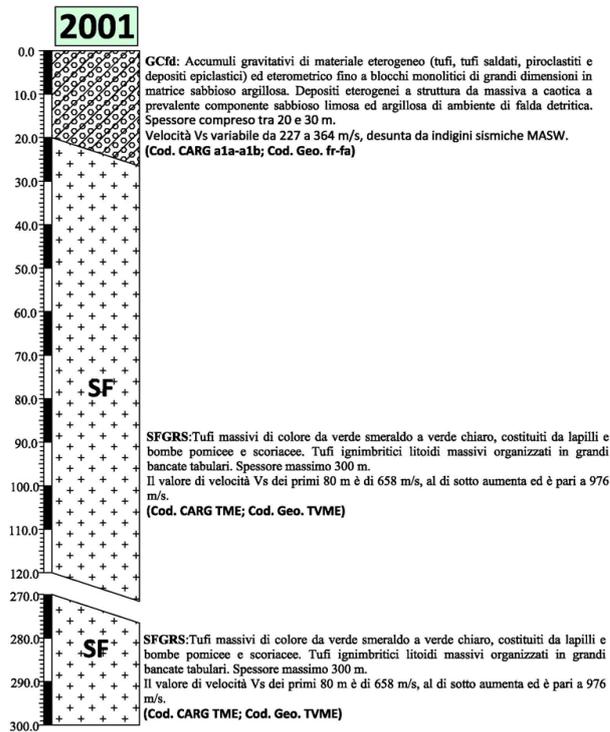
Per ogni scuotimento analizzato sono state condotte n° 100 simulazioni, quindi per ogni analisi sono stati ottenuti n° 100 spettri di risposta in accelerazione, dai quali attraverso una media logaritmica è stato definito lo spettro mediano relativo allo specifico input sismico analizzato. Tali operazioni sono state condotte per tutti i 7 gli input forniti. Successivamente sono stati calcolati i rapporti spettrali tra input e output per ogni scuotimento e quindi sono stati definiti i fattori di amplificazione per i 3 intervalli di periodo: 0.1 -0.5 (s), 0.4 – 0.8 (s) e 0.7-1.1 (s) richiesti dai protocolli. Dalla media logaritmica dei 7 FA calcolati per ogni periodo innanzi citato si è giunti alla definizione del fattore di amplificazione mediano della specifica MOPS. Analogamente con la media logaritmica degli spettri di output dei singoli scuotimenti si è giunti allo spettro mediano della MOPS.

7.3.1 Risultati

Di seguito vengono riportati, in una scheda sintetica, per ogni MOPS, la parametrizzazione utilizzata per la realizzazione del profilo del sito inserito nel software STRATA, con le indagini ritenute più significative ai fini della stima delle Vs, nonché i risultati ottenuti in termini di FA, sono riportati inoltre i diagrammi degli Spettri di accelerazione di output per ogni input

analizzato e lo spettro in output medio ottenuto come media logaritmica dei sette spettri di output e quindi ritenuto rappresentativo della MOPS. Le categorie di suolo riportate nelle tabelle sono definite con riferimento alla modalità di compilazione del software STRATA, cioè secondo TORO (1195). Esse indicano la scelta più ragionevole e più cautelativa adottata dal nostro raggruppamento per la definizione della categorizzazione dei siti investigati ovvero per la definizione della variazione delle Vs per ciascuno strato:

7.3.1.1 MOPS 2001

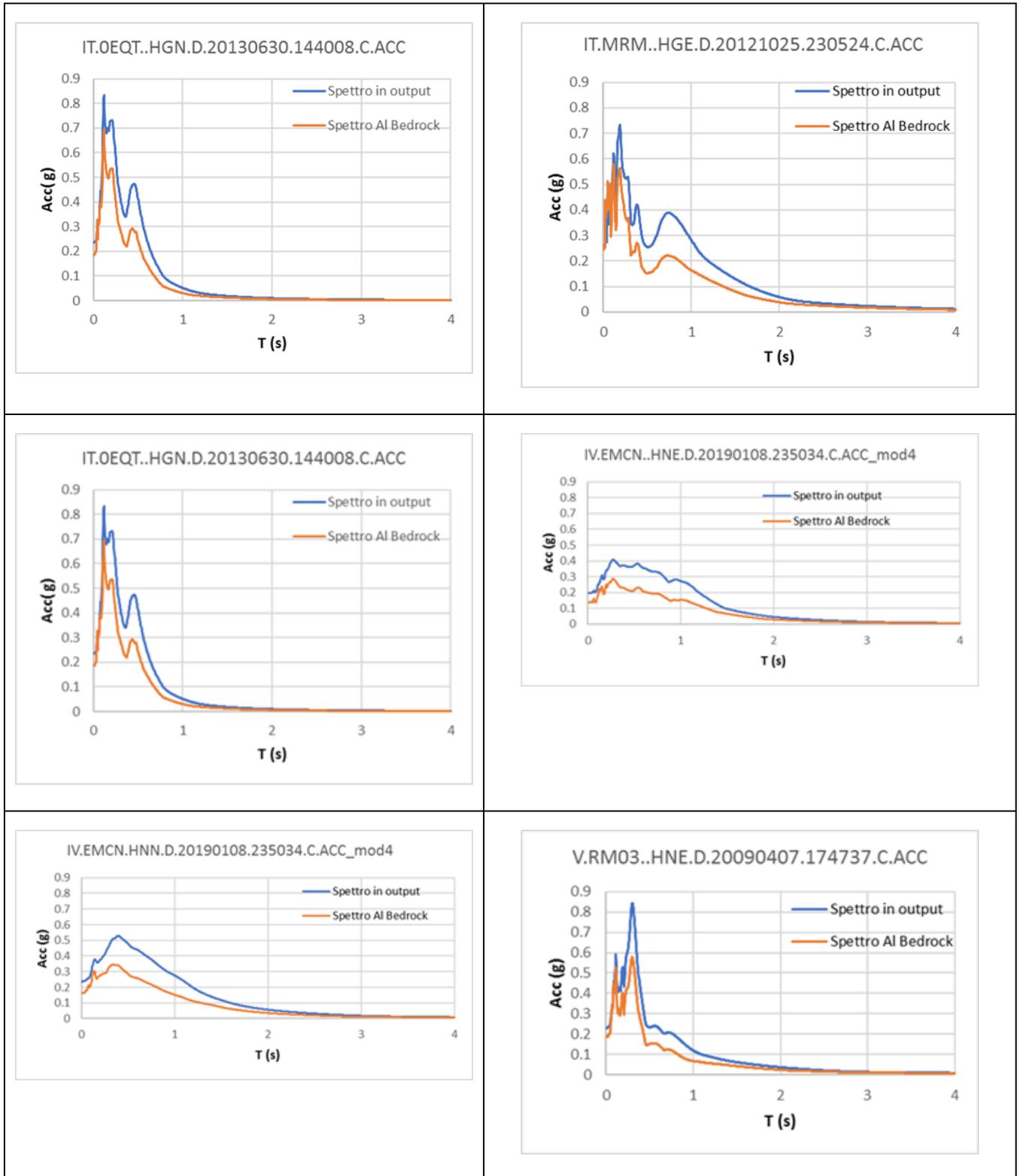


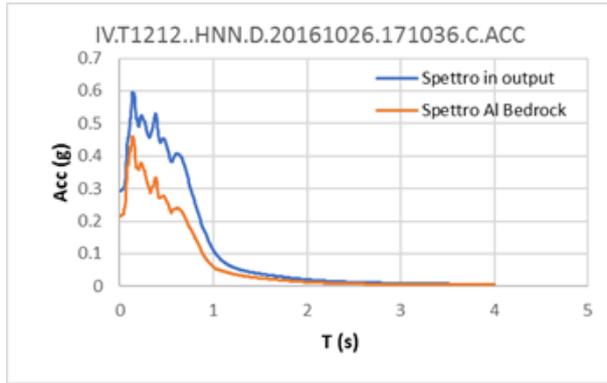
Profondità (m)		Velocità (m/sec)	Spess/Veloc
Da	a		Hi/Vi
0.00	5.80	190	0.0306
5.80	15.75	341	0.0292
15.75	25.71	376	0.0265
25.71	33.16	390	0.0191
33.16	44.26	321	0.0345
44.26	189.96	658	0.2215
189.96	194.96	976	0.0051

Modellazione Strata – Soil Profile

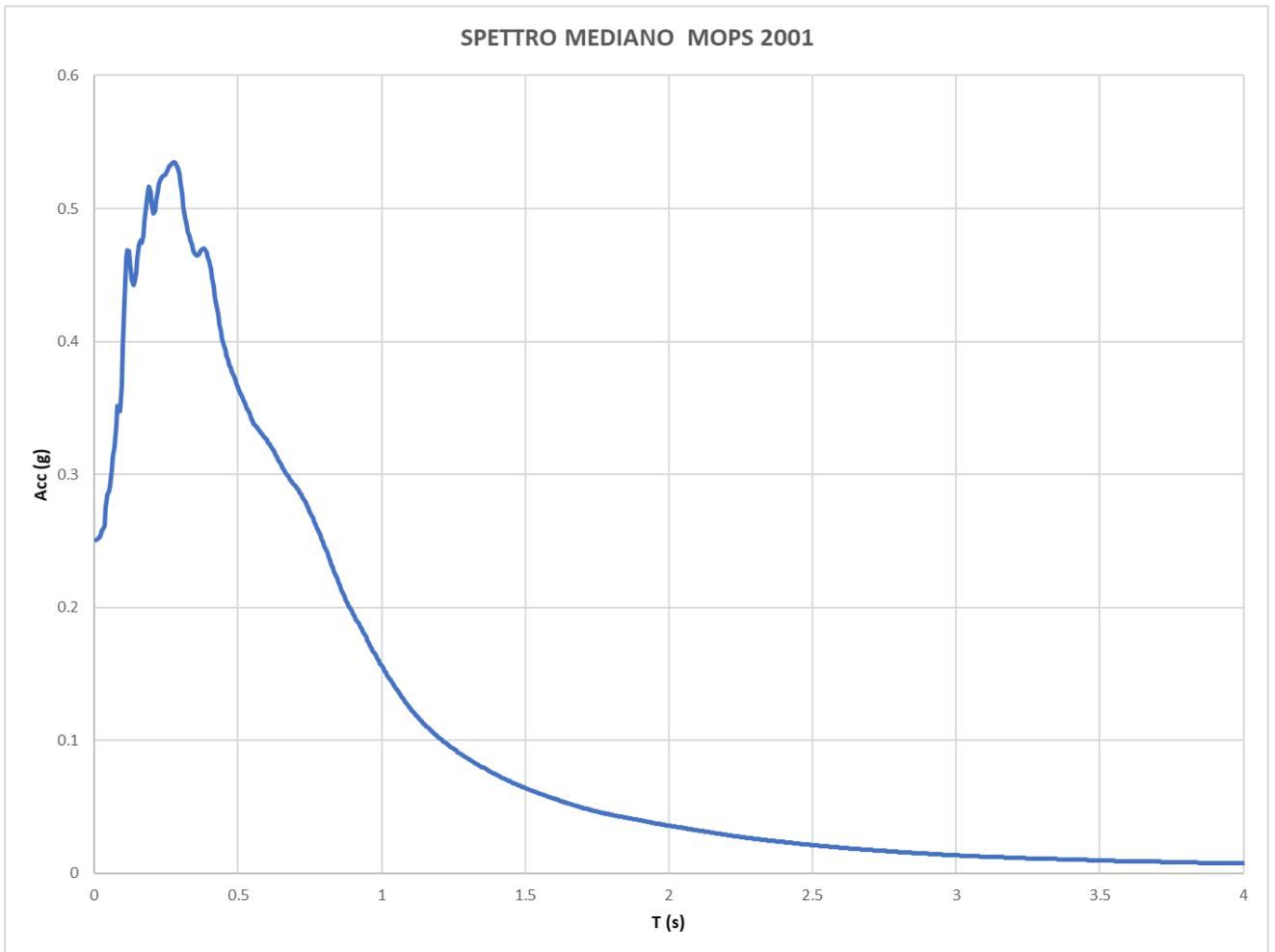
MOPS	2001						
UNITA'	SPESSORE	SPESSORE	Vs	Vs	PESO DI V.	CURVA N	Categoria suolo
		Min. - Max		Min. - Max			
GCfd	7	3---10	227	182--369	17.06	25	C
GCfd	37	10---50	364	321--468	17.06	25	C
SFGRS	86	60---130	658	500--700	17.89	28	
SFGRS			976	850--1200	17.89		

variabilità del bedrock: distribuzione UNIFORME Min. 100 m - Max. 170 m

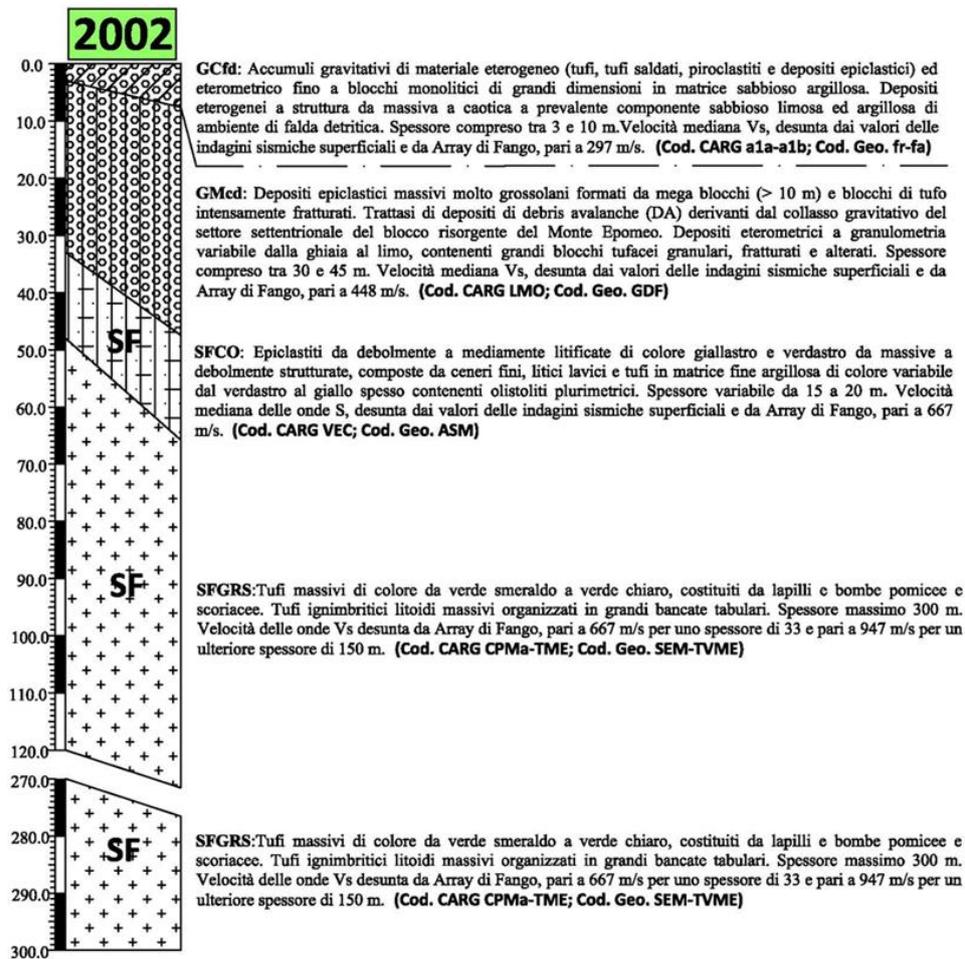




Nome Accelerogramma	fattori di amplificazione		
	0.1 - 0.5 (s)	0.4 - 0.8 (s)	0.7 - 1.1 (s)
IT.0EQT..HGN.D.20130630.144008.C.ACC	1.43	1.66	1.68
IT.MRM..HGE.D.20121025.230524.C.ACC	1.39	1.71	1.74
IT.SVN..HGE.D.20181226.021917.C.ACC	1.46	1.67	1.76
IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.51	1.70	1.76
IV.EMCN..HNN.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.47	1.69	1.77
V.RM03..HNE.D.20090407.174737.C.ACC	1.44	1.61	1.77
IV.T1212..HNN.D.20161026.171036.C.ACC	1.47	1.68	1.76
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE MEDIATI	1.45	1.67	1.75



7.3.1.2 MOPS 2002



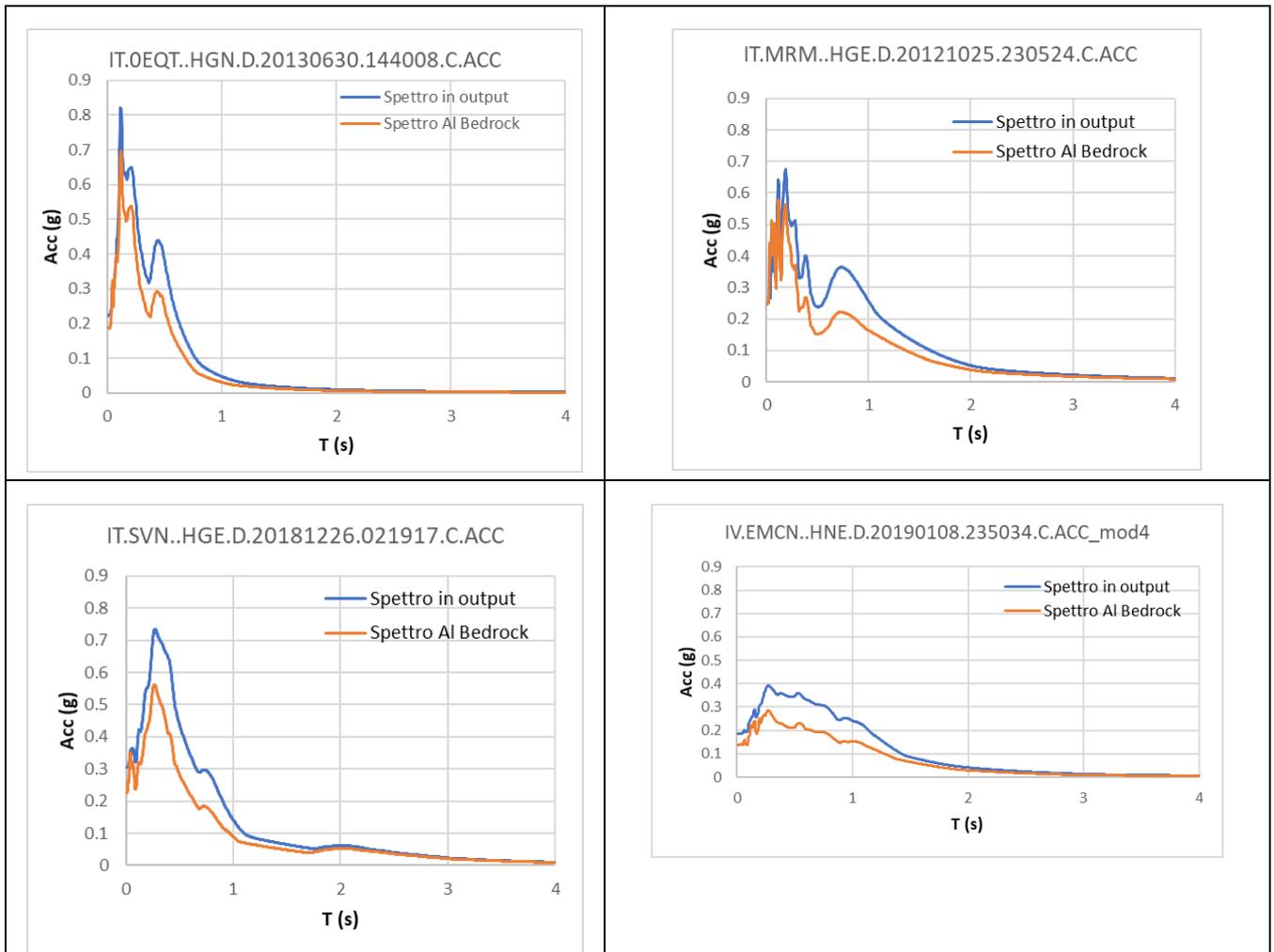
From (m)	To(m)	Thickness (m)	V_s (m/s)	V_p (m/s)
0	13,0	13,0	328	636
13,0	51,6	38,6	446	1075
51,6	97,7	46,1	667	1616
97,7	444,6	346,9	974	2115
444,6		?	1897	3512

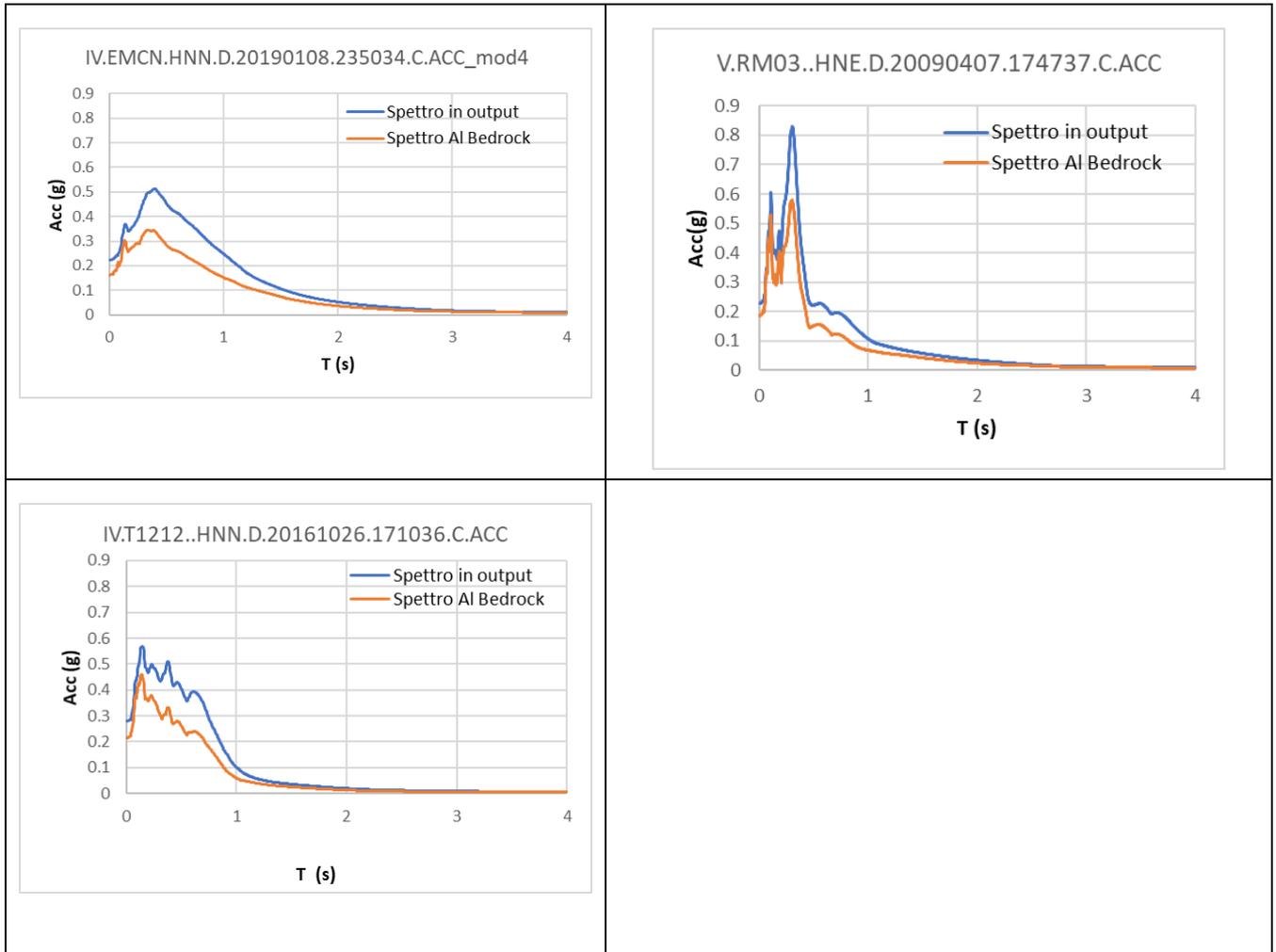
Array Fango

Modellazione Strata – Soil Profile

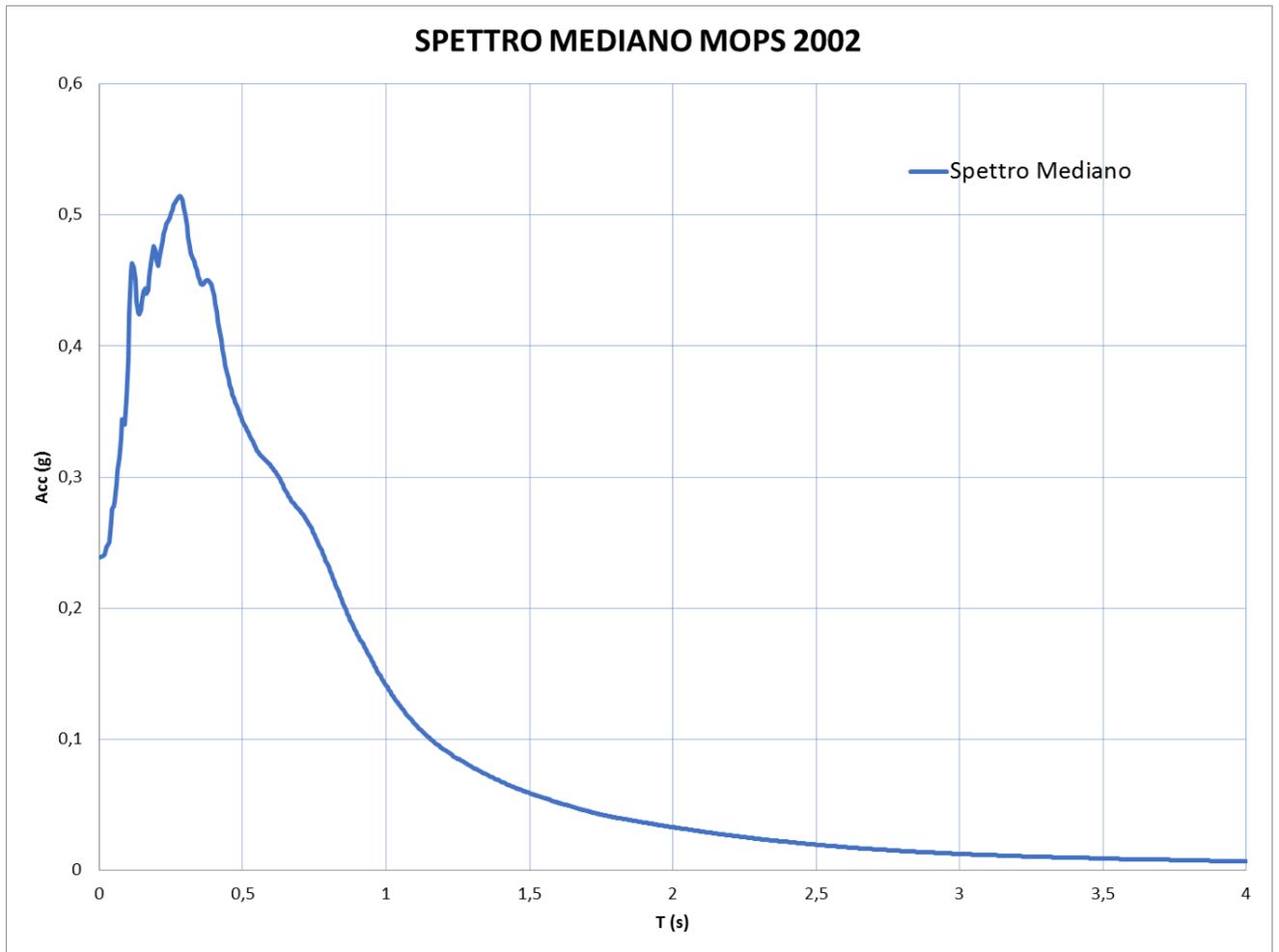
MOPS		2002							
UNITA'	SPESSORE	SPESSORE		Vs	Vs		PESO DI V.	CURVA N	Categoria suolo
		Min.	Max		Min.	Max			
Gcfd	6.5	3	10	297	185	500	17.06	25	B
GMcd	35	30	45	448	386	555	16.36	22	
SFCO	17.5	15	20	667	555	730	20.24	27	
SFGRS	33	30	36	667	555	730	17.89	28	
SFGRS				947	850	1200	17.89		

variabilità del bedrock: distribuzione UNIFORME Min. 140 m - Max. 180 m

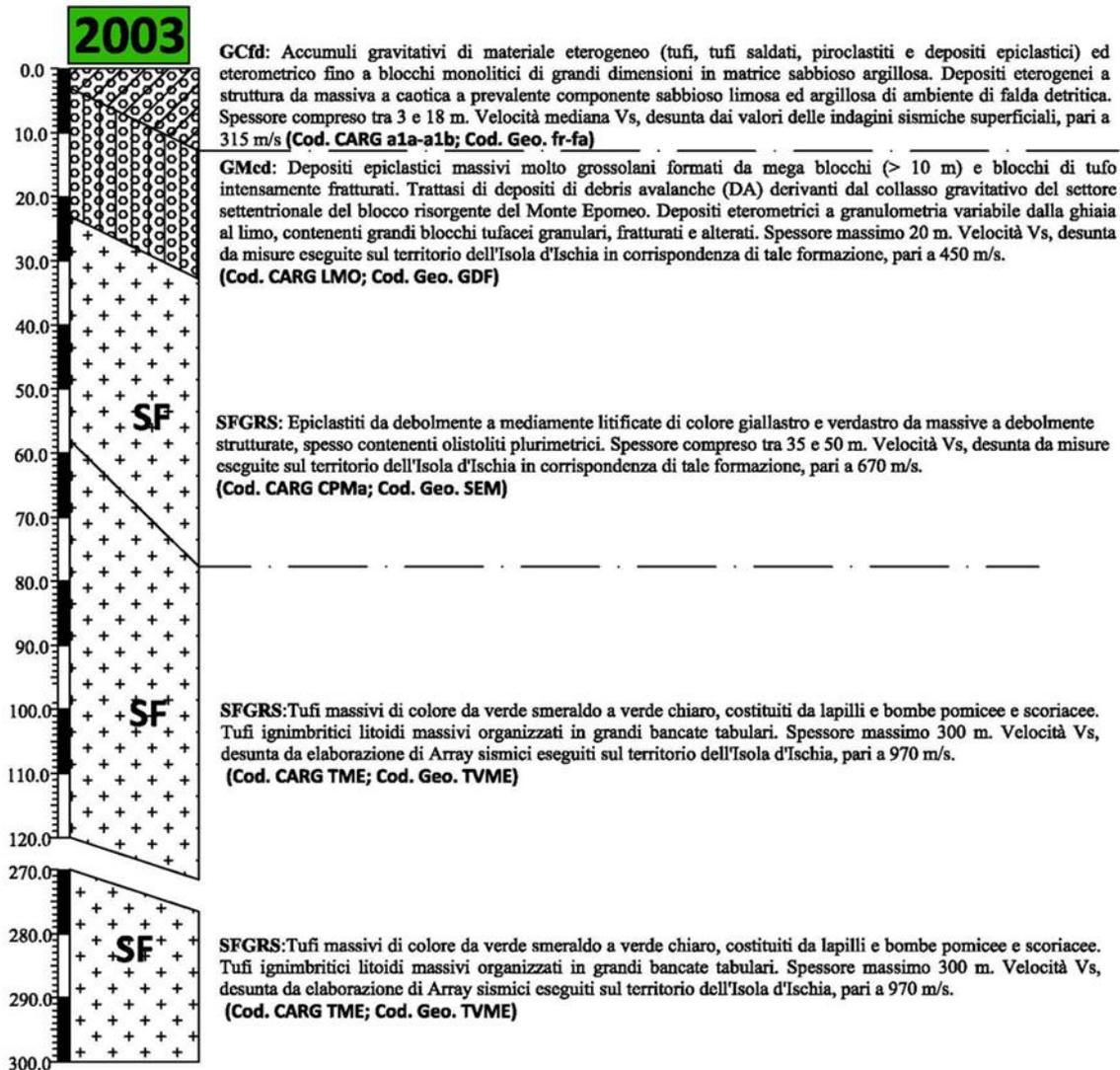




Nome Accelerogramma	fattori di amplificazione		
	0.1 -- 0.5	0.4 -- 0.8	0.7 -- 1.1
IT.0EQT..HGN.D.20130630.144008.C.ACC	1.33	1.54	1.57
IT.MRM..HGE.D.20121025.230524.C.ACC	1.32	1.61	1.60
IT.SVN..HGE.D.20181226.021917.C.ACC	1.39	1.57	1.63
IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.43	1.60	1.61
IV.EMCN..HNN.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.42	1.59	1.62
V.RM03..HNE.D.20090407.174737.C.ACC	1.39	1.53	1.63
IV.T1212..HNN.D.20161026.171036.C.ACC	1.40	1.60	1.66
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE MEDIATI	1.38	1.58	1.62



7.3.1.3 MOPS 2003



Array Cimitero Panza, Forio

da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)	spessore (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
0	2	2	424	235
2	4	2	424	241
4	6	2	424	247
6	8	2	424	253
8	10	2	424	259
10	31	21	855	430
31	109	78	1357	767
109			3235	1981

Valori tabellari del best fit del modello di sottosuolo

Array Antiche Terme, Casamicciola Terme

da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)	spessore (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
0	12.8	12.8	462.0	280.0
12.8	36.8	24.0	888.0	384.0
36.8	165.8	129.0	1055.0	646.0
165.8	364.8	199.0	1393.0	853.0
364.8	563.8	199.0	1843.0	853.0
563.8			3452.0	2113.0

Valori tabellari del best fit del modello di sottosuolo

Array Santa Barbara, Casamicciola Terme

da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)	spessore (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
0	0.3	0.3	975	151
0.3	0.6	0.3	975	173
0.6	0.9	0.3	975	195
0.9	1.2	0.3	975	217
1.2	1.5	0.3	975	239
1.5	4.5	3	976	256
4.5	20.5	16	977	396
20.5	30	9.5	1072	656

Valori tabellari del best fit del modello di sottosuolo

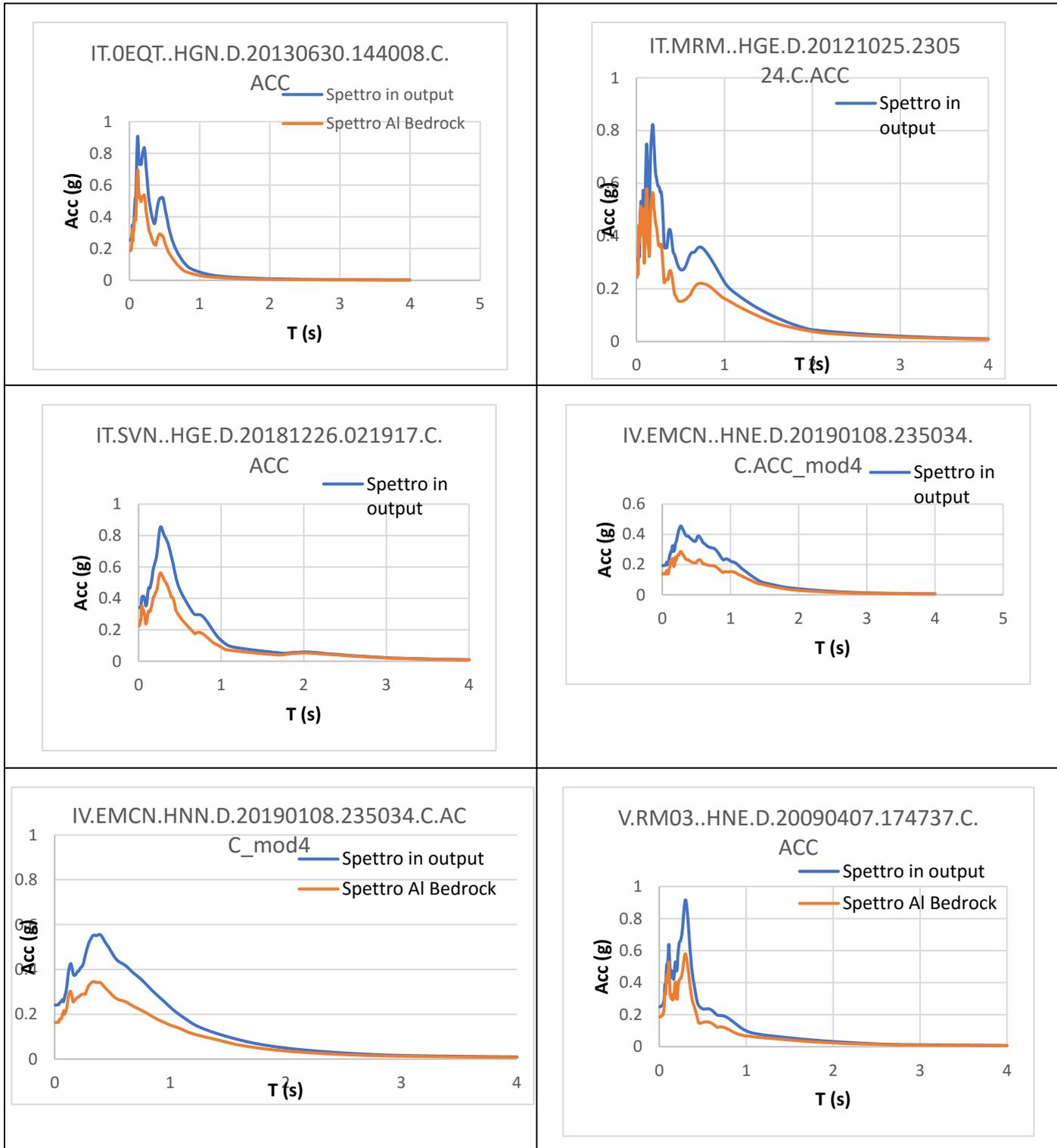
Array Fango

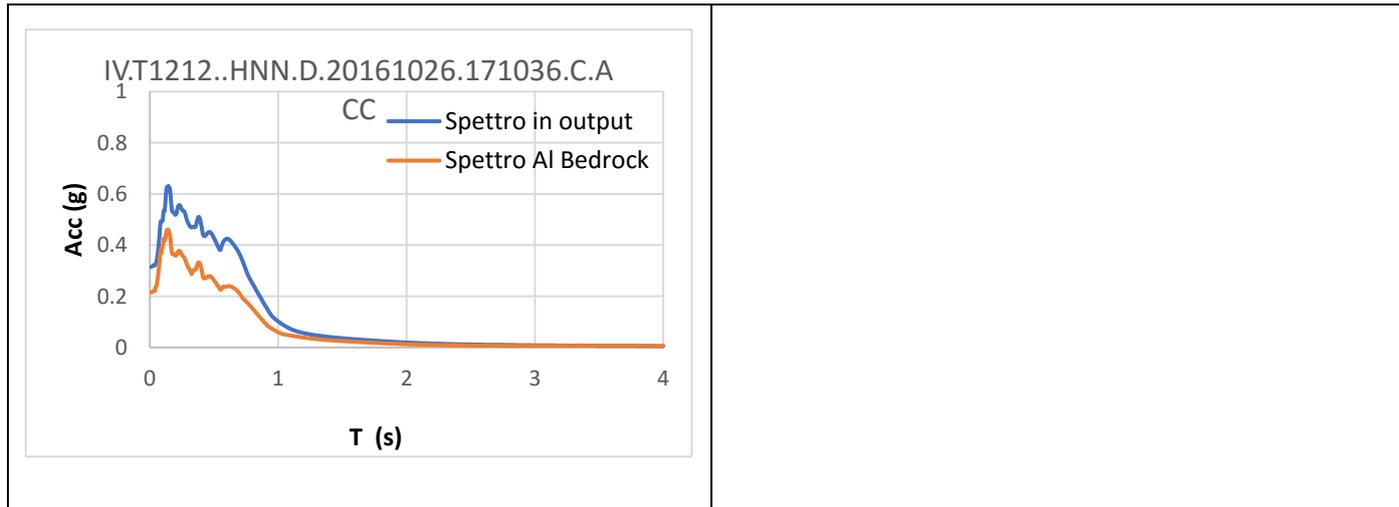
From (m)	To(m)	Thickness (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
0	13,0	13,0	328	636
13,0	51,6	38,6	446	1075
51,6	97,7	46,1	667	1616
97,7	444,6	346,9	974	2115
444,6		?	1897	3512

Modellazione Strata – Soil Profile

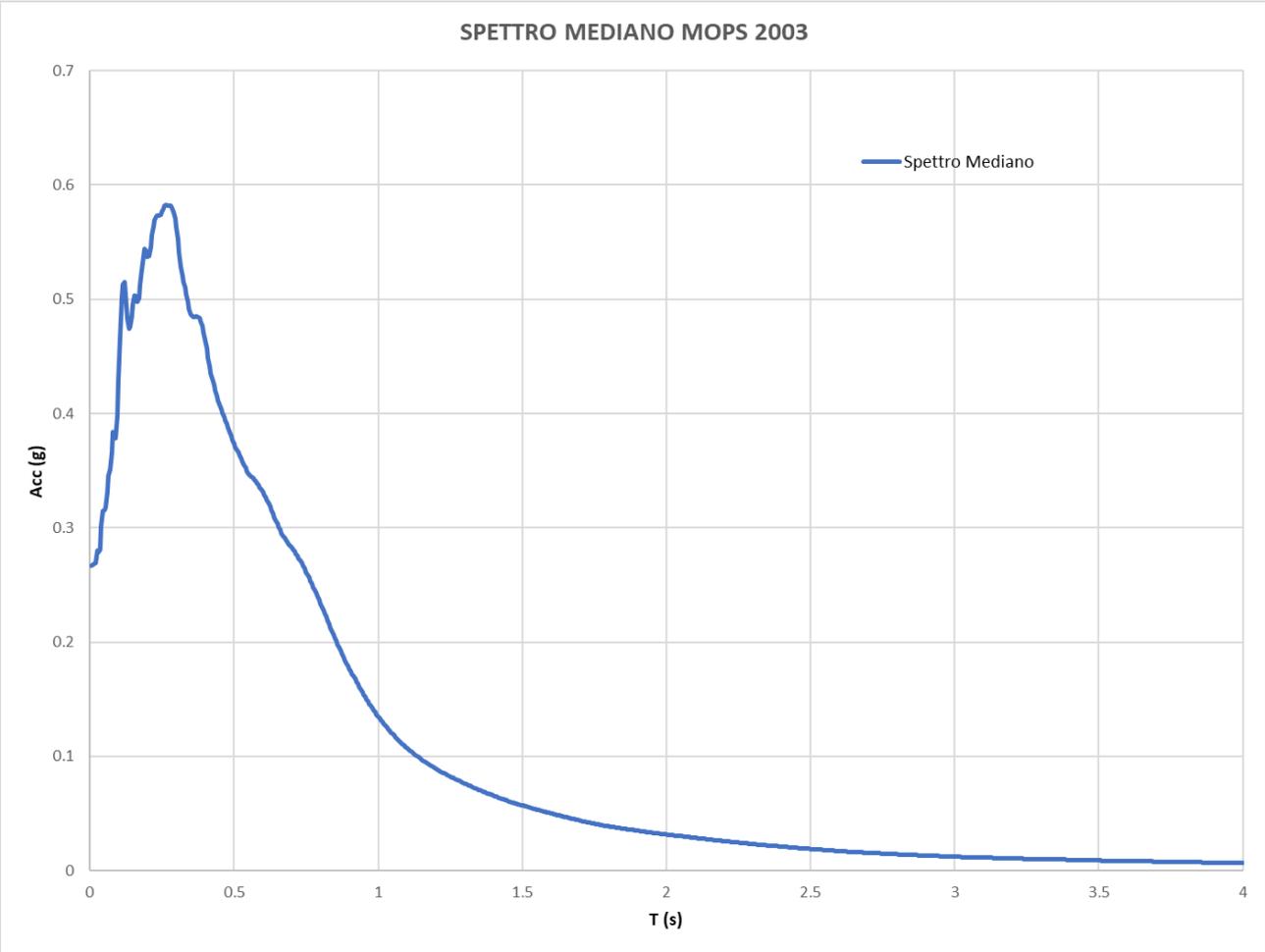
MOPS	2003	SPESSORE		Vs	Vs	PESO DI V.	CURVA N	Categoria suolo
UNITA'	SPESSORE	Min.	Max		Min. - Max			
Gcfd	5	2	7	315	250--400	17.06	25	C
GMcd	5	2	7	330	250--400	16.36	22	
GMcd	25	10	35	450	350--500	16.36	22	
SFGRS	40	30	50	670	500--750	17.89	28	
SFGRS				970	850--1200	17.89		

variabilità del bedrock: distribuzione UNIFORME Min. 75 m - Max. 120 m

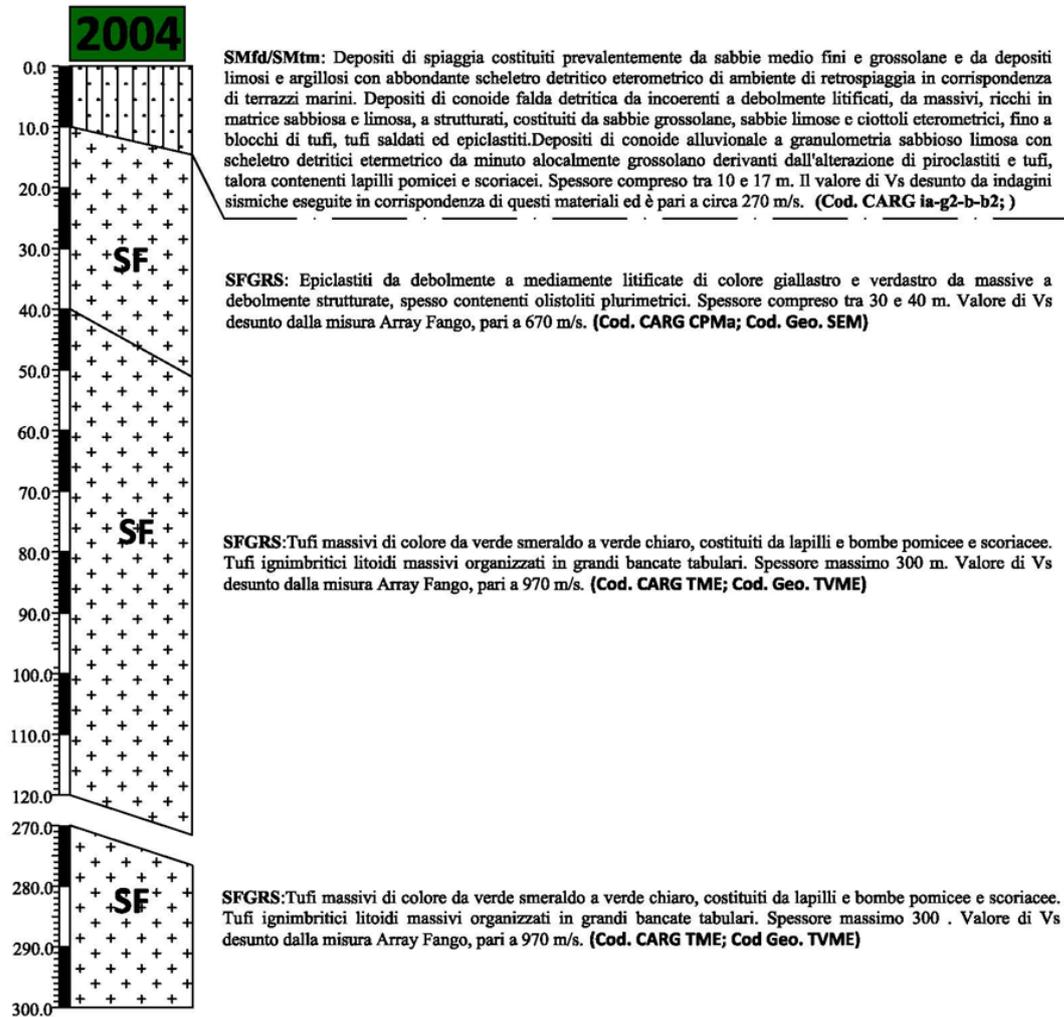




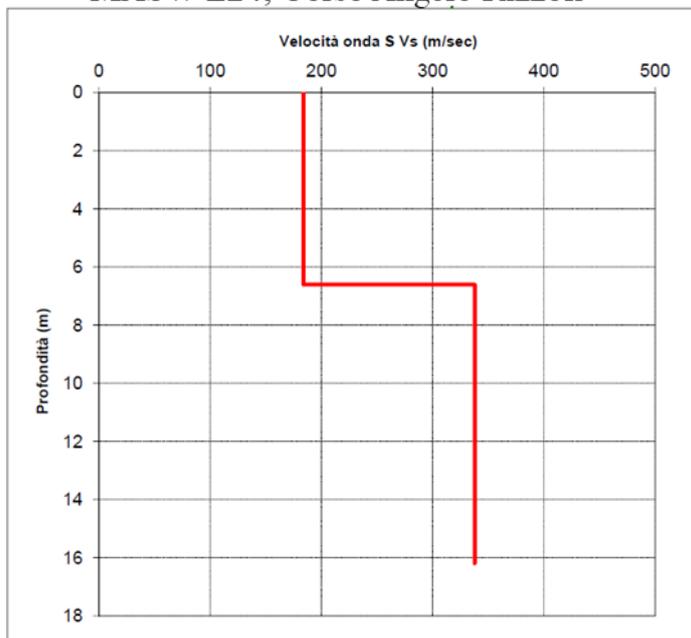
Nome Accelerogramma	fattori di amplificazione		
	0.1 -- 0.5	0.4 -- 0.8	0.7 -- 1.1
IT.0EQT..HGN.D.20130630.144008.C.ACC	1.57	1.84	1.76
IT.MRM..HGE.D.20121025.230524.C.ACC	1.52	1.70	1.49
IT.SVN..HGE.D.20181226.021917.C.ACC	1.54	1.62	1.59
IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.58	1.65	1.55
IV.EMCN..HNN.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.55	1.64	1.58
V.RM03..HNE.D.20090407.174737.C.ACC	1.52	1.58	1.58
IV.T1212..HNN.D.20161026.171036.C.ACC	1.50	1.68	1.68
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE MEDIATI	1.54	1.67	1.60



7.3.1.4 MOPS 2004



MASW L24, Corso Angelo Rizzoli



Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0,00	6,60	184	0,0359
6,60	16,20	338	0,0284

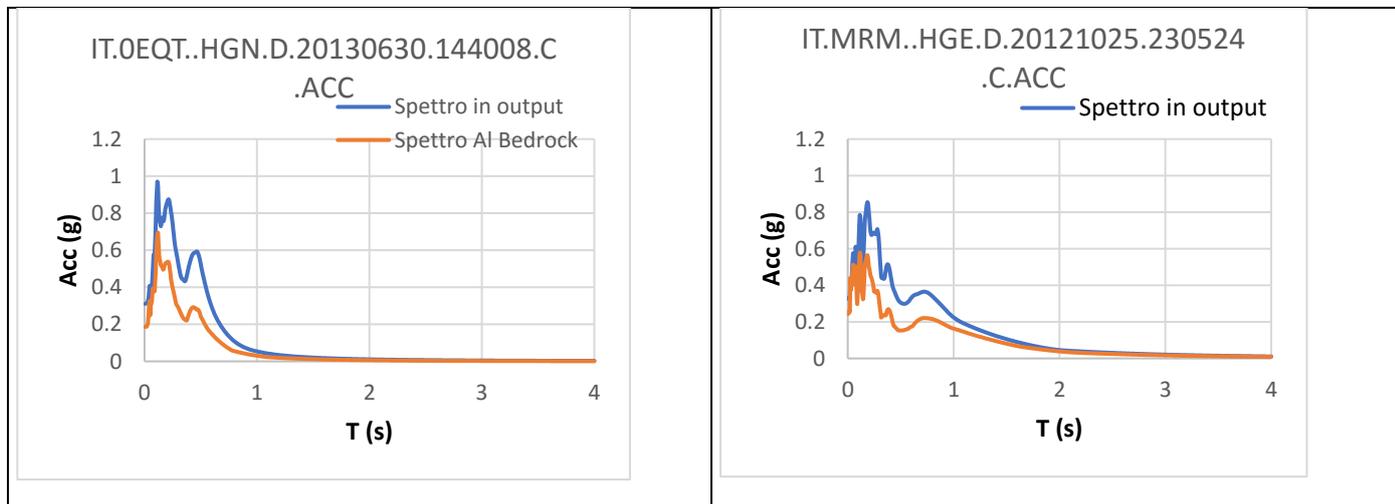
From (m)	To(m)	Thickness (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
0	13,0	13,0	328	636
13,0	51,6	38,6	446	1075
51,6	97,7	46,1	667	1616
97,7	444,6	346,9	974	2115
444,6		?	1897	3512

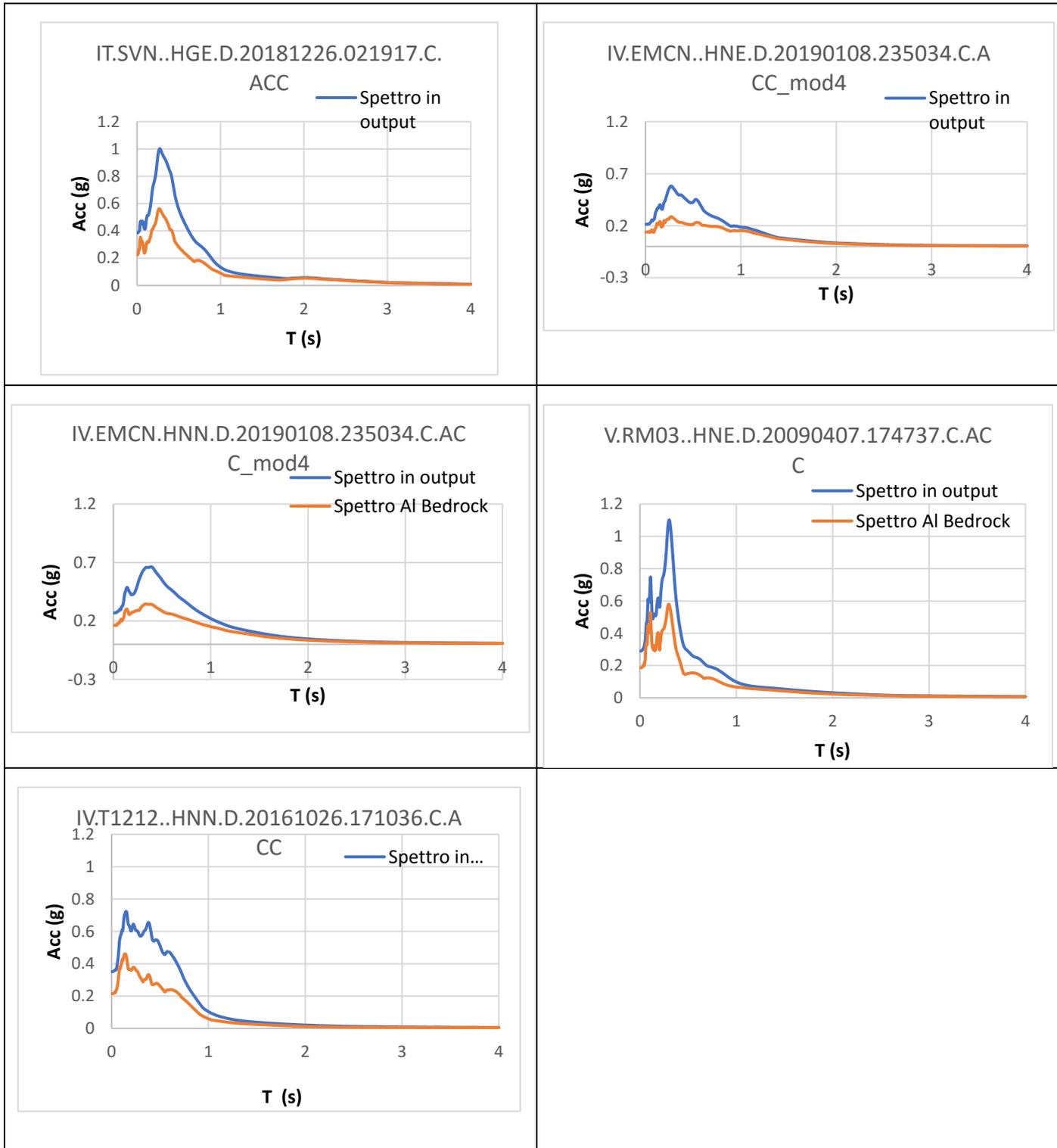
Array Fango

Modellazione Strata – Soil Profile

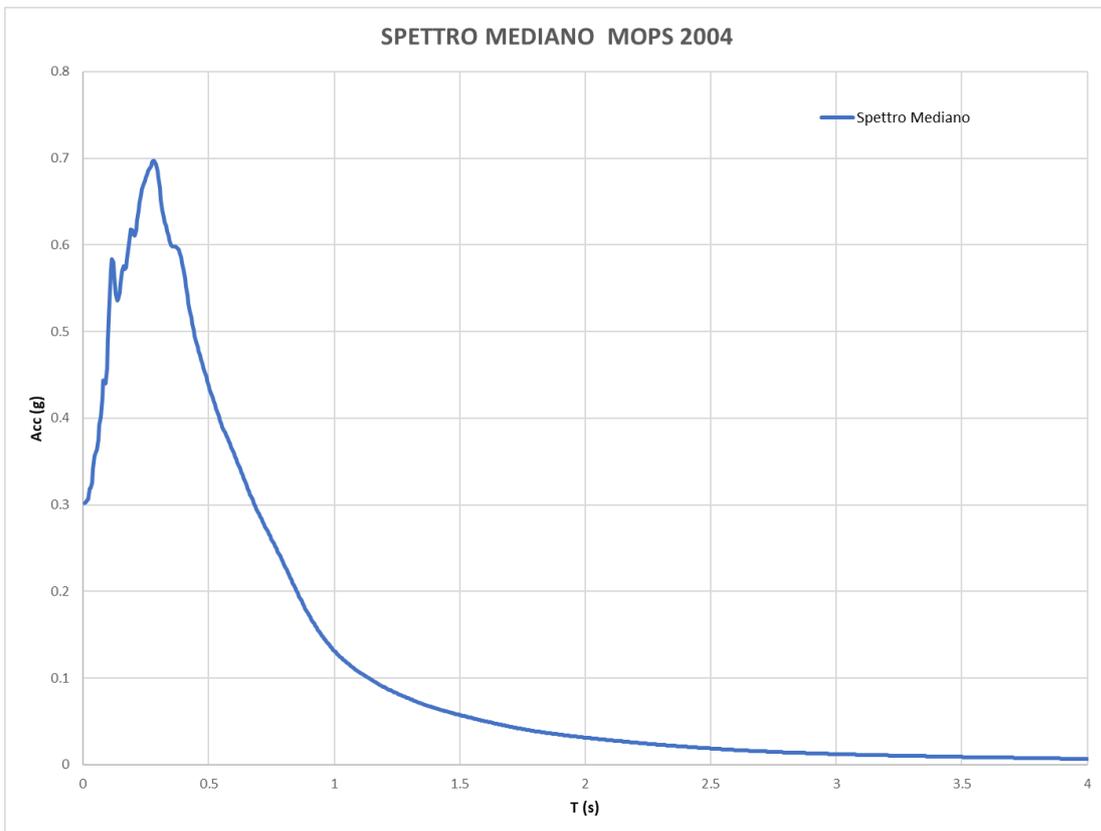
MOPS 2004		SPESSORE		Vs	Vs		PESO DI V.	CURVA N	Categoria suolo
UNITA'	SPESSORE	Min.	Max		Min.	Max			
SMfd	10	6	12	270	200	350	16	12	C
SMtm	10	6	12	270	200	350	14.74	15	
SFGRS	30	25	40	670	555	850	17.89	28	
SFGRS				970	850	1200	17.89		

variabilità del bedrock: distribuzione UNIFORME Min. 50 m - Max. 100 m

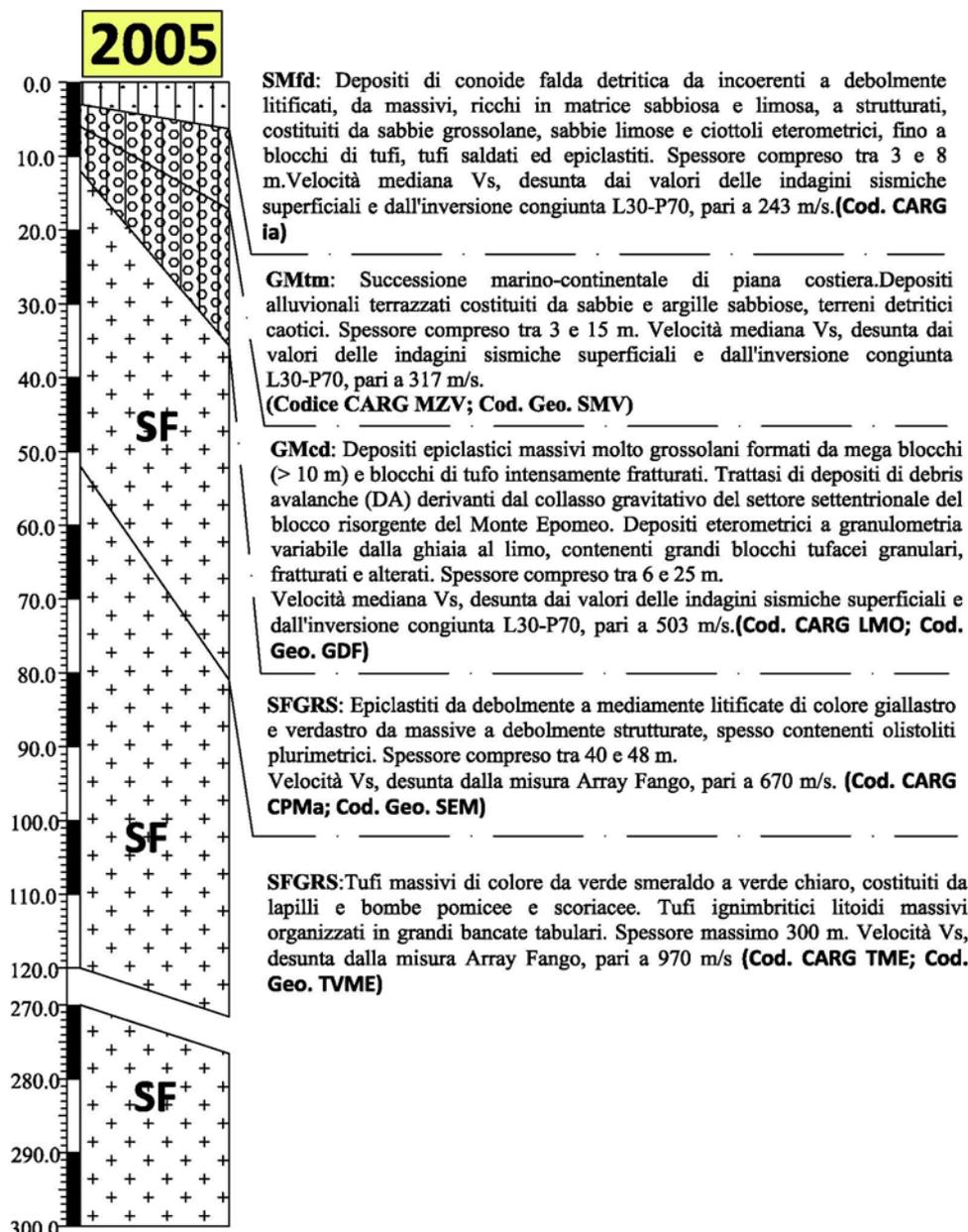




Nome Accelerogramma	fattori di amplificazione		
	0.1 -- 0.5	0.4 -- 0.8	0.7 -- 1.1
IT.0EQT..HGN.D.20130630.144008.C.ACC	1.74	2.03	1.87
IT.MRM..HGE.D.20121025.230524.C.ACC	1.72	1.81	1.49
IT.SVN..HGE.D.20181226.021917.C.ACC	1.83	1.90	1.60
IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.98	1.75	1.33
IV.EMCN..HNN.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.82	1.81	1.54
V.RM03..HNE.D.20090407.174737.C.ACC	1.82	1.78	1.58
IV.T1212..HNN.D.20161026.171036.C.ACC	1.80	1.90	1.70
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE MEDIATI	1.81	1.85	1.58



7.3.1.5 MOPS 2005

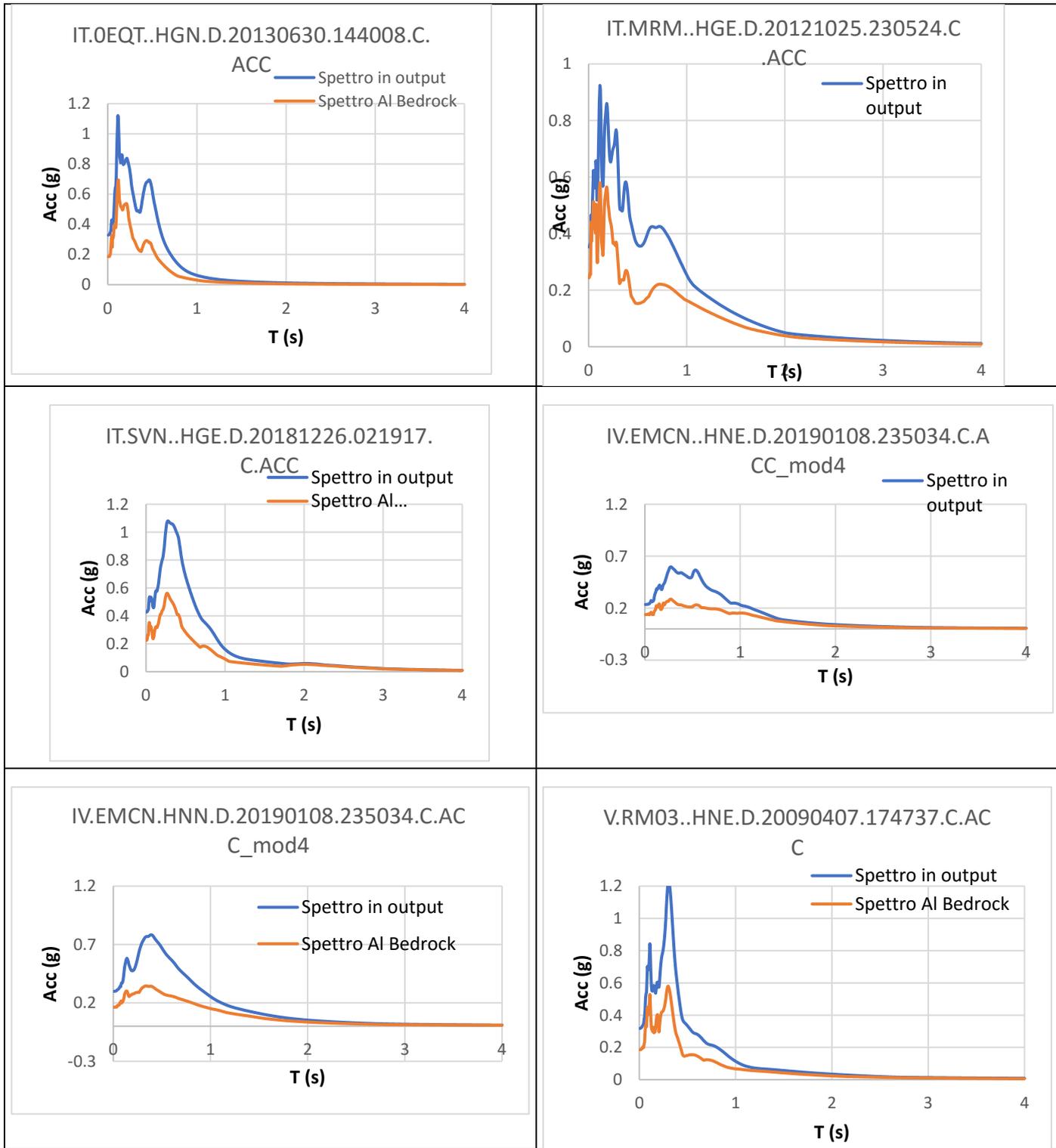


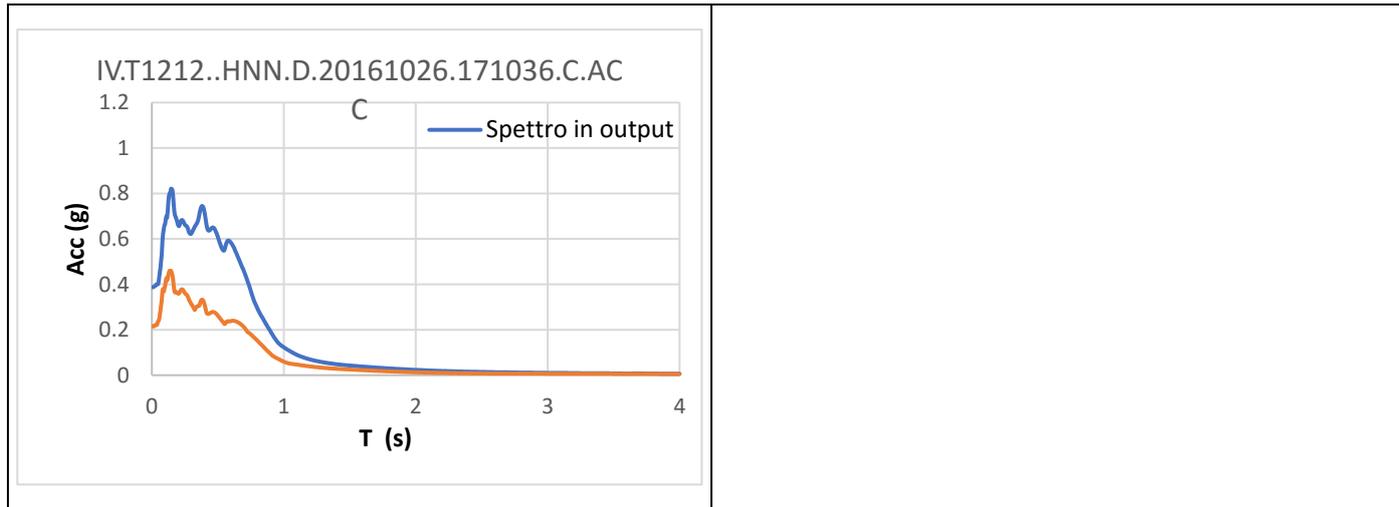
Profilo Vs mediano derivato da misure sismiche eseguite nell'areale della MOPS 2005

Z (m)	MASW7 (L28) Vs(m/s)	MASW9 (L30) Vs(m/s)	S1DH PRG (P58) Vs(m/s)	inv congiunta P70-L30 Vs(m/s)	Ln (L28)	Ln (L30)	Ln (P58)	LN inv congiunta	m _{ln}	s _{ln}	e ^(min) Vs(m/s)
1	218	204	215	250	5.3844951	5.31812	5.368729231	5.519459	5.3977	0.086	221
2	218	204	215	250	5.3844951	5.31812	5.368729231	5.519459	5.3977	0.086	221
3	218	204	215	250	5.3844951	5.31812	5.368729231	5.519459	5.3977	0.086	221
4	218	204	215	250	5.3844951	5.31812	5.368729231	5.519459	5.3977	0.086	221
5	218	204	215	250	5.3844951	5.31812	5.368729231	5.519459	5.3977	0.086	221
6	252	280	308	250	5.5294291	5.63479	5.730456862	5.519459	5.60353	0.0994	271
7	252	280	308	250	5.5294291	5.63479	5.730456862	5.519459	5.60353	0.0994	271
8	252	280	308	250	5.5294291	5.63479	5.730456862	5.519459	5.60353	0.0994	271
9	252	280	308	250	5.5294291	5.63479	5.730456862	5.519459	5.60353	0.0994	271
10		280	308	250		5.63479	5.730456862	5.519459	5.62824	0.1057	278
11		280	308	379		5.63479	5.730456862	5.936216	5.76715	0.154	320
12		280	308	379		5.63479	5.730456862	5.936216	5.76715	0.154	320
13		308	308	379		5.7301	5.730456862	5.936216	5.79892	0.1189	330
14		308	308	379		5.7301	5.730456862	5.936216	5.79892	0.1189	330
15		308	308	379		5.7301	5.730456862	5.936216	5.79892	0.1189	330
16		308	308	379		5.7301	5.730456862	5.936216	5.79892	0.1189	330
17		308	308	379		5.7301	5.730456862	5.936216	5.79892	0.1189	330
18		308	308	379		5.7301	5.730456862	5.936216	5.79892	0.1189	330
19		308	308	379		5.7301	5.730456862	5.936216	5.79892	0.1189	330
20			308	379			5.730456862	5.936216	5.83334	0.1455	341
21			308	366			5.730456862	5.901813	5.81614	0.1212	336
22			308	366			5.730456862	5.901813	5.81614	0.1212	336
23			308	366			5.730456862	5.901813	5.81614	0.1212	336
24			308	366			5.730456862	5.901813	5.81614	0.1212	336
25			308	366			5.730456862	5.901813	5.81614	0.1212	336
26			308	237			5.730456862	5.468904	5.59968	0.1849	270
27			308	237			5.730456862	5.468904	5.59968	0.1849	270
28			308	237			5.730456862	5.468904	5.59968	0.1849	270
29			308	237			5.730456862	5.468904	5.59968	0.1849	270
30			308	237			5.730456862	5.468904	5.59968	0.1849	270
31			308	504			5.730456862	6.222378	5.97642	0.3478	394
32				504				6.222378	6.22238	0	504
33				504				6.222378	6.22238	0	504
34				504				6.222378	6.22238	0	504
35				504				6.222378	6.22238	0	504
36				504				6.222378	6.22238	0	504
37				504				6.222378	6.22238	0	504
38				504				6.222378	6.22238	0	504
39				504				6.222378	6.22238	0	504
40				504				6.222378	6.22238	0	504
41				504				6.222378	6.22238	0	504
42				504				6.222378	6.22238	0	504
43				504				6.222378	6.22238	0	504
44				504				6.222378	6.22238	0	504
45				504				6.222378	6.22238	0	504

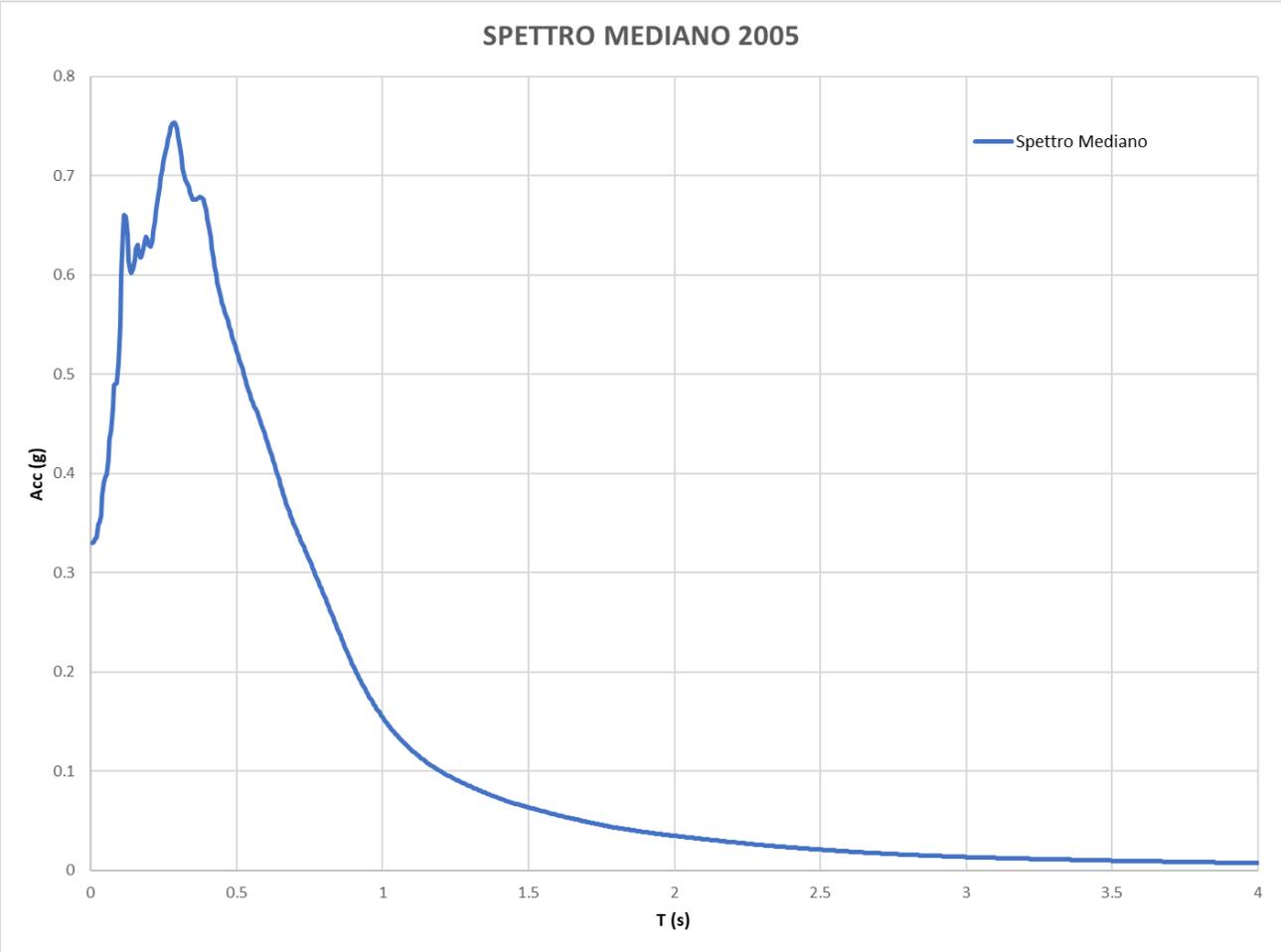
Modellazione Strata – Soil Profile

MOPS	2005						
UNITA'	SPESSORE	SPESSORE	Vs	Vs	PESO DI V.	CURVA N	Categoria suolo
		Min. - Max		Min. - Max			
SMfd	8	3---10	243	202--299	16	12	C
GMtm	15	3---20	317	273--394	14.6	24	
GMcd	10	5---25	503	386--555	16.3	22	
SFGRS	45	40---50	670	555--730	17.89	28	
SFGRS		75---100	970	850--1200			
variabilità del bedrock: distribuzione UNIFORME Min. 75 m - Max. 100 m							

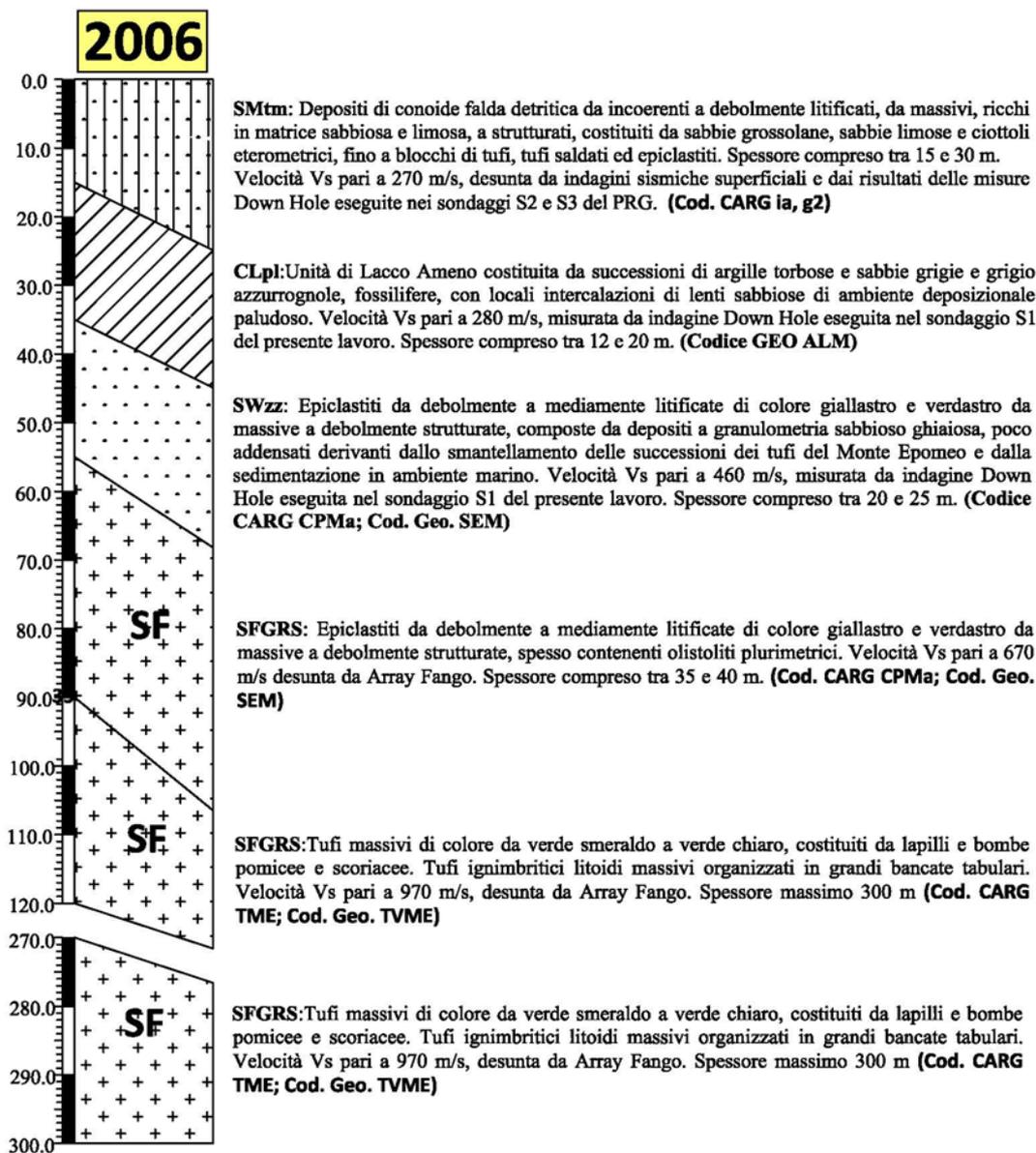


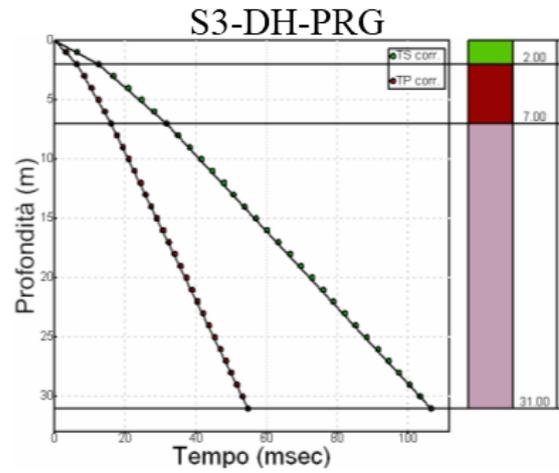
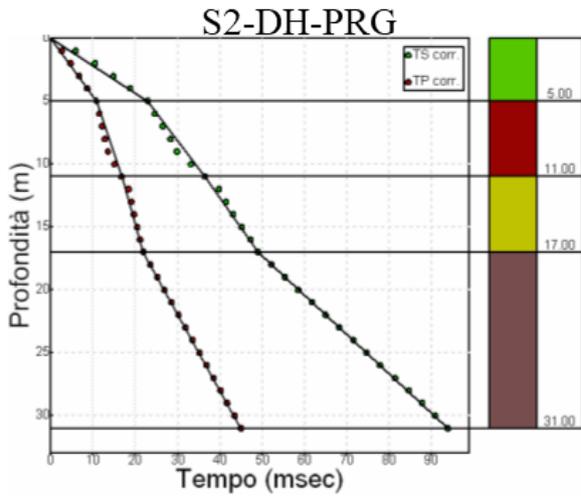


Nome Accelerogramma	fattori di amplificazione		
	0.1 -- 0.5	0.4 -- 0.8	0.7 -- 1.1
IT.0EQT..HGN.D.20130630.144008.C.ACC	1.88	2.39	2.21
IT.MRM..HGE.D.20121025.230524.C.ACC	1.86	2.13	1.72
IT.SVN..HGE.D.20181226.021917.C.ACC	2.07	2.28	1.90
IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	2.13	2.18	1.69
IV.EMCN..HNN.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	2.13	2.19	1.81
V.RM03..HNE.D.20090407.174737.C.ACC	2.00	2.03	1.81
IV.T1212..HNN.D.20161026.171036.C.ACC	2.02	2.28	2.03
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE MEDIATI	2.01	2.21	1.87

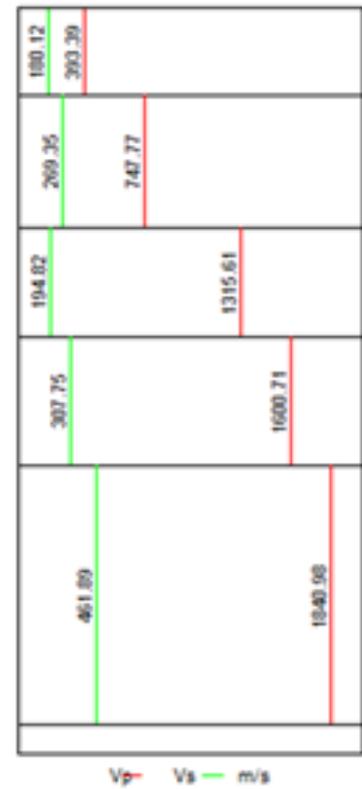
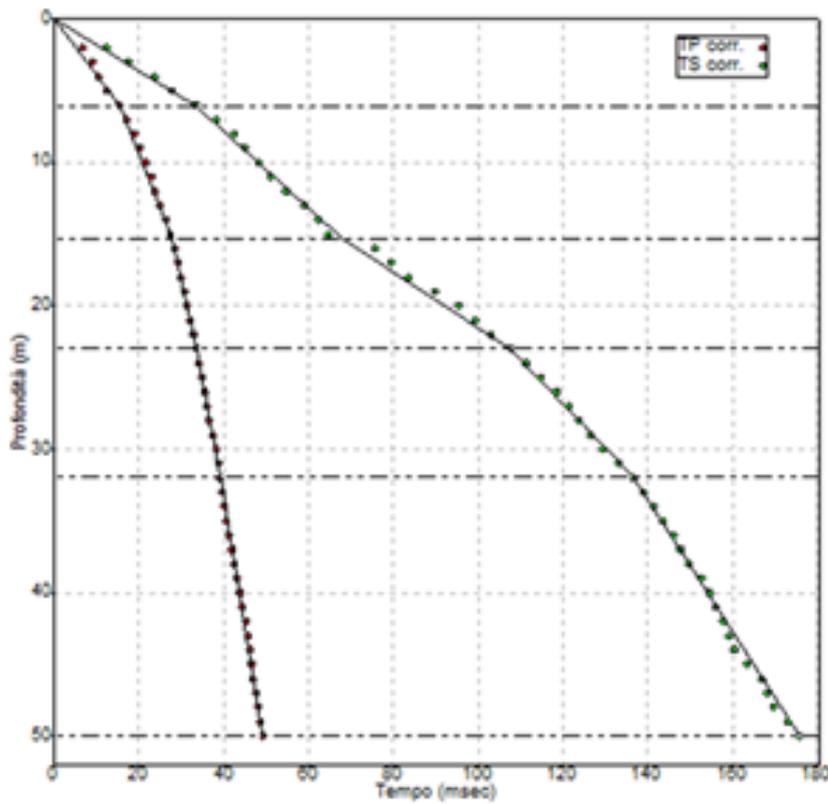


7.3.1.6 MOPS 2006





S1-DH-P89



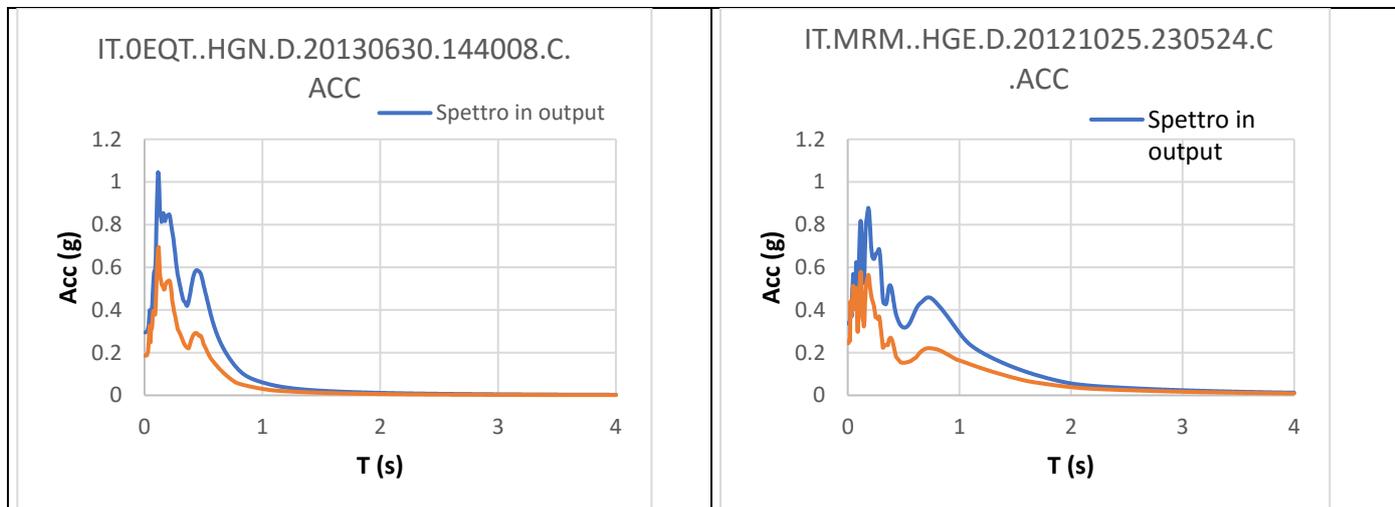
Array Fango

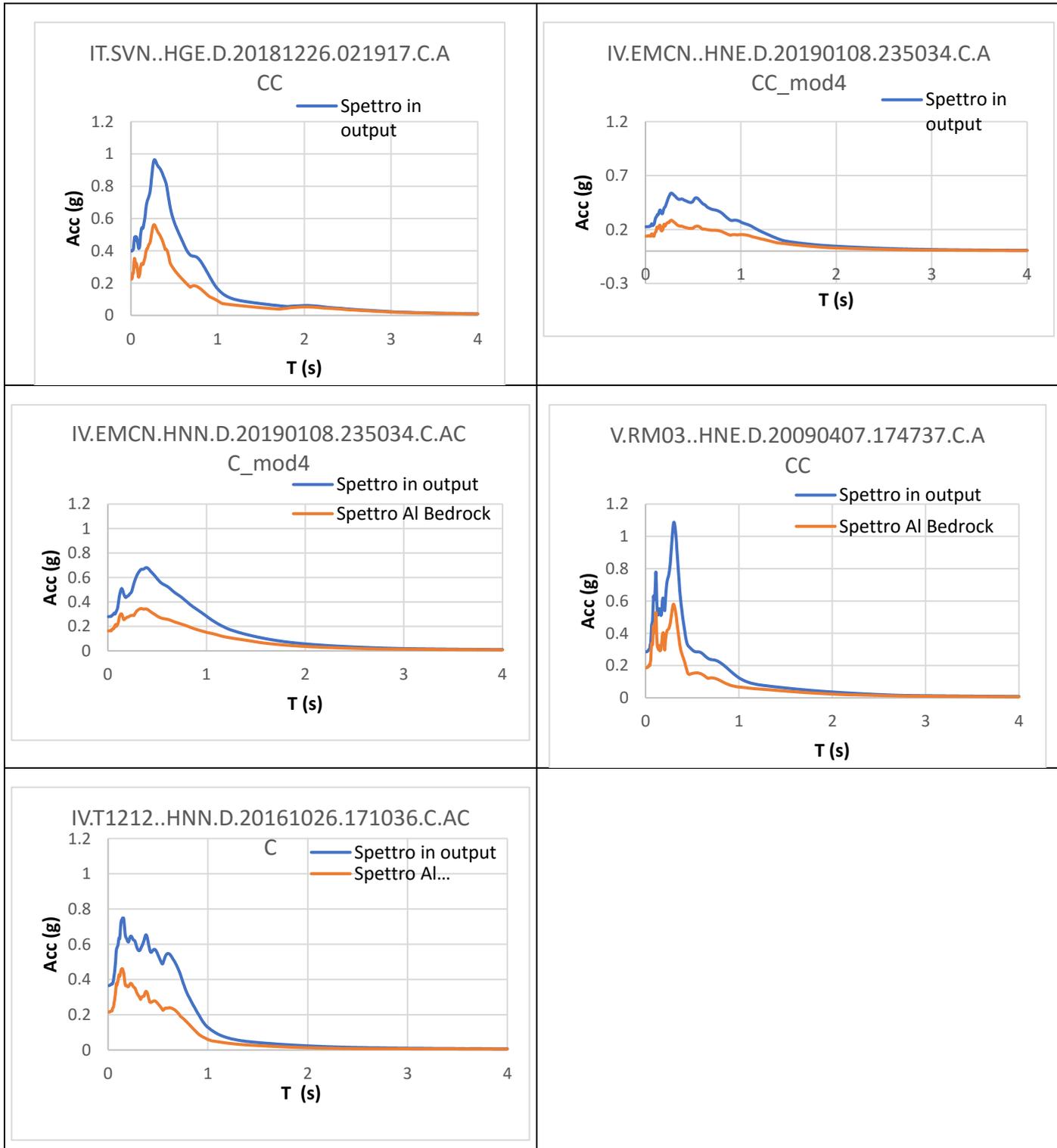
<i>From (m)</i>	<i>To(m)</i>	<i>Thickness (m)</i>	<i>Vs (m/s)</i>	<i>Vp (m/s)</i>
0	13,0	13,0	328	636
13,0	51,6	38,6	446	1075
51,6	97,7	46,1	667	1616
97,7	444,6	346,9	974	2115
444,6		?	1897	3512

Modellazione Strata – Soil Profile

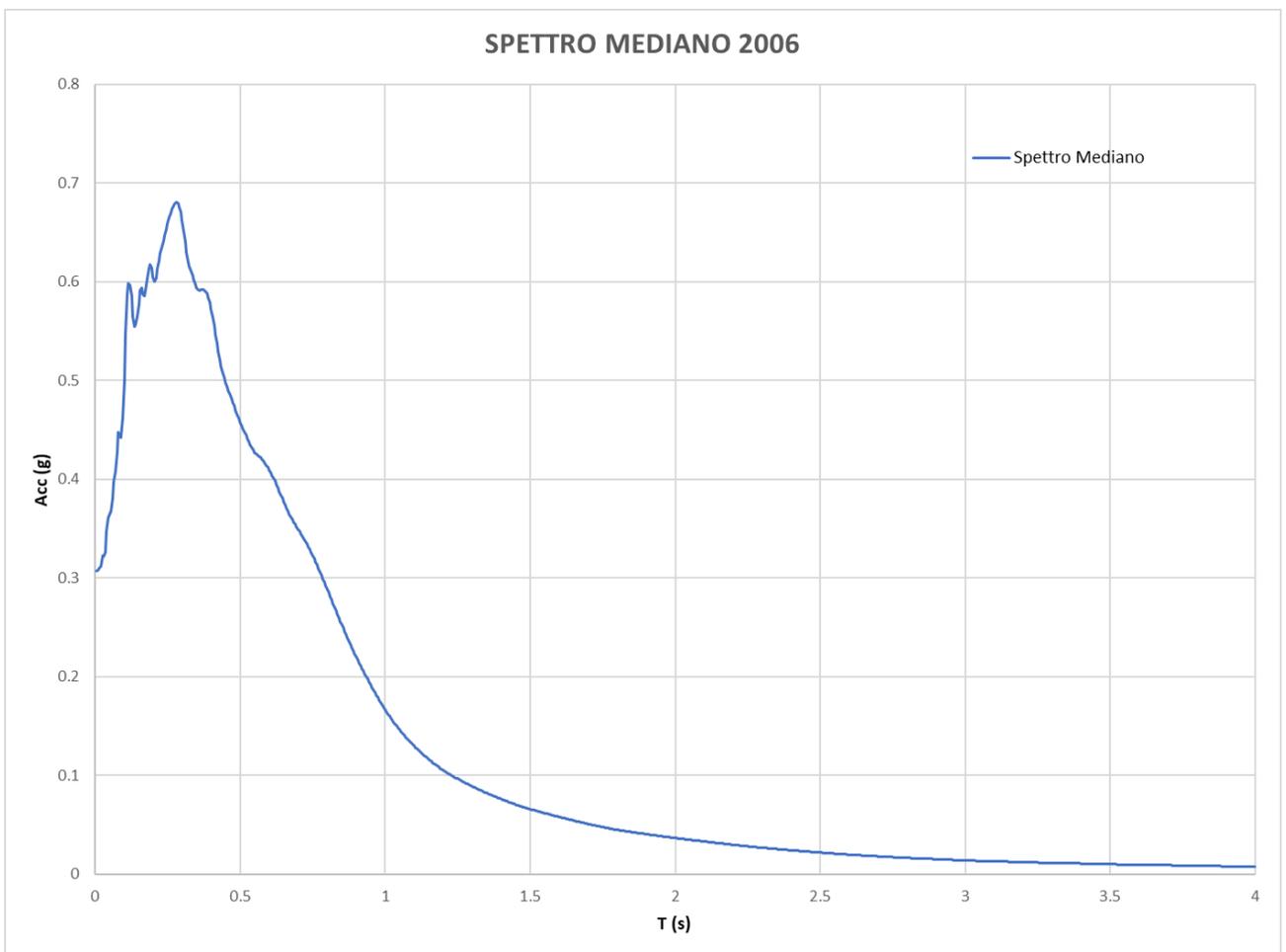
MOPS	2006	SPESSORE		Vs	Vs		PESO DI V.	CURVA N	Vs30
UNITA'	SPESSORE	Min. -	Max		Min. -	Max			
SMtm	10	4---	16	270	200--	350	14.74	15	C
CLpc	15	12---	20	280	200--	400	15.94	3	
SWzz	20	15---	25	460	350--	500	16.31	19	
SFGRS	35	30---	40	460	555--	850	17.89	28	
SFGRS		70---	100	670	850--	1200			
SFGRS				970					

variabilità del bedrock: distribuzione UNIFORME Min. 75 m - Max. 120 m

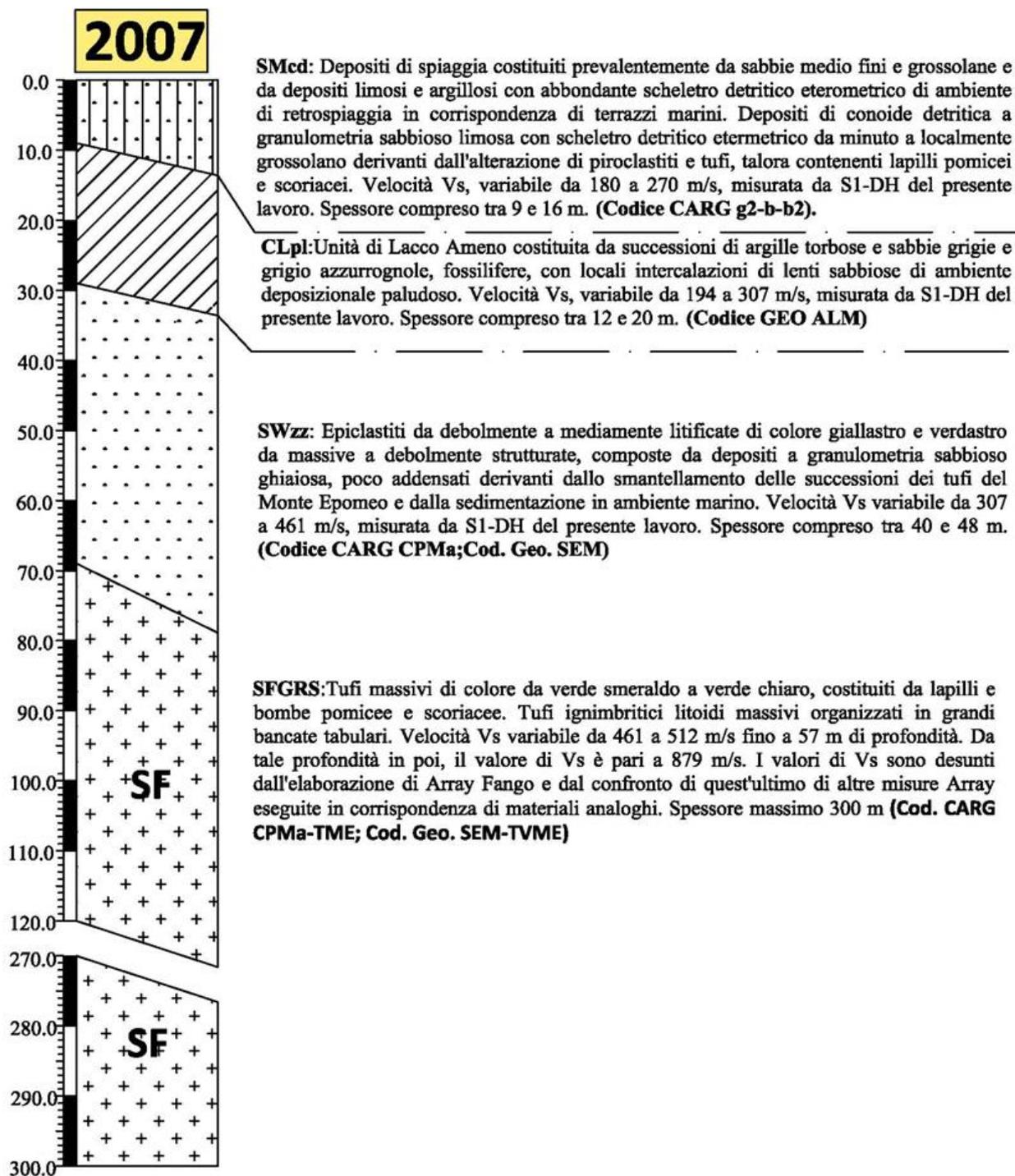




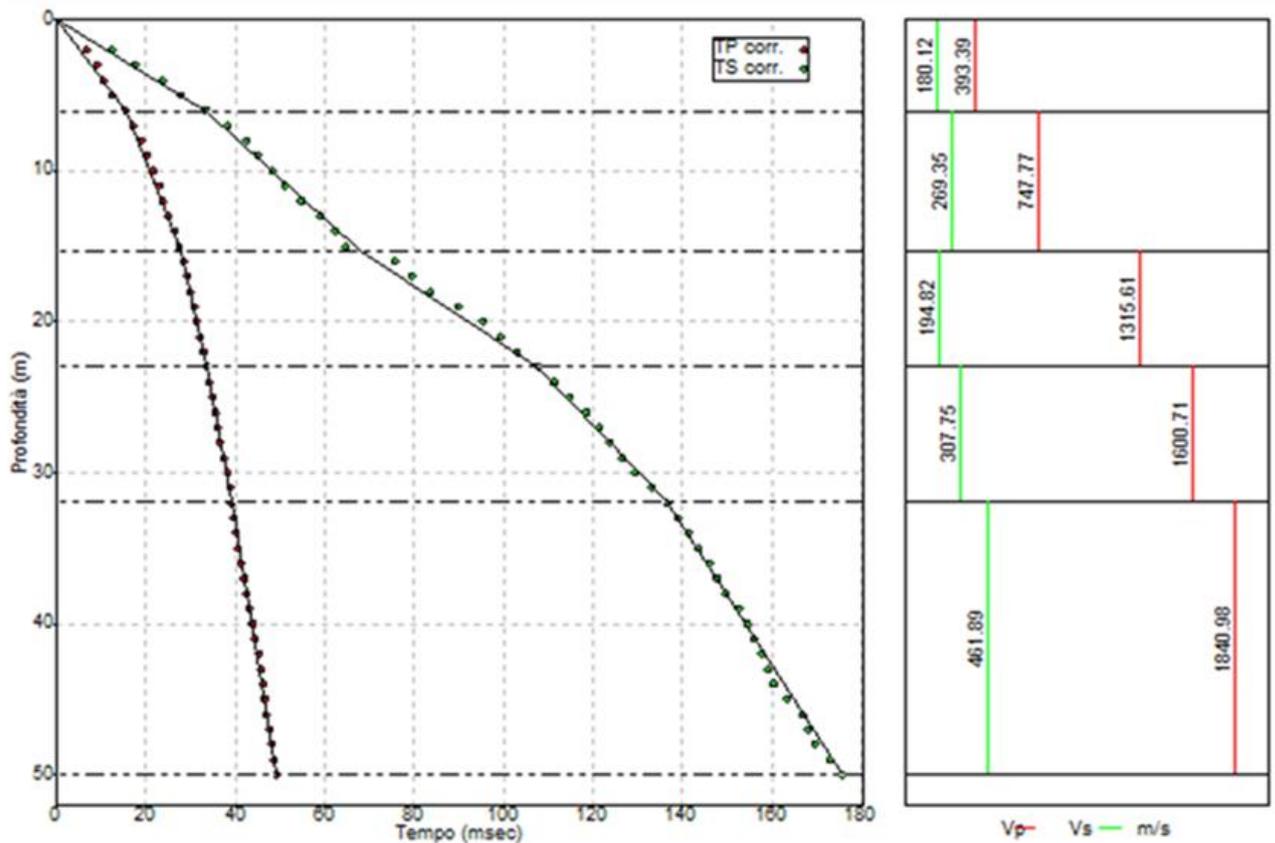
Nome Accelerogramma	fattori di amplificazione		
	0.1 -- 0.5	0.4 -- 0.8	0.7 -- 1.1
IT.0EQT..HGN.D.20130630.144008.C.ACC	1.74	2.09	2.08
IT.MRM..HGE.D.20121025.230524.C.ACC	1.72	2.09	1.91
IT.SVN..HGE.D.20181226.021917.C.ACC	1.82	2.03	1.98
IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.92	2.08	1.87
IV.EMCN..HNN.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.87	2.03	1.92
V.RM03..HNE.D.20090407.174737.C.ACC	1.82	1.94	1.96
IV.T1212..HNN.D.20161026.171036.C.ACC	1.83	2.14	2.13
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE MEDIATI	1.82	2.06	1.98



7.3.1.7 MOPS 2007



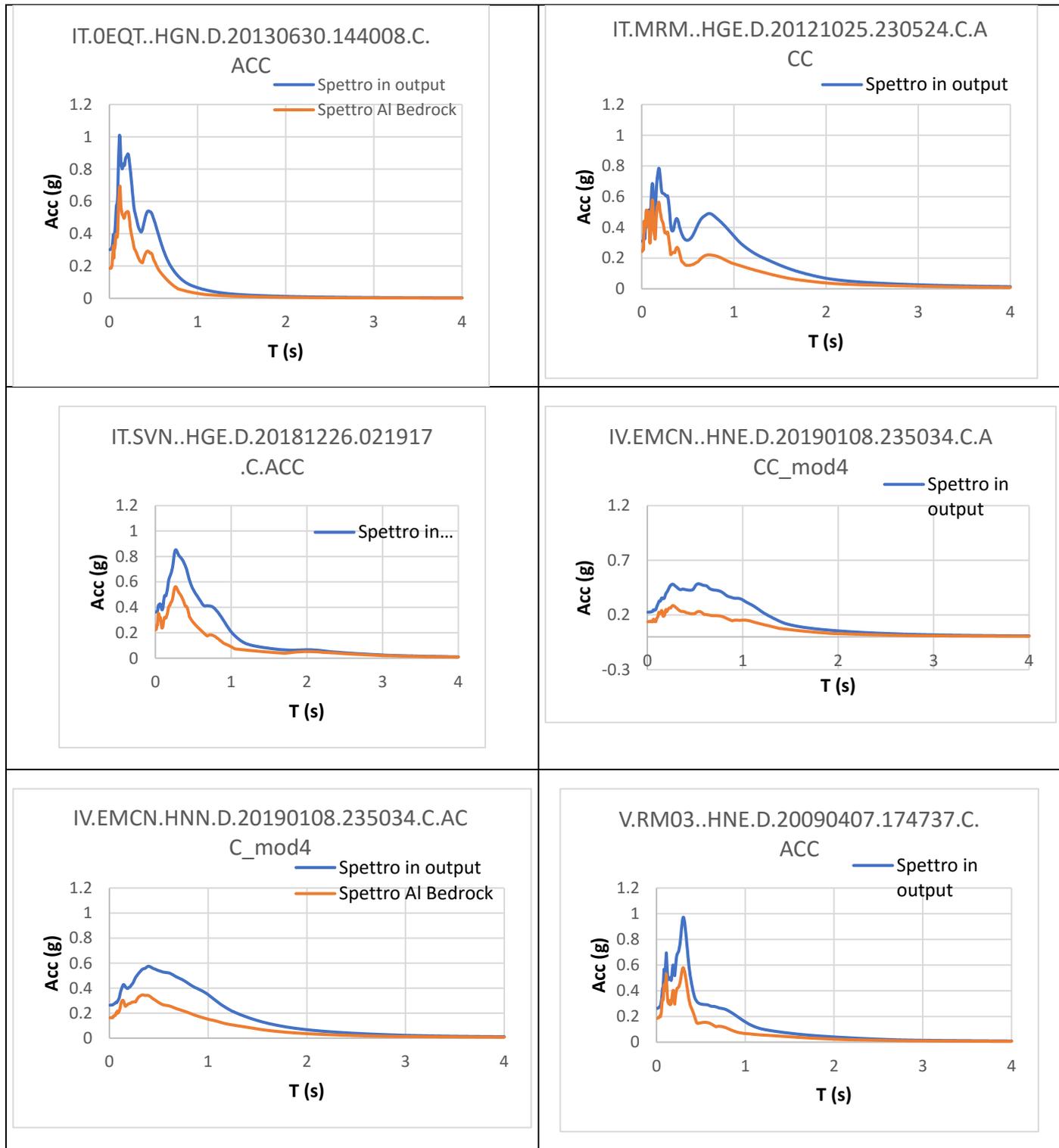
S1-DH-P89

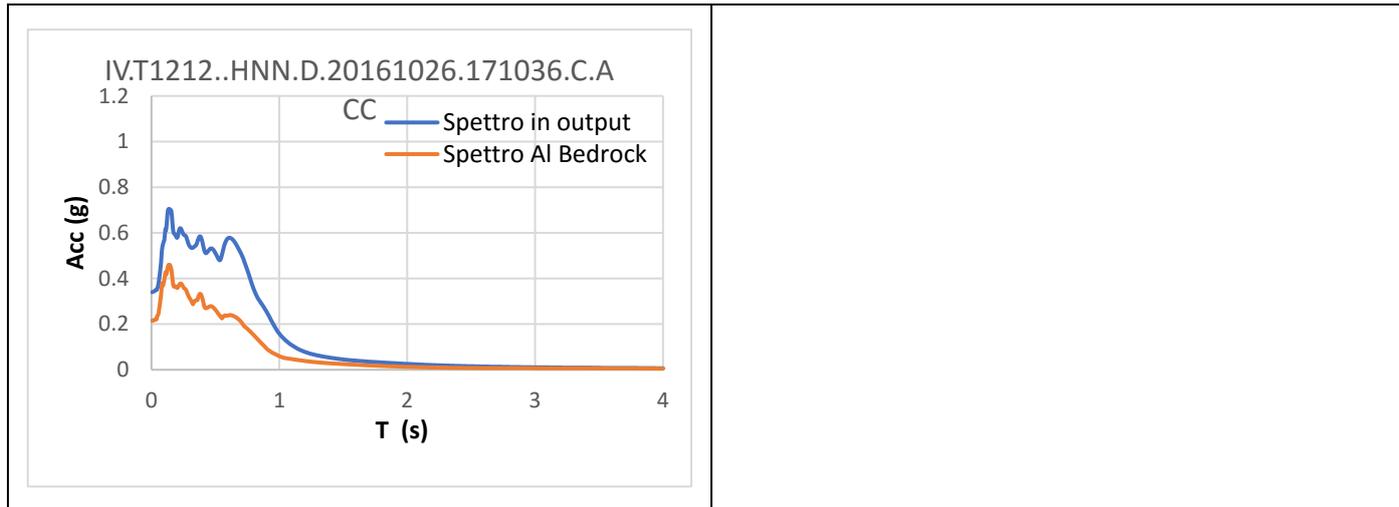


Modellazione Strata – Soil Profile

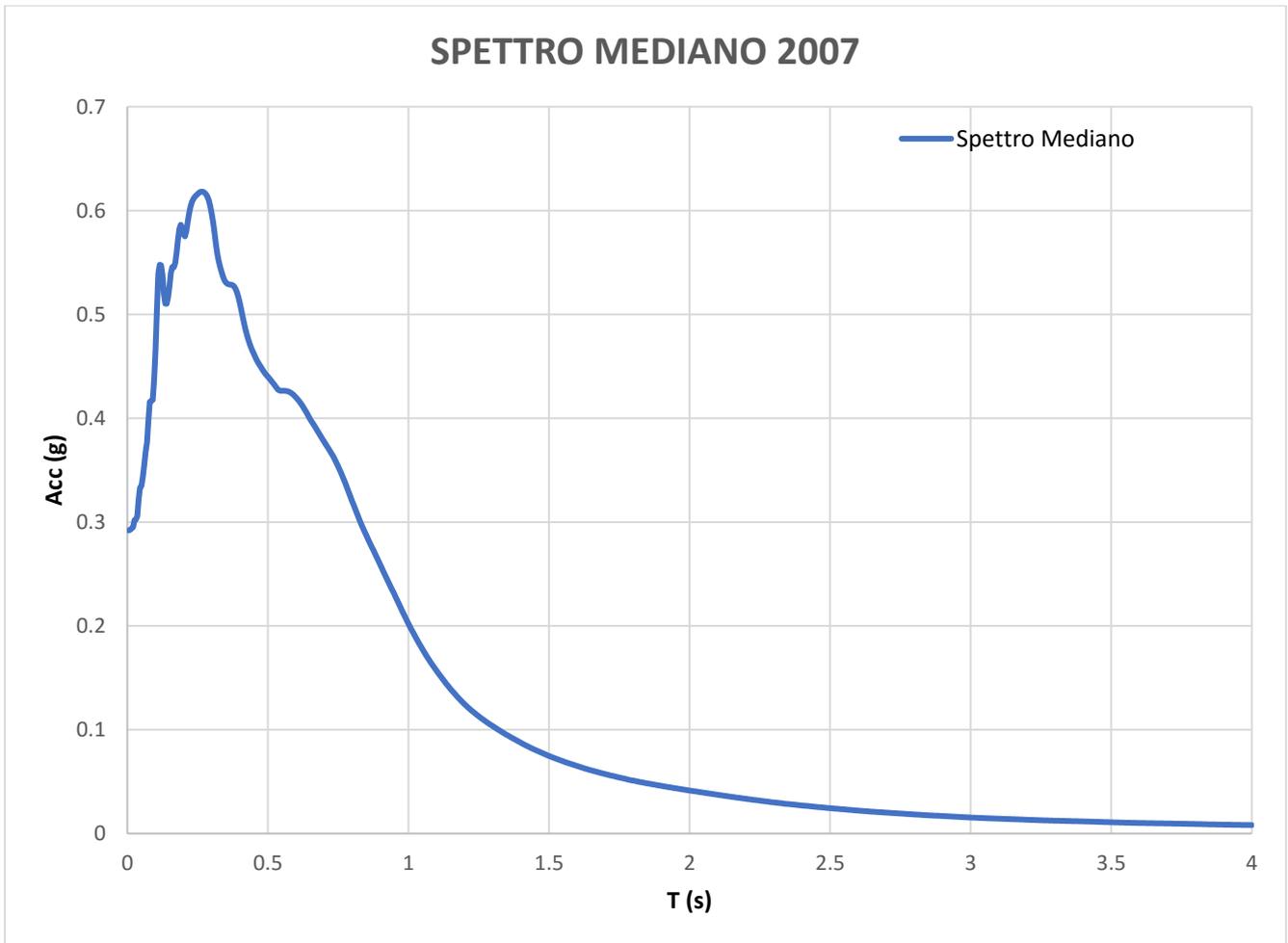
MOPS	2007	SPESSORE		Vs	Vs		PESO DI V.	CURVA N	Categoria suolo
UNITA'	SPESSORE	Min.	Max		Min.	Max			
SMcd	6	3	10	180	100	270	16.18	11	c
SMcd	6	3	10	270	200	300	16.18	11	
CLpl	11	8	15	194	110	280	15.94	3	
CLpl	4	3	8	307	250	400	15.94	3	
SW	5	3	10	307	251	400	16.31	19	
SW	13	10	50	461	400	500	16.31	19	
SFGRS	5	3	10	461	401	500	17.89	28	
SFGRS	7	5	20	512	450	650	17.89	31	
SFGRS				879	801	1200	17.89	31	

variabilità del bedrock: distribuzione UNIFORME Min. 50 m - Max. 100 m

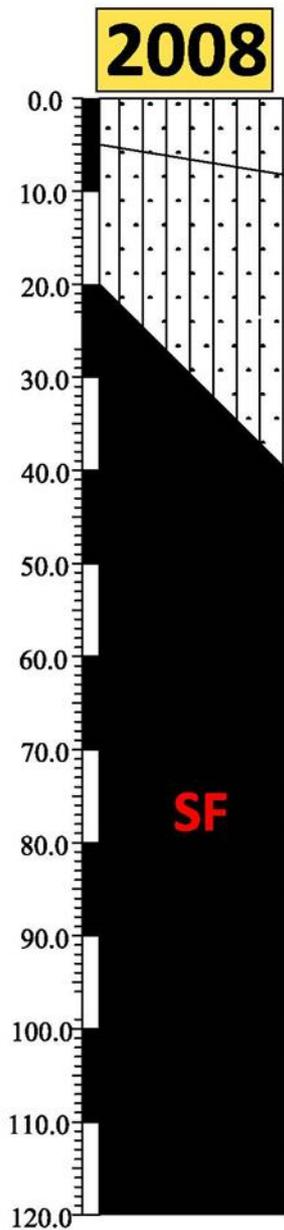




Nome Accelerogramma	fattori di amplificazione		
	0.1 -- 0.5	0.4 -- 0.8	0.7 -- 1.1
IT.0EQT..HGN.D.20130630.144008.C.ACC	1.72	2.05	2.21
IT.MRM..HGE.D.20121025.230524.C.ACC	1.56	2.16	2.14
IT.SVN..HGE.D.20181226.021917.C.ACC	1.62	2.01	2.33
IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.79	2.15	2.22
IV.EMCN..HNN.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.62	1.97	2.20
V.RM03..HNE.D.20090407.174737.C.ACC	1.67	2.01	2.32
IV.T1212..HNN.D.20161026.171036.C.ACC	1.71	2.20	2.49
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE MEDIATI	1.67	2.08	2.27



7.3.1.8 MOPS 2008

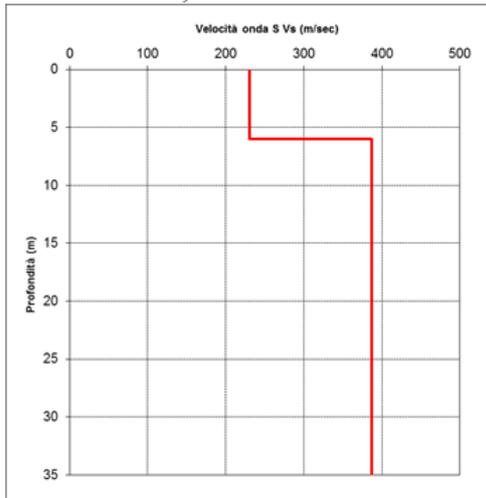


SMec: Depositi eluvio-colluviali a granulometria sabbiosa, limoso sabbiosa e argillosa con scheletro detritico eterometrico da minuto a localmente grossolano. Derivano dall'alterazione di piroclastiti e tufi, talora contenenti lapilli pomicei e scoriacei in posto o sedimentati dopo un breve ruscellamento. Velocità V_s pari a 250 m/s, desunta da misure sismiche eseguite in loc. Monte Vico e nel resto del territorio dell'isola, su materiali analoghi. Spessore compreso tra 5 e 10 m. **(Codici CARG b2)**

SMig: Alternanze di livelli cineritici e pomicei stratificati incoerenti di colore biancastro. Depositi di caduta e di correnti di densità piroclastiche (surge) associabili ai prodotti di alterazione dei tufi di Citara affioranti nella zona di Monte Vico. Valore di V_s pari a 450 m/s desunto come media tra le misure eseguite in loc. Monte Vico e quelle eseguite in corrispondenza dei Tufi di Citara sull'intero territorio ischitano, tra cui Array Forio istituto. Spessore compreso tra 20 e 40 m. **(Codice CARG TCT, PMT; Cod. Geo. TC)**

SFLP: Lave trachitiche di colore grigio-rossiccio grossolanamente stratificate. Valore di V_s pari a 1897 m/s da Array Fango. Spessore massimo 80 m. **(Codice CARG LMVb)**

MASW, Loc. Monte Vico



Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0.00	6.00	231	0.0260
6.00	37.00	387	0.0801

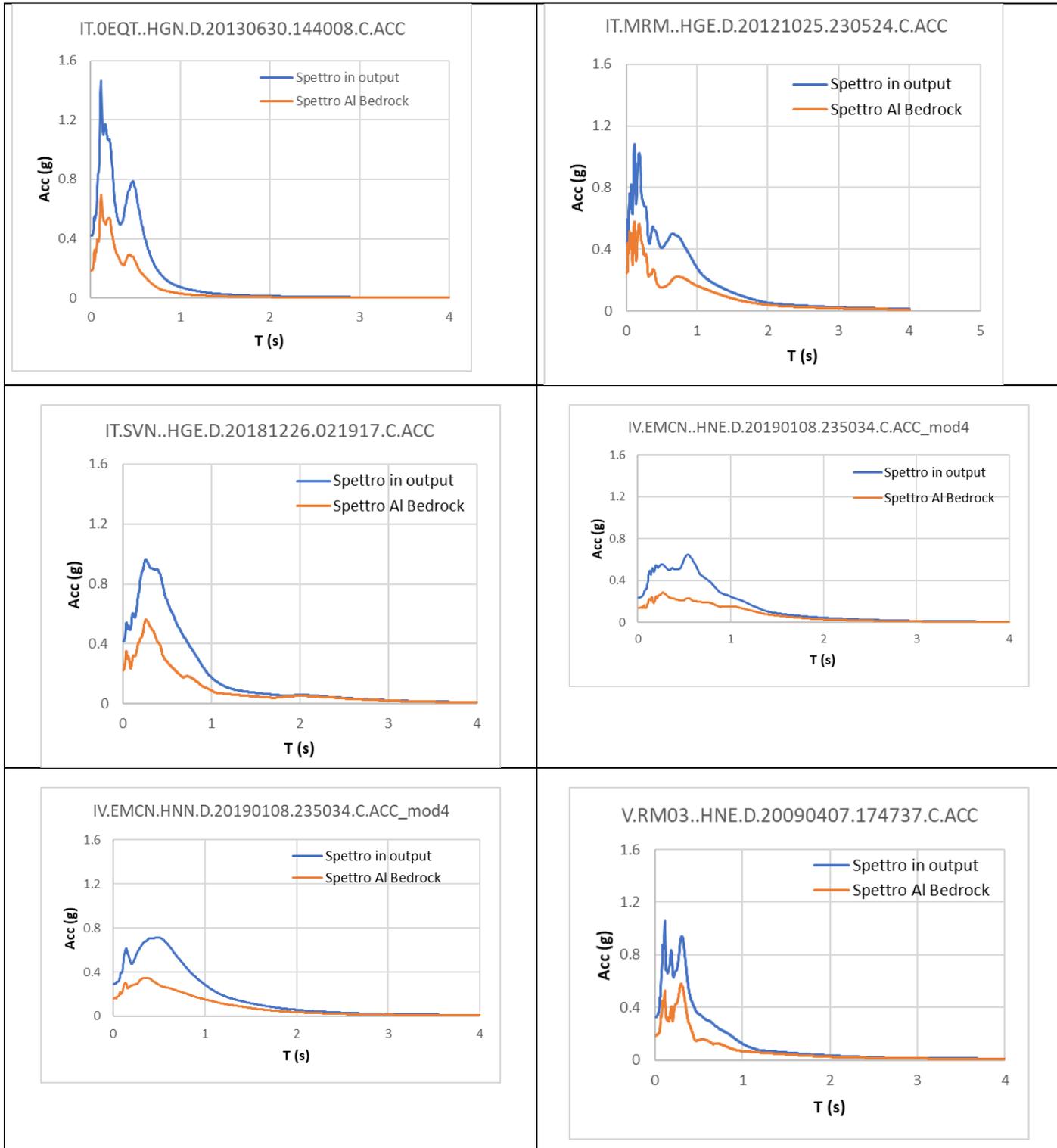
From (m)	To(m)	Thickness (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
0	13,0	13,0	328	636
13,0	51,6	38,6	446	1075
51,6	97,7	46,1	667	1616
97,7	444,6	346,9	974	2115
444,6		?	1897	3512

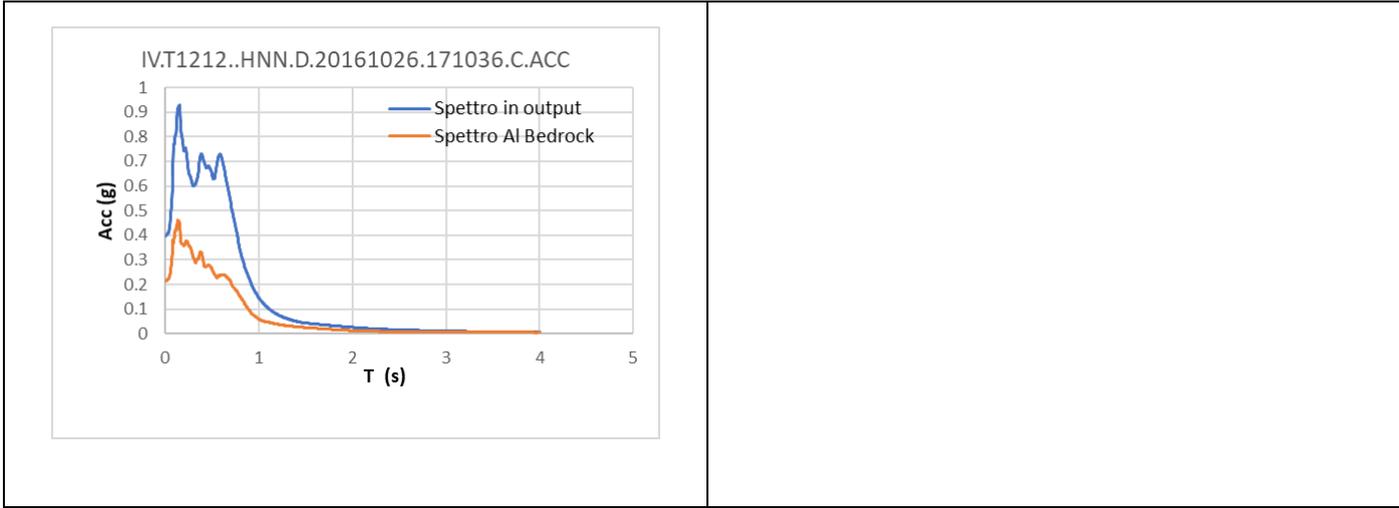
da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)	spessore (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
0	2	2	579	217
2	4	2	579	251
4	6	2	579	286
6	8	2	579	320
8	10	2	579	355
10	69	59	1042	491
69	141	72	1604	604
141	579	438	1606	967
579	579	0	4899	2999

Array Istituto Forio

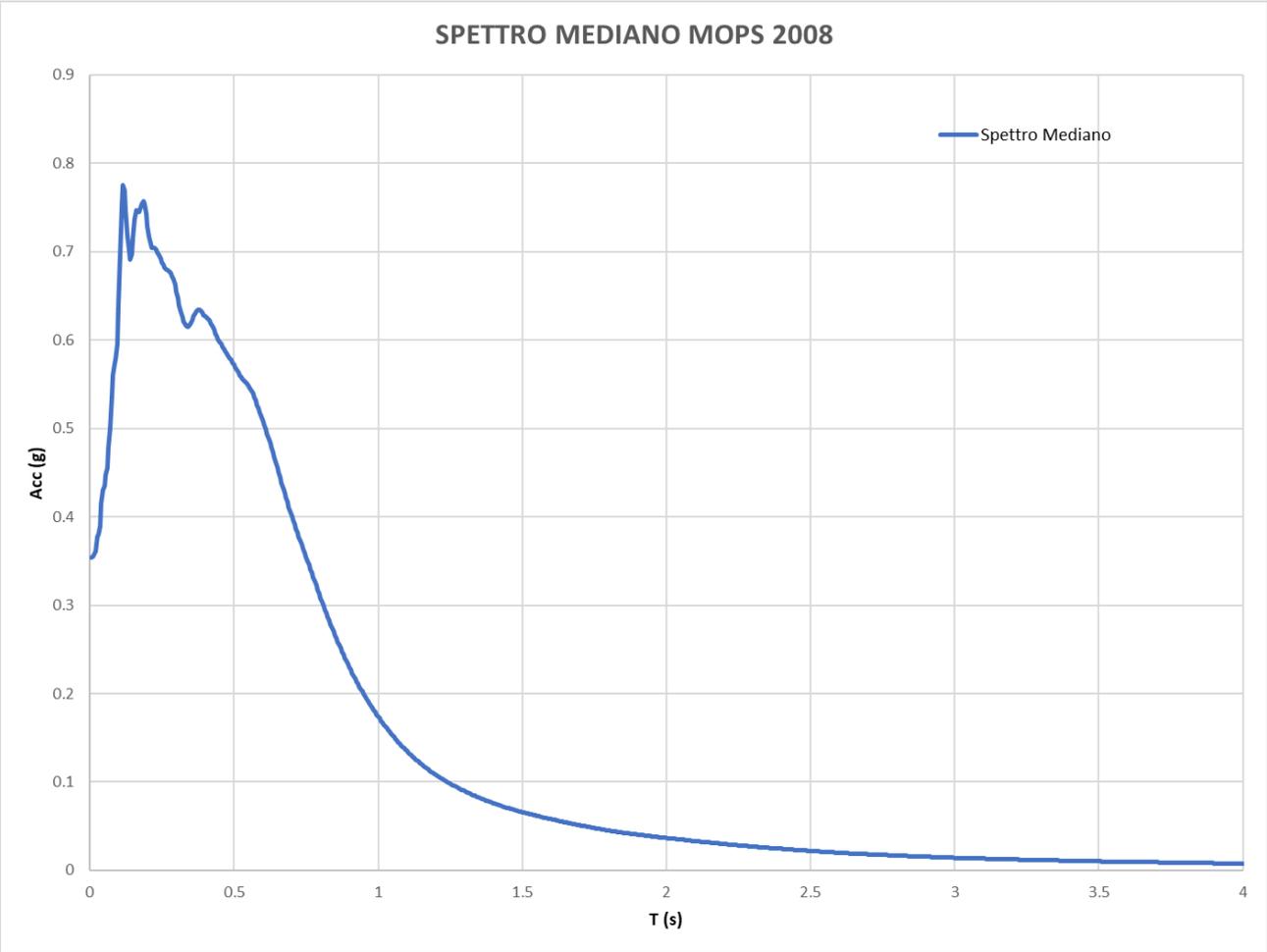
Modellazione Strata – Soil Profile

MOPS	2008						
UNITA'	SPESSORE	SPESSORE	Vs	Vs	PESO DI V.	CURVA N	Vs30
		Min. - Max		Min. - Max			
SMec	7	5---10	250	200--300	15.66	8	B
Smig	30	20---40	450	400--500	14.5	7	
SFLP			1897	1500--2500	17.89		
variabilità del bedrock: distribuzione UNIFORME Min. 37 m - Max. 70 m							



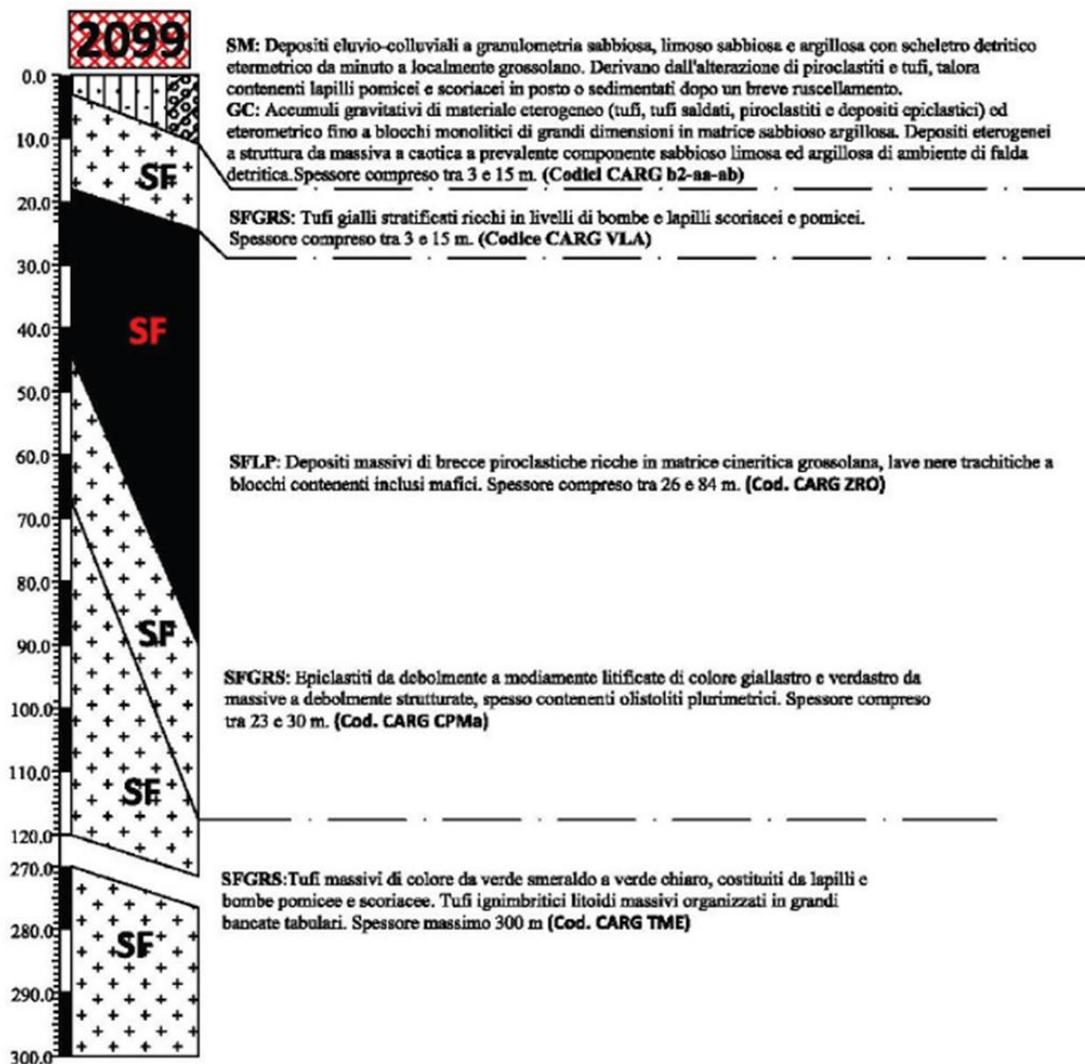


Nome Accelerogramma	fattori di amplificazione		
	0.1 -- 0.5	0.4 -- 0.8	0.7 -- 1.1
IT.0EQT..HGN.D.20130630.144008.C.ACC	1.79	2.02	1.94
IT.MRM..HGE.D.20121025.230524.C.ACC	1.67	1.85	1.58
IT.SVN..HGE.D.20181226.021917.C.ACC	1.65	1.83	1.65
IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.79	1.88	1.55
IV.EMCN..HNN.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.68	1.82	1.64
V.RM03..HNE.D.20090407.174737.C.ACC	1.61	1.69	1.61
IV.T1212..HNN.D.20161026.171036.C.ACC	1.76	1.95	1.81
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE MEDIATI	1.70	1.86	1.68



7.3.1.9 MOPS 2099

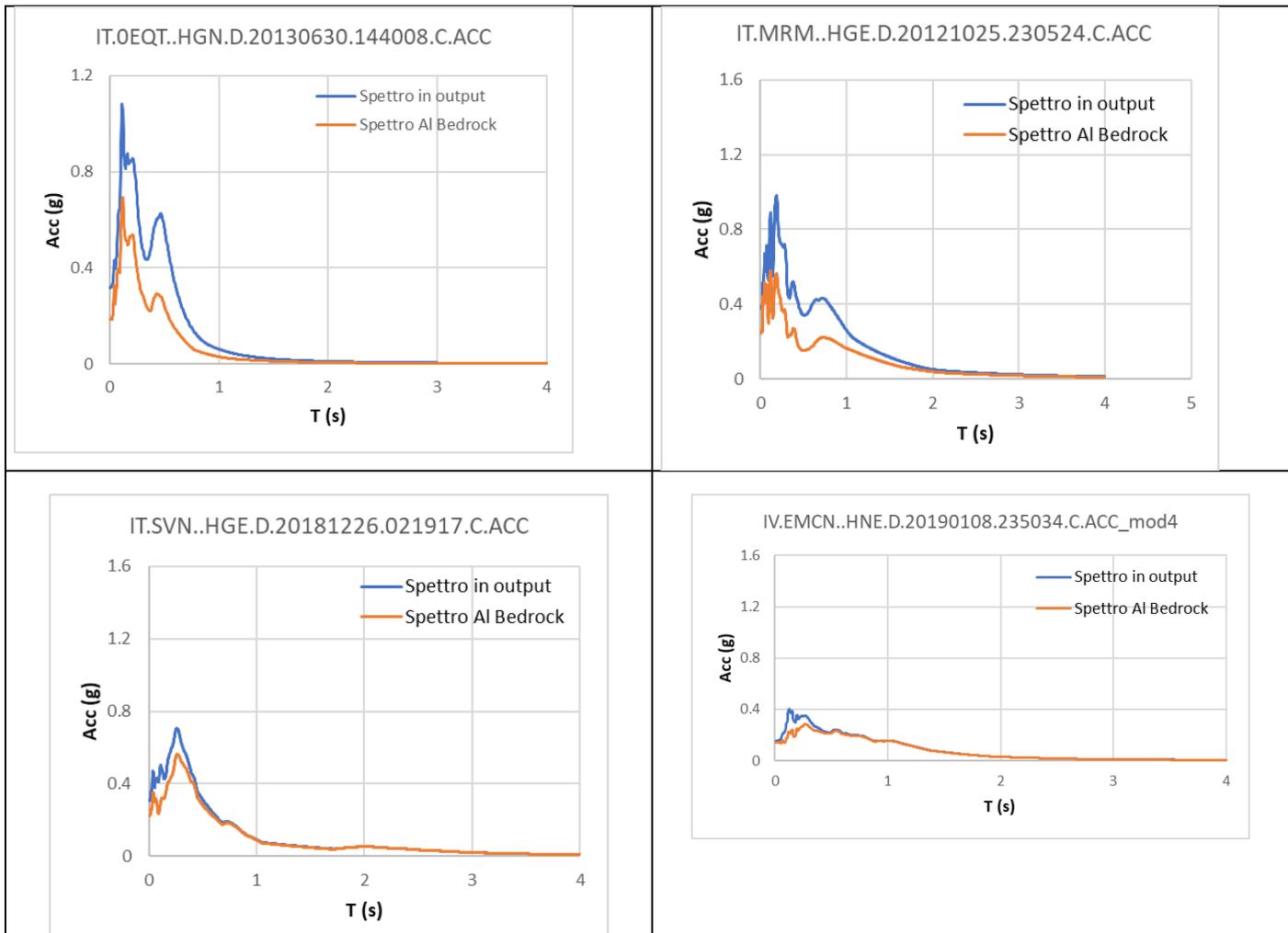
Per la MOPS 2099 considerato che essa raggruppa tre aree A, B e C, di cui due con substrato in parte interessato da copertura (B e C), si è ritenuto necessario eseguire due modellazioni distinte per le sole aree in cui il substrato geologico è parzialmente interessato da terreni di copertura, ovvero la zona di Zaro e Villa Arbusto, mentre per la zona A (località Pizzone del Monte Epomeo) non è stata eseguita alcuna analisi in quanto essa risulta una zona instabile per fenomeni franosi pertanto non soggetta ad analisi di RSL come previsto dai Protocolli procedurali.

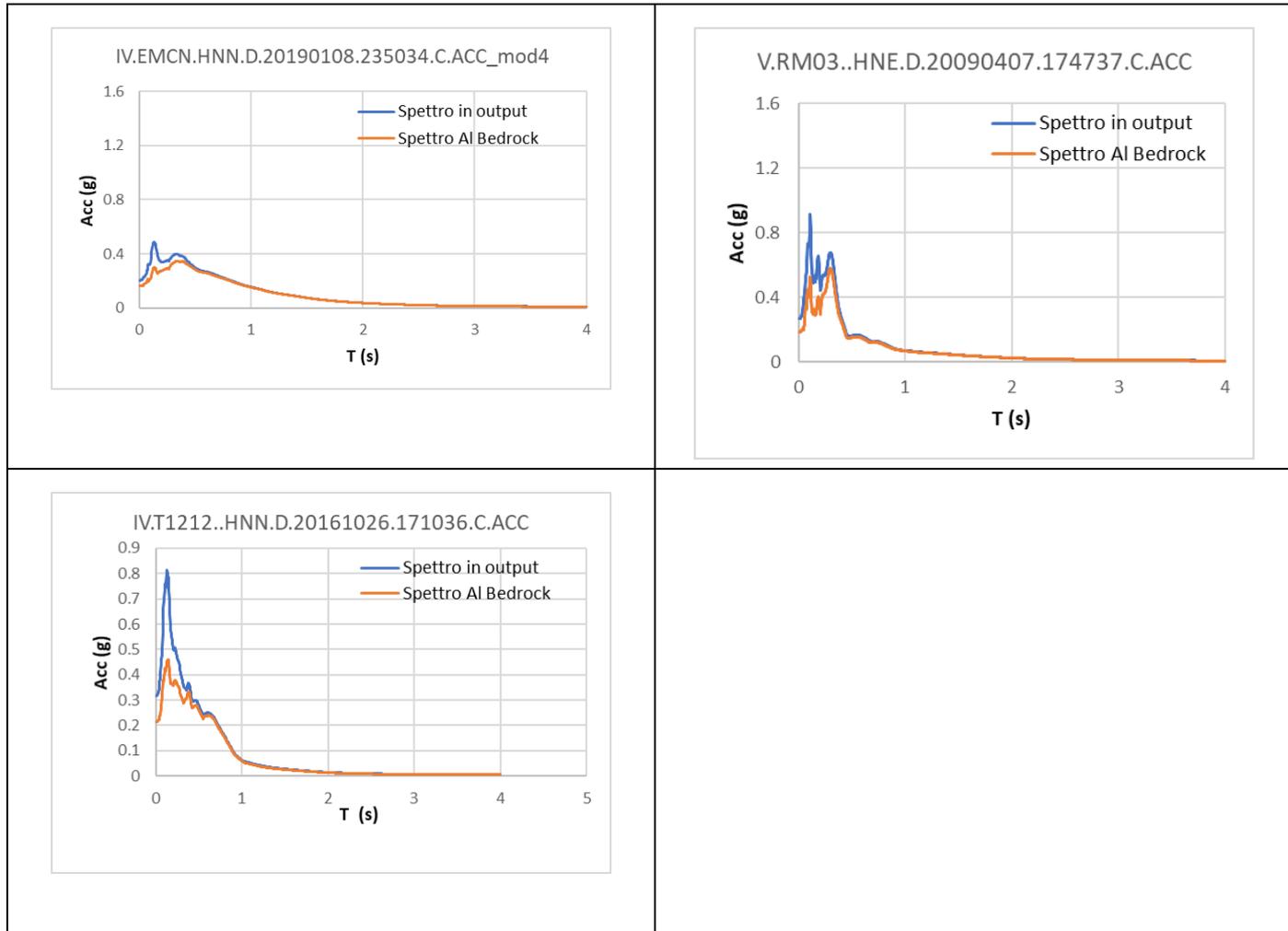


7.3.1.9.1 MOPS 2099B

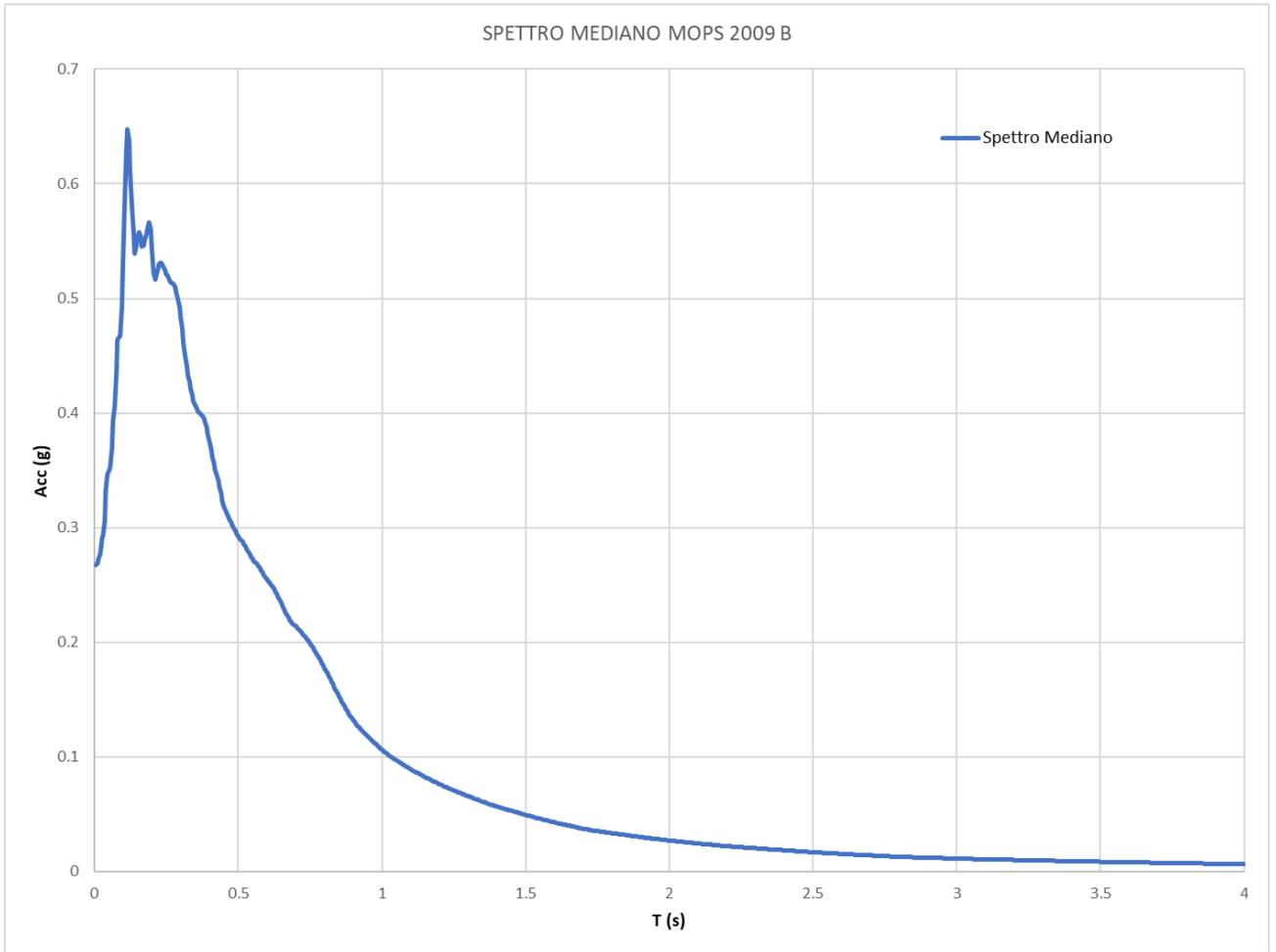
Modellazione STRATA - Soil Profile

MOPS	2099 B						
UNITA'	SPESSORE	SPESSORE	Vs	Vs	PESO DI V.	CURVA N	Vs30
		Min. - Max		Min. - Max			
SMec	5	3 -- 15	230	200--300	15.56	8	B
SFLP	Zmin 35	30 -- 80	970	850 - 1200	17.89		
variabilità del bedrock: distribuzione UNIFORME Min. 0 m - Max. 10 m							





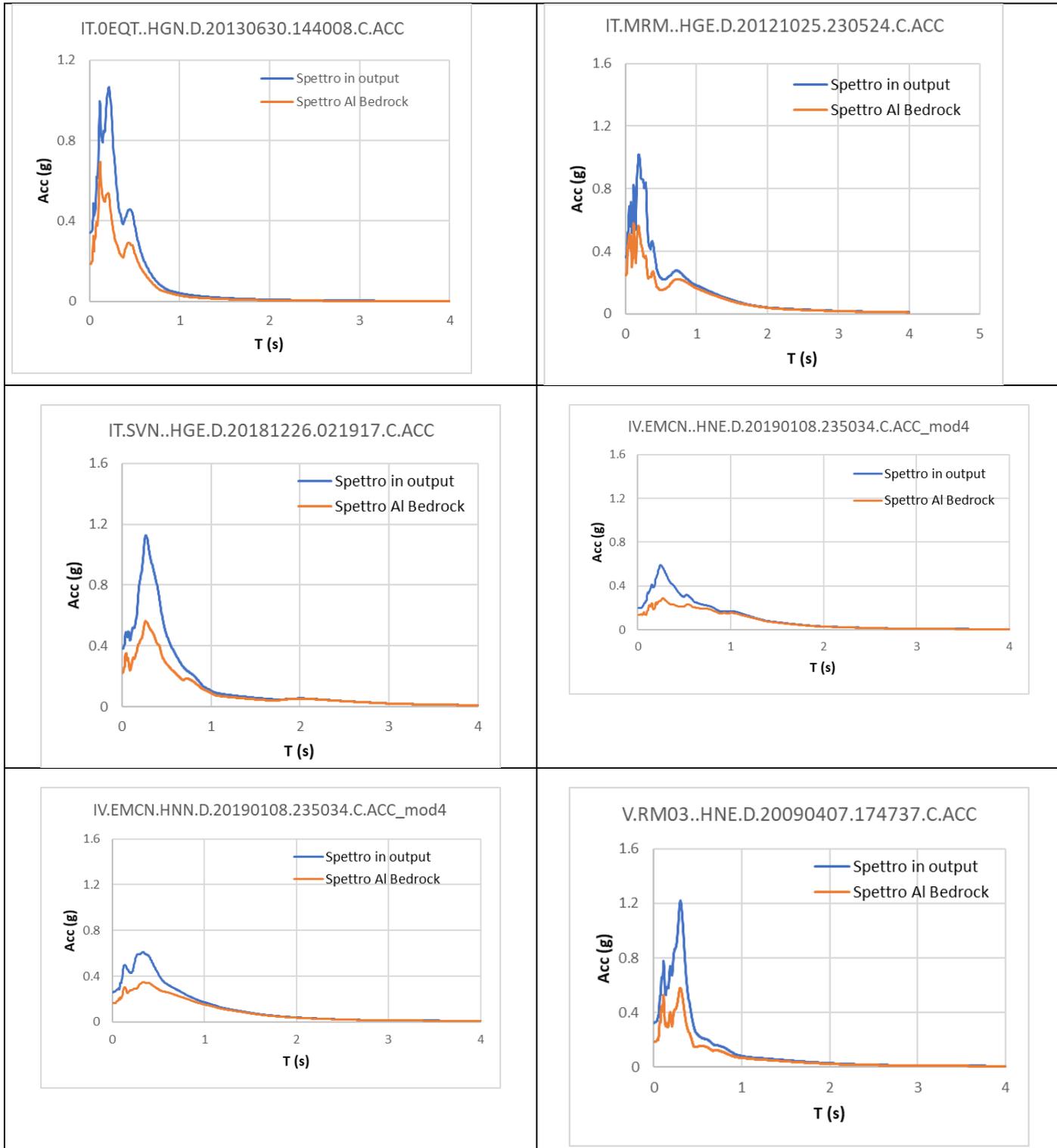
Nome Accelerogramma	fattori di amplificazione		
	0.1 -- 0.5	0.4 -- 0.8	0.7 -- 1.1
IT.0EQT..HGN.D.20130630.144008.C.ACC	1.78	2.21	2.10
IT.MRM..HGE.D.20121025.230524.C.ACC	1.85	2.09	1.74
IT.SVN..HGE.D.20181226.021917.C.ACC	1.23	1.08	1.03
IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.27	1.04	1.02
IV.EMCN..HNN.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.22	1.04	1.02
V.RM03..HNE.D.20090407.174737.C.ACC	1.31	1.07	1.04
IV.T1212..HNN.D.20161026.171036.C.ACC	1.33	1.05	1.04
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE MEDIATI	1.41	1.30	1.23

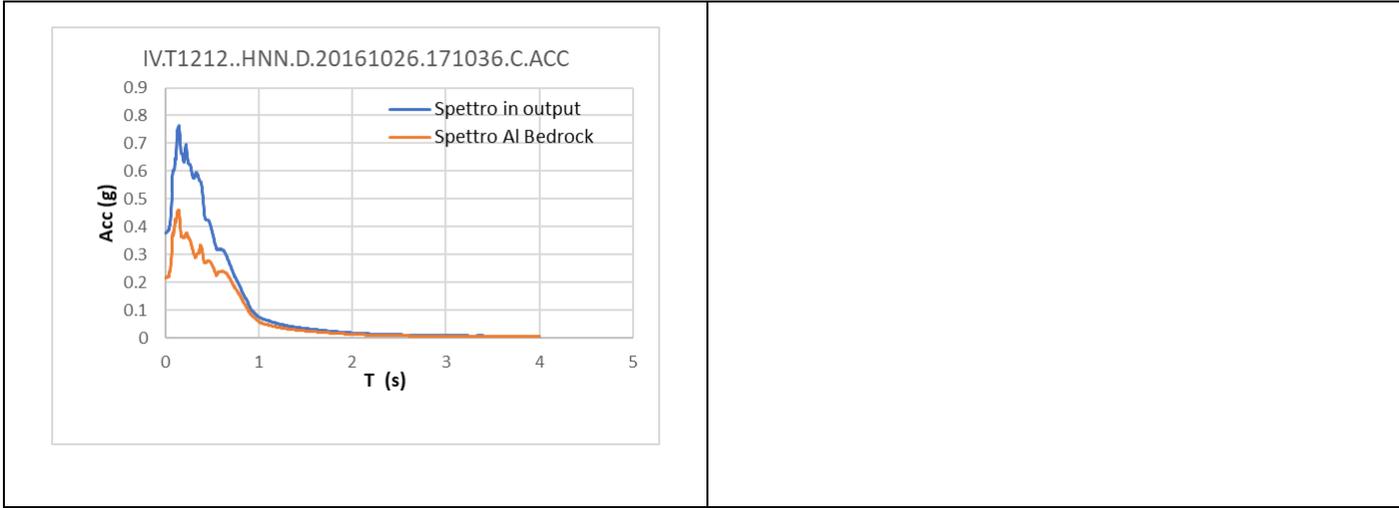


7.3.1.9.2 MOPS 2099C

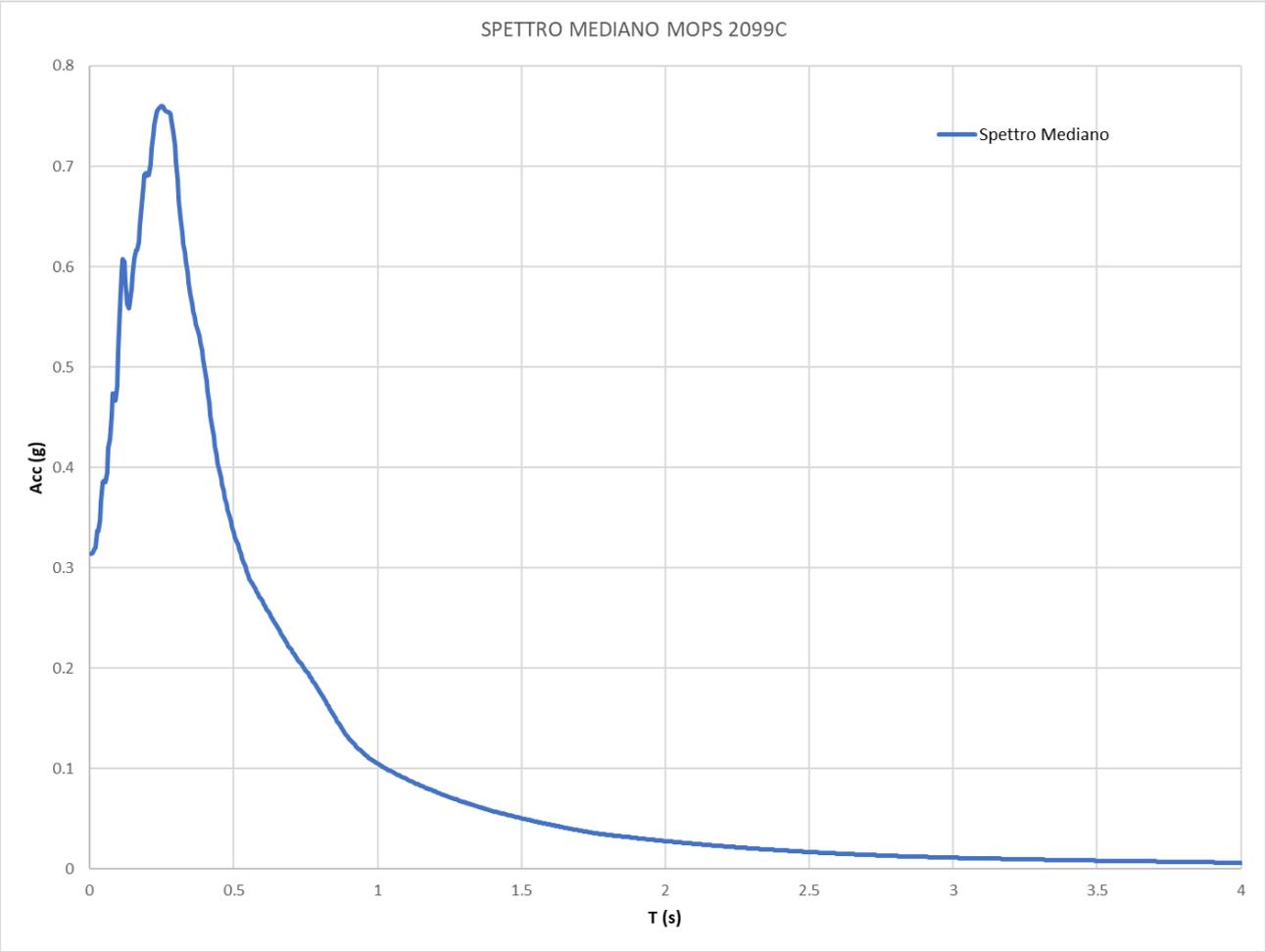
Modellazione STRATA - Soil Profile

MOPS	2099 C						
UNITA'	SPESSORE	SPESSORE	Vs	Vs	PESO DI V.	CURVA N	Vs30
		Min. - Max		Min. - Max			
GCfd	10	3 -- 15	227	200 - 360	17.06	25	C
SFGRS vla	10	5 -- 15	450	400 - 500	17.89	30	C
SFLP	Zmin 35	30 -- 80	970	850 - 1200	17.89		
variabilità del bedrock: distribuzione UNIFORME Min. 10 m - Max. 30 m							





Nome Accelerogramma	fattori di amplificazione		
	0.1 -- 0.5	0.4 -- 0.8	0.7 -- 1.1
IT.0EQT..HGN.D.20130630.144008.C.ACC	1.77	1.51	1.37
IT.MRM..HGE.D.20121025.230524.C.ACC	1.83	1.37	1.15
IT.SVN..HGE.D.20181226.021917.C.ACC	1.87	1.59	1.23
IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.83	1.33	1.13
IV.EMCN..HNN.D.20190108.235034.C.ACC_mod4	1.70	1.36	1.16
V.RM03..HNE.D.20090407.174737.C.ACC	1.96	1.51	1.28
IV.T1212..HNN.D.20161026.171036.C.ACC	1.72	1.38	1.24
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE MEDIATI	1.81	1.43	1.22



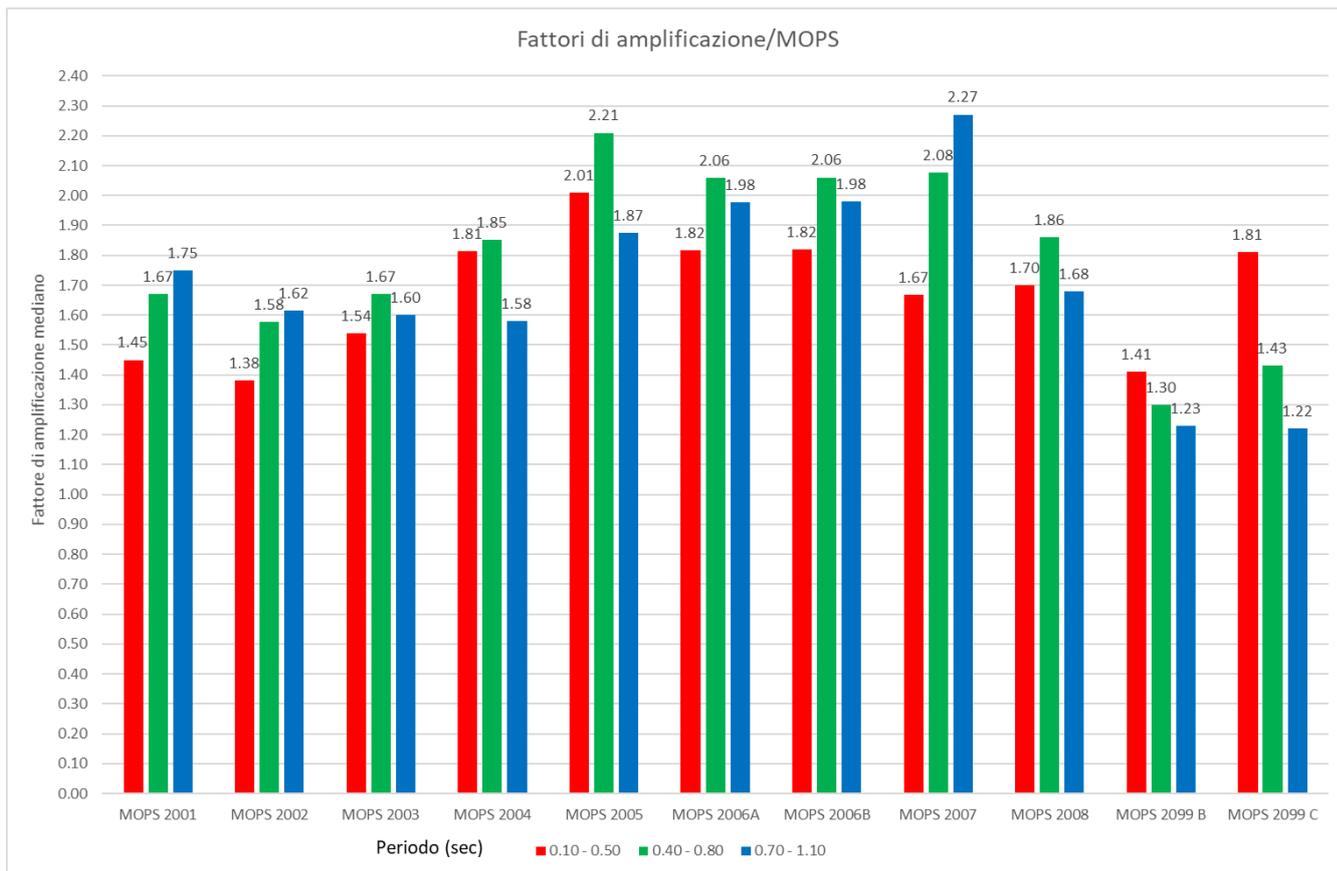


Figura 7-14 Quadro riepilogativo dai fattori di amplificazione determinati per ogni singola MOPS

7.4 Scelta dei Fattori di Amplificazione e degli spettri rappresentativi delle Aree di MS III

Lo studio di microzonazione del territorio di Lacco Ameno è stato condotto sia con il metodo monodimensionale che, per 7 delle 9 MOPS individuate, con il metodo bidimensionale; ciò comporta che, per le 7 MOPS studiate con entrambi i metodi, abbiamo coppie di valori di fattore di amplificazione e coppie di spettri derivanti dai due metodi utilizzati. Pertanto, per definire i valori rappresentativi di queste MOPS si è dovuto operare una scelta tra i diversi valori ottenuti; il centro di MS a scopi cautelativi, ha dato indicazioni di analizzare i valori derivanti dai due metodi utilizzati e scegliere i valori derivanti dal metodo che ha il FA più alto nei bassi periodi (0.1-0.5 sec).

Di seguito si riporta una tabella di sintesi di confronto tra i valori ottenuti dalle due analisi condotte e quindi della scelta finale dei FA rappresentativi (Tabella 7-1)

Come è possibile notare dalla tabella Tabella 7-7 nell’ambito della MOPS 2006 sono state distinte in A e B delle microaree di III livello caratterizzate da un significativo aumento del FA dovuti ad effetti bidimensionali di cui si è discusso nel paragrafo 7.1.2.

Ulteriori microzone sono state individuate anche nell’area attinente la MOPS 2009 laddove a causa di un accorpamento di più aree con substrato in parte interessato da copertura (B e C), si è ritenuto necessario eseguire due modellazioni distinte per le sole aree in cui il substrato

geologico è parzialmente interessato da terreni di copertura, ovvero la zona di Zaro e Villa Arbusto, mentre per la zona A (località Pizzone del Monte Epomeo) non è stata eseguita alcuna analisi in quanto essa risulta una zona instabile per fenomeni franosi pertanto non soggetta ad analisi di RSL come previsto dai Protocolli Procedurali

MOPS	Fattori di amplificazioni a confronto fra 1D e 2D						FA più elevati scelti da analisi 1D o 2D rappresentativi delle aree		
	PERIODO								
	0.1 - 0.5 (s)		0.4 - 0.8 (s)		0.7 - 1.1 (s)		PERIODO		
	1D	2D	1D	2D	1D	2D	0.1 - 0.5 (s)	0.4 - 0.8 (s)	0.7 - 1.1 (s)
2001	1.45	1.4	1.67	1.25	1.75	1.2	1.45	1.67	1.75
2002	1.38	1.52	1.58	1.74	1.62	1.71	1.52	1.74	1.71
2003	1.54	1.6	1.67	1.7	1.6	1.5	1.6	1.7	1.5
2004	1.81	2.36	1.85	2.1	1.58	1.63	2.36	2.1	1.63
2005	2.01	-	2.21	-	1.87	-	2.01	2.21	1.87
2006A	1.82	2.63	2.06	3.04	1.98	2.07	2.63	3.04	2.07
2006B	1.82	2.51	2.06	2.14	1.98	1.47	2.51	2.14	1.47
2007	1.67	2.18	2.08	2.71	2.27	2.04	2.18	2.71	2.04
2008	1.37	-	1.86	-	1.68	-	1.37	1.86	1.68
2099B	1.41	1.5	1.3	1.04	1.23	1	1.5	1.4	1
2099C	1.81	-	1.43	-	1.22	-	1.81	1.43	1.22

Tabella 7-7 tabella di sintesi confronto tra i valori ottenuti dalle due analisi condotte e scelta dei FA rappresentativi

La prima parte della tabella mette a confronto i valori ottenuti dall'analisi monodimensionale (colore rosso) e bidimensionale (colore blu) per i tre range di periodi 0.1-0.5, 0.4-0.8 e 0.7-1.1 per ogni singola mops, nella seconda parte della tabella sono indicati i FA scelti per le carte di microzonazione di III livello realizzate.

Per quanto riguarda gli spettri rappresentativi attribuiti alle aree di III livello, di seguito si riportano in forma grafica, mentre i valori numerici, sono inseriti nei file di testo caricati nell'apposita cartella come da protocollo.

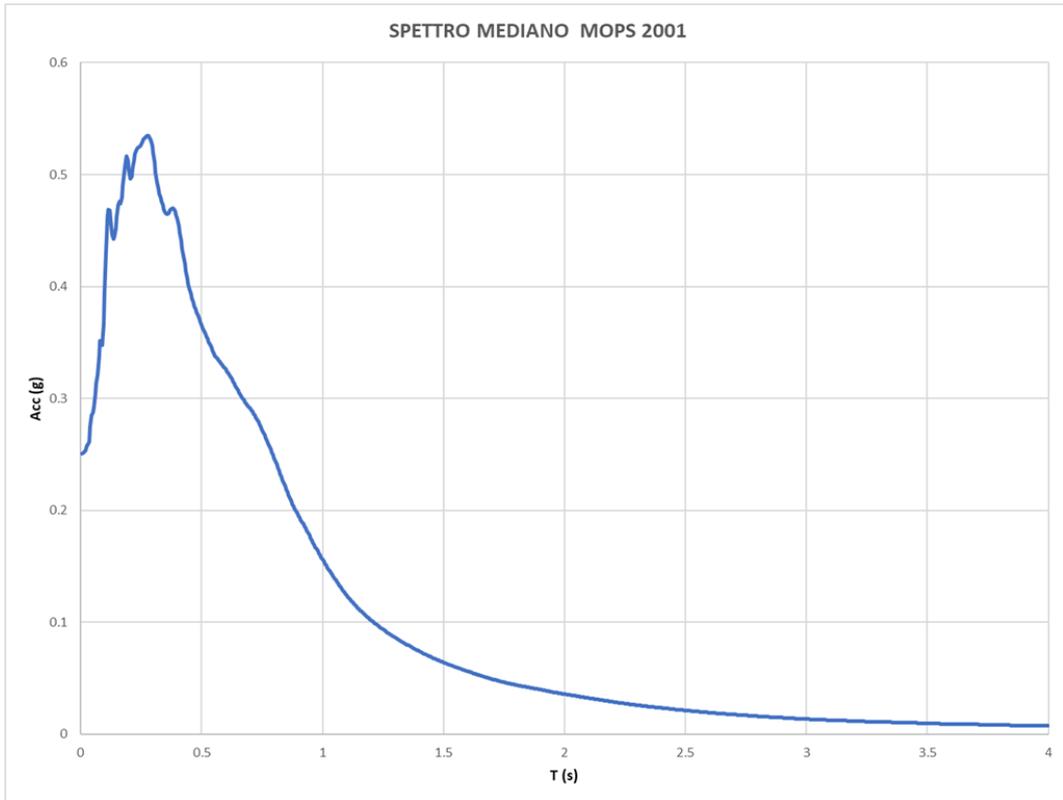


Figura 7-15 Spettro medio MOPS 2001

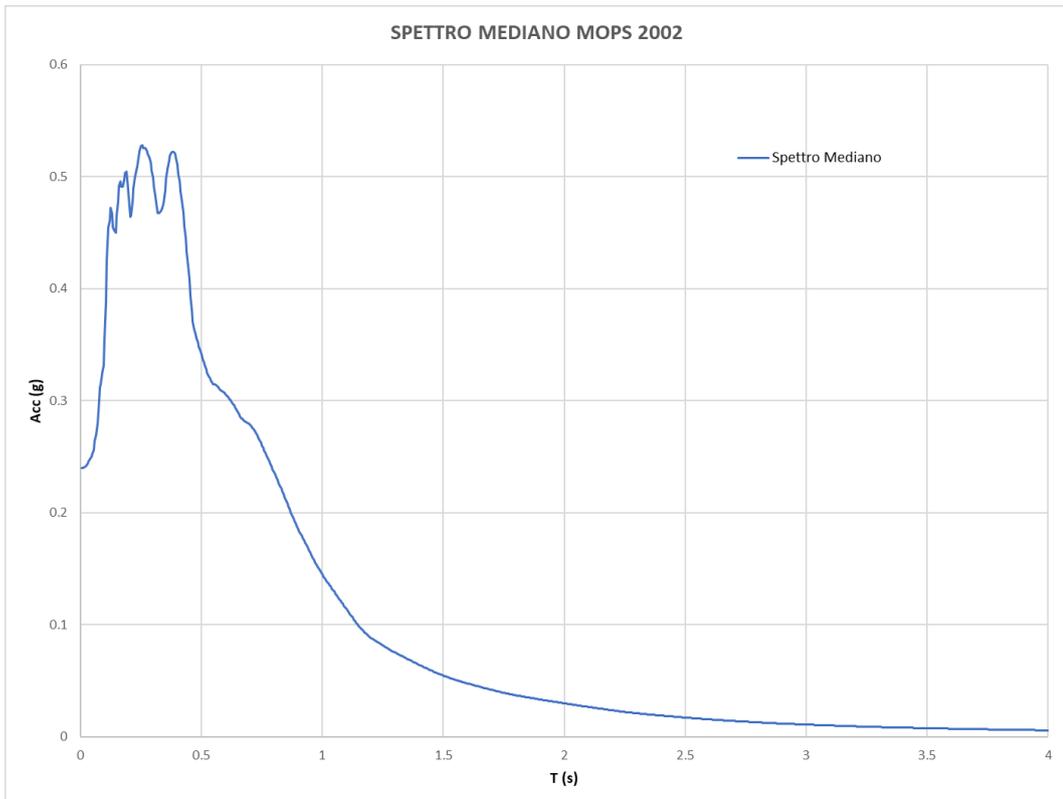


Figura 7-16 Spettro medio MOPS 2002

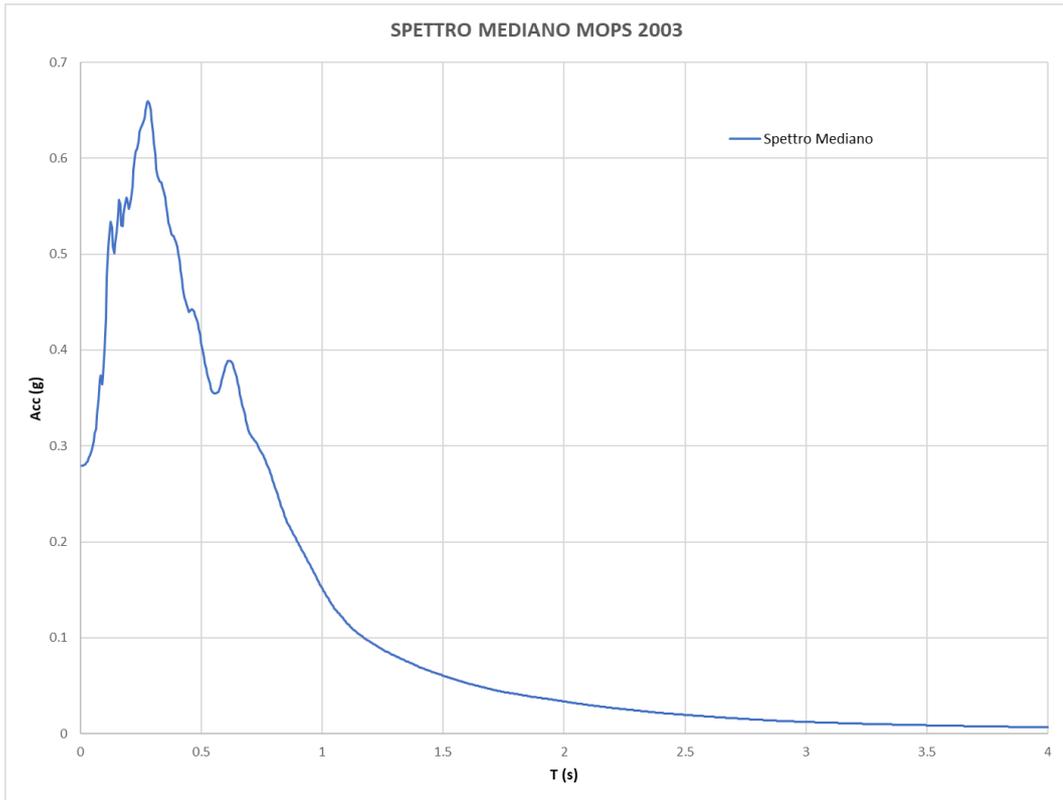


Figura 7-17 Spettro medio MOPS 2003

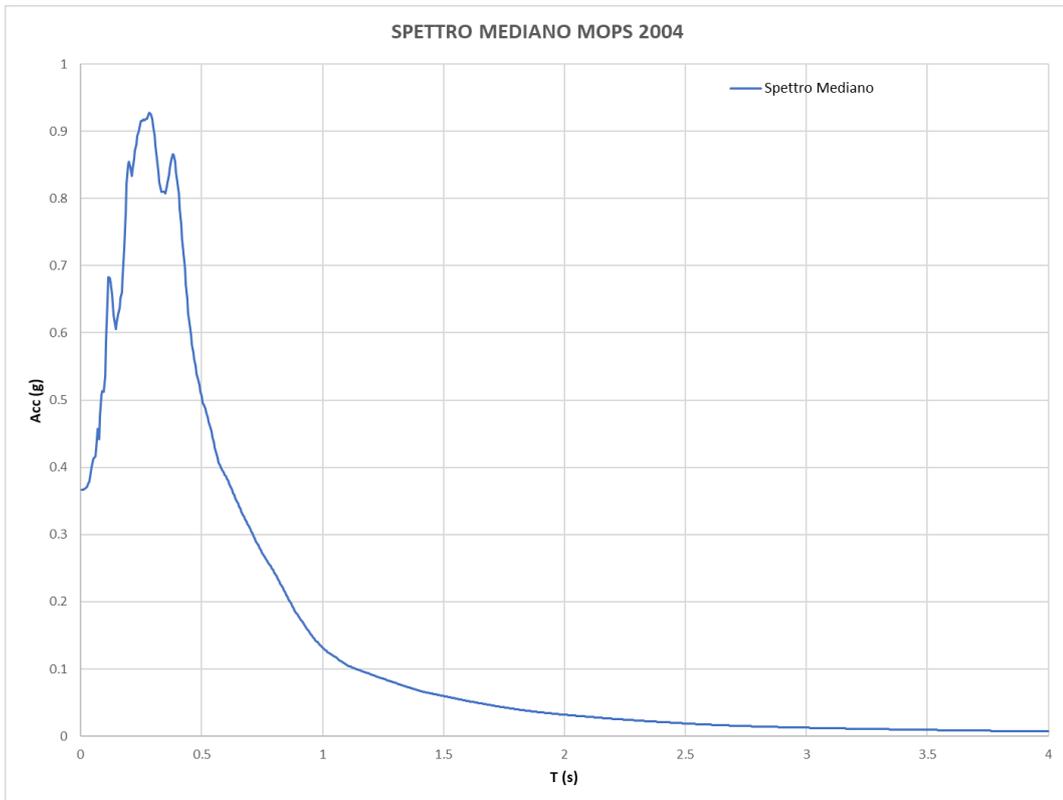


Figura 7-18 Spettro medio MOPS 2004

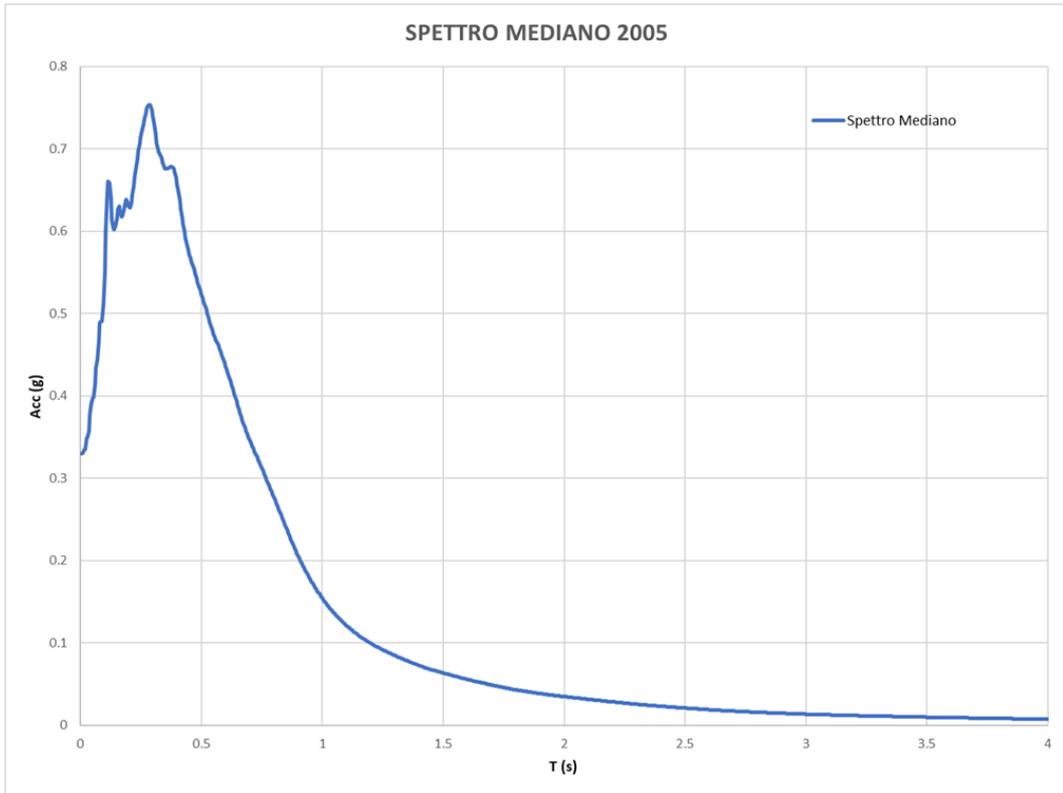


Figura 7-19 Spettro medio MOPS 2005

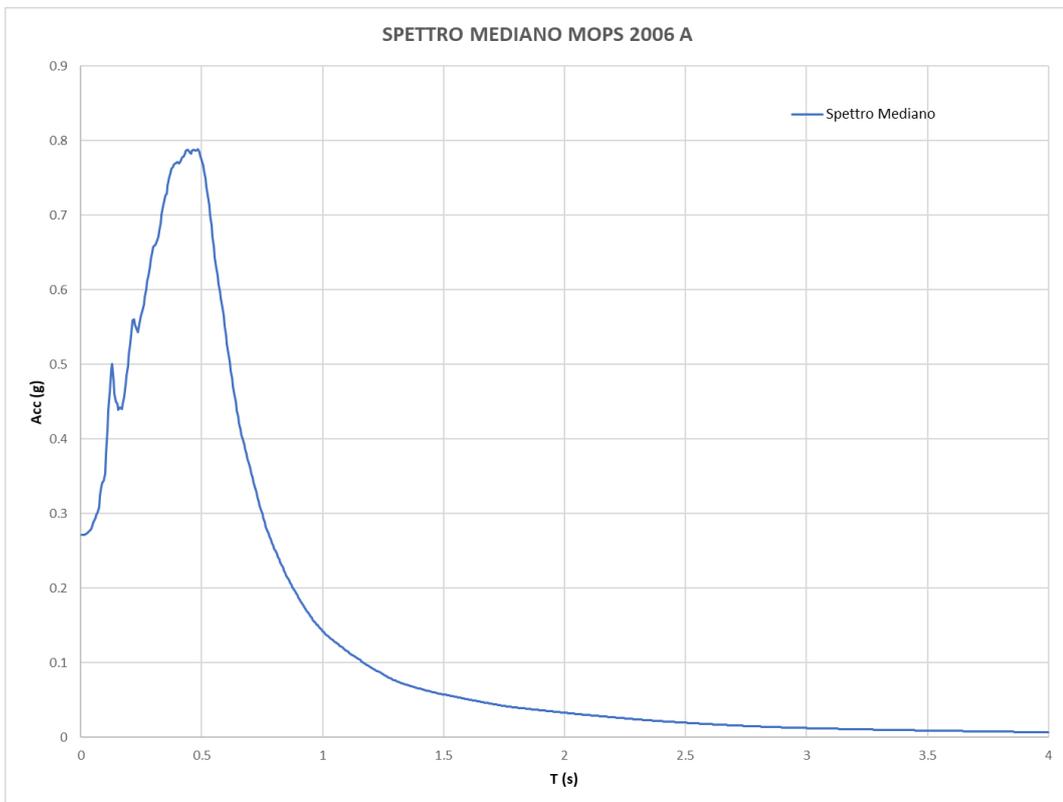


Figura 7-20 Spettro medio MOPS 2006-A

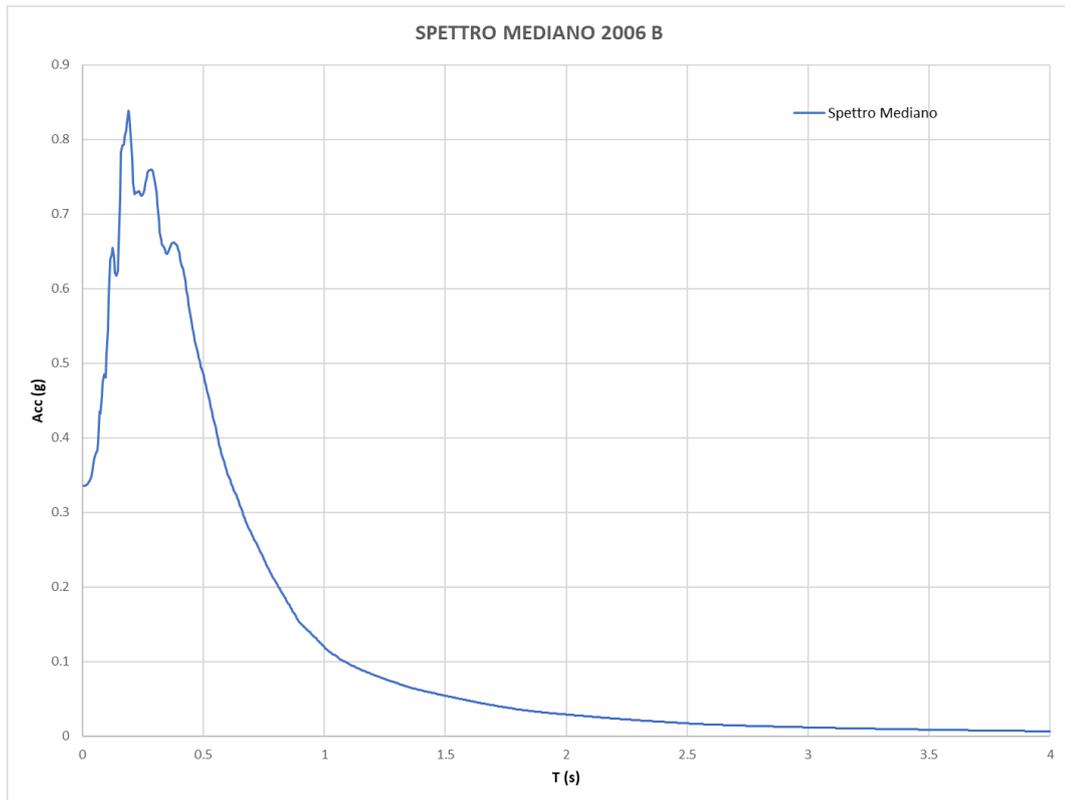


Figura 7-21 Spettro medio MOPS 2006-B

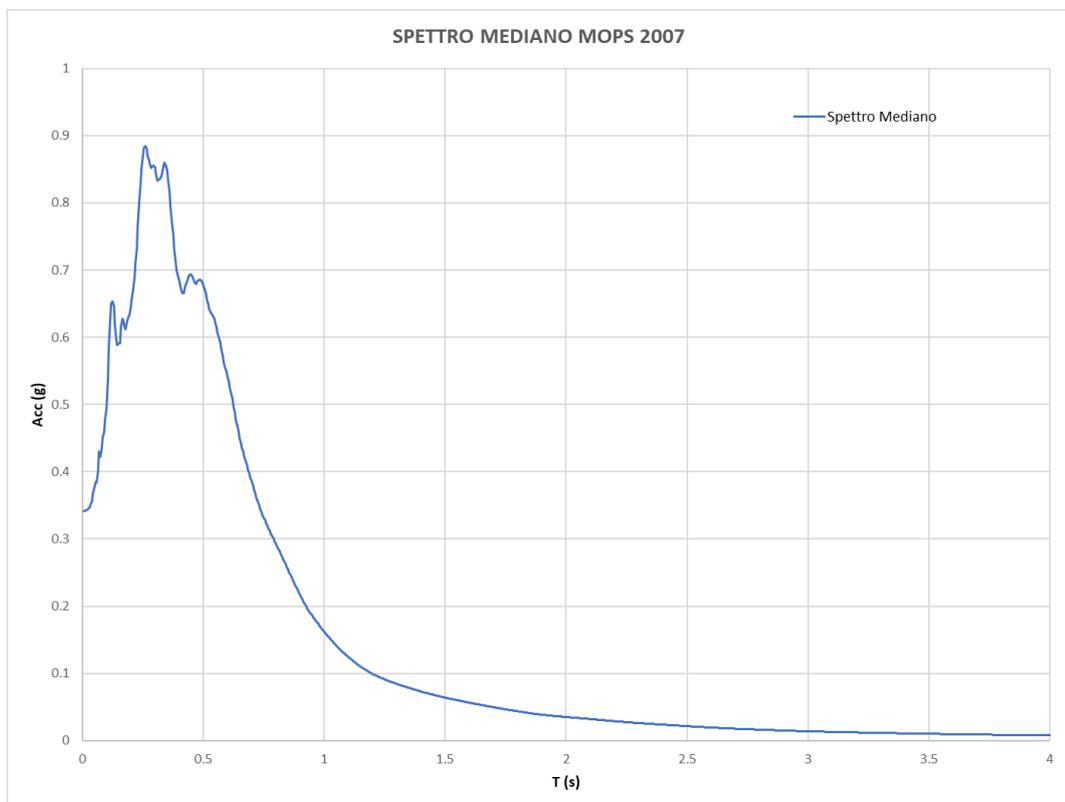


Figura 7-22 Spettro medio MOPS 2007

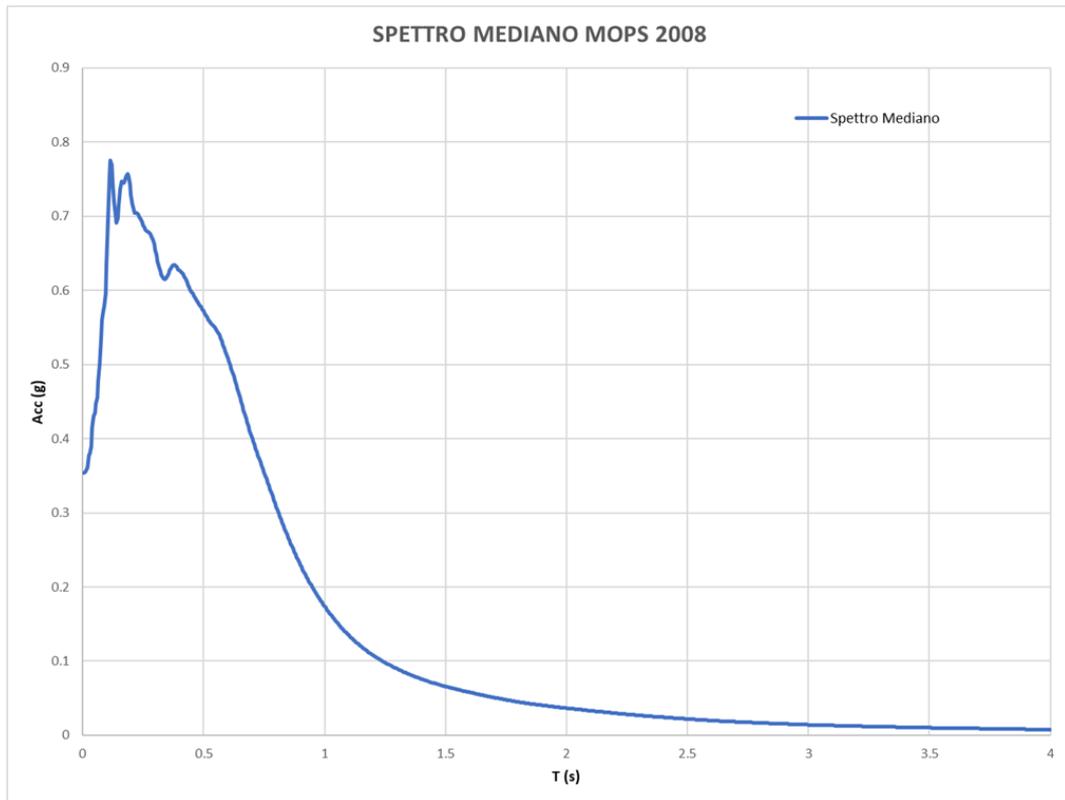


Figura 7-23 Spettro medio MOPS 2008

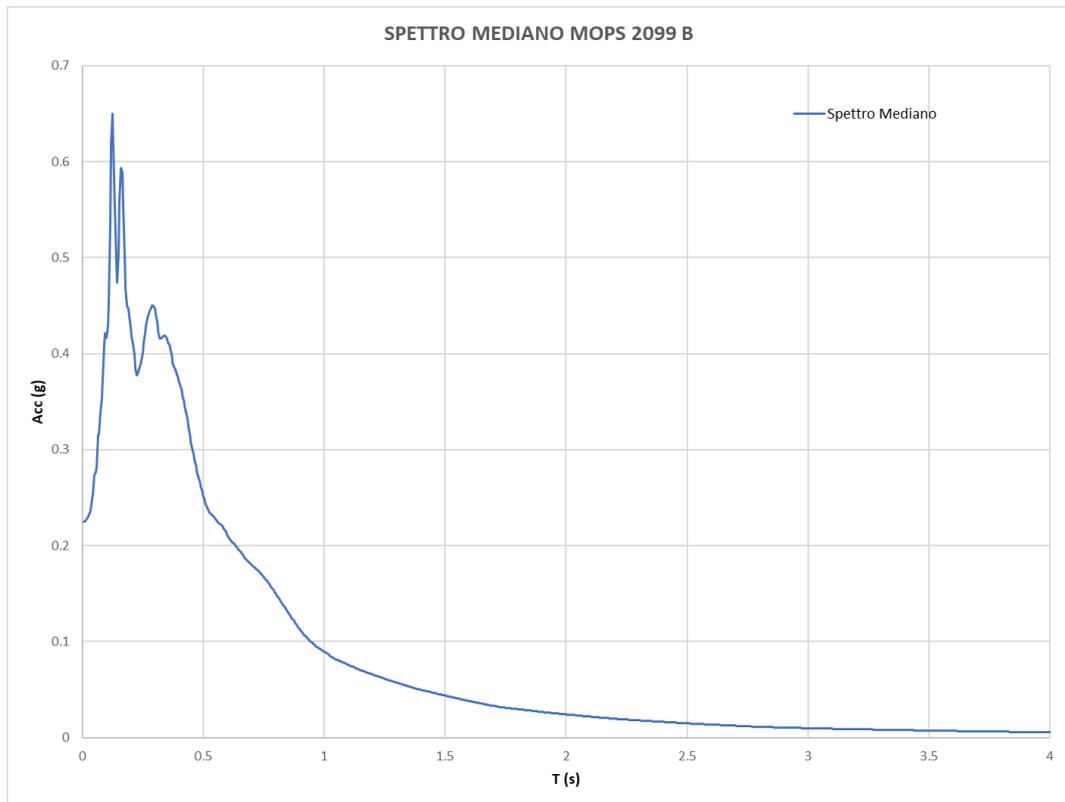


Figura 7-24 Spettro medio MOPS 2009 B

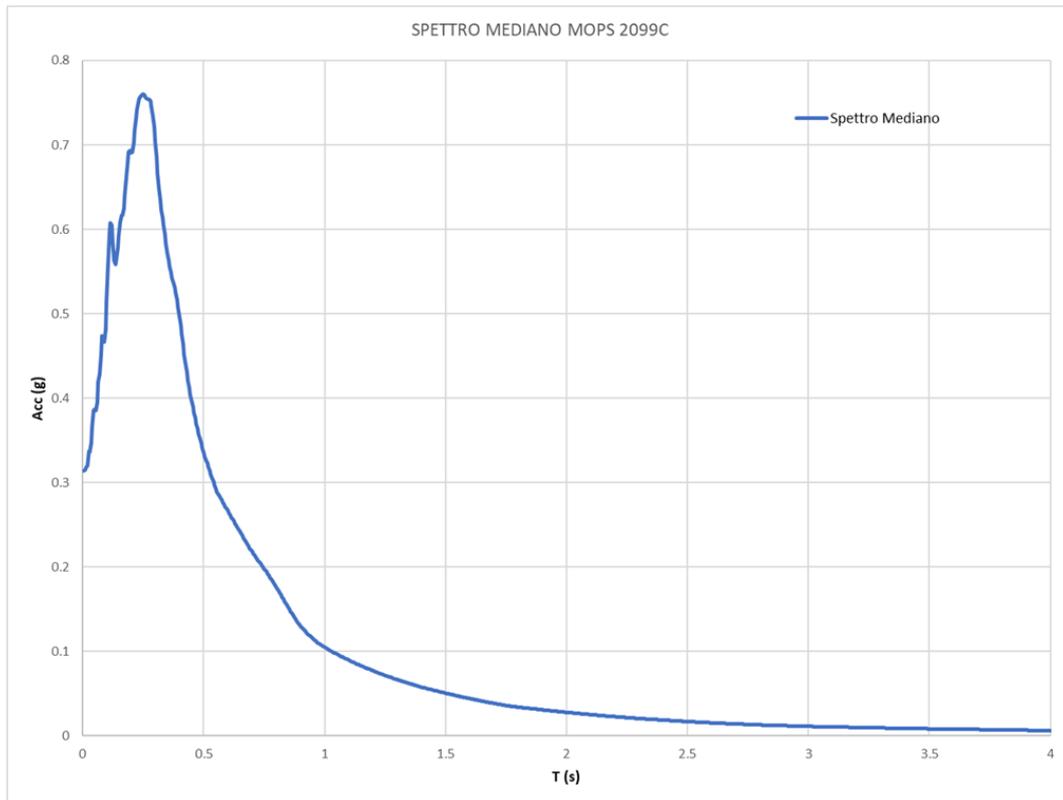


Figura 7-25 Spettro medio MOPS 2009 C

7.5 Zone instabili

7.5.1 Faglie attive e capaci (FAC)

Per l'individuazione di una zona di attenzione da Faglie Attive e Capaci (ZAFAC) devono essere verificate almeno 2 delle condizioni preliminari di seguito citate:

- L'area oggetto di studi MS ricade in area epicentrale di terremoti storici con magnitudo $M_w > 5.5$;
- La letteratura scientifica disponibile riporta la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche (ovvero ultimi 40 ka);
- Sono segnalate evidenze di attività recente delle faglie rilevate sul campo da geologi, durante i rilievi geologico tecnici per la stesura delle carte di MS.

Solo nel livello 3 di microzonazione una ZAFac potrà essere distinta in certa (tipo _ a) ed incerta (tipo _ b) in base ad una valutazione di robustezza e chiarezza degli elementi geologici e geomorfologici ad essa associati.

Tale distinzione dovrà guidare alla scelta e all'applicazione di metodi diagnostici di livello 3, di tipo strettamente paleosismologico, che tuttavia rappresentano un approfondimento degli studi di MS di 3 livello non prescritto nella presenza ordinanza.

7.5.1.1 Analisi dei dati

Dall'analisi della letteratura e bibliografia esistente nonché dall'esame del Database delle faglie capaci-sismogeniche d'Italia "ITHACA" – ISPRA – del Servizio Geologico d'Italia", non è emersa la presenza di lineazioni tettoniche attive in grado di generare eventi sismici inoltre dal rilevamento geologico, geomorfologico e strutturale eseguito, non sono emerse sul territorio del Comune di Lacco Ameno segni riconducibili alla presenza di faglie attive e capaci tantomeno faglie potenzialmente attive e capaci

7.5.2 Liquefazione dei terreni

Le "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LIQ), versione 1.0" (Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica 2018) riprendono, modificandole in parte, le indicazioni di AGI, 2005 e NTC, 2018 nelle quali vengono indicate le seguenti condizioni predisponenti lo sviluppo dei fenomeni di liquefazione:

- 1. nella successione litologica sono presenti orizzonti di terreni non coesivi saturi (limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose, sabbie argillose e ghiaie sabbiose) ad una profondità inferiore a 20 m dal p.c.;
- 2. la falda acquifera deve essere ad una profondità media stagionale inferiore a 15 m dal p.c.;
- 3. gli eventi sismici attesi al sito devono essere caratterizzati da valori magnitudo $M_w \geq 5$ ($I_{rif} \geq VII$) e da un'accelerazione di picco in superficie del segnale di riferimento $a_{max} \geq 0.1 g$ ($IMCS \geq VII$).

Se sono verificate queste tre condizioni allora si rappresenta una ZAlq nel livello 1 di MS.

Nella Carta di MS di Livello 3 è necessaria una raccolta dati specifica e possono essere applicati metodi di analisi il più delle volte semplificati, al fine di produrre stime quantitative della pericolosità da liquefazione. Il parametro che permette di discriminare una ZSlq da una ZRlq è l'Indice di potenziale di Liquefazione medio "IL" (Iwasaki et al., 1982).

Nel caso in cui l'indice $IL > 15$ allora si procederà con livelli avanzati che si basano su analisi 1D o 2D della RSL.

Verificate le altre condizioni necessarie, esistono diverse metodologie per il calcolo della magnitudo M_w da utilizzare per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione.

Sono stati applicati due metodi classici di calcolo della M_w utili alla valutazione della suscettibilità alla liquefazione:

- Massima magnitudo dal catalogo DBMI 11
- Massima magnitudo delle zone sismogenetiche e disaggregazione (GdL MS, 2008)
- Per quel che riguarda la Magnitudo massima dal catalogo DBMI 11, si può far riferimento al terremoto del 1883 (Figura 7-27, Tabella 7-8)

7.5.2.1 Analisi dei dati

La zonazione sismogenetica utilizzata in queste analisi è la ZS9 (INGV, 2006). In particolare, per la zona sismogenetica ZS 928 in cui ricadono i tre comuni di Forio, Lacco Ameno e Casamicciola Terme (Tab. 7.2), è indicato un valore massimo di Magnitudo Max di 5.91 (Linee guida per la liquefazione, pag. 31).

In Tab. 7.3 sono riportati i valori medi e modali di Magnitudo e distanza proposti per i comuni di Forio, Lacco Ameno e Casamicciola Terme estratti dall'allegato "Comuni_MR" del CD-ROM allegato a GdL MS (2008).

A queste stime si è aggiunto il calcolo di coppie M-D basato su valutazioni della pericolosità media INGV (Figura 7.16A).

Infine, è stato poi applicato un metodo originale, utilizzando i dati ottenuti dall'implementazione del codice SASHA (D'Amico e Albarello, 2008). Questo codice è in grado di compiere una specifica "analisi di disaggregazione" volta ad identificare gli eventi sismici del passato più rappresentativi della pericolosità locale (Albarello, 2012). Il codice fornisce per ciascuna località capoluogo comunale i valori delle intensità macrosismiche caratterizzate da una fissata probabilità di eccedenza in un fissato tempo di esposizione (Irif) e identificando quegli eventi storici che hanno maggiormente contribuito alla definizione di questa pericolosità. Fra questi viene infine selezionato quell'evento che ha fornito il maggiore contributo per l'intensità Irif indicandone la magnitudo macrosismica e la distanza epicentrale così come riportate dal catalogo sismico di riferimento.

I dati indicati nell'Allegato alle linee guida per la liquefazione sono riportati in Fig.7.17

Per completezza e allo scopo di fornire un utile confronto con tutti i dati disponibili, anche i valori delle coppie M-D del terremoto verificatosi il 21 agosto 2017 con epicentro a Casamicciola Terme sono riportati (Tab. 7.8.)

7.5.2.2 Risultati

Per le zone di instabilità per liquefazione è possibile ottenere gli scenari di Figura -26 nella quale, oltre ai punti rappresentativi dei singoli scenari, sono riportate le curve di Seed et al. 1984 e Galli (2000).

Le metodologie proposte non contemplano uno dei parametri più importanti nella definizione della suscettibilità alla liquefazione, ovvero la durata dello scuotimento.

Va inoltre osservato che la magnitudo massima di un catalogo storico comporta che la scelta sia completamente deterministica. Inoltre, la maggior parte delle magnitudo riportate nei cataloghi derivano da conversioni empiriche IMCS-M e, dunque, possono presentare delle incertezze proprie di queste trasformazioni.

Infine, la Mw stimata dalla zonazione ZS9 e dalla disaggregazione risente dell'incertezza della zonazione stessa e vista l'estensione areale delle zone ZS9 (denominata Ischia – Vesuvio), la Mw può essere sovrastimata.

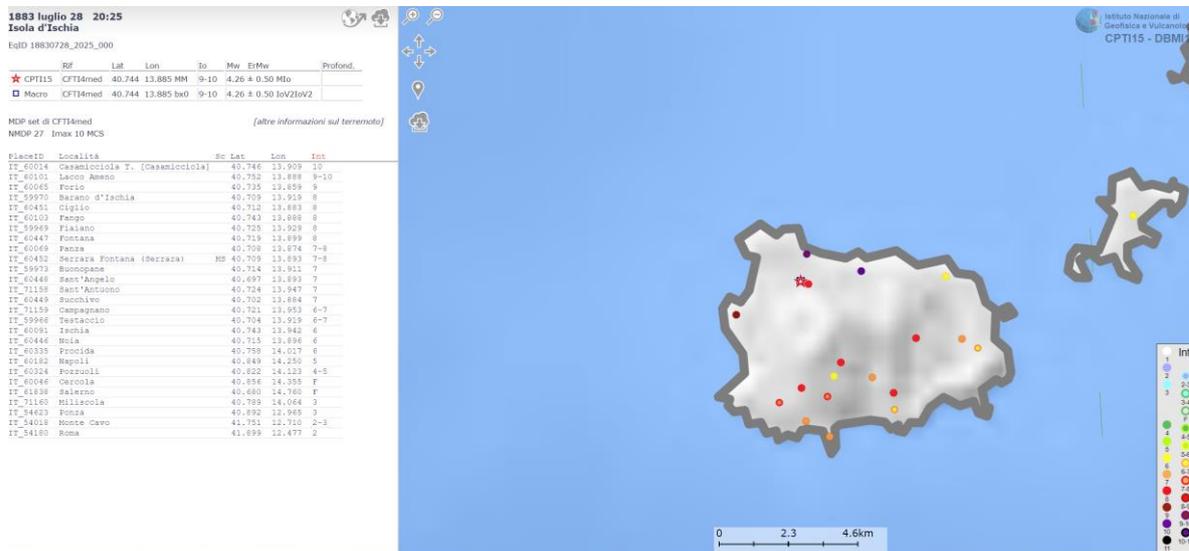


Figura 7-27 Intensità macrosismiche stimate per il terremoto del 1883 luglio 28 per l'Isola di Ischia (fonte: https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/eq/18830728_2025_000; Rovida et al., 2016)

Magnitudo massima Catalogo DBMI 11	
CPTI (2015): IMCS Max= 10	Mw Max= 4.26
https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/	

Tabella 7-8 Magnitudo massima stimata da DBMI11 per il terremoto del 1883 luglio 28. Valore estratto dalla Figura 7-16.

Magnitudo massima da zona sismogenetica (Linee guida liquefazione)
MwMAX per l'isola di ISCHIA= 5.91

Tabella 7-9 Magnitudo massima da Linee guida liquefazione.

Magnitudo metodo della disaggregazione (Allegato a ICMS2008)

CodIstat	Comune	DentroVicino	Mmedia	Rmedia	Mmoda	Rmoda
15063019	Casamicciola Terme	V	4.9	8	4.75	5
15063038	Lacco Ameno	V	4.9	8	4.75	5
15063031	Forio	D	4.9	8	4.75	5

Tabella 7-10 Magnitudo medie e modali per i tre comuni dell'isola di Ischia oggetto dell'Ordinanza n.1 del 27 novembre 2018.

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.9	7.6	0.699

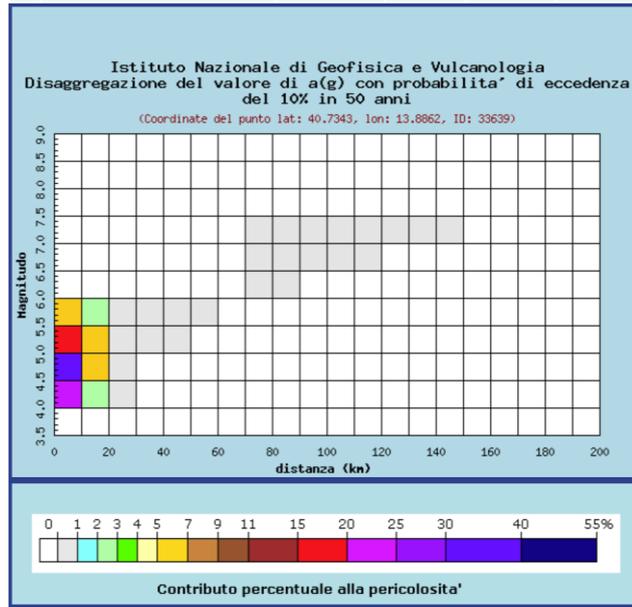


Figura 7-28 A - Valori medi disaggregazione INGV per il comune di Lacco Ameno (disponibile al sito web: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

Metodo Originale (da codice SASHA)				
	Nfelt	Irif	Mrif	Drif
Casamicciola	22	10	5.79	2
Lacco Ameno	22	10	5.79	1
Forio	6	9	5.79	2

Tabella 7-11 Magnitudo massima da codice SASHA (D'Amico e Albarello,2008).

Terremoto 21 agosto 2017

Mw 3.9

Comune	Provincia	Distanza (km)
Casamicciola Terme	NA	1
Lacco Ameno	NA	2
Serrara Fontana	NA	3
Forio	NA	3
Barano d'Ischia	NA	3
Ischia	NA	4
Procida	NA	11
Monte di Procida	NA	15
Bacoli	NA	17

Tabella 7-12 Magnitudo del terremoto e distanze per alcune località dell'isola di Ischia (Azzaro et. al., 2017).

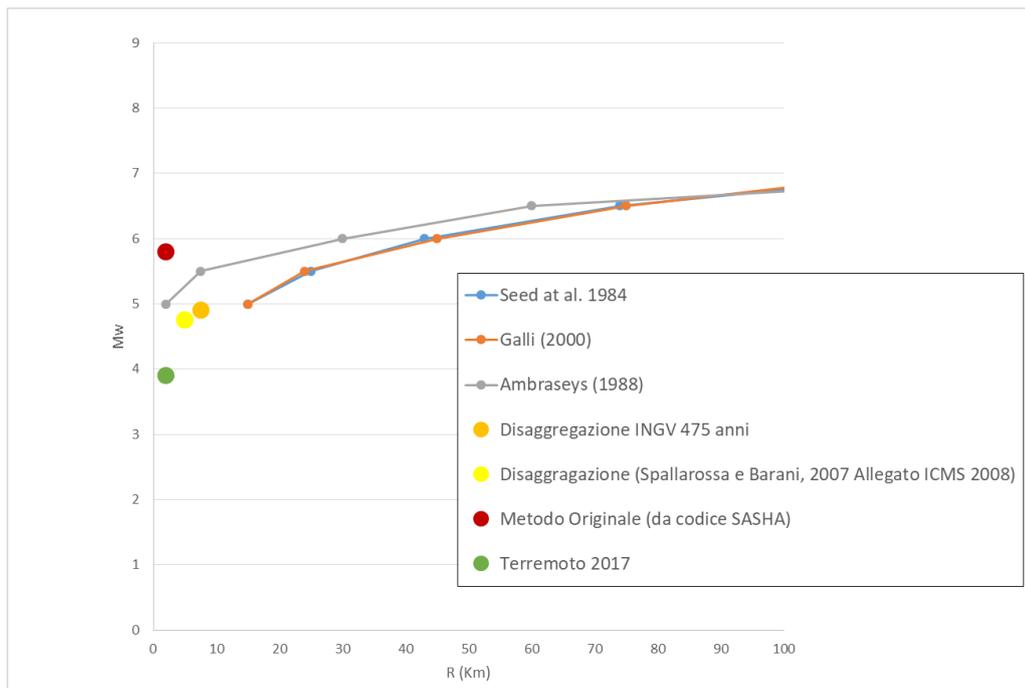


Figura 7-29 Applicazione delle linee guida relative alle instabilità per liquefazione (Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica 2018). I punti sono rappresentativi delle coppie M-D più cautelative con riferimento ai tre comuni dell'isola di Ischia

Per tutte le motivazioni qui elencate, vista l'incertezza e la sovra-semplificazione del metodo per la verifica della suscettibilità alla liquefazione, l'applicazione delle linee guida relative alla liquefazione nei tre comuni dell'isola di Ischia oggetto dell'Ordinanza n.1 del 27 novembre 2018 conduce alla scelta di non definire nella carta delle MOPS zone di attenzione per liquefazione, se non per una limitata area costiera di Lacco Ameno oggetto in passato di verifiche più dettagliate.

Sull'area in questione, ricadente in corrispondenza della spiaggia della Baia di San Montano, è stata condotta la verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione attraverso tre differenti metodologie. In tutti i casi i risultati hanno mostrato che tali terreni risultano suscettibili alla liquefazione fino ad una profondità di circa 12 m dal locale p.c. (profondità massima investigata da prove con prove specifiche).

Si rimanda a ulteriori approfondimenti da effettuarsi anche previa esecuzione di nuove indagini e test di laboratorio nelle aree indicate qui di seguito Figura 7-30

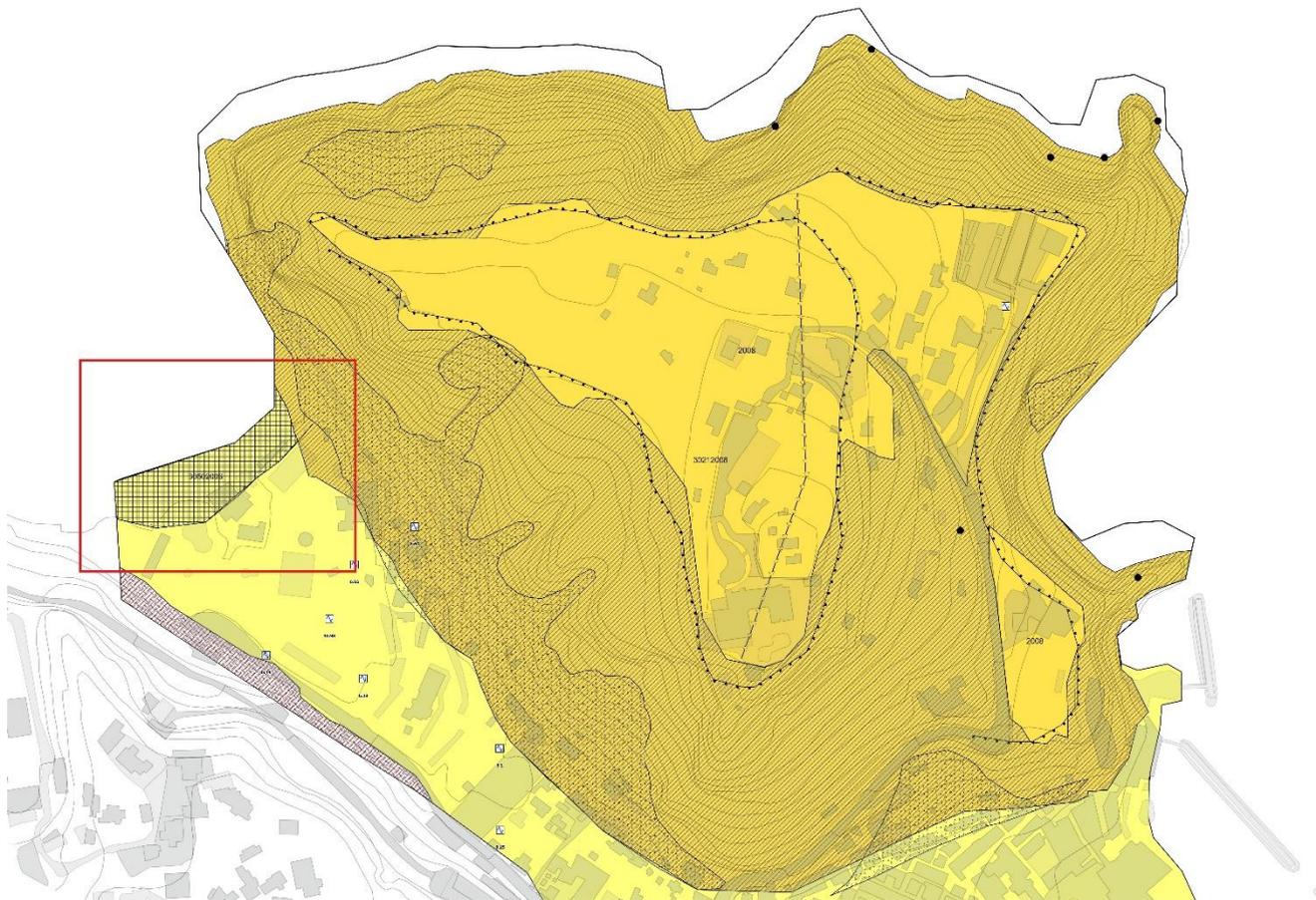


Figura 7-31 Quadro d'insieme delle aree necessarie di approfondimento per le verifiche a liquefazione.

7.5.3 Instabilità di versante

La Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica ad integrazione degli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” – (GdL MS, 2008) ha individuato dei metodi per lo studio delle Instabilità di versante sismo-indotte e le Liquefazioni.

L’obiettivo principale delle linee guida è definire criteri generali e procedure operative per amministratori e pianificatori, in coordinamento tra lo Stato, le Regioni e gli Enti Locali, al fine di raccogliere informazioni su tali effetti per mitigare i rischi derivati o indotti nelle aree edificate o con previsioni di trasformazione, fornendo carte da utilizzare come strumenti di pianificazione e gestione del territorio.

Per lo studio delle instabilità sismo-indotte sono presenti tre livelli di approfondimento che permettono di individuare le seguenti tre zone: zona di attenzione (ZA), zona di suscettibilità

(ZS) e zona di rispetto (ZR).

Lo schema illustrativo, applicabile a tutte le principali instabilità sismo-indotte, che sintetizza le attività, i risultati attesi e il tipo di zona di instabilità nell’ambito dei diversi livelli di approfondimento degli studi di MS è mostrato in Figura 7.2.1.

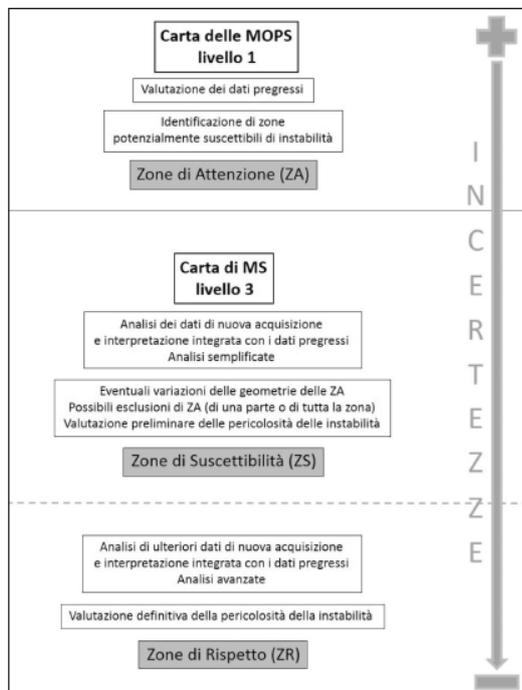


Figura 7-32 Schema illustrativo applicabile a tutte le principali instabilità sismoindotte che sintetizza le attività, i risultati attesi e il tipo di zona di instabilità nell’ambito dei diversi livelli di approfondimento degli studi di MS.

Nelle “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR), versione 1.0” (2017) vengono inoltre riportate con maggior dettaglio le procedure per lo studio delle instabilità di versante e le loro delimitazioni.

L’individuazione delle ZAfr, nel Livello 1 di MS, viene perseguita utilizzando gli elementi informativi minimi. Si ricercano le segnalazioni di aree in frana o potenzialmente franose in inventari esistenti (PAI/IFFI), si stabilisce la presenza e/o l’accadimento di eventuali fenomeni in occasione di eventi sismici passati e si esegue un confronto con i litotipi riportati nella Carta Geologico Tecnica ed eventuali dati pregressi raccolti durante lo studio di MS di livello 1. Tra gli elementi informativi minimi che forniscono le informazioni di base vanno annoverati anche gli elementi geomorfologici.

Con riferimento allo studio oggetto della relazione, la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS) e la carta Geologico – Tecnica sono state redatte includendo tutti i dati pregressi, presenti in letteratura o in database consultabili, definiti “elementi informativi minimi” che sono elementi necessari alle verifiche delle condizioni predisponenti le instabilità cosismiche definiti al capoverso precedente. Nell’identificazione e definizione delle “Zone di Attenzione (ZA) per le instabilità” nella Carta delle MOPS sono stati

inoltre consultati anche i database IFFI della provincia di Napoli, ovvero i "Dati contenuti nel sistema informativo del Progetto IFFI, realizzato in esecuzione della Convenzione 18/01/2001 tra Regione Campania e Servizio Geologico Nazionale (ora ISPRA)", disponibile al sito: <http://www.difesa-suolo.regione.campania.it/content/view/64/1>, e i Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino meridionale, trasmessi dalla Regione Campania Direzione Generale dei LL.PP. (nota prot. 0251089 del 05/04/2017) all'Autorità di Bacino distrettuale, ai sensi dell'attribuzione degli elaborati dei vigenti Piani di Assetto Idrogeologico – Rischio da frana e Rischio Idraulico (G.U. n 27 del 02/02/2017 del D.M. 25 ottobre 2016).

Negli studi di livello 3 di MS, per la realizzazione della Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS) la definizione degli "elementi informativi specifici" su cui si basano le metodologie di analisi degli spostamenti cosismici è finalizzato a definire con metodi semplificati e/o avanzati: le "Zone di Suscettibilità (ZS) per le instabilità" e le "Zone di Rispetto (ZR) per le instabilità".

Per lo studio di dettaglio delle instabilità di versante al Livello 3, è necessario dunque procedere con i seguenti step: i) acquisire dati specifici, derivanti da indagini di sito e di laboratorio e valutare la possibilità di mobilitazione del versante ipotizzando una forzante sismica specifica per l'area in esame; ii) distinguere se si tratta di frane in terra o di frane in roccia, cioè se coinvolgono rispettivamente pendii in terreni coerenti ed incoerenti oppure ammassi rocciosi fratturati e iii) scegliere un metodo, semplificato e avanzato, che permetta di stimare l'ordine di grandezza degli spostamenti massimi attesi e determinare in questo modo il tipo di zona (ZSfr o ZRfr).

Nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR), versione 1.0" (2017), sia nel caso della determinazione delle ZSfr sia delle ZRfr si fa riferimento alle linee guida AGI (2005), nelle quali sono esposte le procedure semplificate o avanzate da adottare a seconda dell'analisi degli spostamenti calcolati/aree di accumulo se coinvolgono o meno le aree urbanizzate o urbanizzabili.

Per le frane in roccia i metodi semplificati utilizzati per il calcolo degli spostamenti attesi (runout distance) e per definire le ZSfr sono:

- metodo del cono d'ombra (Evans e Hungr, 1993)
- height fuction model (Keylock e Domaas, 1999)
- α - β model (Heim, 1932e Korner, 1980)
- runout ratio model (McClung e Lied, 1987)

- simple dynamics rockfall model (Kirkby e Statham,1975).
- metodo dell'angolo di inclinazione del versante (Onofri e Candian, 1979)

Per le frane in terra l'analisi semplificata adottata per il calcolo degli spostamenti attesi e per individuare le ZSfr è quella di Newmark (1965) su pendio infinito.

Per la definizione delle ZRfr i metodi da utilizzare prevedono le analisi sforzi-deformazioni, condotte secondo AGI (2005) e circolare esplicativa NTC (2008). Tali analisi avanzate sono comunemente eseguite con tecniche di integrazione numerica, agli elementi o alle differenze finite, implementate in codici di calcolo commerciali.

Tuttavia, con riferimento ai tre comuni dell'isola di Ischia, il disciplinare di incarico afferma che le zone di instabilità rimangono definite zone di attenzione (ZAfr) anche nel livello3 di analisi e quindi non devono essere caratterizzate da un fattore di amplificazione nella carta di livello 3. Ciò si rende opportuno vista la necessità di eseguire indagini specifiche e approfondimenti ulteriori per la caratterizzazione dei terreni che definiscono i pendii.

Ricadendo alcune di queste zone lungo le sezioni 2D sottoposte a modellazione numerica della risposta sismica locale, essendo alcune aree in ZAfr densamente edificate e danneggiate dal recente sisma, si è ritenuto comunque opportuno restituire solo in relazione, anche per questi poligoni, il calcolo del fattore di amplificazione. Il fattore di amplificazione è stato comunque immagazzinato negli opportuni campi FA dello shapefile "Instab", ma senza procedere all'analisi tipica del terzo livello (mantenendo vuoti i campi FRT, IL, DISL).

7.5.3.1 Analisi dei dati

Le aree caratterizzate da un livello di pericolosità da frana R3 e R4 secondo la classificazione PAI sono state incluse nello shapefile "Instab" senza modifica dei perimetri relativi, così come individuato dai "Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III nei territori dei Comuni dell'isola di Ischia interessati dall'evento sismico del 21 agosto 2017".

Per le aree in frana segnalate nel database IFFI è stata effettuato lo screening di cui al paragrafo 7.2.3. In particolare, la metodologia con cui individuare le aree ove sia possibile escludere l'attivazione di frane sismo-indotte si basa su specifici parametri, ovvero coppie Magnitudo M – Distanza D e si articola nei due passaggi seguenti:

- 1) disaggregazione della pericolosità sismica, effettuata prendendo in riferimento tre fonti di dati differenti: i) INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>; vedasi anche la Figura 5.2.2); ii) Barani et al., 2009 (Allegati a Gdl MS, 2008, vedasi anche la Tabella 7-3) ; iii) Iervolino et al. 2009, (REXEL);
- 2) confronto degli scenari M-D con i valori di soglia derivati da Keefer (1984).

Nel caso in esame, sono stati determinati i valori di scenario rappresentativi dello scuotimento calcolato per valori del tempo di ritorno di 475anni.

Il codice di calcolo REXEL è stato utilizzato per la definizione dei valori di coppie M-D per ordinate spettrali diverse da Sa (T=0s). In particolare, sono state estratte per: PGA =Sa (T= 0s); Sa (T= 0.5s); Sa (T=1 s); Sa (T= 1.5s).

Per le aree in frana segnalate nel database IFFI è dunque possibile ottenere gli scenari di Figura 7-21 nella quale, oltre ai punti rappresentativi dei singoli scenari, sono riportate le curve di Keefer disponibili per tre differenti cinematismi: frane di crollo, frane di scorrimento laterale e frane in materiale coesivo. La curva che presenta valori di M più bassa a parità di distanza epicentrale è quella per le frane da crollo.

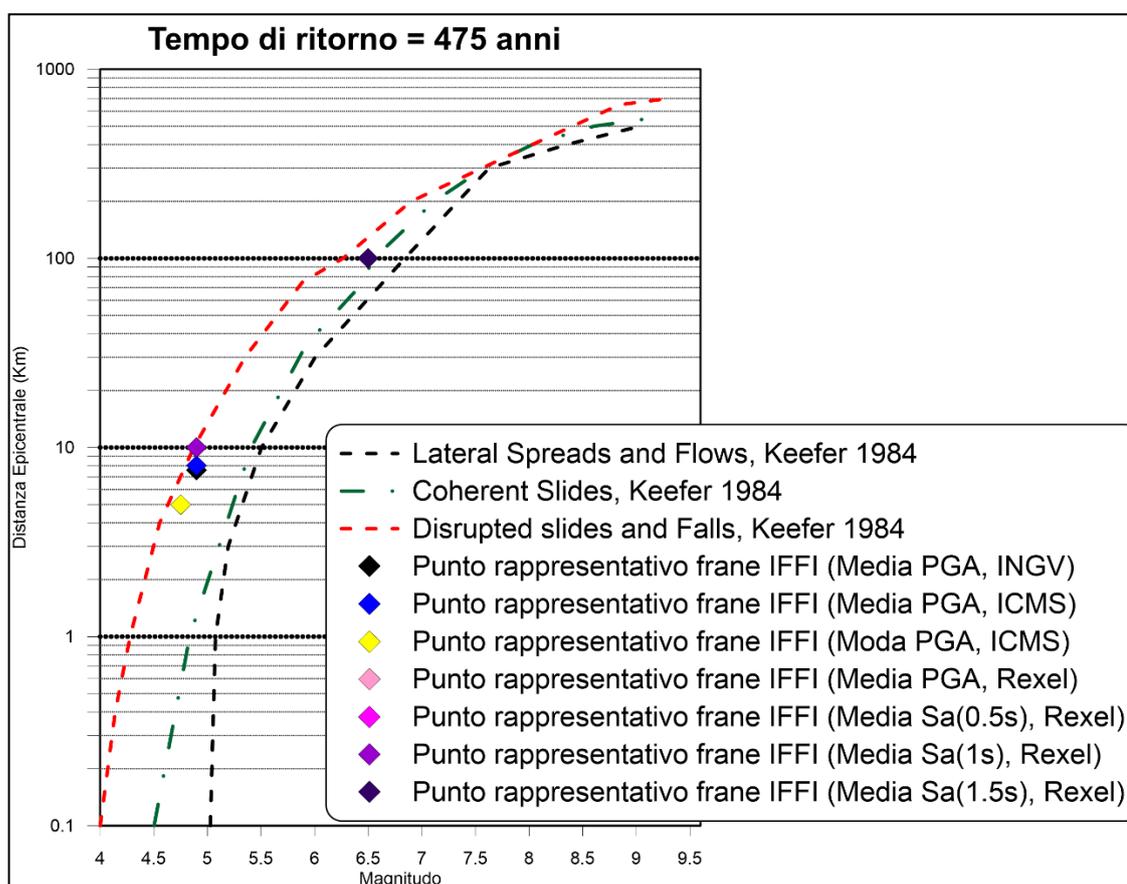


Figura 7-33 Applicazione delle linee guida relative alle instabilità di versante (Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica, 2017) con riferimento ai tre comuni dell'isola di Ischia

7.5.3.2 Risultati

L'applicazione della metodologia summenzionata ha permesso di escludere le aree IFFI che, pur essendo in frana, non risultano sismo – inducibili.

In particolare, l'analisi effettuata giustifica, secondo un criterio oggettivo, la scelta di non mantenere nella carta delle MOPS le zone di attenzione per frane IFFI quiescenti da scorrimento. Queste ultime sono state perimetrare solo in carta geologico - tecnica CGT e sono state rappresentate nella carta di Livello 3 anche in termini di Fattore di Amplificazione FA e

spettri (sono state considerate aree stabili suscettibili di amplificazione).

Viceversa, l'applicazione delle linee guida nel caso di frane IFFI attive da crollo comporta la loro rappresentazione come zona di instabilità anche nella carta delle MOPS (zone di attenzione). In questo caso, al poligono relativo nella carta di livello 3 non sono stati associati valori di FA, i quali sono stati comunque riportati in relazione, essendo l'area densamente edificata o danneggiata dal recente sisma.

8 Descrizione degli elaborati cartografici

8.1 Carta delle indagini (CI)

Per lo studio di microzonazione sismica di livello 3 del comune di Lacco Ameno ci si è avvalsi dei dati provenienti dalle “indagini geofisiche pregresse” forniteci dal gruppo di supporto, necessarie alla definizione di un quadro generale degli aspetti geologici superficiali e profondi. Successivamente è stato definito il piano delle indagini di nuova esecuzione. Tra le indagini pregresse sono incluse anche quelle fornite dall’Ufficio Tecnico del Comune di Lacco Ameno.

L’acquisizione delle indagini realizzate ex novo è stata realizzata nel Febbraio 2019 ed ha avuto la finalità di calibrare le aree già indagate nella precedente campagna

La campagna di indagini pregresse, eseguite dal gruppo di lavoro CNR-IAMC per il comune di Lacco Ameno, è stata caratterizzata, come già citato nel paragrafo 4.1, dall’esecuzione di:

- n. 51 misure di rumore ambientale (HVSr)
- n. 22 Indagini sismiche di tipo MASW
- n. 4 profili di tomografia elettrica di resistività
- n. 1 profilo di sismica a rifrazione SR

Le indagini messe a disposizione dall’Ufficio Tecnico Comunale, invece, consistono in:

- 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, di cui n.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo realizzato dalla Dott.ssa Geol. Iannotta Alessia.

Mentre, per le indagini ex-novo, come indicato nel piano delle indagini, sono stati realizzati:

- n.1 sondaggio geognostico alla profondità di 50 metri condizionato a Down-Hole
- n. 27 misure di rumore ambientale trattate con la tecnica HVSr
- 12 indagini sismiche MASW.

Di seguito si riportano le tabelle riassuntive per tipologia e quantità di indagine sia pregresse sia *ex-novo*:

Numero indagine	ID Indagine	Tipo indagine
9	063038P9	HVSr
10	063038P10	HVSr
11	063038P11	HVSr
12	063038P12	HVSr
13	063038P13	HVSr
14	063038P14	HVSr
15	063038P15	HVSr
16	063038P16	HVSr
17	063038P17	HVSr
18	063038P18	HVSr
19	063038P19	HVSr

20	063038P20	HVSR
21	063038P21	HVSR
22	063038P22	HVSR
23	063038P23	HVSR
24	063038P24	HVSR
25	063038P25	HVSR
26	063038P26	HVSR
27	063038P27	HVSR
28	063038P28	HVSR
29	063038P29	HVSR
30	063038P30	HVSR
31	063038P31	HVSR
32	063038P32	HVSR
33	063038P33	HVSR
34	063038P34	HVSR
35	063038P35	HVSR
36	063038P36	HVSR
37	063038P37	HVSR
38	063038P38	HVSR
39	063038P39	HVSR
40	063038P40	HVSR
41	063038P41	HVSR
42	063038P42	HVSR
43	063038P43	HVSR
44	063038P44	HVSR
45	063038P45	HVSR
46	063038P46	HVSR
47	063038P47	HVSR
48	063038P48	HVSR
49	063038P49	HVSR
50	063038P50	HVSR
51	063038P51	HVSR
52	063038P52	HVSR
53	063038P53	HVSR
54	063038P54	HVSR
55	063038P55	HVSR
56	063038P56	HVSR
57	063038P57	HVSR
58	063038P58	S
59	063038P58	SC
60	063038P58	SPT
67	063038P59	S
72	063038P59	SC
75	063038P59	SPT
78	063038P60	S
82	063038P60	SC
85	063038P60	SPT
88	063038P61	S
96	063038P61	SC
97	063038P61	SPT
99	063038P58	DH
101	063038P59	DH

Tabella 8-1 Schema indagini puntuali

Numero indagine	ID Indagine	Tipo indagine
1	063038L1	MASW
2	063038L2	MASW
3	063038L3	MASW
4	063038L4	MASW
5	063038L5	MASW
6	063038L6	MASW
7	063038L7	MASW
8	063038L8	MASW
9	063038L9	MASW
10	063038L10	MASW
11	063038L11	MASW
12	063038L12	MASW
13	063038L13	MASW
14	063038L14	MASW
15	063038L15	MASW
16	063038L16	MASW
17	063038L17	MASW
18	063038L18	MASW
19	063038L19	MASW
20	063038L20	MASW
21	063038L21	MASW
22	063038L23	MASW
23	063038L24	MASW
25	063038L25	MASW
26	063038L26	MASW
27	063038L27	MASW
28	063038L28	MASW
29	063038L29	MASW
30	063038L30	MASW
31	063038L31	MASW
32	063038L32	MASW
33	063038L33	MASW

Tabella 8-2 Schema indagini lineari

A seguito della raccolta dei dati sopracitati, seguendo le indicazioni degli “ICMS 2008” e degli “StandardMS”, è stata realizzata la Carta delle indagini, in cui sono indicati:

- La localizzazione delle indagini pregresse raccolte e quelle ex-novo
- Il tipo di indagini.

La carta in questione non è soltanto un documento grafico per indicare l’ubicazione delle indagini; ad essa è infatti associata una banca dati dalla quale possono essere estrapolate le informazioni a carattere geologico e geofisico associate ad ogni singola indagine puntuale o lineare. La carta è stata realizzata in scala 1:3500, sufficiente a fornire i dettagli degli elementi rappresentati.

I punti di indagine (puntuali e/o lineari) sono stati rappresentati in carta secondo la legenda prevista negli standard regionali per l’informatizzazione degli studi di MS con riferimento agli

Indirizzi e Criteri di Microzonazione sismica (ICMS) a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, e catalogati ed archiviati mediante software libero QGIS. Di fatti gli standard MS prevedono la creazione di un progetto per la microzonazione sismica basato su shapefile e tabelle in formato mdb, organizzati secondo una struttura predefinita. Il Plugin utilizzato per questo lavoro, con riferimento al manuale per l'utilizzo del plugin "MzS Tools" a cura del CNR-Istituto Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG), è stato realizzato per sfruttare le potenzialità del software open source QGIS.

La procedura per l'inserimento delle indagini è la medesima sia per quanto riguarda le indagini puntuali che quelle lineari. Una volta definito il sito di indagine, puntuale o lineare, il plugin restituisce un codice ID identificativo per ognuno di essi ai quali sono associate una serie di informazioni caratterizzanti dell'area in esame, tra cui la tipologia di indagine eseguita. Ne consegue una simbologia geometrica associata che ne permette l'individuazione sulla suddetta carta.

Per le diverse tipologie di indagini reperite, le tabelle per l'introduzione dei dati sono le seguenti,

- "Sito Puntuale";
- "Indagini Puntuali";
- "Parametri Puntuali".

La prima tabella "Sito Puntuale" è destinata ad archiviare i parametri da georeferenziare dei siti di indagine; con essa si definisce il punto sulla superficie topografica in corrispondenza del quale è stata effettuata l'indagine. Quindi vengono immessi dati come località del sito (Provincia, Comune, ecc.), ubicazione (coordinate geografiche in un S.R. WGS84), quota altimetrica e base cartografica utilizzata per la rappresentazione grafica.

Nella tabella "Indagini Puntuali" vengono descritte le tipologie di indagini eseguite in uno specifico sito puntuale; oltre alla tipologia e agli elementi che concorrono a definire la quota a cui essa è stata eseguita, vengono archiviate le informazioni necessarie alla sua tracciabilità, anche attraverso il collegamento esterno alla documentazione originaria, allegando i certificati delle indagini in formato pdf.

Nella tabella "Parametri Puntuali" sono stati archiviati i parametri associati alle prove descritte nella tabella "Indagini Puntuali"; è possibile archiviare parametri che sono stati misurati in modo diretto, come profondità e spessori delle litologie, e derivati, come i parametri geomeccanici dei materiali sottoposti a eventuali prove di laboratorio. Il database così compilato è stato agganciato agli shapefiles puntuali e lineari (Ind _pu e Ind _ln) che indicano nella Carta delle Indagini la posizione e il tipo di prova in sito.

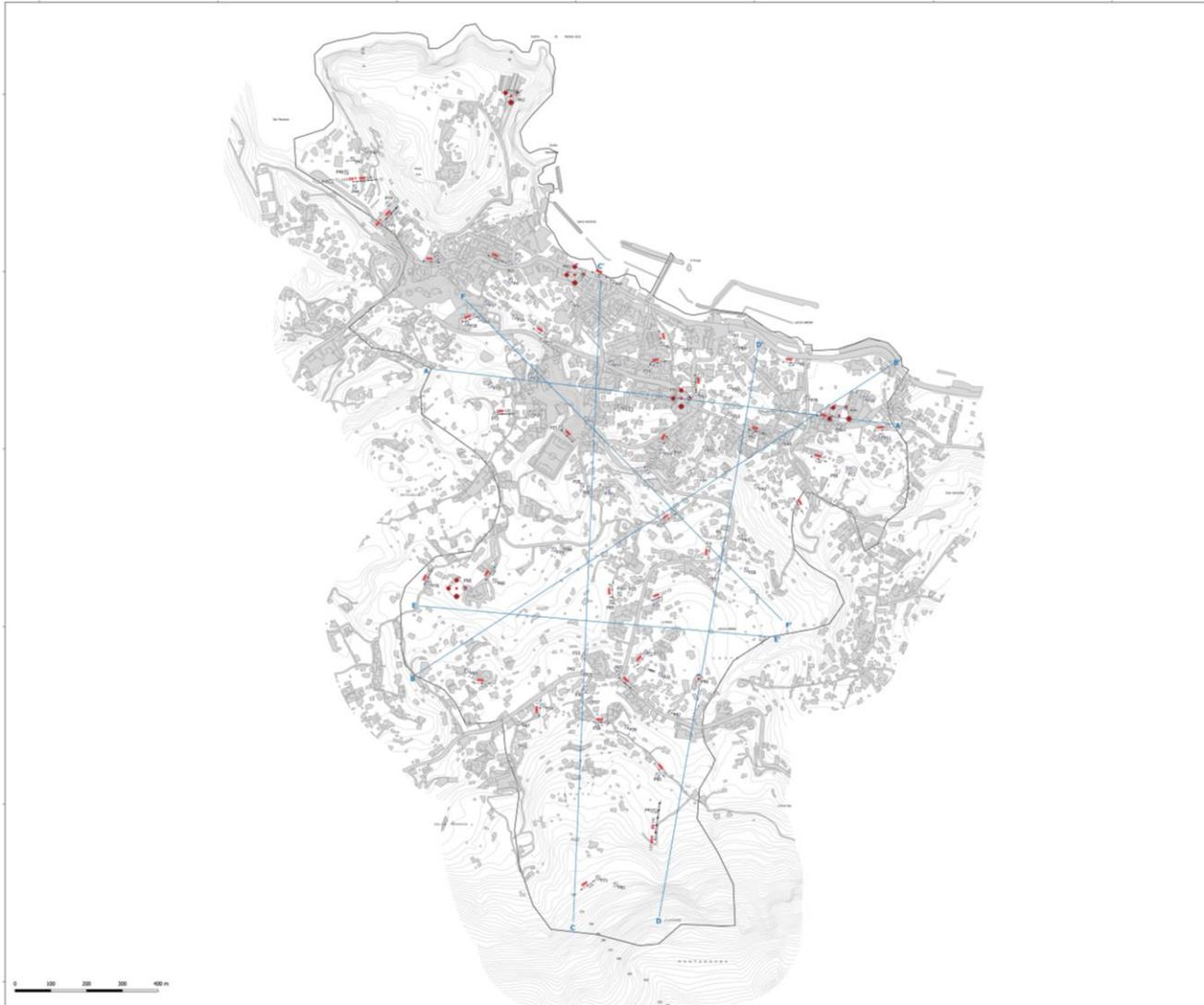


Figura 8-3 Stralcio carta delle indagini

8.2 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Come previsto nel disciplinare di incarico per lo studio di MS di livello III sono state eseguite n.2 Carte di Frequenze dei terreni seguendo le indicazioni fornite dal centro di MS tramite apposite linee guida. Utilizzando i dati derivati dalle 78 indagini HVSR, di cui 51 pregresse e 27 ex-novo, eseguite per tale studio, e attraverso i template messi a disposizione dal centro di MS sono state redatte:

- Carta delle Frequenze Naturali dei terreni (F_0), con la rappresentazione delle frequenze F_0 registrate, intese come massimi significativi in più bassa frequenza;
- Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni (F_r), con la rappresentazione delle frequenze F_r intese come massimi giudicati rappresentativi di contrasti di impedenza tra le coperture e il substrato di riferimento.

I template ed il relativo shapefile (denominato HVSR) sono disponibili nel plugin di QGIS MzS Tools. In queste carte sono stati riportati tutti i punti di misura, con associati i risultati

delle singole prove. In particolare sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale), compresa tra 0.4 e 1 Hz, e quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria) meno evidente del primo (f_1). Laddove la frequenza F_0 è maggiore di 1, questa viene interpretata come Fr.

A seguire la tabella riassuntiva con riportati i valori di frequenza ed ampiezza dei picchi HVSR per ogni misura:

ID Indagine	F_0	A_0	F1	A1	Fr	Ar
063038P1	9.15	2.91			9.15	2.91
063038P2	5.46	2.11				
063038P3	3.49	3.21			3.49	3.21
063038P4	0.5	2.29	2.8	2.22	2.8	2.22
063038P5	2.62	2.25			2.62	2.25
063038P6	4.53	3.17			4.53	3.17
063038P7	5.82	5.05			5.82	5.05
063038P8	0.7	2.85				
063038P9	0.77	0.77				
063038P10	0.71	2.29	2.86	1.29	2.86	1.29
063038P11	0.65	2.24	2.32	1.69	2.32	1.69
063038P12	0.87	2.76	8.03	2.03	8.03	2.03
063038P13	1.89	3.59	6.66	1.94	1.89	3.59
063038P14	1.98	2.56			1.98	2.56
063038P15	5.78	1.49			5.78	1.49
063038P16	1.32	2.33	4.63	2.1	1.32	2.33
063038P17	4.8	2.25				
063038P18	4.69	3.23			4.69	3.23
063038P19	2.16	3.61			2.16	3.61
063038P20	2.11	3.03			2.11	3.03
063038P21	0.91	2.87	2.51	1.7	2.51	1.7
063038P22	0.99	3.31				
063038P23	1.42	3.27			1.42	3.27
063038P24	0.97	3.9				
063038P25	0.48	0.48				
063038P26	0.69	4.05				
063038P27	0.8	4.9				
063038P28	0.74	2.87	2.16	2.39	2.16	2.39
063038P29	0.5	2.73	1.64	2.52	1.64	2.52
063038P30	0.55	3.18				
063038P31	0.66	2.69	3.56	1.67	3.56	1.67
063038P32	0.55	3.31	1.9	1.75	1.9	1.75
063038P33	0.49	3.01	1.33	1.75	1.33	1.75
063038P34	0.52	2.76	1.25	1.84	1.25	1.84
063038P35	0.53	3.04	1.38	1.73	1.38	1.73
063038P36	0.54	2.93	1.33	1.46	1.33	1.46
063038P37	0.54	2.8	1.32	1.41	1.32	1.41
063038P38	0.53	2.49	1.24	1.61	1.24	1.61
063038P39	0.54	2.43	1.26	1.62	1.26	1.62
063038P40	0.53	2.49	2.66	1.91	2.66	1.91
063038P41	0.55	1.85	2.66	2.2	2.66	2.2
063038P42	0.98	4.36				

063038P43	0.46	0.46				
063038P44	6.23	3.35			6.23	3.35
063038P45	0.49	2.16	7.59	1.94	7.59	1.94
063038P46	10.98	3.86			10.98	3.86
063038P47	6.05	3.09			6.05	3.09
063038P48	6.64	4.06			6.64	4.06
063038P49	1.47	3.39			1.47	3.39
063038P50	2.13	3.39	8.89	3.65	8.89	3.65
063038P51	1.31	4.08			1.31	4.08
063038P52	0.4	0.4	3.5	3.43	3.5	3.43
063038P53	0.77	0.77				
063038P54	0.96	0.96				
063038P55	0.4	0.4				
063038P56	0	0				
063038P62	1.7	2.4				
063038P63	3.24	2.04			3.24	2.04
063038P64	0.8	2.73				
063038P65	3.1	2.46			3.1	2.46
063038P66	0.938	2.94				
063038P67	0.6	2.6				
063038P68	2.1	7			2.1	7
063038P69	1.3	3.2			1.3	3.2
063038P70	2	4.7			2	4.7
063038P71	1.88	3.16			1.88	3.16
063038P72	2.06	3.97			2.06	3.97
063038P73	0.7	3.4				
063038P74	5.19	5.21			5.19	5.21
063038P75	1.03	4.75			1.03	4.75
063038P76	1.09	3.56			1.09	3.56
063038P77	1.66	3.19			1.66	3.19
063038P78	0.938	4.04				
063038P79	1	5.07				
063038P80	4.06	4.03			4.06	4.03
063038P81	2.06	2.84			2.06	2.84
063038P82	0.657	2.27				
063038P83	0.6	6.4				
063038P84	3.57	3.07			3.57	3.07
063038P85	0.657	2.88				
063038P86	0.59	3.42				
063038P87	0.5	2.3				
063038P88	0.97	3.77				

Tabella 8-4 Valori di Frequenza naturale e di risonanza, e le rispettive ampiezze

Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi come raffigurato nella legenda riportata in fig. 8.5:

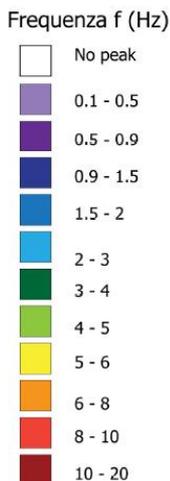


Figura 8-5 *Legenda della carta delle frequenze naturali dei terreni, in termini di frequenza*

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un contrasto di impedenza alto (ampiezza $H/V > 8$), moderato (ampiezza $5 \leq H/V < 6$), basso (ampiezza $2 < H/V < 3$) o assenza di significativi contrasti di impedenza (ampiezza $H/V < 2$), come raffigurato nella legenda in Fig. 8.6:

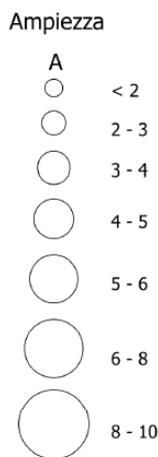


Figura 8-6 *Legenda della carta delle frequenze naturali dei terreni, in termini di ampiezza*

Analizzando nel dettaglio la carta delle frequenze naturali dei terreni Fr, i valori individuati sono stati identificati come massimi rappresentativi di un contrasto di impedenza tra le coperture e il substrato sismico laddove il valore della frequenza individuata dall'indagini HVSR è maggiore di 1 Hz. In particolare il territorio comunale può essere suddiviso in 4 macro aree:

- 1) La piana Costiera, nella cui zona Occidentale, la carta delle fr mostra la presenza di picchi evidenti con un'ampiezza compresa tra 2 e 6 e valori di frequenza relativamente alti.

L'indagine P74 mostra un valore di fr compreso tra 5 e 6 Hz ascrivibile alla sottostante formazione delle Lava Basali di Monte Vico descritte, dal punto di vista geologico – tecnico, come substrato lapideo fratturato.

L'area della baia di San Montano presenta valori simili a quelli appena descritti anche se, dalla ricostruzione della profondità in funzione della frequenza e delle Vs medie, il basamento sismico risulta leggermente più superficiale.

Localmente anche l'area di Villa Arbusto presenta valori di fr compresi tra 4 e 5 Hz riconducibili proprio alla presenza dei Tufi di Villa Arbusto (Cod. Carg. VLA).

Le restanti aree della piana costiera presentano valori di fr poco chiari, con ampiezze irrilevanti.

Tali misurazioni non degne di nota non sono state prese in considerazione per la ricostruzione dell'andamento generale sepolto del basamento sismico.

- 2) La località Fango, presenta picchi di ampiezza molto piccoli che non permettono di restituire informazioni riguardanti la profondità del bedrock sismico. Le Fr associate rispecchiano probabilmente la presenza della spessa coltre di depositi di debris flow e debris avalanche caratteristici di tale località.

Questi risultati potrebbero essere associati alla presenza di eterogeneità granulometrica all'interno della formazione stessa, ad esempio la presenza di grandi olistoliti tufacei tipici di questa formazione.

- 3) La località Mezzavia, dispone di poche indagini per le quali le frequenze sono maggiori di 1 Hz. Solo una di queste, la P68 mostra un picco evidente centrato alla Fr compresa tra 2 e 3 Hz. Considerando una Vs media per i litotipi rinvenuti, pari a 400 m/s la stima della profondità del bedrock si aggira intorno ai 50 m dal locale p.c..
- 4) La località Crateca, presenta risultati delle misure HVSR che non rispecchiano la reale situazione litostratigrafica in quanto le ampiezze dei picchi sono poco evidenti e le Fr sono centrate su valori di poco maggiori di 1 Hz. Infatti questa località è caratterizzata dalla presenza superficiale del basamento sismico, identificato dalla formazione dei Tufi del Monte Epomeo, ricoperto da una coltre detritica di materiale derivante da frane antiche e recenti, che non supera 30 m di spessore.

Tale situazione è descritta dettagliatamente da dati bibliografici.

8.3 Carta Geologico Tecnica per la MS (CGT_MS)

La Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica è stata redatta secondo quanto previsto dagli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0b" e gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (ICMS) elaborati dalla Conferenza delle

Regioni e delle Provincie autonome - Dipartimento Nazionale di Protezione Civile nel Settembre 2008, e contiene tutti i dati necessari alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica di livello 1.

La carta Geologico-Tecnica del Comune di Lacco Ameno restituisce informazioni finalizzate alla classificazione dei litotipi presenti in classi predefinite, che definiscono le varie situazioni stratigrafiche potenzialmente suscettibili di amplificazione locale o di instabilità.

La scala di rilevamento risulta essere 1:5.000 ovvero la scala delle Carte Tecniche Regionali (CTR) utilizzate come base topografica nell'elaborato in esame, mentre la scala di rappresentazione è 1:3500. In essa si distinguono i terreni del "substrato geologico" e quelli della "copertura", che sulla base dei dati a disposizione, indagini geognostiche e affioramenti, sono stati caratterizzati sia dal punto di vista della granulometria sia delle proprietà geomeccaniche. Le singole unità sono state classificate seguendo i dettami dell'Unified Soil Classification System che attribuisce una sigla formata da 2 lettere. Ai terreni della copertura, il cui spessore minimo considerato è di 3 mt, è stato attribuito anche il codice relativo agli ambienti genetico-deposizionali (Figura 1.1.2-1 dello StandardMS4_0b). Si riportano inoltre gli elementi tettonico strutturali, le forme di superficie e sepolte, le aree con instabilità di versante e gli elementi geologici ed idrogeologici che risultano funzionali agli studi di MS.

Per le definizioni riguardanti la presenza di fenomeni di instabilità di versante e lo stato di attività, il riferimento è risultato essere il progetto IFFI (Inventario Fenomeni Franosi Italiani) nonché il Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI, adottato definitivamente con DCR n° 116 del 21.01.2004 e s.m.i.) unitamente allo studio geologico a supporto del PRG comunale. I dati scientifici reperiti sono stati verificati in sito attraverso un rilievo geologico e geomorfologico di campagna.

Ciò ha permesso di ricostruire il quadro morfogenetico delle aree oggetto di studio, di delimitare i perimetri delle aree instabili e di formulare delle ragionevoli previsioni sulle tendenze evolutive future cosismiche in relazione sia alle caratteristiche lito-stratigrafiche, che alla dinamica geomorfologica.

Di seguito si riportano dettagliatamente tutti gli elementi oggetti di studio che si ritrovano nella legenda della carta Geologico-Tecnica per la MZS.

TERRENI DI COPERTURA



Depositi e opere antropiche. Terreni di discarica e di re-interro grossolani eterometrici ed eterogenei con abbondante matrice limoso sabbiosa; opere di difesa costiera in cemento, calcestruzzo e grandi blocchi litici. (Codici CARG h1 e h3)



Successione marino-continentale di piana costiera.
Depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie e argille sabbiose, terreni detritici caotici. Essa comprende sedimenti marini di spiaggia fossilifera, attualmente sollevati a circa 55 m s.l.m. (Codici CARG MZV)



Depositi epiclastici massivi molto grossolani formati da mega blocchi (> 10 m) e blocchi di tufo intensamente fratturati. Trattasi di depositi di debris avalanche (DA) derivanti dal collasso gravitativo del settore settentrionale del blocco risorgente del Monte Epomeo. Depositi eterometrici a granulometria variabile dalla ghiaia al limo, contenenti grandi blocchi tufacci granulari, fratturati e alterati. (Codice CARG LMO)



Accumuli gravitativi di materiale eterogeneo (tufi, tufi saldati, piroclastiti e depositi epiclastici) ed eterometrico fino a blocchi monolitici di grandi dimensioni in matrice sabbioso argillosa. Depositi eterogenei a struttura da massiva a caotica a prevalente componente sabbioso limosa ed argillosa. di ambiente di falda detritica (Codici CARG a1a- a1b)

SMsp	Depositi di spiaggia costituiti prevalentemente da sabbie medio fini e grossolane e da depositi limosi e argillosi di ambiente di retrospiaggia. (Codici CARG g2)
SMtm	Depositi di spiaggia costituiti prevalentemente da sabbie medio fini e grossolane e da depositi limosi e argillosi con abbondante scheletro detritico eterometrico di ambiente di retrospiaggia in corrispondenza di terrazzi marini. (Codici CARG g2, b)
SMec	Depositi eluvio-colluviali a granulometria sabbiosa, limoso sabbiosa e argillosa con scheletro detritico eterometrico da minuto a localmente grossolano. Derivano dall'alterazione di piroclastiti e tufi, talora contenenti lapilli pomicei e scoriacei in posto o sedimentati dopo un breve ruscellamento. (Codici CARG b2)
SMigl	Alternanze di livelli cineritici e pomicei stratificati incoerenti di colore biancastro. Depositi di caduta e di correnti di densità piroclastiche (surge) associabili ai prodotti di alterazione dei tufi di Citara affioranti nella zona di Monte Vico. (Codice CARG PMT)
SMcd	Depositi di conoide detritica a granulometria sabbioso limosa con scheletro detritico eterometrico da minuto a localmente grossolano derivanti dall'alterazione di piroclastiti e tufi, talora contenenti lapilli pomicei e scoriacei . (Codice CARG b2)
SMfd	Depositi di conoide falda detritica da incoerenti a debolmente litificati, da massivi, ricchi in matrice sabbiosa e limosa, a strutturati, costituiti da sabbie grossolane, sabbie limose e ciottoli eterometrici, fino a blocchi di tufi, tufi saldati ed epiclastiti. (Codice CARG ia)
SMca	Depositi di conoide alluvionale a granulometria sabbioso limosa con scheletro detritico eterometrico da minuto a localmente grossolano derivanti dall'alterazione di piroclastiti e tufi, talora contenenti lapilli pomicei e scoriacei . (Codice CARG b2)
SWzz	Epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, composte da depositi a granulometria sabbioso ghiaiosa, poco addensati derivanti dallo smantellamento delle successioni dei tufi del Monte Epomeo e dalla sedimentazione in ambiente marino. (Codice CARG CPMa)
CLpl	Unità di Lacco Ameno costituita da successioni di argille torbose e sabbie grigie e grigio azzurrognole, fossilifere, con locali intercalazioni di lenti sabbiose di ambiente deposizionale paludoso. (Codice GEO ALM)
MLec	Limi sabbiosi e argillosi colluviali poco consolidati, a luoghi pedogenizzati al top (codice CARG b2)

SUBSTRATO GEOLOGICO



Substrato lapideo, alterato e fratturato, caratterizzato dalle formazioni laviche di Zaro, Monte Vico e della Fundera. Depositi massivi di breccie piroclastiche ricche in matrice cineritica grossolana, lave nere trachitiche a blocchi contenenti inclusi mafici. Lave trachitiche di colore grigio da massive a grossolanamente stratificate. (Codice CARG ZRO1, ZRO2, LMVb, FUD)



Lave trachitiche di colore grigio-rossiccio grossolanamente stratificate. (Codice CARG LMVb)



Tufi massivi di colore da verde smeraldo a verde chiaro, costituiti da lapilli e bombe pomicee e scoriacee. Tufi ignimbrici litoidi massivi organizzati in grandi bancate tabulari. Tufi gialli stratificati ricchi in livelli di bombe e lapilli scoriacei e pomicee. Epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, spesso contenenti olistoliti plurimetrici. (Codice CARG TME, VLA, CPMa)



Epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, composte da ceneri fini, litici lavici e tufi in matrice fine argillosa di colore variabile dal verdastro al giallo spesso contenenti olistoliti plurimetrici. (Codice CARG VEC)

8.4 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) è il risultato finale delle indagini di Microzonazione Sismica di 1° Livello, ricavata dalla sintesi di tutti i dati raccolti e descritti negli elaborati precedenti ed è propedeutica per la successiva carta di microzonazione di livello III. L'obiettivo è quello di individuare all'interno del territorio comunale aree omogenee in base alle caratteristiche geologiche, stratigrafiche, geomorfologiche e geomeccaniche, in base alle quali è possibile ipotizzare un analogo comportamento a fenomeni di amplificazione locale indotta dal sisma (amplificazione del moto, induzione e riattivazione di frane e altri dissesti, liquefazione dei terreni, cedimenti differenziali, ecc...).

In particolare, i perimetri delle aree MOPS individuati negli studi di MS livello I sono stati rivisitati sulla base dei risultati delle analisi geognostiche e geofisiche reperite ed eseguite ex-novo per la redazione del presente studio di MS di livello III.

In generale le informazioni rappresentabili sulla carta delle MOPS possono essere così distinte:

- “zone stabili suscettibili di amplificazioni locali”, nelle quali si prevedono amplificazioni del moto sismico legato al particolare assetto litostratigrafico e morfologico;
- “zone suscettibili di instabilità” nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio. In particolare tra queste si riconoscono:
 - “zone di attenzione per instabilità di versante”
 - “zone di attenzione per liquefazione”

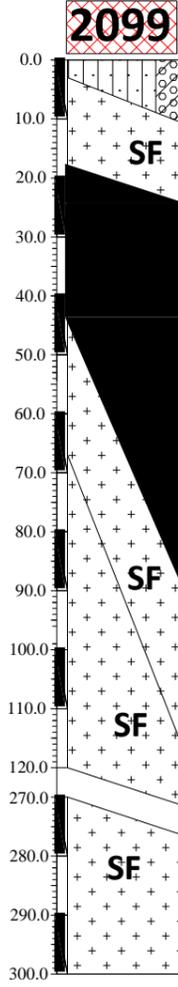
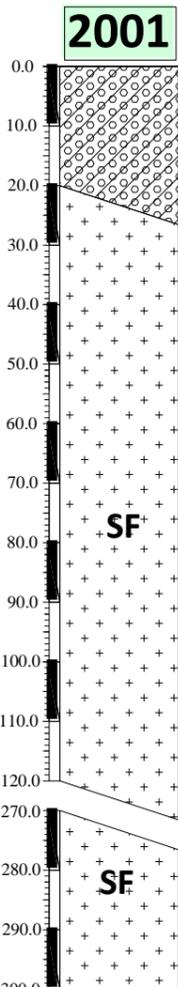
Nell'area in esame, dalla consultazione delle indagini pregresse, dal rilevamento geologico

eseguito e dall'esecuzione ed interpretazione delle indagini ex novo è emerso che non sono state individuate "zone stabili" in quanto non sono stati rinvenuti substrati rigidi di riferimento con ($V_s \geq 800$ m/s) in affioramento né tanto meno morfologie pianeggianti o con inclinazioni $< 15^\circ$.

Pertanto, sono state individuate solo "**zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**" e in particolare sono state riconosciute complessivamente 9 tipologie di zone i cui rapporti litostratigrafici più significativi vengono descritti nella seguente tabella.

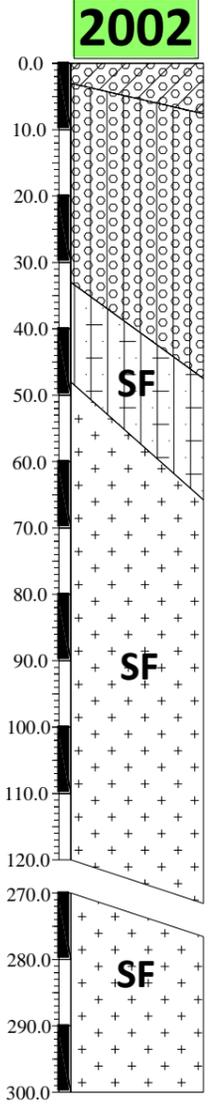
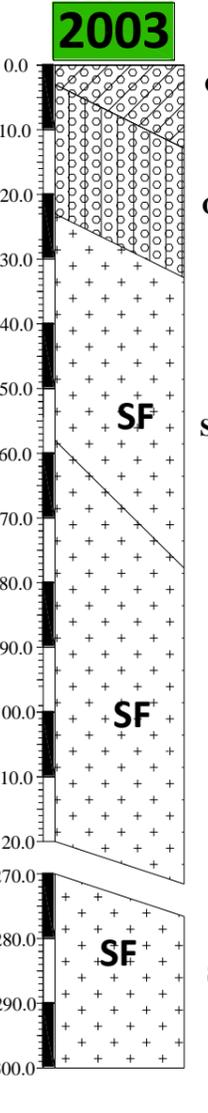
In particolare, tutte le microzone omogenee individuate sono state oggetto di studio di risposta sismica locale 1D, mentre quelle ricadenti nelle sezioni geologico-tecniche A-A' e D-D' sono state anche oggetto di analisi 2D.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

MICROZONA 2099	DESCRIZIONE	MICROZONA 2001	DESCRIZIONE
 <p>2099</p> <p>SM: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo - $V_s = 230$ m/s. GC: Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla - $V_s = 227$ m/s Spessore 3 e 15 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato, stratificato fratturato / alterato $V_s = 450$ m/s - Spessore 3-15 m</p> <p>SFLP: Lapideo fratturato / alterato - $V_s = 970$ m/s Spessore 26-84 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato, stratificato fratturato / alterato Spessore 23-30 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato, stratificato fratturato / alterato Spessore massimo 300 m</p>	<p>: Depositi eluvio-colluviali a granulometria sabbiosa, limoso sabbiosa e argillosa con scheletro detritico eterometrico da minuto a localmente grossolano. Derivano dall'alterazione di piroclastiti e tufi, talora contenenti lapilli pomicei e scoriacei in posto o sedimentati dopo un breve ruscellamento. - Velocità mediana V_s, desunta dai valori delle indagini sismiche superficiali pari a 230 m/s. (SMec) e accumuli gravitativi di materiale eterogeneo (tufi, tufi saldati, piroclastiti e depositi epiclastici) ed eterometrico fino a blocchi monolitici di grandi dimensioni in matrice sabbioso argillosa. Depositi eterogenei a struttura da massiva a caotica a prevalente componente sabbioso limosa ed argillosa di ambiente di falda detritica. Velocità mediana V_s, desunta dai valori delle indagini sismiche superficiali pari a 227 m/s (GCfd) (Codici CARG b2-aa-ab) Spessori compresi tra 3 e 15 m poggianti su tufi gialli stratificati ricchi in livelli di bombe e lapilli scoriacei e pomicei. Spessore compreso tra 3 e 15 m. Velocità mediana V_s, desunta dai valori delle indagini sismiche superficiali Array Forio istituto. pari a 450 m/s. (Codice CARG VLA) poggianti su depositi massivi di breccie piroclastiche ricche in matrice cineritica grossolana, lave nere trachitiche a blocchi contenenti inclusi mafici. Spessore compreso tra 26 e 84 m. Velocità V_s, desunta da bibliografia pari a 970 m/s. (Cod. CARG ZRO) poggianti su epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, spesso contenenti olistoliti plurimetrici. Spessore compreso tra 23 e 30 m. (Cod. CARG CPMa) poggianti su tufi massivi di colore da verde smeraldo a verde chiaro, costituiti da lapilli e bombe pomicee e scoriacee. Tufi ignimbricitici litoidi massivi organizzati in grandi bancate tabulari. Spessore massimo 300 m (Cod. CARG TME)</p>	 <p>2001</p> <p>GC: Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla $V_s = 227-364$ m/s - Spessore 20-30 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato V_s nei primi 80 m = 658 m/s al di sotto V_s da 80 m in poi = 976 m/s</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato V_s nei primi 80 m = 658 m/s al di sotto V_s da 80 m in poi = 976 m/s</p>	<p>Accumuli gravitativi di materiale eterogeneo (tufi, tufi saldati, piroclastiti e depositi epiclastici) ed eterometrico fino a blocchi monolitici di grandi dimensioni in matrice sabbioso argillosa. Depositi eterogenei a struttura da massiva a caotica a prevalente componente sabbioso limosa ed argillosa di ambiente di falda detritica. (GCfd) Spessore compreso tra 20 e 30 m con velocità V_s variabile da 227 a 364 m/s, desunta da indagini sismiche MASW. (Cod. CARG a1a-a1b; Cod. Geo. fr-fa) poggianti su tufi massivi di colore da verde smeraldo a verde chiaro, costituiti da lapilli e bombe pomicee e scoriacee e tufi ignimbricitici litoidi massivi organizzati in grandi bancate tabulari. (SFGRS). Spessore massimo 300 m. con valori di velocità V_s nei primi 80 m pari a 658 m/s, al di sotto aumenta ed è pari a 976 m/s. (Cod. CARG TME; Cod. Geo. TVME).</p>

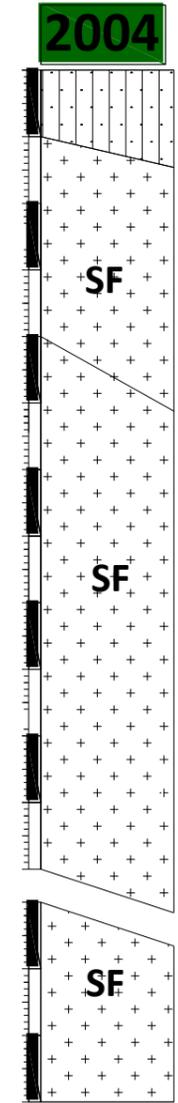
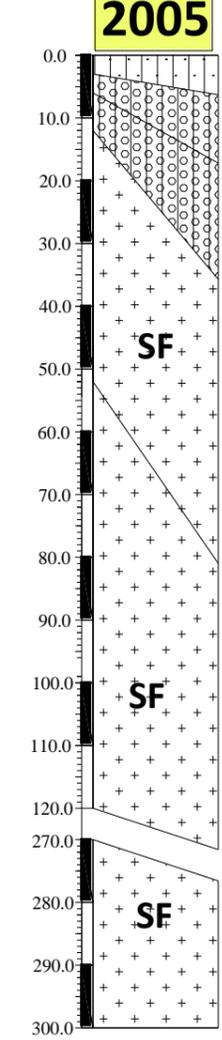
La microzona 2099 è stata strutturata accorpando i diversi substrati geologici di riferimento; in particolare, in tale raggruppamento si rinvencono i Tufi di Villa Arbusto, le Lave di Zaro, le epiclastiti moderatamente litificate con olistoliti plurimi e i Tufi Verdi del Monte Epomeo. Al tetto della colonna si rinvencono i depositi di copertura eluvio-colluviale e le falde detritiche che ricoprono le aree in località Zaro.

La microzona 2001 si sviluppa lungo le pendici del Monte Epomeo, in località Crateca ed è caratterizzata dalla presenza di fenomeni gravitativi e falde detritiche che coinvolgono materiali

MICROZONA 2002	DESCRIZIONE	MICROZONA 2003	DESCRIZIONE
 <p>2002</p> <p>GC: Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla Vs = 297 m/s - Spessore 3-10 m</p> <p>GM: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo Vs = 448 m/s - Spessore 30-45 m</p> <p>SFCO: Substrato coesivo sovraconsolidato fratturato / alterato Vs = 667 m/s - Spessore 15-20 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs per uno spessore di 33 m = 667 m/s al di sotto Vs per uno spessore di 150 m = 947 m/s</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs per uno spessore di 33 m = 667 m/s al di sotto Vs per uno spessore di 150 m = 947 m/s</p>	<p>Accumuli gravitativi di materiale eterogeneo (tufi, tufi saldati, piroclastiti e depositi epiclastici) ed eterometrico fino a blocchi monolitici di grandi dimensioni in matrice sabbioso argillosa. Depositi eterogenei a struttura da massiva a caotica a prevalente componente sabbioso limosa ed argillosa di ambiente di falda detritica. (GCfd). Spessore compreso tra 3 e 10 m. - Velocità mediana Vs, desunta dai valori delle indagini sismiche superficiali e da Array di Fango, pari a 297 m/s. - (Cod. CARG a1a-a1b; Cod. Geo. fr-fa) poggianti su depositi epiclastici massivi molto grossolani formati da mega blocchi (> 10 m) e blocchi di tufo intensamente fratturati. Trattasi di depositi di debris avalanche (DA) derivanti dal collasso gravitativo del settore settentrionale del blocco risorgente del Monte Epomeo e depositi eterometrici a granulometria variabile dalla ghiaia al limo, contenenti grandi blocchi tufacei granulari, fratturati e alterati. (GMcd). Spessore compreso tra 30 e 45 m. - Velocità mediana Vs, desunta dai valori delle indagini sismiche superficiali e da Array di Fango, pari a 448 m/s. (Cod. CARG LMO; Cod. Geo. GDF) poggianti su epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, composte da ceneri fini, litici lavici e tufi in matrice fine argillosa di colore variabile dal verdastro al giallo spesso contenenti olistoliti plurimetrici. (SFCO). Spessore variabile da 15 a 20 m. - Velocità mediana delle onde S, desunta dai valori delle indagini sismiche superficiali e da Array di Fango, pari a 667 m/s. (Cod. CARG VEC; Cod. Geo. ASM) poggianti su tufi massivi di colore da verde smeraldo a verde chiaro, costituiti da lapilli e bombe pomicee e scorie, tufi ignimbrici litoidi massivi organizzati in grandi bancate tabulari. Spessore massimo 300 m (Cod. CARG TME)</p>	 <p>2003</p> <p>GC: Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla Vs = 315 m/s - Spessore 3-18 m</p> <p>GM: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo Vs = 450 m/s - Spessore massimo 20 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs = 670 m/s - Spessore 35-50 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs = 970 m/s - Spessore massimo 300 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs = 970 m/s - Spessore massimo 300 m</p>	<p>Accumuli gravitativi di materiale eterogeneo (tufi, tufi saldati, piroclastiti e depositi epiclastici) ed eterometrico fino a blocchi monolitici di grandi dimensioni in matrice sabbioso argillosa. Depositi eterogenei a struttura da massiva a caotica a prevalente componente sabbioso limosa ed argillosa di ambiente di falda detritica. (GCfd). Spessore compreso tra 3 e 18 m. — Velocità mediana Vs, desunta dai valori delle indagini sismiche superficiali, pari a 315 m/s (Cod. CARG a1a-a1b; Cod. Geo. fr-fa) poggianti su epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, spesso contenenti olistoliti plurimetrici. (SFGRS) - Spessore compreso tra 35 e 50 m. - Velocità Vs, desunta da misure eseguite sul territorio dell'Isola d'Ischia in corrispondenza di tale formazione, pari a 670 m/s. (Cod. CARG CPMa; Cod. Geo. SEM) su tufi massivi di colore da verde smeraldo a verde chiaro, costituiti da lapilli e bombe pomicee e scorie, tufi ignimbrici litoidi massivi organizzati in grandi bancate tabulari. (SFGRS) - Spessore massimo 300 m. - Velocità Vs, desunta da elaborazione di Array sismici eseguiti sul territorio dell'Isola d'Ischia, pari a 970 m/s. (Cod. CARG TME; Cod. Geo. TVME)</p>

La Mops 2002 è delimitata dalla depressione morfostrutturale del graben presente in località Fango e in sintesi è caratterizzata dalla presenza di depositi di copertura costituiti da accumuli gravitativi di materiali eterogenei ed eterometrici, depositi di debris avalanche derivanti dal collasso gravitativo del blocco risorgente del Monte Epomeo. Tali coperture poggiano sui substrati geologici coesivi sovraconsolidati fratturato / alterati (SFCO) e granulari cementati, stratificati fratturato / alterati (SFGRS).

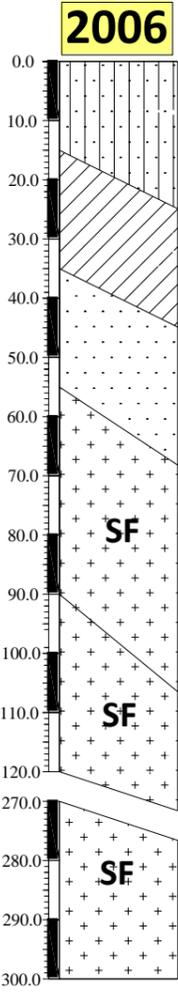
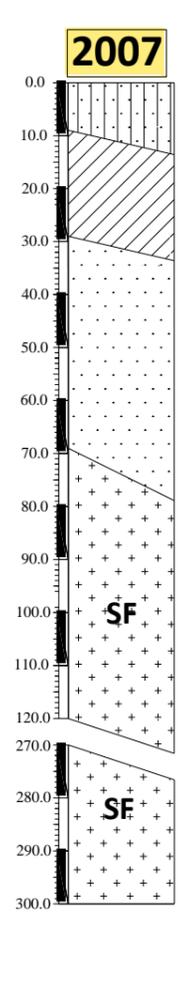
La Mops 2003 interessa la porzione centrale del territorio comunale e due aree ubicate a nord ovest e a sud est dell'isola, rispettivamente in località Borbonica e nella zona sud della località Fango; tale mops presenta gli stessi depositi di copertura presenti nella mops 2002 ma si differenzia per il tipo di substrato geologico di riferimento, tutti sostanzialmente granulari, cementati, stratificati, fratturato/alterati (SFGRS).

MICROZONA 2004	DESCRIZIONE	MICROZONA 2005	DESCRIZIONE
 <p>SM: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo Vs = 270 m/s - Spessore 10-17 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs = 670 m/s - Spessore 30-40 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs = 970 m/s - Spessore massimo 300 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs = 970 m/s - Spessore massimo 300 m</p>	<p>Depositi di spiaggia costituiti prevalentemente da sabbie medio fini e grossolane e da depositi limosi e argillosi con abbondante scheletro detritico eterometrico di ambiente di retrospiaggia in corrispondenza di terrazzi marini. Depositi di conoide falda detritica da incoerenti a debolmente litificati, da massivi, ricchi in matrice sabbiosa e limosa, a strutturati, costituiti da sabbie grossolane, sabbie limose e ciottoli eterometrici, fino a blocchi di tufi, tufi saldati ed epiclastiti. Depositi di conoide alluvionale a granulometria sabbioso limosa con scheletro detritici eterometrico da minuto a localmente grossolano derivanti dall'alterazione di piroclastiti e tufi, talora contenenti lapilli pomicee e scoriacee. (SMfd/SMtm). Spessore compreso tra 10 e 17 m. Il valore di Vs desunto da indagini sismiche eseguite in corrispondenza di questi materiali ed è pari a circa 270 m/s poggianti su epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, spesso contenenti olistoliti plurimetrici. Spessore compreso tra 30 e 40 m. Valore di Vs desunto dalla misura Array Fango, pari a 670 m/s. (SFGRS) - (Cod. CARG CPMa; Cod. Geo. SEM) e su tufi massivi di colore da verde smeraldo a verde chiaro, costituiti da lapilli e bombe pomicee e scoriacee. Tufi ignimbritici litoidi massivi organizzati in grandi bancate tabulari. Spessore massimo 300 m. Valore di Vs desunto dalla misura Array Fango, pari a 970 m/s. (Cod. CARG TME; Cod. Geo. TVME)</p>	 <p>SM: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo Vs = 243 m/s - Spessore 3-8 m</p> <p>GM: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo Vs = 317 m/s - Spessore 3-15 m</p> <p>GM: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo Vs = 503 m/s - Spessore 6-25 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs = 670 m/s - Spessore 40-48</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs = 970 m/s - Spessore massimo 300 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs = 970 m/s - Spessore massimo 300 m</p>	<p>Depositi di conoide falda detritica da incoerenti a debolmente litificati, da massivi, ricchi in matrice sabbiosa e limosa, a strutturati, costituiti da sabbie grossolane, sabbie limose e ciottoli eterometrici, fino a blocchi di tufi, tufi saldati ed epiclastiti. (SMfd). Spessore compreso tra 3 e 8 m - velocità mediana Vs, desunta dai valori delle indagini sismiche superficiali e dall'inversione congiunta L30-P70, pari a 243 m/s. (Cod. CARG ia) poggianti su depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie e argille sabbiose, terreni detritici caotici. (GMtm). Spessore compreso tra 3 e 15 m. Velocità mediana Vs, desunta dai valori delle indagini sismiche superficiali e dall'inversione congiunta L30-P70, pari a 317 m/s. (Codice CARG MZV; Cod. Geo. SMV) e depositi epiclastiti massivi molto grossolani formati da mega blocchi (> 10 m) e blocchi di tufo intensamente fratturati. Trattasi di depositi di debris avalanche (DA) derivanti dal collasso gravitativo del settore settentrionale del blocco risorgente del Monte Epomeo, depositi eterometrici a granulometria variabile dalla ghiaia al limo, contenenti grandi blocchi tufacei granulari, fratturati e alterati. (GMcd) Spessore compreso tra 6 e 25 m - velocità mediana Vs, desunta dai valori delle indagini sismiche superficiali e dall'inversione congiunta L30-P70, pari a 503 m/s (Cod. CARG LMO; Cod. Geo. GDF) poggianti su epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, spesso contenenti olistoliti plurimetrici. (SFGRS) Spessore compreso tra 40 e 48 m/s - velocità Vs, desunta dalla misura Array Fango, pari a 670 m/s. (Cod. CARG CPMa; Cod. Geo. SEM) su tufi massivi di colore da verde smeraldo a verde chiaro, costituiti da lapilli e bombe pomicee e scoriacee, tufi ignimbritici litoidi massivi organizzati in grandi bancate tabulari. (SFGRS). Spessore massimo 300 m. Velocità Vs, desunta dalla misura Array Fango, pari a 970 m/s (Cod. CARG TME; Cod. Geo. TVME)</p>

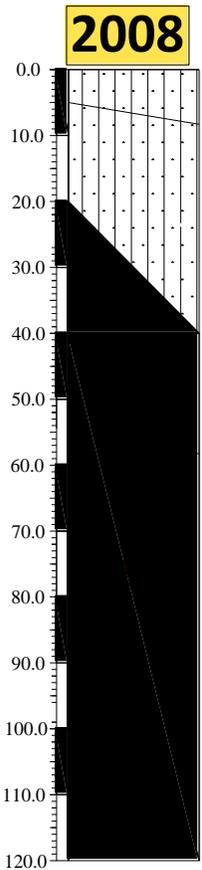
La Mops 2004 è ubicata lungo la zona di raccordo tra le falde detritiche e i debris avalanche che mantellano la zona Fango e i terrazzi marini caratteristici della piana costiera.

Essa è costituita da sabbie medio fini e grossolane e depositi di conoide alluvionale a granulometria sabbioso limosa poggianti su substrati geologici di riferimento granulari, cementati, stratificati, fratturati/alterati delle epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, spesso contenenti olistoliti plurimetrici e dei tufi verdi del Monte Epomeo.

La microzona 2005 è particolarmente importante per la presenza della formazione di Mezzavia Vecchia, rinvenuta praticamente soltanto in tale area e costituita da depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie e argille sabbiose e terreni detritici caotici **(GMtm)** avente spessore compreso tra 3 e 15 m e velocità mediana Vs, desunta dai valori delle indagini sismiche superficiali e dall'inversione congiunta L30-P70, pari a 317 m/s.

MICROZONA 2006	DESCRIZIONE	MICROZONA 2007	DESCRIZIONE
 <p>2006</p> <p>SM: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo Vs = 270 m/s - Spessore 15-30 m</p> <p>CL: Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre Vs = 280 m/s - Spessore 12-20 m</p> <p>SWzz: Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose Vs = 460 m/s - Spessore 20-25 m.</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs = 670 m/s - Spessore 35-40 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs = 970 m/s - Spessore massimo 300 m</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs = 970 m/s - Spessore massimo 300 m</p>	<p>Depositi di conoide falda detritica da incoerenti a debolmente litificati, da massivi, ricchi in matrice sabbiosa e limosa, a strutturati, costituiti da sabbie grossolane, sabbie limose e ciottoli eterometrici, fino a blocchi di tufi, tufi saldati ed epiclastiti. SMtm - Spessore compreso tra 15 e 30 m. Velocità Vs pari a 270 m/s, desunta da indagini sismiche superficiali e dai risultati delle misure Down Hole eseguite nei sondaggi S2 e S3 del PRG. (Cod. CARG ia, g2) poggianti sull' Unità di Lacco Ameno (ULA) costituita da successioni di argille torbose e sabbie grigie e grigio azzurrognole, fossilifere, con locali intercalazioni di lenti sabbiose di ambiente deposizionale paludoso. (CLpl) - Velocità Vs pari a 280 m/s, misurata da indagine Down Hole eseguita nel sondaggio S1 del presente lavoro. Spessore compreso tra 12 e 20 m. (Codice GEO ALM) su epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, composte da depositi a granulometria sabbioso ghiaiosa, poco addensati derivanti dallo smantellamento delle successioni dei tufi del Monte Epomeo e dalla sedimentazione in ambiente marino. (SWzz) - Velocità Vs pari a 460 m/s, misurata da indagine Down Hole eseguita nel sondaggio S1 del presente lavoro. Spessore compreso tra 20 e 25 m. (Codice CARG CPMa; Cod. Geo. SEM) poggianti su epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, spesso contenenti olistoliti plurimetrici. (SFGRS). Velocità Vs pari a 670 m/s desunta da Array Fango. Spessore compreso tra 35 e 40 m. (Cod. CARG CPMa; Cod. Geo. SEM) e Tufi massivi di colore da verde smeraldo a verde chiaro, costituiti da lapilli e bombe pomicee e scoriacee, tufi ignimbrici litoidi massivi organizzati in grandi bancate tabulari. (SFGRS) - Velocità Vs pari a 970 m/s, desunta da Array Fango. Spessore massimo 300 m (Cod. CARG TME; Cod. Geo. TVME)</p>	 <p>2007</p> <p>SM: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo Vs = 180-270 m/s - Spessore 9-16 m</p> <p>CL: Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre Vs = 194-307 m/s - Spessore 12-20 m</p> <p>SWzz: Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose Vs = 307-461 m/s - Spessore 40-48 m.</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs fino a 57 m varia da 461 a 512 m/s Vs da 57 m in poi = 879 m/s</p> <p>SFGRS: Granulare cementato stratificato fratturato / alterato Vs fino a 57 m varia da 461 a 512 m/s Vs da 57 m in poi = 879 m/s</p>	<p>Depositi di spiaggia costituiti prevalentemente da sabbie medio fini e grossolane e da depositi limosi e argillosi con abbondante scheletro detritico eterometrico di ambiente di retrospiaggia in corrispondenza di terrazzi marini. Depositi di conoide detritica a granulometria sabbioso limosa con scheletro detritico eterometrico da minuto a localmente grossolano derivanti dall'alterazione di piroclastiti e tufi, talora contenenti lapilli pomicei e scoriacei. (SMcd) Velocità Vs, variabile da 180 a 270 m/s, misurata da S1-DH del presente lavoro. Spessore compreso tra 9 e 16 m. (Codice CARG g2-b-b2) poggianti sulle Unità di Lacco Ameno (ULA) costituita da successioni di argille torbose e sabbie grigie e grigio azzurrognole, fossilifere, con locali intercalazioni di lenti sabbiose di ambiente deposizionale paludoso. (CLpl) - Velocità Vs, variabile da 194 a 307 m/s, misurata da S1-DH del presente lavoro. Spessore compreso tra 12 e 20 m. (Codice GEO ALM) e su epiclastiti da debolmente a mediamente litificate di colore giallastro e verdastro da massive a debolmente strutturate, composte da depositi a granulometria sabbioso ghiaiosa, poco addensati derivanti dallo smantellamento delle successioni dei tufi del Monte Epomeo e dalla sedimentazione in ambiente marino. (SWzz) - Velocità Vs variabile da 307 a 461 m/s, misurata da S1-DH del presente lavoro. Spessore compreso tra 40 e 48 m. (Codice CARG CPMa; Cod. Geo. SEM) poggianti su Tufi massivi di colore da verde smeraldo a verde chiaro, costituiti da lapilli e bombe pomicee e scoriacee e tufi ignimbrici litoidi massivi organizzati in grandi bancate tabulari. (SFGRS) Velocità Vs variabile da 461 a 512 m/s fino a 57 m di profondità. Da tale profondità in poi, il valore di Vs è pari a 879 m/s. I valori di Vs sono desunti dall'elaborazione di Array Fango e dal confronto di quest'ultimo di altre misure Array eseguite in corrispondenza di materiali analoghi. Spessore massimo 300 m. (Cod. CARG CPMa-TME; Cod. Geo. SEM-TVME)</p>

La mops 2006 interessa tutta la piana costiera di Lacco Ameno sviluppandosi dalla spiaggia di Sammontano fino al margine occidentale della località Fundera; essa si differenzia dalla mops 2007 solo per l'ambiente di sedimentazione dei depositi di copertura costituiti da depositi di conoide falda detritica da incoerenti a debolmente litificati, da massivi, ricchi in matrice sabbiosa e limosa, a strutturati, costituiti da sabbie grossolane, sabbie limose e ciottoli eterometrici, fino a blocchi di tufi, tufi saldati ed epiclastiti.

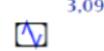
MICROZONA 2008	DESCRIZIONE
 <p>SM: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo Vs = 250 m/s - Spessore 5-10 m</p> <p>SM: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo Vs = 450 m/s - Spessore 20-40 m</p> <p>SFLP: Lapideo fratturato / alterato Vs = 970 m/s - Spessore massimo 80 m</p>	<p>Depositi eluvio-colluviali a granulometria sabbiosa, limoso sabbiosa e argillosa con scheletro detritico eterometrico da minuto a localmente grossolano. Derivano dall'alterazione di piroclastiti e tufi, talora contenenti lapilli pomicei e scoriacei in posto o sedimentati dopo un breve ruscellamento. (SMec) Velocità Vs pari a 250 m/s, desunta da misure sismiche eseguite in loc. Monte Vico e nel resto del territorio dell'isola, su materiali analoghi. Spessore compreso tra 5 e 10 m. (Codici CARG b2) poggianti su alternanze di livelli cineritici e pomicei stratificati incoerenti di colore biancastro e depositi di caduta e di correnti di densità piroclastiche (surge) associabili ai prodotti di alterazione dei tufi di Citara affioranti nella zona di Monte Vico. (SMig) - Valore di Vs pari a 450 m/s desunto come media tra le misure eseguite in loc. Monte Vico e quelle eseguite in corrispondenza dei Tufi di Citara sull'intero territorio ischitano, tra cui Array Forio istituto. Spessore compreso tra 20 e 40 m. (Codice CARG TCT, PMT; Cod. Geo. TC) su lave trachitiche di colore grigio-rossiccio grossolanamente stratificate. (SFLP) - Valore di Vs pari a 970 m/s da Array Fango. Spessore massimo 80 m. (Codice CARG LMVb)</p>

Infine la mops 2008 è ubicata sul promontorio di monte Vico ed è caratterizzata da prodotti presenti esclusivamente all'interno di tale area come i depositi di caduta e di correnti di densità piroclastiche (surge) associabili ai prodotti di alterazione dei tufi di Citara e le lave trachitiche di colore grigio-rossiccio grossolanamente stratificate associabili alle lave di Monte Vico

All'interno di tale cartografia sono state individuate anche 14 tipologie di “zone di attenzione per instabilità”, come di seguito riportato, differenziate in relazione alla diversa successione stratigrafica riconducibile alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali precedentemente descritte.



Sono state inoltre evidenziate le seguenti “forme di superficie e sepolte” oltre a n°78 punti di misura di rumore ambientale (HVSR) con indicazione dei valori di frequenza di risonanza registrati.

Forme di superficie e sepolte e punti di misura di rumore ambientale		
Tipologia		Numero
	Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (10-20 m)	19
	Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (>20 m)	8
	Cresta	2
	Traccia della sezione topografica	6
	Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di f0	78
	Picco isolato	1
 Cavità sepolta isolata/ sinkhole/ dolina	Cavità	10

Infine, dagli studi reperiti e dai rilevamenti eseguiti, non sono state individuate faglie attive.

8.5 Carte di Microzonazione Sismica (MS) di III livello

Le carte di Microzonazione sismica di livello III, sono state redatte in scala 1:5.000 con l'ausilio del software "MzS Tools" messo a disposizione dal Centro MZ -CNR-Istituto Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG), che sfrutta le potenzialità del software open source QGIS. Esse costituiscono gli elaborati fondamentali dello studio di Microzonazione di livello 3 in quanto consentono di associare valori dei fattori di amplificazione FA e spettri medi di risposta alle aree omogenee in prospettiva sismica precedentemente individuate e cartografate (MOPS)

Sono state realizzate tre carte sulla base dei fattori di amplificazione ai tre intervalli di periodi richiesti: Carta con FA nei periodi tra 0.1 e 0.5, Carta con FA nei periodi tra 0.4 e 0.8, Carta con FA nei periodi tra 0.7 e 1.1.

Tali elaborazioni hanno portato ad una suddivisione del territorio Comunale di Lacco Ameno ovvero quella parte di territorio destinato agli studi di microzonazione sismica di III in tre zone:

1. Zone stabili
2. Zone stabili suscettibili di amplificazione
3. Zone di attenzione per instabilità

Si precisa che nelle Carte non sono state identificate le Zone di Suscettibilità (ZS) e/o di Rispetto (ZR), poiché non è stato previsto in quanto il disciplinare di incarico afferma che le zone di instabilità rimangono definite zone di attenzione (ZAfr) anche nel livello 3 di analisi e quindi non devono essere caratterizzate da un fattore di amplificazione nella carta di livello 3. Ciò si rende opportuno vista la necessità di eseguire indagini specifiche e approfondimenti ulteriori per la caratterizzazione dei terreni che definiscono i pendii. Viceversa, l'applicazione delle linee guida nel caso di frane IFFI attive da crollo comporta la loro rappresentazione come zona di instabilità anche nella carta delle MOPS (zone di attenzione). In questo caso, al poligono relativo nella carta di livello 3 graficamente non sono stati associati valori di FA.

In generale, le zone stabili e le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali hanno come attributo i parametri che quantificano l'amplificazione locale del moto sismico di base e uno spettro di risposta elastico rappresentativo, ottenuti attraverso analisi numeriche 1D o 2D. Le zone stabili sono caratterizzate sempre da un'amplificazione compresa tra il valore 1.0 e 1.04. Esse vengono cartografate con campiture di colore pieno celeste, come riportato nella figura sottostante.

Zone stabili

 Zona stabile (FA = 1)

Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono invece caratterizzate da “classi di fattori di amplificazione”. Di seguito si riporta uno stralcio della legenda dove si possono vedere le campiture previste per le classi di fattori di amplificazione.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

-  Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 1.1 - 1.2)
-  Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 1.5 - 1.6)
-  Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 1.7 - 1.8)
-  Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 1.9 - 2.0)
-  Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 2.1 - 2.2)

zone di attenzione per instabilità (Livello 1)

-  ZA_q Zona di attenzione per liquefazione
-  ZA_v Zona di attenzione per instabilità di versante

Le zone di attenzione per instabilità di versante e per liquefazione sono state rappresentate in Carta solo con il retinato delle ZA senza nessun colore di fondo relativo al fattore di amplificazione. I valori ottenuti mostrano che il territorio comunale di Lacco Ameno è suscettibile di amplificazione sismica, ad esclusione di un'area definita Zona stabile solo ai medi e alti periodi, mentre le altre zone abbiamo valori di FA compresi fra 1,45 e 2,63 nell'intervallo 0,1-0,5 s, FA tra 1,04 e 3,04 nell'intervallo 0,4-0,8 s e FA tra 1,00 e 2,04 nell'intervallo 0,7-1,1 s, come si può vedere nella tabella seguente.

FA più elevati scelti da analisi 1D o 2D per rappresentare le aree				Cat. Suolo NTC2018	Vs_{eq}
Zona	PERIODO			Cat	
	0.1 - 0.5 (s)	0.4 - 0.8 (s)	0.7 - 1.1 (s)		
Zona1	1.45	1.67	1.75	C	
Zona2	1.52	1.74	1.71	B	
Zona3	1.60	1.70	1.5	C	
Zona4	2.36	2.10	1.63	C	
Zona5	2.01	2.21	1.87	C	
Zona6	2.63	3.04	2.07	C	
Zona7	2.51	2.14	1.47	C	
Zona8	2.18	2.71	2.04	C	
Zona9	1.70	1.86	1.68	C	
Zona10	1.50	1.04	1.00	C	238
Zona11	1.81	1.43	1.22	C	303

Tabella 8-1 Tabella riepilogativa dei fattori di amplificazione caratterizzanti le varie zone

Nella tabella soprariportata si possono notare sia le categorie di suolo di fondazione che il V_{seq} laddove il substrato è posto a profondità inferiore a 30 m.

Nell'ambito della MOPS 2006 è stata ritenuta doverosa l'individuazione di una ulteriore microzona per cui tale areale risulta costituita dalla Zona6 e Zona7. Ciò è scaturito dall'analisi delle simulazioni numeriche bidimensionali, infatti si è notato che la zona di scarpata corrispondente agli incroci dei due profili 2D è caratterizzata da un cospicuo aumento del FA ai bassi e ai medi periodi. (FA 2.63 e 3.04). Molto probabilmente tale effetto è legato alla presenza del graben in prossimità della faglia che separa la zona costiera dalla zona più alta.

Per la MOPS 2009 è stata fatta una analisi 2D e due differenti analisi monodimensionali per cui si è giunti ad una differenziazione che ha portato alla rappresentazione della MOPS 2009, sulle carte di microzonazione, in due zone: Zona10 e Zona11. Come si vede anche dalla tabella soprariportata la Zona10 risulta stabile solo ai medi e alti periodi, mentre la Zona11 risulta sempre suscettibile di amplificazione.

8.6 Commenti finali e criticità

Lo studio di Microzonazione sismica di livello 3 è stato condotto all'interno di aree delimitate e per le quali sono stati definiti sufficientemente i modelli geologici e sismici, sia delle coperture sia del substrato geologico. Da tali dati si evince che in gran parte del territorio analizzato non risulta essere presente un substrato sismico evidente, in parte dovuto alla presenza di coltri alluvionali quaternarie molto spesse, come nel caso delle Località Fango, Mezzavia e Marina di Lacco Ameno e in parte dovuto alla presenza di un substrato alterato e fratturato come nella Località "Crateca". Le analisi sismiche condotte e reperite dimostrano che non sempre è stato possibile attribuire un valore univoco, in termini di velocità, alle unità litologiche al di sotto dei 20 – 25 metri dal p.c. Ciò è dovuto alla scarsa risoluzione degli stendimenti sismici dovuto a limiti fisici. Dalla prova Down-hole eseguita in Località "Fundera", è emerso che le coperture, notevolmente spesse, presentano valori di V_s bassi lungo tutta la verticale investigata, senza evidenziare alcun contrasto di impedenza tale da generare fenomeni di amplificazioni locali. Inoltre dall'esame stratigrafico è emersa la presenza di un deposito di ambiente deposizionale palustre costituito da argille limose, talora torbose, avente una continuità laterale testimoniata dal sondaggio S2 del PRG, circoscritto solo nelle della Marina di Lacco Ameno.

Durante l'evento sismico del 21 agosto 2017, le aree maggiormente danneggiate del comune sono quelle della Località Fango, individuata dalla MOPS 2002, e quella della Località Mezzavia, individuata dalla MOPS 2005. Sulla base degli studi eseguiti è stato dedotto che tali effetti di sito sono riconducibili per la MOPS 2002 alla depressione morfostrutturale della

località Fango, che ha consentito l'accumulo di notevoli spessori di materiali eterogenei tipici di depositi di debris flow e debris avalanche, nell'ambito dei quali il fattore di amplificazione Fa è compreso tra 1.5 e 1.7 per tutti e tre gli intervalli di periodo considerati. Per la Mops 2005 gli effetti di sito sono stati determinati dall'effetto topografico dovuto alla presenza dell'alto strutturale del paleo terrazzo marino di Mezzavia, restituendo valori di Fa variabili da 1.8 a 2.2 per tutti i periodi considerati.

Le zone per le quali gli effetti di amplificazione del segnale sismico sono stati minori, sono quelle delle Località Crateca e Zaro, contraddistinte dalle MOPS rispettivamente 2099 A e 2099 B caratterizzate dalla presenza di un basamento sismico a profondità comprese tra 0 e 20 m, mantellate talvolta da sottili coltri di copertura di ambiente eluvio colluviale e di falda detritica, nell'ambito delle quali i fattori di amplificazione Fa calcolati, sono compresi tra 1.0 e 1.2 per l'intervallo di periodi compreso tra 0.7 e 1.1 s.

Attraverso le modellazioni numeriche di RSL 2D è stato possibile individuare una microarea nell'ambito della MOPS 2006 caratterizzata da fattori di amplificazione ai bassi e medi periodi, rispettivamente di 2.63 e 3.04. Si è ritenuto doveroso distinguere nell'ambito dello studio di livello 3 quest'area dalla restante MOPS individuata per lo studio di primo livello.

Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei fattori di amplificazione Fa individuati per ciascuna zona cartografata.

FA più elevati scelti da analisi 1D o 2D per rappresentare le aree				Cat. Suolo NTC2018	Vs_{eq}
Zona	PERIODO			Cat	
	0.1 - 0.5 (s)	0.4 - 0.8 (s)	0.7 - 1.1 (s)		
Zona1	1.45	1.67	1.75	C	
Zona2	1.52	1.74	1.71	B	
Zona3	1.60	1.70	1.5	C	
Zona4	2.36	2.10	1.63	C	
Zona5	2.01	2.21	1.87	C	
Zona6	2.63	3.04	2.07	C	
Zona7	2.51	2.14	1.47	C	
Zona8	2.18	2.71	2.04	C	
Zona9	1.70	1.86	1.68	C	
Zona10	1.50	1.04	1.00	C	238
Zona11	1.81	1.43	1.22	C	303

Come evinto dalla tabella i valori ottenuti mostrano che il territorio comunale di Lacco Ameno è suscettibile di amplificazione sismica, ad esclusione di un'area definita Zona stabile solo ai medi e alti periodi, mentre le altre zone abbiamo valori di FA compresi fra 1,45 e 2,63 nell'intervallo 0,1-0,5 s, FA tra 1,04 e 3,04 nell'intervallo 0,4-0,8 s e FA tra 1,00 e 2,04

nell'intervallo 0,7-1,1 s.

Castel Morrone 15/07/2019

I professionisti incaricati

Dott. Geol. Giuseppe Riello

Dott.ssa Geol. Alessia Iannotta

Dott.ssa Geol. Filomena Miragliuolo

Dott.ssa Geol. Annarita di Grazia

Dott. Geol. Gaetano Lotito

Dott.Geol. Antonio Petriccione

9 Bibliografia

- Acocella, V., Cifelli, F., Funiciello, R., 2000. Analogue models of collapse calderas and resurgent domes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 104, 81-96.
- Acocella, V., e R. Funiciello, 1999. The interaction between regional and local tectonics during resurgent doming: the case of the island of Ischia, Italy. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 88, 109-123.
- AGI (2005) - Linea guida dell'Associazione Geotecnica Italiana. Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Patron Editore, Bologna.
- Albarello D. (2012) – Design earthquake from site-oriented macroseismic hazard estimates. *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, Vol. 53, n. 1, pp. 7-17, DOI 10.4430/bgta 0035.
- Alessio et al. Correlazioni tra sismicità ed elementi strutturali nell'isola d'Ischia, 1966.
- Alessio, G., E. Esposito, L. Ferranti, G. Mastrolorenzo, S. Porfido, 1996. Correlazione tra sismicità ed elementi strutturali nell'isola d'Ischia. *Il Quaternario*, 9, 303-308.
- Azzaro R., Del Mese S., Graziani L., Maramai A., Martini G., Paolini S., Screpanti A., Verrubbi V., Arcoraci L., Tertulliani A. (2017) QUEST- Rilievo macrosismico per il terremoto dell'isola di Ischia del 21 agosto 2017. Rapporto finale. Rapporto interno, DOI 10.5281/zenodo.886047.
- Carlino S., Somma R., De Natale G., Troise C. The geothermal exploration of Campanian volcanoes: historical review and future development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012), pp. 1004-1030 DOI information: 10.1016/j.rser.2011.09.023.
- Carrara, E., Iacobucci, F., Pinna, E., Rapolla, A., (1973). Gravity and magnetic survey of the campanian volcanic area, S.Italy. *Boll. Geof. Teor. Appl.* 15, 39-51.
- Carta delle frequenze naturali scala 1:10.000 CNR- IGAG (2018) – Allegato 3 alla relazione finale “Primi interventi urgenti di protezione civile conseguenti all’evento sismico che ha interessato il territorio dei comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell’Isola di Ischia il giorno 21 agosto 2017”, OCDPC n. 476 del 29 agosto 2017.
- Carta geolitologica scala 1:10.000 CNR- IGAG (2018) – Allegato 1 alla relazione finale “Primi interventi urgenti di protezione civile conseguenti all’evento sismico che ha interessato il territorio dei comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell’Isola di Ischia il giorno 21 agosto 2017”, OCDPC n. 476 del 29 agosto 2017.
- Carta geologica “ISOLA D’ISCHIA” in scala 1:10.000 – REGIONE CAMPANIA assessorato difesa suolo, 2011.
- Carta geologica d’Italia progetto CARG in scala 1:50.000 Foglio 404 – “Isola d’Ischia”.
- Carta geologico - tecnica scala 1:10.000 CNR- IGAG (2018) – Allegato 2 alla relazione finale “Primi interventi urgenti di protezione civile conseguenti all’evento sismico che

ha interessato il territorio dei comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell'Isola di Ischia il giorno 21 agosto 2017", OCDPC n. 476 del 29 agosto 2017.

- Cartografia allegata al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Campania Centrale <http://www.adbcampaniacentrale2.it/>.
- Cassagnol C., Gillot P.Y. (1982). Cassagnol, C., Gillot, P-Y., 1982. Range and effectiveness of unspiked potassium-argon dating: experimental groundwork and applications. In : G.S. Odin (Editor), Numerical Dating in Stratigraphy. Willey, Chichester, pp. 159-179.
- Catalogo del progetto IFFI (banca dati inventario fenomeni franosi d'Italia), sito ufficiale <http://193.206.192.136/cartanetiffi/carto3.asp?cat=47&lang=IT#>.
- Celico et ali, 1999. La complessità idrogeologica di un'area vulcanica attiva: l'isola di Ischia. Boll. Soc. geol., 188 (1999) 485-504.
- CHIESA S. & VEZZOLI L. (1983) - Guida dell'escursione all'Isola d'Ischia. Riunione Gruppo Vulcanico CNR (Comitato 05), MPI (Comitato 04).
- Chiesa, S., Civetta, L., De Lucia, M., Orsi, G., Poli, S., 1987. Volcanological evolution of the Island of Ischia. In: Di Girolamo, P. (Ed.), The Volcaniclastic Rocks of Campania (Southern Italy): Geochemical, Geophysical, Geological, Mineralogical, Paleomagnetic, Petrographical and Volcanological aspects. Rend. Acc. Sc. Fis. Mat. in Napoli, Special Issue, pp. 69-83.
- CNR-IGAG (per CentroMS), 2019. PRODOTTO P 4.3. Definizione dell'input sismico da utilizzare per le analisi numeriche di risposta sismica locale (1D e 2D). Integrazione. In: "Supporto e coordinamento scientifico per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica di III livello nei territori dei Comuni dell'isola di Ischia interessati dall'evento sismico del 21 agosto 2017", Convenzione tra Commissario Straordinario del Governo per la Ricostruzione dei territori dell'Isola d'Ischia e CNR-IGAG
- Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (2017) - Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità sismoindotte (FR), versione 1.0. Roma, 2017.
- Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (2018) - Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ), versione 1.0. Roma, 2018.
- Confronti tra le stime di pericolosità sismica del territorio nazionale realizzate in ambito GNDT, D. Slejko.
- CPV - TdL Ischia, 2016. "Definizione dello scenario di riferimento e dei livelli di allerta (intesi come l'individuazione degli elementi utili al DPC per la definizione dei livelli di allerta) per il piano d'emergenza per l'isola di Ischia", (TdL: Acocella V., Bisson M., Costa A., De Martino P., Della Seta M., de Vita S., Federico C., Giordano G., Caliro S., Martino S., Cardaci C., Selva J.).

- Cubellis, E., 1985. Il terremoto di Casamicciola del 28 luglio 1883: analisi degli effetti, modellizzazione della sorgente ed implicazioni sulla dinamica in atto. *Boll. Soc. Nat. Napoli*, 94, 157-186.
- Cubellis, E., and G. Luongo, 1998a. "Il terremoto del 28 luglio 1883: danni, vittime ed effetti al suolo". Servizio Sismico Nazionale, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- D'Amico V., Albarello D. (2008) – SASHA: a computer program to assess seismic hazard from intensity data. *Seism. Res. Lett.*, 79, 5, 663-671.
- D'Argenio, B., Pescatore, T., Scandone, P., 1973. Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania e Lucania). *Atti Conv. Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino*. Roma. Acc. Naz. Lincei, q. 183.
- Database of Individual Seismogenic Sources dell'INGV riferito all'isola di Ischia da <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>.
- de Vita, S., Sansivero, F., Orsi, G., Marotta, E., Piochi, M., 2010. Volcanological and structural evolution of the Ischia resurgent caldera (Italy) over the past 10 ka. *Geological Society of America, Special Paper*, 464: 193-239.
- Del Prete S., Mele R, 1999. L'influenza dei fenomeni d'instabilità di versante nel quadro morfoevolutivo della costa dell'isola d'Ischia. *Boll. Soc. Geol. It.*, 118 (1999), 339-360, 31 ff. tabb..
- Elenco Catalogo parametrico Terremoti per il comune di Lacco Ameno da <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>.
- Evans S.G. & Hungr O. (1993) - The assessment of rock fall hazard at the base of talus slopes. *Canadian Geotechnical Journal*, 30, 620–636.
- Faccenna, C., Funiciello, R., Bruni, A., Mattei, M., Sagnotti, L. (1994). Evolution of a transfer-related basin: The Ardea basin (Latium, central Italy). *Basin Res.* 6, 35-46.
- Fedi, M., Rapolla, A., 1987. The campanian volcanic area: Analysis of the magnetic and gravimetric anomalies. *Boll.Soc. Geol. Ital.* 106, 793-805.
- Felici e Cappa, le Cavità marine sul promontorio di Monte Vico, 1989.
- Finetti I., Morelli C., 1974. Esplorazione sismica a riflessione dei Golfi di Napoli e Pozzuoli. *Boll. Geof: Teor.Appl.*, 16, 175-222.
- Funiciello, R., Locardi, E., Parotto, M., 1976. Lineamenti geologici dell'area sabatina orientale. *Boll. Soc. Geol. Ital.* 95, 831-849.
- Fusi, N., Tibaldi, A., Vezzoli, L., 1990. Vulcanismo, risorgenza calderica e relazioni con la tettonica regionale nell'Isola d'Ischia. *Mem. Soc. Geol. Ital.* 45, 971-980.
- Galli P. (2000) – New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction. *Tectonophysics*, 324, 169-187.
- GdL MS (2008) - Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e Province autonome. 3 vol. e 1 DVD. http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137.

- Gillot P.Y., Chiesa S., Pasquare G., Vezzoli L., 1982. 633,000 yr K-Ar dating of the volcano-tectonic horst of the isle of Ischia, Gulf of Naples. *Nature* 229, 242-24.
- Heim A. (1932) - *Bergsturz und Menschenleben*. Zurich, Fretz and Wasmuth Verlag, 218 pp.
- Iervolino I., Galasso C., Cosenza E. (2009). REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8:339-362. DOI 10.1007/s10518-009-9146-1.
- INGV (2006) – Mappe di pericolosità sismica (http://esse1-gis.mi.ingv.it/s1_en.php).
- INGV da <https://ingvterremoti.wordpress.com/2017/09/14/il-terremoto-di-casamicciola-del-21-agosto-2017-osservazioni-sul-moto-del-suolo/>.
- INGV <https://ingvterremoti.wordpress.com/2017/08/28/terremoto-dellisola-dischia-del-21-agosto-2017-il-rilievo-macrosismico/>.
- INGV TERREMOTI, <https://ingvterremoti.wordpress.com/>.
- Ippolito F., D'Argenio B., Pescatore T., Scandone P., 1973a. Unità stratigrafico-strutturali e schema tettonico dell'Appennino Meridionale. Istituto di Geologia e Geofisica dell'Università di Napoli, pubbl. num.15.
- ISSMFE Technical Committee (1988) - Standard Penetration Test (SPT): International Reference Test Procedure.
- Iwasaki T, Tokida K, Tatsuoka F, Watanabe S, Yasuda S, Sato H (1982) – Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods vol 3. In: *Proceedings of 3rd international conference on microzonation*, Seattle, pp 1319–1330.
- Keefer, D.K. (1984) - Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America Bulletin*, 95(4), 406–421.
- Keylock C. & Domaas U. (1999) - Evaluation of topographic models of rockfall travel distance for use in hazard applications. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 31(3), 312–320.
- Kirkby M.J. & Statham I. (1975) - Surface stone movement and scree formation. *Journal of Geology* 83, 349–62. Korner, 1980.
- La fragile isola d'Ischia, di F. M. Guadagno (Università di Salerno) e R. Mele (Università di Napoli), 2000.
- Luongo et alii, 2009, “Il terremoto di Casamicciola del 1883: una ricostruzione mancata’.
- Luongo G., Cubellis E., Di Vito M. A., Cascone E. 1995. L'isola d'Ischia: dinamica e struttura del Monte Epomeo, in: *Cinquanta anni di attività didattica e scientifica del Prof. F. Ippolito*, Napoli, pp. 427-436.
- Mappa interattiva pericolosità sismica INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>.

- Mariani, M., Prato, R., 1988. I bacini neogenici costieri del margine tirrenico: approccio sismicostratigrafico. Mem. Soc. Geol. It., 41, 519-531.
- McClung D.M. & Lied K. (1987) - Statistical and geometrical definition of snow avalanche runout. Cold Regions Science and Technology 13, 107–19.
- Molin P., Acocella V., Funicello R. 2003. Structural, seismic and hydrothermal features at the border of an active intermittent resurgent block: Ischia Island (Italy). J Volcanol Geotherm Res 121:65–81. doi: 10.1016/S0377-0273(02)00412-2.
- Newmark N.M. (1965) - Effects of earthquakes on dams and embankments. Geotechnique 15, 139-159.
- NTC (2018) - Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”, NTC (2018) - DM 17 gennaio 2018. Gazzetta Ufficiale, n. 42 del 20 febbraio 2018, Supplemento Ordinario n. 42, <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2018/02/20/42/so/8/sg/pdf>.
- Onofri R. & Candian C. (1979) - Indagine sui limiti di massima invasione dei blocchi rocciosi franati durante il sisma del Friuli del 1976. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia: CLUET, 42 pp.
- Orsi, G., Gallo, G., Zanchi, A., 1991. Simple-shearing block resurgence in caldera depression. A model from Pantelleria and Ischia. J. Volcanol. Geotherm. Res. 47, 1-11.
- Ortolani F. Le colate di fango del 10 novembre 2009 di Casamicciola Terme (Ischia), 2009.
- Poli S., Chiesa S., Gillot P.Y., Guichard F., Vezzoli L., 1989. Time dimension in the geochemical approach and hazard estimates of a volcanic area: The isle of Ischia case (Italy). J. Volcanol. Geotherm. Res. 36, 327-335.
- Primi interventi urgenti di protezione civile conseguenti all’evento sismico che ha interessato il territorio dei comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell’Isola di Ischia il giorno 21 agosto 2017”, CNR-IGAG.
- Progetto IFFI (banca dati inventario fenomeni franosi d’Italia), dal sito ufficiale del Servizio Geologico Italiano, <http://sgi.isprambiente.it/GMV2/index.html>.
- Progetto ITHACA, dal sito ufficiale del Servizio Geologico Italiano <http://sgi.isprambiente.it/GMV2/index.html>.
- Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Associazione Geotecnica Italiana (AGI) 1977.
- Rapporto di sintesi preliminare sul Terremoto dell’isola di Ischia (Casamicciola) M4.0 del 21 agosto 2017, INGV, 30 agosto 2017.
- Rittman A., 1930. Geologie der insel Ischia, (Berlino), Zeitschrift fur Vulkanologie, VI, pp. 268.
- Rittman A., Gottini, V., 1980. L’isola di Ischia-Geologia. Boll. Ser. Geol. Ital. 101, 131^274.

- 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>.
- 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>.
- Santacroce R., Cristofolini R., La Volpe L., Orsi G., Rosi M. (2003). Italian Active Volcanoes. *Episodes*, 26 (3): 227-234.
- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F. Jr., and Chung, R. (1984). The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. UCB/EERC-84/15, 50 pp.
- Spallarossa D. & Barani S. (2007) – Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D14, <http://esse1.mi.ingv.it/d14.html>.
- Studio geologico Bar – Ristorante Parco Termale Negombo, Geol. Iannotta, 2016.
- Studio geologico del PIANO REGOLATORE GENERALE, Geol. G. Pagnotto e A. Pagnotto, 2010.
- Studio geologico Località Monte Vico, Cimitero Comunale di Lacco Ameno Geol. Iannotta, 2018.
- Vezzoli L. (ed) (1988) - Island of Ischia. Quaderni de La Ricerca Scientifica 114 (10), CNR, Roma, pp 1–134.
- Volcanological map of Ischia Alessandro Sbrana, Paola Marianelli, Giuseppe Pasquini, Scala 1:10.000, 2018.
- Zuppetta, A., Sava, A., Zuppetta, C. (1993). Evoluzione vulcano-tettonica dell'isola d'Ischia: un modello per gli ultimi 33 ka di attività. *Boll. Soc. Geol. It.*, 112, 353-369.