

Sommario	
1. Introduzione	4
1.0 Finalità degli studi	4
1.2 Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio	8
1.3 Area sottoposta allo studio di MS3	
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	10
2.1 Sismicità storica dell'area di studio	10
2.2 Sismicità recente dell'area di studio	16
2.3 Pericolosità sismica di base	19
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area	
3.1 Inquadramento geologico e storia eruttiva	
3.2 Assetto geomorfologico	
3.3 Assetto stratigrafico	46
3.4 Assetto idrogeologico	63
3.5 Elementi tettonici (Faglie attive e capaci e potenzialmente attive e capaci)	66
3.6 Considerazioni finali sull'architettura stratigrafica e sull'assetto morfologico strutturale	e 73
4. Dati geotecnici e geofisici	73
4.1 Dati pregressi	73
4.2 Dati acquisiti ex-novo	75
5. Modello del sottosuolo finalizzato alla MS	113
5.1 Unità geologico-tecniche: definizione e parametrizzazione	113
5.2 Sezioni geologico-tecniche	142
6. Interpretazioni e incertezze	150
7. Metodologie di elaborazione e risultati	152
7.1 Zone stabili suscettibili di amplificazione	153
7.1.1 Scelta dell'input sismico(fornito dal CNR IGAG per il CENTRO MS)	154
7.1.2 Simulazioni numeriche e risultati (forniti dal centro MS per le simulazioni 2	2D)169
7.2 Zone instabili	
7.2.1 Faglie attive e capaci (FAC)	192
7.2.2 Liquefazioni (LQ)	
7.2.3. Instabilità di versante	
8. Descrizione degli elaborati cartografici	217
8.1 Carta delle indagini (CI)	217
8.2 Carta delle frequenze naturali dei terreni	217
8.3 Carta Geologico Tecnica per la MS (CGT_MS)	221

8.4 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	228
8.5 Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3	262
8.6 Commenti finali e criticità	264
9. Bibliografia e sitografia	266
10. Allegati	273

# 1. Introduzione

# 1.0 Finalità degli studi

In ottemperanza all'Ordinanza del Commissario Straordinario per la ricostruzione nei territori dell'isola d'Ischia interessati dal sisma del 21 agosto 2017 n. 1 del 27 novembre 2018 "Assegnazione dei finanziamenti per gli studi di microzonazione sismica di III livello ai Comuni di Casamicciola Terme, Forio, Lacco Ameno dell'isola di Ischia a seguito degli eventi sismici del 21 agosto 2017", l'Amministrazione Comunale di Casamicciola Termecon Disciplinare di incarico del 18.01.2019 ha affidato all'RTP costituito dal Dr. Geol. Antonio Toscano, dal Dr. Geol. Francesco Cuccurullo e dal Dr. Geol. Antonio D'Anna l'incarico di effettuare lo "Studio di Microzonazione Sismica di Terzo Livello del territorio comunale di Casamicciola Terme".

Lo studio di MS di livello 3 è finalizzato a quantificare la pericolosità sismica locale delle microzone, con particolare riferimento alle aree stabili, alle aree stabili suscettibili di amplificazione e alle aree instabili, e alla redazione delle Carte di Microzonazione sismica di livello 3 alla scala 1:5.000. Preliminarmente alla valutazione quantitativa della MS di III Livello sono stati effettuati anche gli studi di I Livello per il comune di Casamicciola Terme, di cui lo stesso non era dotato.

Lo studio è stato realizzato secondo gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS, 2008 e successivi aggiornamenti) e secondo i vari Protocolli redatti a cura del centro per la Microzonazione Sismica e restituito secondo gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica degli studi di MS (Standard Versione 4.1).

Lo studio di MS di livello 3 è stato realizzato mediante analisi di risposta sismica locale monodimensionale (1D) e bidimensionale (2D), effettuate su verticali e sezioni rappresentative, in numero adeguato per poter caratterizzare le tipologie di microzona individuate nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS). I risultati delle analisi numeriche sono stati restituiti in termini di accelerogrammi calcolati in superficie ed elaborati in termini di fattori di amplificazione in pseudo-accelerazione calcolati per prefissati intervalli di periodi, nonchè di spettri di risposta in accelerazione al 5% di smorzamento.

Tutte le attività finalizzate alla realizzazione dello studio di MS di III livello sono state eseguite in coordinamento con il Centro per la Microzonazione Sismica e le sue applicazioni (Centro MS tramite l'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del Consiglio Nazionale delle Ricerche) che ha svolto per conto del Commissario per la ricostruzione l'attività di supporto tecnico-scientifico, acquisizione, elaborazione e verifica dei risultati).

Lo studio di MS di livello III svolto, a seguito di sopralluoghi, rilievi, raccolta dati, indagini in situ, interpretazione ed analisi varie ha portato alla redazione delle cartografie, della relazione e degli elaborati informatici indicati nel disciplinare di incarico.

In particolare le attività svolte sono state le seguenti:

1. raccolta ed elaborazione dei dati pregressi (un congruo numero di indagini pregresse è stato fornito dal Centro MS, i restanti dati sono stati forniti dall'Ufficio AREA TECNICA del

Comune di Casamicciola Terme che ha fornito un supporto utilissimo anche per l'individuazione delle aree dove effettuare nuove indagini);

- 2. definizione del piano di indagini integrative;
- 3. esecuzione dei rilievi geologico-tecnici di dettaglio;
- 4. esecuzione delle indagini integrative;
- 5. archiviazione dei dati e dei metadati;
- 6. redazione della Carta delle Indagini;
- 7. realizzazione della Carta delle Frequenze Naturali Dei Terreni;
- 8. realizzazione della Carta Geologico-Tecnica (CGT) corredata dalle sezioni geologicotecniche;
- 9. definizione del modello di sottosuolo finalizzato allo studio di MS;
- 10. realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS);
- 11. esecuzione di analisi numeriche monodimensionali (1D) di risposta sismica locale;
- 12. realizzazione delle Carte di microzonazione sismica di livello 3, con indicazione dei fattori di amplificazione e degli spettri di risposta in accelerazione;
- 13. redazione della presente Relazione illustrativa.

Durante l'intero periodo di lavoro c'è stato un continuo scambio di informazioni, dati ed interpretazioni con la Struttura di Supporto, coordinata da CNR IGAG per il centro MS, sia de visu tramite periodiche riunioni presso la sede del CNR-ISMAR di Napoli ed il Dipartimento di Ingegneria dell'Università Federico II di Napoli, sia in remoto tramite mail e telefonate.

I riferimenti normativi e tecnici principali utilizzati per il presente lavoro sono i seguenti:

- Ordinanza n. 1/2018 del 28/11/2018, Assegnazione dei finanziamenti per glistudi di microzonazione sismica di III livello ai Comuni di Casamicciola Terme, Forio, Lacco Ameno dell'Isola di Ischia interessati dal sisma del 21.08.2017;
- 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 – Gennaio 2019;
- "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 (art. 8 dell'Ordinanza OCDPC n. 476 del 29 agosto 2017) – Relazione Finale;
- EC8 -1 Design of Strutctures for earthquake resistance, part.1: General rules, seismic action and rules for building;
- Indirizzi e criteri generali per la Microzonazione sismica, GdL DPC/Regioni. Testo approvato dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni nella seduta del 13novembre 2008;
- Decreto Ministeriale Infrastrutture e Trasporti del 17.01.2018 Nuove NormeTecniche per le Costruzioni;

Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica.Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. Disponibili nel sito web del Dipartimento della ProtezioneCivile, area "Rischio Sismico". Link:

http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view\_pub.wp?contentId=PUB1137;

- Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Ingegneria Sismica, Anno XXVIII – n.2 – 2011. Link: <u>http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/aggiornamento\_indirizzi\_mi</u> <u>crozonazione\_sismica.pdf;</u>
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. a. Versione 4.1. Roma, novembre 2018. 122 pp. Link: <u>https://www.centromicrozonazionesismica.it/it/download/category/26-standardms-41</u>;
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma. Link: <u>http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LineeGuidaFAC\_v1\_0.pdf;</u>
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2017. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ). Dipartimento della protezione civile, Roma. Versione 1.0, Link

http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG\_Liq\_v1\_0.pdf ;

Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR). Dipartimento della protezione civile, Roma. Versione 1.0. Link:

http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG\_Frane\_v1\_0.pd ;

- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2014. Linee guida per l'elaborazione della carta e delle sezioni geologico tecniche per la microzonazione sismica (CGT\_MS). Dipartimento della Protezione Civile, Roma. Bozza, ver. 1.2 beta;
- Significato e contenuto degli studi di MS di livello 2 e 3. Link: <u>http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Significato\_e\_contenuto\_deg</u> <u>li\_studi\_di\_MS\_di\_livello 2\_e\_3.pdf</u>;
- > Software per l'archiviazione delle indagini per la MS (SoftMS versione 4.0).

# 1.1 Descrizione generale dell'area comunale

Il territorio comunale di Casamicciola Terme (vedi Figura 1) presenta un'estensione totale di 5,85 km<sup>2</sup> con una conformazione prevalentemente collinare, con un centro principale oggetto di studio di MS di III livello, ubicato a nord nel settore comunale che degrada verso il mare.

Situato nella parte più settentrionale dell'isola d'Ischia, esso confina con il Comune di Ischia, con il Comune di Barano d'Ischia lungo il sentiero che separa il bosco della Maddalena dal Monte Maschiatta. L'orlo delle colline Jetto separa il Comune da quello di Serrara Fontana, toccando il Comune di Forio e lambendo con la Fundera anche quello di Lacco Ameno.

Man mano che si risale verso l'entroterra, allontanandosi dalla costa, la densità demografica diminuisce, azzerandosi in prossimità del monte Epomeo. La popolazione ha da sempre sfruttato le sorgive termali, rendendo famosa questa località per la qualità delle cure termali.

Fino alla fine dell'Ottocento il centro principale del paese, ove si collocava la quasi totalità delle strutture termali e alberghiere, era situato nella parte collinare. Un nucleo importante era situato a piazza Bagni e nelle zone limitrofe, ma la maggior parte degli alberghi sorgeva tra la località Sentinella e piazza Maio, che era anche la sede della parrocchia e della piazza principali. Dopo il disastroso terremoto del 1883 che praticamente rase al suolo il comune, il centro cittadino fu spostato nella parte bassa. In questa zona, infatti, furono costruiti due rioni, composti essenzialmente di baracche, per accogliere i senzatetto. Un rione aggiuntivo fu costruito nella località di Perrone. Questo spostamento dalla parte alta a quella bassa del paese, comportò anche lo spostarsi del centro cittadino, che tuttora rimane intorno a piazza Marina.

Ed è proprio la zona da Piazza Maio fino a Piazza Marina, l'area principale oggetto di studio di MS di III livello, sita a nord nel settore comunale che degrada verso il mare.



Figura 1 - Territorio comunale di Casamicciola Terme e degli altri comuni dell'isola di Ischia – Immagine fuori scala di Google Earth Pro.

# 1.2 Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio

#### Dati cartografici

Per lo studio effettuato sono state utilizzate differenti cartografie di base:

- Carte tecniche numeriche (C.T.R.) Regione Campania in scala 1:5.000, Tavv. 464032, 464043, 464071 e 464084- anno 2004 con relativa licenza d'uso;
- DTM Foglio 164 ISCHIA;
- Foto satellitari da Google Earth.

Gli aspetti geologico-morfologici e strutturali del comprensorio comunale indagato sono stati in gran parte ricavati da numerosi studi di carattere scientifico presenti in bibliografia, da diversi studi geologici forniti dall'Amministrazione Comunale e dal lavoro coordinato dal CNRIGAG nell'ambito dell'Art. 8 del OCDPC n.476/2017 *"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".* Quest'ultimo è stato il principale riferimento per il presente studio.

Inoltre sono state consultate e valutate le seguenti fonti geologiche e cartografiche:

- 1. Progetto IFFI (banca dati inventario fenomeni franosi d'Italia);
- 2. Progetto ITHACA;
- 3. Carta Geologica d'Italia progetto CARG in scala 1:50.000 Foglio 404 "Isola d'Ischia";
- 4. Carta Geologica 'ISOLA D'ISCHIA'' in scala 1:10.000 REGIONE CAMPANIA assessorato difesa suolo, 2011;
- 5. Volcanological map of Ischia di Alessandro Sbrana, Paola Marianelli, Giuseppe Pasquini, scala 1:10.000, (Journal of Maps, 2018;
- 6. Carta Geolitologica allegata allo studio "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";
- 7. Carta geologico-tecnica e delle indagini allegata allo studio "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";
- Carta delle frequenze F₀ e F₁ allegata allo studio eseguito nell'ambito "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 (art. 8 del OCDPC n.476/2017").

#### Dati geognostici e geofisici

I dati geognostici e geofisici pregressi ottenuti dalla stazione sono di seguito descritti:

a. studio geologico del PRG, a cui sono allegati n.11 stratigrafie di sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT e DH in foro, campioni di laboratorio e stratigrafie di sondaggi profondi a distruzione di nucleo e prove sismiche a rifrazione;

b. studi geologici per lavori privati e pubblici eseguiti in Via Castanito (n.1 stratigrafia di sondaggio a carotaggio continuo) e in zona eliporto (n.1 prospezione sismica MASW e n. 1 prova penetrometrica DPSH).

Per lo studio "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" è stato effettuato un numero importante di indagini geofisiche nei mesi di Ottobre e Novembre 2017 dal gruppo di Lavoro nei territori comunali interressati. In particolare per Casamicciola Terme sono state eseguite:

- 1. n. 60 indagini HVSR utilizzando stazioni sismiche temporanee installate in siti selezionati nella zona di massimo danneggiamento;
- 2. n.3 array sismici bidimensionali finalizzati alla valutazione dei modelli di velocità nelle aree investigate utilizzando tecniche passive basate sull'analisi di onde superficiali;
- indagini geoelettriche con approcci speditivi. In particolare si sono applicate le tecniche "Time Domain" (TDEM) e "Geoelettrica capacitiva" (CRC) per ottenere rispettivamente immagini 1D e 2D delle caratteristiche elettriche dei terreni di copertura. Si sono acquisiti 12 sondaggi verticali TDEM e 4 profili CRC;
- 4. n.1 prospezione sismica attiva MASW;
- 5. n. 1 prospezione sismica a rifrazione;
- 6. n. 1 prospezione geoelettrica 2d ERT.

# <u>I dati geologico-tecnici acquisiti sono stati poi integrati con nuove prove geofisiche e geognostiche di seguito illustrate.</u>

# 1.3 Area sottoposta allo studio di MS3

Lo studio di MS3 è concentrato all'interno dei limiti amministrativi (dati ISTAT) del territorio Comunale di Casamicciola Terme, così come concordato con gli Enti preposti prima della sottoscrizione del contratto, nella zona a maggiore urbanizzazione del territorio, e dunque a prevalente interesse urbanistico. L'area di interesse si sviluppa prevalentemente lungo la parte a nord del territorio comunale che degrada verso mare e ricomprende anche la ''zona rossa'' individuata a seguito dell'evento del 21 agosto 2017, presso Piazza Maio e Via d'Aloisio.



Figura 2 - In blu il confine comunale diCasamicciola Terme.



Figura 3 - In rosso l'area interessata dallo studio di MS3

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

# 2.1 Sismicità storica dell'area di studio

Per quanto riguarda i terremoti storici che hanno colpito l'area comunale di Casamicciola Terme si è fatto riferimento al Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI), disponibile al sito http://emidius.mi.ingv..it/CPTI04/, frutto di un progetto portato avanti da un Gruppo di Lavoro formato da ricercatori dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) del CNR, della società SGA Storia Geofisica Ambiente

(SGA) e del Servizio Sismico Nazionale (SSN). Il catalogo viene aggiornato periodicamente sulla scorta delle nuove conoscenze. Dalla prima formulazione del 1999 (CPTI99), ne è seguita una seconda nel 2004 (CPTI04), una terza nel 2008 (CPTI08), una quarta nel 2011 (CPTI011) e una quinta del 2015 che aggiorna quella precedente per gli anni dal 1000 al 2014, anche questa disponibile online https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/. Nel caso di Casamicciola Terme vengono evidenziati 18 eventi di riferimento a partire dall'anno 1000 e con relativa Magnitudo di Momento (Mw) dell'epicentro della scossa (Tabella 1) e (Figura 4).

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	lo	Mw
6-7	1762 07 23	Isola d'Ischia	1	6-7	3.5
8	1796 03 18 16 30	Isola d'Ischia	1	8	3.88
9	1828 02 02 09 15	Isola d'Ischia	10	8-9	4.01
6	1841 03 06 12	Isola d'Ischia	3	5-6	3.25
5	1863 01 30 11 30	Isola d'Ischia	8	4	2.87
5-6	1867 08 15 23 30	Isola d'Ischia	2	4-5	2.99
9	1881 03 04 12 15	Isola d'Ischia	17	9	4.14
10	1883 07 28 20 25	Isola d'Ischia	27	9-10	4.26
NF	1892 11 16 02 10	Isola di Ponza	17	5-6	4.4
NF	1893 01 25	Vallo di Diano	134	7	5.15
2	1905 09 08 01 43	Calabria centrale	895	10-11	6.95
4	1913 10 04 18 26	Molise	205	7-8	5.35
3	1927 05 25 02 50	Sannio	54	6	4.98
2	1927 10 11 14 45 08.00	Marsica	81	7	5.2
5	1930 07 23 00 08	Irpinia	547	10	6.67
NF	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83
2-3	1933 09 26 03 33 29.00	Maiella	325	9	5.9
3	1990 05 05 07 21 29.61	Potentino	1375		5.77

 Tabella 1- Elenco Catalogo parametrico Terremoti per il comune di Casamicciola Terme da

 <u>https://emidius.mi.ingv.it/CPTI1 5-DBMI1 5</u>.



Figura 4 - Storia sismica di Casamicciola Terme da https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/.

L'esame della storia sismica nel catalogo, evidenzia che il massimo risentimento nell'area di Casamicciola Terme (Is=10 MCS) è stato raggiunto in occasione del terremoto dell'isola d'Ischia (Mw=4.26) del 28.07.1883 (DBMI15 Locati et al., 2015). La località di Fango, nel limitrofo comune di Lacco Ameno, sembra invece essere stata maggiormente colpita dall'evento sismico del 1828 (Is=8-9; Mw=4.01). La compilazione del catalogo relativa al sito di interesse è stata condotta considerando gli eventi che hanno colpito i siti indagati con intensità macrosismica (Is)  $\geq$  al IV grado MCS. Al di sotto di tale soglia gli effettiindotti dai terremoti possono considerarsi infatti poco significativi.

Come si può osservare dai cataloghi sismici, gli epicentri dei terremoti che hanno portato ad un'intensità macrosismica al sito (Is)  $\geq$  VIII sono tutti ubicati all'interno dell'isola; inoltre, è caratteristica comune di tutti gli eventi sismici l'assenza di corrispondenza fra effetti macrosismici decisamente elevati (VIII-IX e X MCS) e la stima di magnitudo dell'evento che li ha provocati. Queste ultime risultano essere infatti piuttosto modeste, con la punta più alta raggiunta dal terremoto del 28 luglio 1883 (Mw=4.26). Altra caratteristica tipica dei sismi che occorrono in aree vulcaniche è il rapido decadimento degli effetti con la distanza dall'area epicentrale, fenomeno che può essere probabilmente ricondotto alla superficialità dell'ipocentro, nonché alle caratteristiche geologiche del sito, alla vulnerabilità degli edifici ealla alta densità abitativa (Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto dell'isola di Ischia, 2017).

#### Principali terremoti storici

La storia dell'isola è caratterizzata da continui riferimenti ad eventi sismici fin dall'antichità. Per quel che riguarda i terremoti medioevali i vari cataloghi sismici non concordano rispetto alle varie fonti. Il primo terremoto con epicentro Casamicciola Terme descritto in letteratura con un certo dettaglio risale al 1228. Questo evento, d'intensità IX-X secondo la scala MCS, provocò presumibilmente circa 700 morti dovuti verosimilmente ad una frana cosismica. Secondo alcuni autori l'evento sarebbe legato ad un evento franoso non correlato ad un sisma e pertanto non risulta inserito nei cataloghi CPTI. In seguito si susseguirono una serie di eventi di intensità macrosismica VII-VIII nel 1302, nel 1557, nel 1762 e nel 1767, due dei quali con epicentro in Casamicciola. Dal 1769 in poi, numerosi eventi di intensità compresa tra il VI e il IX grado della scala MCS ed epicentro a Casamicciola provocarono decine di morti e danni agli edifici. I terremoti storici più importanti sono però quelli del 1881 con 126 morti e numerosi crolli a Casamicciola e Lacco Ameno e del 1883 con oltre 2300 morti su tutta l'isola e la quasi totale distruzione del costruito in Casamicciola e Lacco Ameno, insieme a frane, smottamenti e variazioni della morfologia del territorio.

#### Il Sisma del 2febbraio 1828

Dell'evento del 2 febbraio 1828 si hanno notizie precise grazie alla presenza sull'isola del mineralogista e chimico Nicola Covelli che svolgeva studi sulle acque termali. Il sisma avvenne intorno alle ore 10:15 con epicentro nella zona nord - occidentale dell'isola, interessando in maniera più intensa pochi km<sup>2</sup>. L'evento sismico fu caratterizzato da un valore massimo di intensità epicentrale pari al IX MCS. Le località più danneggiate furono Casamicciola e la frazione Fango, nel comune di Lacco Ameno, dove collassarono numerosi edifici causando la morte di 29 persone e numerosi feriti. A Casamicciola tutti gli edifici della parte alta dell'abitato furono gravemente danneggiati e molti crollarono. Numerosi danni furono rilevati anche a Lacco Ameno e a Fontana.

#### Il Sisma del 4 marzo 1881

Il 4 Marzo 1881 intorno alle ore 13.00 e per circa 7 secondi un terremoto di intensità massima del IX grado della scala Mercalli (MCS) fece crollare quasi tutte le case della parte superiore di Casamicciola. In particolare, le aree più colpite furono la zona di Piazza Maio, Casa Mennella, Purgatorio, contrada Sassola e Speziaria, Santa Barbara e Selva Pera. Danni minori, ma sempre rilevanti, furono fatti registrare dai rioni Maddalena, Vicolo di Casa Monti, tra piazza Maio e monte Cito, e lungo la strada che porta dalla Piccola alla Grande Sentinella, verso il Calvario (Servizio Sismico Nazionale, 1998).

In totale nel comune di Casamicciola furono 249 gli edifici crollati. Si contarono121 morti e 140 feriti (Servizio Sismico Nazionale, 1998). Duramente colpita risultò anche Lacco Ameno,dove il Rione Fango fu quasi completamente distrutto. Crollarono le chiese di S. Giuseppe al Fango, mentre quella del Rosario fu gravemente lesionata. I rioni più danneggiati risultarono quelli di Pannella, Casamontee Mezzavia (Johnston-Lavis, 1885). Il terremoto fu intensamente avvertito anche in altre località dell'isola,come a Barano e Forio (Servizio Sismico Nazionale, 1998). In Figura 5 viene riportata la distribuzione dell'intensità macrosismica relativa al terremoto del 1881 secondo una

ricostruzione di Rapolla et al.,2010. La zona di massimo risentimento (Is=IX) è concentrata inuna piccola area, nel settore settentrionale dell'isola, che va da Casamicciola a Lacco Ameno.



Figura 5 - Distribuzione dell'intensità macrosismica del terremoto del 1881 da Rapolla et al., 2010(modificata da Alessio et al., 1996).

#### Il Sisma del 28 luglio 1883

Questo sisma rappresenta una delle più grandi catastrofi registrate in Italia in area vulcanica. Portò la morte di 2313 persone e 762 feriti (Cubellis & Luongo, 1998a), su una popolazione che contava all'epoca 4217 abitanti. I danni furono elevatissimi tanto che l'80% del patrimonio edilizio fu distrutto. Fu uno dei terremoti più severi (Luongo et al., 2006), caratterizzato, anche in questo caso, da una magnitudo decisamente non elevata (Mw= 4.26). L'alta intensità macrosismica registrata, pari a X MCS, e localmente XI secondo Cubellis (1985) e Cubellis & Luongo, (1998b), fu collegata alla superficialità della sorgente, posta a 1-1.6 km di profondità (Cubellis, 1985; Cubellis & Luongo, 1998b).

Anche in questo caso l'epicentro si individua nel comune di Casamicciola ( Figura 6) e la parte alta della città fu completamente distrutta.

Il terremoto provocò seri danni anche presso Lacco Ameno e Forio e in generale rilevanti danni in gran parte dell'isola(Cubellis & Luongo, 1998a).



Figura 6 - Epicentro sisma del 1883 da, https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/eq/18830728\_2025\_000



Figura 7 - Mappa della distribuzione dei danni del terremoto di Casamicciola del 1883, ricavata dalle fontistoriche. Da Luongo et al., 2006;

# 2.2 Sismicità recente dell'area di studio

La Relazione Finale del gruppo di lavoro Gruppo 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 di Ischia il giorno 21 agosto 2017" - Misure di carattere non strutturale finalizzate alla riduzione del rischio residuo'' dell'Ordinanza OCDPC n. 476 del 29 agosto 2017 - Relazione Finale) riporta che: "L'isola di 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, area in cui è stato localizzato l'evento di massima magnitudo avvenuto il 28 luglio 1883 (Mw=4.3; catalogo CPT115 -Rovida et al., 2016). Negli ultimi anni la sismicità si è mantenuta su livelli decisamente bassi sia come frequenza che come energia. In Figura 8 sono riportate le localizzazioni degli eventi registrati dal 1999".



Figura 8 - Localizzazioni dei terremoti ad Ischia nel periodo 1999-2017. In rosso gli eventi del 21/08/2017 (Md=4.0) e del 23/08/2017 (Md=1.9).

"Nel grafico di Figura 9 è mostrata la frequenza sismica dei terremoti registrati a Ischia a partire dal 1999. Da notare che a causa della loro bassa energia non è stato possibile localizzare tutti i terremoti registrati in quanto per la maggior parte rilevati da una o massimo due stazioni."



Figura 9 - Frequenza sismica dei terremoti registrati ad Ischia dal 1999 al 2017 dalla Relazione Finale gruppo di lavoro Centro MS.

"Altra caratteristica dei terremoti che vengono localizzati sull'isola d'Ischia è la superficialità degli ipocentri. Ciò è dovuto alla presenza di strutture sismogenetiche a bassa profondità che bordano l'horst vulcano-tettonico del Monte Epomeo o insistono lungo i suoi versanti.

Questa caratteristica è la causa principale dell'avvertibilità da parte della popolazione anche di eventi di magnitudo inferiori a 2.4, magnitudo massima osservata dal 1999 prima della sequenza iniziata il 21 agosto 2017.

In conclusione, 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."

#### Il Sisma del 21 agosto 2017 (Fonti INGV e Relazione Finale gruppo MS)

Il terremoto di magnitudo  $M_L$  3.6±0.2,  $M_D$  4.0±0.3 avvenuto il 21 agosto 2017 alle ore 20:57 italiane è stato localizzato alle seguenti coordinate (latitudine 40.74, longitudine 13.90) ad una profondità di circa 2 km. Un evento quindi molto superficiale e non raro in corrispondenza di aree vulcaniche.



Figura 10 - Ubicazione del mainshock del 21 agosto (Md=4.0) e della replica del 23 agosto (Md=1.9) da Relazione Finale Gruppo MS.

L'evento è stato registrato sull'Isola dalla stazione accelerometrica "IOCA" ubicata nelle adiacenze dell'Osservatorio Geofisico situato in località Gran Sentinella, nel comune di Casamicciola Terme con valori di picco osservati pari a:

	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGV (cm/s)	PGD (cm)
IOCA (Comp. E)	272	18	2.8
IOCA (Comp. N)	191	11	1.7
IOCA (Comp. Z)	267	12	1.4

Tabella 2 - Valori d	i picco dell'	'evento del 21	Agosto regist	rato alla s	stazione di	IOCA
			0 0			



Figura 11 - Forme d'onda in accelerazione dell'evento del 21 agosto 2017 registrato alla stazioneaccelerometrica di IOCA.

Dalla Figura 11 si evidenzia la breve durata dell'evento, la cui fase di massima energia si esaurisce nell'arco di circa 5 secondi.

I danni all'edificato sono stati ingenti nell'area di Casamicciola e Lacco Ameno dove si sono verificati anche crolli parziali e totali come riportato dal "Report del Gruppo QUEST" dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che ha effettuato il rilievo macrosismico.

Il Gruppo QUEST ha attribuito a Casamicciola Terme, Fango (Lacco Ameno) e Marina di Casamicciola rispettivamente un'intensità EMS (European Macroseismic Scale[Grünthal, 1998]) pari a VIII, VII e VI, mentre tutte le altre località dell'Isola sono state valutate tra EMS IV e V (QUEST, 2017).

# 2.3 Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di un'area è intesa come la probabilità che un dato valore di scuotimento del terreno, espresso con parametri fisici (picco di accelerazione orizzontale, picco di velocità, picco di spostamento, accelerazione spettrale) possa essere superato in un certo lasso di tempo a seguito di un terremoto. La pericolosità sismica, insieme alla vulnerabilità e al valore esposto in un'area, rappresenta la grandezza fondamentale per la definizione del rischio sismico inteso come la probabilità che un dato valore di danno possa essere superato in un certo intervallo di tempo a seguito di un evento sismico (Elementi di calcolo della pericolosità D. Slejko 1999).

Il punto di riferimento per la valutazione della pericolosità di base del territorio italiano era rappresentato, fino al 2002, dalla zonazione sismogenetica ZS4 (Meletti et al., 2000 Scandone e Stucchi 2000). Successivamente, i nuovi sviluppi e ricerche nell'ambito della sismogenesi (INGV-AA.VV. 2004) hanno evidenziato alcune incongruenze e la scarsa compatibilità con alcuni cataloghi di terremoti e pertanto è stato proposto un nuovo modello di zonazione sismogenetica denominato ZS9. Tale zonazione ha apportato alcune modifiche al modello iniziale con il raggruppamento e l'introduzione di nuove zone sismogenetiche.



Figura 12 - Zonazione sismogenetica SZ9.



Figura 13 - Zonazione sismogenetica SZ9 – particolare. L'area oggetto di studio ricade all'interno della zonasorgente 928.

L'area oggetto di studio ricade all'interno della zona - sorgente 928, alla quale è associata una magnitudo  $MW_{MAX}$  pari a 5.91.

Dalla banca dati DISS (Database of Individual Seismogenic Sources dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), un archivio che utilizza informazioni di diversa natura per delineare le sorgenti sismogenetiche ritenute in grado di generare terremoti di magnitudo 5.5 e superiori, è possibile

ricavare le sorgenti sismogenetiche della Regione Campania, le quali si localizzano maggiormente nella zona assiale della catena appenninica meridionale. Per l'isola di Ischia, invece, si individua n.1 sorgente individuale e n.1 sorgente composita.

Per sorgente sismogenetica individuale si intende una struttura geologica che sia in grado di generare, ciclicamente ed esclusivamente, il terremoto massimo ad essa associato. Un'altra proprietà è quella di possedere una consistenza interna in termini di lunghezza, larghezza, entità della dislocazione per evento e magnitudo. Una sorgente sismica areale rappresenta uninsieme di strutture geologiche aventi tra loro caratteristiche geometriche e cinematiche comuni, quali profondità, direzione, immersione, verso e pendenza, e potenzialmente in grado di generare terremoti di magnitudo maggiore di 5.5.

Infine, le sorgenti macrosismiche sono state ottenute, nella suddetta banca dati, sulla base dei campi macrosismici dei terremoti storici di magnitudo uguale o superiore a M5.5 attraverso il programma Boxer (Gasperini et al., 1999), che consente di determinare la posizione (coincidente con l'epicentro macrosismico del terremoto), le dimensioni e, nel caso in cui i dati siano sufficienti, la direzione della sorgente sismogenetica.

Per quanto concerne l'area di Casamicciola Terme, la sorgente sismogenetica individuale è denominata Casamicciola Terme ITISO68 ed è associata al terremoto di Casamicciola del 1883 (Mw5.8). Essa è stata dedotta a partire dalle conoscenze geologiche e dal trend strutturale regionale ed è individuata su importanti fratture estensionali con trend NE - SW ed orientazione N 235°, che delimitano il blocco risorgente dell'isola.



Figura 14 - L'area oggetto di studio ricade all'interno della zona-sorgente 928.



Figura 15 - Database of Individual Seismogenic Sources dell'INGV riferito all'isola di Ischia da http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml.

La sorgente ITIS068-Casamicciola Terme è molto superficiale con pendenze molto elevate e si presume responsabile dei più forti terremoti dell'isola di Ischia. La posizione e la geometria di questa sorgente sismica sono conformi con i dati batimetrici ed i profili di sismica a riflessione relativi all'offshore occidentale dell'isola di Ischia (Bruno et al., 2002).

La pericolosità sismica, intesa in senso probabilistico, invece, è lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo ditempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in undato intervallo di tempo.

Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input(quali catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto delsuolo, ecc.) e dei parametri di riferimento (per esempio: scuotimento inaccelerazione o spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc.).

Con l'Ordinanza PCM 3274/2003 (GU n.108 dell'8 maggio 2003) si è avviato in Italia un processo per la stima della pericolosità sismica secondo dati, metodi,approcci aggiornati e condivisi e utilizzati a livello internazionale. Per la prima volta si è delineato un percorso per il quale venivano definite le procedure da seguire, il tipodi prodotti da rilasciare e l'applicazione dei risultati. Un documento di tale tipoavrebbe infatti costituito la base per l'aggiornamento dell'assegnazione dei comunialle zone sismiche. L'INGV in collaborazione con esperti delle Università italiane e dialtri centri di ricerca ha realizzato la Mappa di Pericolosità Sismica 2004 (MPS04) che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante. Dopo l'approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi delDipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004,

la mappa MPS04è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006) (Figura 16).

La legislazione nazionale prevede che l'aggiornamento delle zone sismichespetti alle singole Regioni e Province Autonome, sulla base di valori di accelerazioneproposti dalla mappa di pericolosità sismica MPSO4 per individuare le soglie chedefiniscono il limite tra una zona sismica e un'altra.

Con Delibera di Giunta Regionale n. 5447 del 07.11.2002, la Regione Campania approva l'"Aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni della Regione Campania "formulata sulla base dei criteri generali e delle risultanze del Gruppo di Lavoro costituitodal Servizio Sismico Nazionale, dall'Istituto Nazionale di Geofisica e dal Gruppo Nazionale per la Difesa daiTerremoti, in base alla risoluzione approvata dalla Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione deiGrandi Rischi nella seduta del 23 aprile 1997. La stessa prevede che nei comuni classificati sismici si applicano le disposizioni di cui alla legge 2 febbraio 1974 n. 64 e successive modificazioni ed integrazioni e le norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al DecretoMinisteriale 16 gennaio 1996 pubblicato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 29 del 5 febbraio1996 e le relative istruzioni applicative (circolare Ministero dei Lavori Pubblici n. 65/AA.GG. del 10 aprile 1997).

Il Comune di Casamicciola, già classificato sismico nel 1935, vede confermare la sua classe di pericolosità in seconda classe sismica (media sismicità) con valori di ag maggiori di 0,25g.



Figura 16 - Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale in riferimento all' OPCMdel 28 aprile 2006 n. 3519. (Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia).

Successivamente, nell'ambito del progetto INGV-DPC S1 (2005-2007), sono state rilasciate una serie di mappe di pericolosità sismica per diverse probabilità di eccedenza in 50 anni, basate sullo stesso impianto metodologico e sugli stessi dati di input di MPS04. Inoltre sono state prodotte mappe per gli stessi periodi di ritorno anche in termini di accelerazioni spettrali. Per ogni punto della griglia di calcolo (che ha una densità di 20 punti per grado, circa un punto ogni 5 km) sono oltre 2200 i parametri che ne descrivono la pericolosità sismica.

Per ogni singolo nodo della griglia di riferimento è possibile richiedere il dettaglio in forma grafica e tabellare dell'analisi di disaggregazione della relativa**a**, utilizzando lo strumento grafico di

disaggregazione. Per lo stesso nodo siotterranno anche i valori medi di M-D-  $\varepsilon$  (magnitudo, distanza, epsilon).

La disaggregazione (o deaggregazione) della pericolosità sismica (McGuire,1995; Bazzurro and Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare icontributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R)che permette di definire il contributo di sorgenti sismogeniche a distanza R capaci digenerare terremoti di magnitudo M. Espresso in altri termini il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sitostesso. Analogamente alla disaggregazione in M-R è possibile definire la disaggregazione tridimensionale in M-R  $\varepsilon$  dove  $\varepsilon$ rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto dauna data legge di attenuazione dati M ed R.



Figura 17 - Mappa interattiva di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano da http://esse1gis.mi.ingv.it/- Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a<sub>g</sub>; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.



Figura 18 - Classificazione sismica dei comuni della Campania.

Nell'allegato 7 dell'Opcm n. 3907 del 13 novembre 2010 (''contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico''), sono indicate le a<sub>g</sub>, per un tempo di ritorno di 475 anni in condizioni di sottosuolo rigido e pianeggiante, corrispondente al valore più elevato di a<sub>g</sub> tra i centri e nuclei ISTAT del Comune (v. all.2 comma 2) e per Casamicciola Terme corrisponde a 0,15452g (Tabella 3).

Codice Istat	Provincia	Comune	Ag	Data di prima classificazione	Periodo di declassificazione
15063019	063	Casamicciola Terme	0.15452	1935	

Fabella 3- Allegato	7	' dell'Opcm	n.	3907	del	1	3	novembre	201	10
---------------------	---	-------------	----	------	-----	---	---	----------	-----	----

#### Spettri di risposta di riferimento

La notevole mole di dati a disposizione ha reso possibile la definizione di norme tecniche nelle quali l'azione sismica di riferimento per la progettazione è valutata punto per punto e non più solo per 4 zone sismiche, cioè secondo solo 4 spettri di risposta elastica. Infatti il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha emanato nuove Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC08) con il D.M. del 14 gennaio 2008 (G.U. n.29 del 04/02/2008) nelle quali la definizione dell'azione sismica di riferimento si basa sui dati rilasciati da INGV e dal Progetto S1.

Infatti le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) e le successive NTC 2018 hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona, e quindi territorio comunale, precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Secondo le suddette, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a<sub>g</sub> accelerazione orizzontale massima al sito;
- F<sub>o</sub> 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. Una delle novità delle NTC è appunto la stima della pericolosità sismica basata su una griglia di 16852 punti, ove viene fornita la terna di valori  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T^*_c$  per nove distinti periodi di ritorno  $T_R$ . Di seguito si riportano gli spettri ricavati e i relativi valori di riferimento:

Tabella 4 - Prospetto dei valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento.  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito;  $F_o$  = 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.

T <sub>R</sub>	a <sub>g</sub>	F。	T <sub>c</sub> *
[anni]	[g]	[-]	[s]
30	0.061	2.458	0.276
50	0.076	2.448	0.288
72	0.088	2.452	0.296
101	0.101	2.464	0.305
140	0.114	2.463	0.310
201	0.131	2.469	0.318
475	0.179	2.505	0.327
975	0.230	2.543	0.333
2475	0.311	2.572	0.346



S1-INGV da cui sono derivati.

Figura 19 - Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno Tr di riferimento per categoria di suolo A.

#### Sorgenti sismogenetiche di Ischia

Il database delle Sorgenti Sismogenetiche Individuali (DISS http://diss.rm.ingv.it/diss/) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia fornisce le sorgenti sismogenetiche dell'Isola d'Ischia suddivise in sorgenti individuali, sorgenti areali e sorgenti macrosismiche (Vedi Figura 20).

L'area di interesse del presente studio ricade all'interno della sorgente composita ITCS085 Ischia (vedi http://diss.rm.ingv.it) ubicata a nord ovest dell'isola d'Ischia con direzione SW-NE, in cui ricade la sorgente sismogenetica individuale, che si presume responsabile dei più forti terremoti storici dell'isola di Ischia, denominata ITIS068 - Casamicciola Terme associata al terremoto di Casamicciola Terme del 28 luglio 1883. Le caratteristiche principali derivate da dati geologici, geodetici e sismologici di letteratura e riportate nel DISS sono le seguenti:

Profondità minima: 0,0 km

- ✓ Profondità massima: 4,0 km
- ✓ Direzione: 230-250°
- ✓ Immersione: 80°-90°
- ✓ Inclinazione: 260-280°
- ✓ Scivolamento annuo: 0,1-1,0 mm
- ✓ Magnitudo massima: 5,4 (derivata dalla magnitudo massima associataalle sorgenti individuali).



Figura 20 - Sorgenti sismogenetiche individuali e areali dell'area in esame da http://diss.rm.ingv.it/dissGM/.

# 3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

# 3.1 Inquadramento geologico e storia eruttiva

Ischia è un campo vulcanico attivo che, nel corso della sua storia, ha cambiato profondamente aspetto più volte anche in tempi molto recenti. L'isola è costituita da roccevulcaniche, da depositi di frana e, subordinatamente, da rocce sedimentarie, che derivano dall'accumulo e dalla cementazione di frammenti di rocce preesistenti, smembrate dai processi erosive.

Le rocce vulcaniche presenti sull'isola sono il prodotto di eruzioni sia effusive, che hanno formato colate e duomi di lava, sia esplosive, che hanno generato estese coltri di cenere elapilli (De Vita e Marotta, 2007 e bibliografia annessa).

Il territorio comunale di Casamicciola Terme è sito sull'isola d'Ischia che costituisce un apparato vulcanico ubicato a NO del Golfo di Napoli (Figura 20).

Tale apparato si erge per circa 900 m dal fondo del mare nella zona più occidentale del complesso vulcanico dei Campi Flegrei e la sua complessa evoluzione vulcanologica e strutturale è stata ricostruita da parte di numerosi Autori (Rittmann & Gottini, 1980; Chiesa et al., 1987; Vezzoli, 1988; Orsi et al-, 1991; Zuppetta et al., 1993; Luongo et al., 1995; Del Prete & Mele, 1999, Santacroce et al., 2003) che hanno portato a una dettagliata definizione dell'evoluzione del sistema magmatico dell'isola.



Figura 21 - Schema strutturale dell'area vulcanica napoletana (Acocella & Funicello , 1999)

La storia geologica recente dell'isola ha rivelato una intensa dinamica e una stretta connessione tra il sistema magmatico, gli elementi strutturali, il sistema geotermico, l'attività sismica e l'evoluzione geomorfologica. Eventi eruttivi, terremoti, frane, modificazioni dei campi fumarolici ed eventi bradisismici hanno marcato la storia evolutiva del complesso vulcanico, con dirette implicazioni per le comunità residenti sull'isola, nel corso dei secoli e l'evento del 28 luglio del 1883, che causò la distruzione di Casamicciola Terme, è sicuramente il più noto, sia per la sua intensità che per la ricchezza di testimonianze, ma è solo uno dei terremoti che ha interessato l'area. Altri eventi sismici, meno documentati ma con intensità locale anche superiore al IX grado MCS, colpirono l'isola di Ischia nei secoli precedenti.

#### **Contesto Sismotettonico**

La storia vulcanica dell'isola è strettamente connessa alla tettonica distensiva che dal Tortoniano ha generato il bacino tirrenico e i relativi bacini presenti lungo la costa occidentale della penisola (come la Piana Campana) e che ha progressivamente interessato la Catena Appenninica (Ippolito et al., 1973; D'Argenio et al., 1973; Chiesa & Vezzoli, 1983).

L'evoluzione pliocenico-quaternaria 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-quaternaria 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 fuoriuscì dal centro eruttivo dell'Arso (Figura 22)



Figura 22 - Schema geologico dell'isola di Ischia (Molin 2003, modificato da Gillot et al., 1982)

L'evoluzione geo-vulcanologica è riportata schematicamente in Figura 23, in cui le rocce affioranti sono state raggruppate secondo una suddivisione in periodi di attività proposta dagli studi condotti da Vezzoli (1988). Secondo Vezzoli (1988) l'attività vulcanica dell'isola 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.



Figura 23 - Evoluzione vulcanologica di Ischia: (a) periodo tra 150.000 e 75.000 anni; (b) tra 55.000 e 33.000 anni; (c) 28.500 e 18.000 anni; (d) ultimi 10.000 anni. 1) orlo di caldera; 2) Duomo; 3) Cono piroclastico; 4) Deposito piroclastico di caduta; 5) Sedimenti marini; 6) Flusso piroclastico del Tufo Verde del Monte Epomeo; 7) Ignimbrite del Tufo Verde del Monte Epomeo; 8) Crateri eruttivi; 9) Cono di scorie e pomici; 10) Colata di lava; 11) Duomi e lava recenti; 12) Faglie attive; 13) Settore in subsidenza; 14) Settore in sollevamento (da Bortoluzzi, 1995)

#### FASI DELLE ATTIVITÀ ERUTTIVE (Figura 24)

PRIMA FASE DI ATTIVITÀ VULCANICA: > 150.000 anni fa. I prodotti vulcanici più antichi risalgono a circa 150 ka ed affiorano principalmente lungo la linea di costa, nel settore sud est. Questi appartengono ad un complesso vulcanico attualmente in parte eroso e ricoperto dai prodotti dell'attività più recente (Vezzoli, 1988). Si tratta di strati di piroclastiti pomicee con intercalazioni di scorie che costituiscono la Formazione di Carrozza. Tali depositi formano la struttura interna di Monte Vezzi e sono affioranti nella falesia lungo la Spiaggia di San Pancrazio.

I prodotti successivi a quelli della Formazione di Carrozza 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 brecce 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.

SECONDA FASE DI ATTIVITÀ VULCANICA: 150.000 – 75.000 anni fa. La seconda fase, di età compresa tra i 150.000 e i 75.000 anni fa, è testimoniata 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, sudoccidentale 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 ischitiano 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.



Figura 24 - Fasi dell'attività vulcanica di Ischia.

III FASE DI ATTIVITÀ VULCANICA: 55.000 – 33.000 anni fa. La terza fase, 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, responsabile della formazione di una caldera che, verosimilmente, avrebbe occupato la zona che attualmente ospita la parte centrale dell'Isola. Questo evento determinò la formazione di flussi piroclastici che andarono a colmare parzialmente la depressione calderica, in precedenza invasa dal mare, e a ricoprire in parte le aree allora emerse. 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. Segue un breve periodo di quiescenza, durante il quale la geografia dell'isola andava profondamente modificandosi a seguito dell'emersione della sua porzione centrale, dovuta all'instaurarsi di un fenomeno di sollevamento dal fondo della caldera (risorgenza) successiva all'eruzione del Tufo Verde del Monte Epomeo.

IV FASE DI ATTIVITÀ VULCANICA: 28.500 – 18.000 anni fa. La quarta 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 sudoccidentale dell'isola, circa 28.000 anni fa.

V FASE DI ATTIVITÀ VULCANICA: 10.000 anni fa – 1.302 d.C. Numerose eruzioni, datate a partire da circa 10.000 anni fa, segnano la fine di un periodo di quiescenza e l'inizio di una fase di attività che si è protratta fino all'eruzione dell'Arso avvenuta nel 1302 d.C. I prodotti di questa fase vulcanica sono successivi alle formazioni marine tardo-pleistoceniche e si intercalano ai potenti ed estesi cumuli di frana che rimaneggianoi terreni marini.

L'attività vulcanica di questa fase si è sviluppata soprattutto nel settore orientale dell'isola, corrispondente all'area del graben di Ischia (Vezzoli, 1988). Nell'area, oltre alle strutture regionali ad andamento anti-appenninico, è possibile riconoscere tutta una serie di faglie associate al sollevamento del blocco risorgente del Monte Epomeo (Figura 25).



Figura 25 - Schema Geologico dell'Isola d'Ischia. Si nota al cento dell'isola, il complesso sistema di faglie che borda il blocco risorgente dell'Epomeo (de Vita et al., 2010)

Questo fenomeno (illustrato in Figura 26), iniziato durante la III fase di attività vulcanica, a seguito dell'intrusione di nuovo magma nel sistema, ha causato il sollevamento del blocco centrale dell'isola di almeno 900 m negli ultimi 30.000 anni (Orsi et al.,1991). 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 (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 (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 (c).



Figura 26 - 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 vulcanotettonico (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 27):

- L'Horst del Monte Epomeo (787 m s.l.m.) è delimitato da faglie con direzione N-S ed E-O. Il rilievo del Monte Epomeo è costituito principalmente dall'enorme espandimento ignimbritico 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 28).

- 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 NO 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-O e ONO-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-O e ONO-ESE che bordano il settore nord del Monte Epomeo;
- b. il sistema di faglie NE-SO che taglia i depositi del settore orientale;
- c. faglie ad orientazione NO-SE relative al settore NO dell'isola;
- d. le faglie NNO-SSE e N-S che bordano il settore orientale ed occidentale del Monte Epomeo.



*Figura 27 - 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).* 



Figura 28 - Centri attivi negli ultimi 10 ka, divisi per età (10-4.3 ka e 2.9 ka - 1302 AD), e per tipo di attività (effusive lave, effusive duomi, esplosive magmatiche, freatomagmatiche e miste), da CPV-TdL Ischia (2016)

# 3.2 Assetto geomorfologico

L'isola d'Ischia copre un'area di circa 46 km<sup>2</sup> e, da un punto di vista morfologico, è dominata dal rilievo centrale del M. Epomeo (787 m s.l.m.) e dall'allineamento NE-SW dellecime di M. Vezzi, M. Barano e M. Cotto, nel settore sud-orientale. La costa dell'isola è caratterizzata, a sud, da versanti a picco sul mare, intercalati a promontori, e da versanti che degradano dolcemente verso il mare, con subordinati tratti a falesia, per la restante parte.

L'assetto geomorfologico dell'isola è costituito da lineamenti che caratterizzano movimenti gravitativi, dovuti sia alla recente attività vulcanica che alla complessa storia tettonica. L'evento vulcano-tettonico che ha maggiormente controllato l'evoluzione geodinamica dell'isola ed i processi

morfodinamici è costituito dal sollevamento dell'horst del Monte Epomeo. Il settore centrale dell'isola è quindi quello coinvolto nel processo deformativo, mentre circa la metà dell'isola è caratterizzata dalla presenza di depositi gravitativi, mudflow e debris avalanche, che evidenziano l'evoluzione geomofologica del Monte Epomeo in tempi relativamente recenti.

Tale attività gravitativa si manifesta attraverso fenomenologie superficiali, che spesso interessano le coltri detritiche lungo i versanti acclivi del Monte Epomeo e frane di crollo/ribaltamento, che invece sono molto frequenti lungo le falesie della fascia costiera, ma è la stessa attività è caratterizzata anche da deformazioni profonde potenzialmente collegate a grandi frane in roccia (CPV - TdL Ischia, 2016, Figura 29). Tra queste, va segnalata la deformazione gravitativa profonda che interessa il Monte Epomeo nella sua porzione occidentale, corrispondente al Monte Nuovo (e.g., Della Seta et al. 2015). Il possibile collasso di Monte Nuovo sul versante NO dell'Epomeo potrebbe essere accelerato da eventi sismici, verosimilmente a bassa frequenza (Lenti etal., 2015). Al contrario, Paparo e Tinti (2017) ipotizzano un possibile innesco da parte di eventi simili al terremoto di Casamicciola del 1883. Tale collasso rappresenterebbe uno scenario di grande frana in roccia che, oltre ad investire il settore sottostante della costa, potrebbe generare uno tsunami di notevole dimensione, con impatto significativo sull'isola e su ampi tratti della costa campana (Zaniboni et al., 2013).



Figura 29 - Distribuzione spaziale di (a sinistra) rock avalanche e della DGPV (deformazione gravitativa profonda di versante) di Monte Nuovo e (a destra) di frane impulsive superficiali (da CPV - TdL Ischia, 2016).

Le linee di drenaggio e l'orografia superficiale enfatizzano il non-equilibro ipsometrico del profilo dell'isola, dove in alcuni settori, specie quello occidentale ed orientale, manca un ben definito sistema superficiale di linee di deflusso naturali (Figura 30).

I bacini imbriferi più rilevanti si segnalano a Nord di Casamicciola e di Lacco Ameno, a Ovest di Forio, Succhivo e Serrara e a Est di Ischia.

Per quanto riguarda Casamicciola Terme, le acque piovane, scorrendo lungo le cave Buceto - Puzzilo, Leccie-Fasaniello e Celario- Sinigallia confluiscono in un unico alveo in località Piazza Bagni per poi sfociare nel porto di Casamicciola.

Il Bacino di Lacco Ameno, da Cava del Monaco si immette, invece, in Cava la Rita per poi proseguire verso il porto, interessando marginalmente la porzione più occidentale del territorio comunale di Casamicciola Terme. Poco incisi gli alvei dal lato ovest di Forio mentre, il bacino di Serrara presenta numerose aste più profonde che sfociano sulla spiaggia dei Maronti.

Il bacino più importante dell'intera isola è quello del Rio Corbore che, nato in zona Monte Vezzi attraversa tutto il territorio comunale e, oltrepassati i Pilastri, sfocia nella costa.



Figura 30-Principali linee di drenaggio superficiale di Ischia (Vezzoli 1888)

La lunghezza media dei segmenti idrici non è mai superiore a 2 km, con un rapporto di biforcazione tra 2 e 5.7 ed una densità di drenaggio tra 0.47 a 2.09 km/km²).

#### Geomorfologia del territorio comunale di Casamicciola Terme

Il territorio comunale di Casamicciola Terme è ubicato nella porzione settentrionale dell'Isola di Ischia e si estende per quasi 6 km<sup>2</sup> dal crinale del Monte Epomeo-Punta letto (tra 786 e 680 m s.l.m.) fino alla costa settentrionale dell'isola. Il territorio comunale di Casamicciola Terme dal punto di vista geomorfologico risulta molto vario in quanto è possibile identificare aree ben distinte dal punto vista geologico-morfologico, al di sopra delle quali si estendono, in modo spesso irregolare, i vari nuclei abitati.

#### Settore orientale

Partendo dal settore orientale, dal Fosso del Puzzillo fino al confine col Comune di Ischia, il territorio è caratterizzato dall'allineamento a direzione N-S dei coni vulcanici del Bosco della Maddalena, del Rotaro edel Monte Tabor, dove si alternano scorie e colate laviche tardo-oloceniche e dalla prospiciente fascia costiera che da Contrada Perrone prosegue perPunta della Scrofa e Bagnetielli fino a Castiglione.



Figura 31 – Casamicciola vista da mare: a destra il monte Epomeo, a sinistrai coni delBosco della Maddalena, del Rotaro e del Monte Tabor (foto RTP Toscano-Cuccurullo-D'Anna)

Il Complesso del Rotaro comprende una serie di edifici allineati lungo una fessura con direzione NW-SE, con migrazione dei centri eruttivi da SE a NW (Rittmann, 1930; Vezzoli, 1988). L'edificio più antico è il cono del Bosco della Maddalena a cui seguono i coni del Rotaro e quelli di Punta della Scrofa (Figura 32).



Figura 32 - Mappa Geologica della parte est della Caldera di Ischia. Da Vezzoli et al., 2009.

#### Settore meridionale

Il settore meridionale del territorio comunale, invece, posto alle pendici del Monte Epomeo, corrisponde all'acclive versante nord del Monte Epomeo, orientato in direzione ovest-est, dove

affiora l'omonimo Tufo Vede, e alla contigua dorsale di Colle letto-Buceto a direzione SW-NE, dove affiorano le argille marine della Unità di Cava Leccie e le sottostanti Sabbie epiclastiche di Campomanno. Escludendo i crinali, inquesto settore l'orografia è abbastanza articolata per l'alternarsi di morfologie ad anfiteatro, come a contrada Montagnone, Pantane ed Ervaniello, di rilievi collinari pedemontani inframezzati da profonde incisioni vallive torrentizie dette "cave", a orientamento S-N, e di terrazzi morfo-strutturali a orientazione W-E. Tale complessità morfologica è da porsi in relazione sia allapresenza di grandi accumuli e nicchie di frana antiche e recenti, presenti fino al margine dell'abitato (Maio,Santa Barbara), sia alla complessa intersezione di faglie normali a direzione W-N e NW-SE che dislocano e ribassano complessivamente verso nord il versante settentrionale dell'Epomeo.



Figura 33 - Mappa morfostrutturale del settore nord ed ovest dell'Isola d'Ischia. Da Della Seta et al., 2012

#### Settore centro-occidentale

Il settore centro-occidentale del territorio comunale si estende per oltre 500 m in senso longitudinale, lungo la direzione W-E, dalla Sorgente La Rita fino a lambire il rione Bagni; più ad est esso si raccorda con località Gurgitello, a monte di Piazza Bagni. Nel complesso si tratta di un'area morfologicamente ribassata, con quote comprese tra 60 e110 m s.l.m., ubicata ai piedi del versante settentrionale dell'Epomeo e delimitata a nord dall'allineamento delle colline di Grande Sentinella, Piccola Sentinella e Paradisiello. L'area è caratterizzata dall'affioramento di depositi di frana e di piede di versante; ovvero unità della Grande Sentinella e depositi di origine mista torrentizio e debris flow derivanti dallo smantellamento del Tufo Verde e della Formazione di Colle letto, successivamente alrapido sollevamento, o risorgenza, del blocco del Monte Epomeo avvenuto nel tardo Pleistocene superiore-Olocene. L'idrografia superficiale mostra una maggiore complessità rispetto ai settori contigui. Il reticolo è infatti caratterizzato dalla presenza di segmenti lineari orientati W-E, da numerosi gomiti di cattura e dadeflessioni delle cave, che testimoniano un forte controllo strutturale esercitato sugli impluvi da faglie efratture a direzioni prevalenti W-E e WNW-ESE (Vezzoli, 1988).



Figura 34–Sbocco del vallone Sinigallia – Leccie in prossimità di Via Nizzola, a monte di Piazza Bagni.

A tal proposito occorre anche notare come learee di Piazza Bagni, a est, e quella di La Rita, a ovest, rappresentino oltre che zone di risorgenza di acque termali anche zone di recapito delle acque superficiali raccolte a monte dai bacini imbriferi sovrastanti, bacino dell'Ombrasco e delle Pantane rispettivamente.

#### Settore settentrionale

Il settore settentrionale del territorio comunale di Casamicciola Terme è quasi completamente edificato e urbanizzato. Esso corrisponde alla fascia costiera pianeggiante a ovest di Perrone, ovvero Rione Marina e Porto; al rilievo tabulare terrazzato di via Eddomade, che si attesta a quota 20-30 m s.l.m. e che si raccorda con la fascia costiera mediante una ripida scarpata; ai già citati rilievi di Grande Sentinella, Piccola Sentinellae Paradisiello, con sommità a quote comprese tra 85 e 124 m s.l.m. e separati tra loro da blandi avvallamenti a direzione NNE-SSW. Nella zona affiorano sempre i depositi sedimentari di frana e di smantellamento del Tufo Verde e della Formazione di Colle letto, intercalati a depositi piroclastici primari, quali i Tufi di Casamicciola e cineriti argillificate e alle Lave della Fundera affioranti lungo il versante NW della Grande Sentinella (Sbrana &Tocccaceli, 2011). I versanti dei rilievi sono molto regolari e verosimilmente controllati da linee di faglia a direzione W-E e NNE-SSW.



Figura 35 - Piana costiera di Casamicciola vista dal Belvedere.

# 3.3 Assetto stratigrafico

L'isola d'Ischia rappresenta la parte emersa di un grande campo vulcanico che si estende da Procida ai vulcani sottomarini dell'*off-shore* occidentale ischitano. Il campo vulcanico si sviluppa su un'area di 42 kmq circa, allungata in direzione circa est-ovest, costituito da vulcani di dimensioni relativamente piccole, da strutture calderiche quale quella ischitana legata alle grandi eruzioni esplosive pliniane ed ignimbritiche del sintema del Rifugio di San Nicola. L'attività di Ischia antica (registrata dalle lave e piroclastiti dell'omonimo Sintema di Ischia Antica) si sviluppa da più di 150 ka a circa 75 ka fa con un vulcanismo areale dominato da coni di tufo idromagmatici, duomi lavici affioranti in areali lungo il tratto costiero tra Punta Imperatore, Punta Chiarito-Sorgeto, Sant'Angelo e Punta della Signora, Scarrupata di Barano, Carta Romana, Ischia Ponte. Le successioni più antiche

presenti sull'isola d'Ischia sono ricoperte da depositi piroclastici legati ad eruzioni esplosive avvenute intorno a 30ka (Figura 36). I depositi di guesto tipo di eruzioni, che sono comuni nella storia eruttiva di Ischia, sono rappresentati dai banchi di scorie saldate che si estendono da Ischia Ponte, al Torone, a Monte di Vezzi. Le successive unità laviche di Punta Imperatore e di Sant'Angelo sono interessate da una superficie di abrasione marina con a luoghi associate sabbie fossilifere sviluppata tra i 7 e 98 ka. Depositi dell'attività esplosiva di tipo pliniano ed ignimbritico, avvenuta intorno ai 98 ka fa in forma molto più intensa di quella del Vezzi-Torone, formati da sequenze di livelli di pomici pliniane e depositi di brecce piroclastiche co-ignimbritiche, sono esposti a Punta Imperatore, Sant'Angelo e San Pancrazio. Il periodo successivo compreso tra i 98 ka ed i 73 ka registra esclusivamente l'effusione di lave nell'area NO, Duomo del Vico e SE, lava di Parata. I depositi piroclastici emessi tra 73 ka e 56 ka costituiscono nel loro insieme la successione dei tufi che formano il sintema di Rifugio San Nicola. Con l'eruzione del canale d'Ischia inferiore, si apre questa fase dell'evoluzione di Ischia, seguita dalla messa in posto delle piroclastiti di Pignatiello, successione di strati di pomici pliniane e depositi di *ash-flow* con paleosuoli intercalati. Con le eruzioni di Pignatiello ha inizio l'individuazione della caldera di Ischia che raggiungerà la forma attuale alla fine del ciclo eruttivo parossistico. A tetto delle piroclastiti di Pignatiello si collocano i prodotti del Canale d'Ischia superiore e di Fiumicello, seguiti dai depositi di almeno 3 grandi eruzioni, pliniane evolventi ad ignimbritiche, distinte, in ordine stratigrafico dalla più antica alla più recente, in: tufi del Pizzone, tufi dei Frassitelli e Tufo Verde del Monte Epomeo, il cui spessore cumulativo totale supera i 600-700 m e formanti il blocco risorgente dell'Epomeo. Questi depositi, individuati da perforazioni geotermiche nel sottosuolo della caldera in aree non interessate dalla risorgenza, mostrano situazioni stratigrafiche simili a quelle presenti nel blocco sollevato. A tetto di queste unità si collocano le piroclastiti della Secca d'Ischia datate in questo lavoro a circa 60 ka. La successione dei tufi mostra una trasformazione idrotermale pervasiva dell'intera sequenza mettendo in evidenza che la successione dell'Epomeo è stata interessata da circolazione idrotermale di alta temperatura. L'inizio della risorgenza del centro della caldera, causata con tutta probabilità da una importante rialimentazione magmatica del laccolite ischitano, ha favorito la circolazione idrotermale pervasiva nelle ignimbriti probabilmente anche a causa di un intenso trasferimento di massa ed energia per degassamento delle nuove masse magmatiche intruse superficialmente. Riassumendo quindi, l'acme esplosivo avvenuto nel campo vulcanico per lo più intorno ai 60 ka (tra 73 e 56 ka) provoca la formazione di una struttura calderica regionale parzialmente colmata da depositi ignimbritici con diverso grado di saldatura; nella conca calderica invasa dal mare, i depositi piroclastici vengono rapidamente idrotermalizzati sotto l'influenza di un sistema idrotermale dominato da acqua di mare, il cui motore termico e rappresentato dal laccolite trachitico intruso a bassa profondità.

Nel periodo successivo la caldera ischitana si riattiva e, con un meccanismo connesso alla rialimentazione della camera magmatica, la parte centrale della caldera si solleva andando progressivamente a formare il blocco del Monte Epomeo. L'inizio della risorgenza non è ben inquadrata dal punto di vista cronologico, ma vari dati concorrono a suggerire che l'*uplift* inizia probabilmente subito dopo la crisi esplosiva conclusa intorno a 56 ka. Tufi gialli stratificati appoggiati alla faglia bordiera occidentale ed aventi età comprese tra 38 e 33 ka testimoniano che

il blocco dell'Epomeo era già largamente sollevato in questo intervallo di tempo. La successione del blocco risorgente, alla sommità nordorientale, è ricoperta in discordanza da sedimenti fossiliferi riferiti al Pleistocene superiore (argille e sabbie di cava Leccie). Anche questi dati confermano che il sollevamento della porzione centrale della caldera e iniziato in ambiente sottomarino, probabilmente poco dopo la formazione della caldera stessa, avvenuta intorno a 60-56 ka, e proseguendo successivamente, anche settorialmente in modo differenziato, in epoca storica. Il vulcanismo post-risorgenza si presenta molto attivo con centri eruttivi dispersi sull'intero campo vulcanico. Bocche eruttive che hanno dato origine alle piroclastiti di Ciglio, ai tufi di Serrara-Cava Petrella, Pizzi Bianchi, Maronti, Testaccio sono localizzate sulle faglie bordiere del blocco risorgente. L'attività esplosiva più recente si sviluppa nel settore SO ed O dell'isola e nelle aree marine prossime all'isola negli stessi quadranti del campo vulcanico. Per lo più i centri eruttivi sono di tipo esplosivo ma non mancano a terra i duomi lavici e le colate di lava (Grotta del Mavone). I depositi si collocano tra circa 30 ka e circa 18 ka e sono stati raccolti nella parte basale del sintema dell'Iso1a d'Ischia. La messa in posto dei duomi di Costa Sparaina e di Trippodi, avvenuta tra 16 e 14 ka sulle strutture bordiere orientali del Monte Epomeo, concorre probabilmente all'ulteriore sollevamento e/o riassestamento del blocco centrale risorgente rispetto al settore orientale. Il periodo successivo vede un rallentamento del vulcanismo che all'inizio dell'Olocene si localizza nel settore settentrionale del campo vulcanico: tra 8 e 6 ka si attivano centri esplosivi idromagmatici nell'area oggi occupata dal Complesso del Rotaro. A questa attività sono da ascrivere i tufi di Cava del Puzzillo e di Casamicciola e la messa in posto dei duomi della Fundera e del complesso dello Zaro. In relazione alla evoluzione vulcano tettonica dell'Isola, con il sollevamento del blocco centrale, le propaggini occidentale (versante di Forio), settentrionale (versante di Casamicciola) e meridionale (versante dei Maronti) subiscono diffusi collassi di settore con la messa in posto di *debris avalanche* molto estese che si sviluppano verso le aree costiere e marine, raggiungendo distanze dell'ordine di 10 km dalla costa a nord ed ovest e di circa 40 km a sud, dando origine ai depositi che caratterizzano le morfologie dei fondali marini circostanti l'isola. I depositi di *debris avalanches* sono ricoperti nei settori emersi insulari da sedimenti marini associati a superfici terrazzate ben visibili nell'area di Lacco Ameno, Casamicciola e nel settore meridionale dell'anfiteatro di Serrara Fontana. Nelle aree marine circostanti l'isola i depositi di debris avalanches sono ricoperti da spessori ridotti di sedimenti di piattaforma interna prossimale (depositi di blocchi e ciottoli formati dallo stesso materiale delle debris avalanches, depositi sabbiosi da grossolani a lini e depositi di sabbie pelitiche e peliti). Sui depositi di debris avalanche si osservano inoltre vari ordini di terrazzi che si sviluppano alle quote di -5, -10 e -20 m. Questi terrazzi riflettono sia l'innalzamento del livello del mare avvenuto negli ultimi 10.000 anni sia movimenti verticali di sollevamento e subsidenza dell'intero campo vulcanico, legati con tutta probabilità alla evoluzione del sistema magmatico ischitano.



*Figura 36- Schema dei rapporti stratigrafici tra le unità litostratigrafiche e le unità sintemiche dei depositi vulcanici ed epiclastici (da Foglio 464 Ischia, scala 1:10.000, Progetto CAR.G. Regione Campania, 2011)* 

Per la descrizione dei substrati geologici e dei terreni di copertura individuati nel territorio comunale di Casamicciola si è fatto riferimento alle seguenti carte:

- Carta Geologica d'Italia progetto CARG in scala 1:50.000 Foglio 404 "Isola d'Ischia";
- Carta Geologica 'ISOLA D'ISCHIA'' in scala 1:10.000 REGIONE CAMPANIA assessorato difesa suolo, 2011;
- Volcanological map of Ischia Alessandro Sbrana, Paola Marianelli, Giuseppe Pasquini, Scala 1:10.000, 2018;
- Carta Geolitologica allegata allo studio "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".



Figura 37 - Carta Geologica CARG F. 464, Isola d'Ischia

Di seguito vengono illustrati, in un grafico a torta, i valori in percentuale dei terreni di copertura e dei substrati presenti sul territorio comunale da cui si evince che i terreni di copertura affiorano per il 62% mentre i substrati per il 38% (vedi Figura 38).



Figura 38 - Distribuzione percentuale delle coperture e dei substrati affioranti.

#### <u>Substrati Geologici</u>

I substrati geologici affiorano per il 38% nell'area di studio. Questo 38%, assunto come 100% di substrato geologico, si suddivide con netta prevalenza delle formazioni dello SFALS (ovvero unità geologico-tecnica ''Substrato fratturato alterato e stratificato'', secondo la carta Geologico Tecnica degli ICMS2008 e relativi Standard di rappresentazione Cartografica) affioranti per il 56% in particolare a NW, essendo costituiti dalle lave del Monte Rotaro. I substrati SFGRS (ovvero ''Substrato Granulare Fratturato e Stratificato'') si rinvengono per il 33%, a SW e corrispondono alle formazioni del Monte Epomeo ed all'Unità di Campomanno mentre gli SFCO (ovvero ''Substrato Fratturaro Coesivo'') affiorano per il rimanente 11% nel settore centro meridionale.



Figura 39 - Distribuzione percentuale dei substrati affioranti.

I substrati geologici affioranti nel territorio comunale di Casamicciola sono i seguenti:

SFGRS -In questo complesso sono stati accorpati i seguenti termini: deposito costituito da alternanza di depositi tufacei massivi affetti da alterazione idrotermale e da brecce piroclastiche costituite da bombe scoriacee ed abbondanti litici lavici. Depositi afferenti al Tufo del Pizzone, al Tufo di Frassinelli e al Tufo Verde del Monte Epomeo del Sintema del Rifugio di San Nicola, ai Tufi di cava Puzzillo del subsintema di La Rita-Monte Caccaviello, al Membro di Pietra Vono del Sintema dell'Isola d'Ischia e ai Tufi di Casamicciola del Sintema dell'Isola d'Ischia, subsintema di La Rita-Monte Caccaviello. Si presentano alterati/fratturati e/o ricoperti da corpi di frana. Depositi arenitici e siltitici massivi e/o sottilmente stratificati. Presenza di ciottoli e blocchi sparsi di tufacei e subordinatamente lavici. Presenza di olistoliti di spessore plurimetrico. Moderatamente addensati (Codici CARG: CPMa, CPMb, PZE, TCN, TFS, TIL, TME). Risultano molto diffusi in affioramento le Unità di Campomanno (Figura 40 e Figura 41) ed il tufo verde del Monte Epomeo.



Figura 40 - Unità di Campomanno del Sintema dell'Isola d'Ischia, in affioramento lungo le pareti del vallone Sinigallia – Leccie in prossimità di Via Nizzola, a monte di Piazza Bagni



Figura 41 – Particolare Unità di Campomanno del Sintema dell'Isola d'Ischia in affioramento lungo le pareti del vallone Sinigallia – Leccie in prossimità di Via Nizzola, a monte di Piazza Bagni

- SFCO In questo complesso sono stati accorpati i seguenti termini: Depositi argillosi, argilloso-siltosi e siltoso-sabbiosi di natura piroclastica, fossiliferi, con locali intercalazione di lenti sabbiose. Passano verso l'alto a sabbie da medio-fini a grossolane, con componente quarzosa, sempre più prevalenti fino a chiudere la sequenza dell'unità sedimentaria marina. Lo spessore varia da 5 a 40m. Lo stato di coesione è elevato (Codici CARG: b, VEC, CJT). Risulta particolarmente diffusa l'Unità di Cava Leccie.
- SFALS In questo complesso sono stati accorpati i seguenti termini: Depositi costituiti da successioni di lave, piroclastiti, brecce piroclastiche stratificate in strati, da depositi epiclastici marini, costituiti da livelli da centimetrici a decimetrici di siltiti e areniti, da lave scoriacee a blocchi, da tufi gialli stratificati formati da un'alternanza di livelli di tufi cineritici

e da depositi di spiaggia cineritici e sabbiosi stratificati. Depositi afferenti ai Tufi di Cava Puzzillo del subsintema di La Rita-Monte Caccaviello, al Membro del Montagnone inferiore del Sintema dell'Isola d'Ischia, all'Unità di Cava Celario del Sintema del Rifugio di San Nicola e alle Lave e piroclastiti del Bosco della Maddalena (Membro di Cognolo) del Sintema dell'Isola d'Ischia. Si presentano alterati/fratturati e/o ricoperti da corpi di frana (Codici CARG: h3, b2, PUZa, PUZb, BGI, MIT, PUT1, PUT2, BMD1, BMD2a, BMD2b, BMD3; MMH1, MMH2, MMH3, TBR, RTA, ECV, SNA2). Lo SFALS affiora in maniera prevalente nella porzione orientale del territorio comunale (Monte Rotaro) dove risulta particolarmente diffuso il Complesso della Maddalena e le lave di Punta della Scrofa.



Figura 42 - Complesso della Maddalena fotografato da via Castiglione

• SFLP - Lave trachitiche massive di colore grigio porfiriche a sanidino, del duomo della Fundera (Codice CARG: FUD). Le Lave della Fudera affiornano unicamente in una piccola zona ad est della Grande Sentinella.



Figura 43 - Affioramento lavico della Fudera - foto dr.ssa Alessia lannotta

#### Nella successiva Tabella 5 si riepilogano tutti i substrati geologici affioranti.

Codice CARG	Descrizione Substrati			
BMD1	Lave e piroclastiti del Bosco della Maddalena (Membro di Cognolo) del Sintema dell'Isola d'Ischia, costituito da brecce piroclastiche stratificate dello spessore di circa 10-20m in strati di lapilli e bombe pomicee e scoriacee trachitiche e abbondanti litici lavici.			
BMD2	Membro del Fondo d'Oglio costituito da livelli di lapilli e bombe scoriacee talora saldati legati all'attività esplosiva del duomo del Fondo d'Oglio			
BMD3	Membro de le Quercie dato da un deposito dello spessore di 2m, formato da brecce stratificate di bombe e lapilli pomicei alternati a livelli di ceneri.			
CJT	Unità di Colle Jetto del Sintema di Buceto, Subsintema di Fasaniello, costituita da epiclastiti di ambiente marino, formate da siltiti di colore bianco e avana, da massive a sottilmente stratificate. A luoghi costituita da alternanze di livelli litificati cineritici e di livelli arricchiti in pomici sub arrotondate e clasti di tufi. Si presentano moderatamente addensate.			
СРМа	Unità di Campomanno del Sintema dell'Isola d'Ischia Subsintema di Fasaniello, costituita da epiclastiti da debolmente a mediamente litificate, di colore giallastro e verdastro, da massive a debolmente strutturate, composte da cineriti fini e grossolane, litici lavici tufi in matrice fine argillosa di colore dal verdastro al giallo, derivanti dallo smantellamento della successione dei Tufi di Monte Epomeo e da sedimentazione d ambiente marino, moderatamente addensati. Sono presenti olistoliti plurimetrici o mostrano strutture di slumping.			
CPMb	Unità di Campomanno del Sintema dell'Isola d'Ischia Subsintema di Fasaniello, costituit da epiclastiti da debolmente a mediamente litificate, di colore giallastro e verdastro, d massive a debolmente strutturate, composte da cineriti fini e grossolane, litici lavici tufi in matrice fine argillosa di colore dal verdastro al giallo, derivanti dall smantellamento della successione dei Tufi di Monte Epomeo e da sedimentazione d			

Tabella 5 - Riepilogo substrati affiornati nel territorio comunale di Casamicciola Terme.

Codice CARG	Descrizione Substrati			
	ambiente marino. Sono dati da depositi epiclastici siltosi e sabbiosi di colore giallastro, massivi o debolmente laminati, intensamente fratturati e alterati, moderatamente addensati.			
ECV	Unità di Cava Celario del Sintema del Rifugio di San Nicola, costituita da depositi epiclastici marini, costituiti da livelli da centimetrici a decimetrici di siltiti e areniti, di colore dal grigio chiaro al verde chiaro al bruno, massive o debolmente laminate, intensamente fratturate e intersecate da vene e noduli idrotermali di colore verde, costituiti da smectiti.			
FUD	Lave della Fundera, del sub sintema di La Rita-Monte Caccaviello, costituite da lave trachitiche massive di colore grigio porfiriche a sanidino, del duomo della Fundera, con spessore di 25m.			
MMH1	Membro del Maschiata costituito da lave scoriacee di colore grigio scuro, porfiriche a sanidino, del duomo della Maschiata.			
MMH2	Membro del Montagnone inferiore del Sintema dell'Isola d'Ischia, costituito da lave scoriacee a blocchi di colore nero a composizione trachitica.			
MMH3	Membro del Montagnone superiore costituito da deposito piroclastico grossolanamente stratificato, di lapilli e bombe scoriacee dense di colore nero o rosso con subordinati litici lavici, clasto sostenuto.			
PUT1	Membro di Pietra Vono del Sintema dell'Isola d'Ischia, costituito da brecce piroclastiche formate da bombe scoriacee nere e abbondanti litici lavici, clasto sostenute, di caduta, che formano il cono di scorie del Castiglione.			
PUT2	Membro di Perrone del Sintema dell'Isola d'Ischia, costituito da lave a blocchi di colore grigio scuro, porfiriche a sanidino.			
PUZa	Tufi di cava Puzzillo del sub sintema di La Rita-Monte Caccaviello, costituiti da lave massive di colore grigio, molto porfiriche a sanidino con spessore di 40m a composizione trachitica.			
PUZb	Tufi di Cava Puzzillo del sub sintema di La Rita-Monte Caccaviello, costituiti da tufi gial stratificati formati da un'alternanza di livelli di tufi cineritici e strati sottili e medi di tuf ricchi di lapilli pomicei con strutture duniformi ed impronte di caduta, con intercalat livelli massivi talvolta ricchi di litici			
PZE	Tufo del Pizzone del Sintema del Rifugio di San Nicola, costituiti da tufi massivi da fortemente saldati a saldati a tessitura eutaxitica, di colore grigio chiaro-verdastro chiaro, costituiti da fiamme talora scoriacee fortemente porfiriche a sanidino di composizione rachitica, lapilli pomicei, cristalli di alcali-feldspati e biotite, clasti litici minuti in matrice cineritica, blocchi anche metrici di sieniti. Il loro spessore supera i 150m. Depositi di flusso piroclastico sedimentati in ambiente sottomarino. I tufi sonci affetti da alterazione idrotermale. Completano verso il basso la sequenza di unità tufacee ignimbritiche idrotermalizzate intracalderiche che formano il blocco risorgente dell'Epomeo.			
TCN	Unità di Toccaneto del Sintema di Buceto Subsintema di Piani di San Paolo, costituita da sabbie fini di colore bianco da sciolte a debolmente litificate, massive e a luoghi debolmente strutturate, costituite prevalentemente da frammenti di vetro e pomici. Le sabbie contengono noduli sferici carbonatici e clasti di argille con macrofossili. Hanno spessore di 2-3m.			
TFS	Tufo di Frassinelli del Sintema del Rifugio di San Nicola, costituiti da tufi cineritici di colore giallastro e giallo verdastro, massivi, ricchi in pomici e fiamme, contenenti scorie convolute e appiattite, litici lavici, tufi e sieniti. Si riconoscono almeno cinque unità di flusso di spessore pluridecametrico con alla base livelli lentiformi plurimetrici di brecce massive ricche di litici lavici, lave idrotermalizzate, tufi verdi, sieniti, a luoghi in matrice cineritica grossolana. Alla base della sequenza spesso di 30-40m è presente un deposito di breccia piroclastica di colore verde scuro, costituita da litici lavici, in matrice di lapilli pomicei. La matrice è sostituita da minerali secondari di alterazione idrotermale. Al tetto sono leggermente stratificati. Lo spessore è di circa 300m.			
TIL	Unità di Castiglione del Subsintema di La Rita-Monte Caccaviello, costituita da depositi di spiaggia cineritici e sabbiosi stratificati di colore grigio verdastro e marrone chiaro, sabbie e sabbie siltose fossilifere ricche in microfossili a componente piroclastica.			

Codice CARG	Descrizione Substrati	
	massive e a stratificazione incrociata di spessore 25m. La formazione è fagliata e tiltata verso est.	
ТМЕ	Tufo Verde del Monte Epomeo del Sintema del rifugio di San Nicola, dato da tufi massivi di colore da verde chiaro, costituiti da lapilli e bombe pomicee e scoriacee trachitiche, porfiriche a sanidino centimetriche e biotite, subordinati clasti litici minuti e abbondanti cristalli di alcali feldspati centimetrici e biotite immersi in matrice cineritica e micropomicea. Alla base dell'unità sono presenti livelli saldati e brecce ricche di litici. Il deposito piroclastico è idrotermalizzato in maniera pervasiva. Le pomici e la matrice cineritica originaria sono sostituite da un'associazione di minerali idrotermali di neoformazione di alta temperatura. Verso l'alto la granulometria del deposito tende a diminuire e la colorazione tende al giallo ocra. Lo spessore è di 200m circa.	
VEC	Unità di Cava Leccie del Sintema di Buceto Subsintema di Piani di San Paolo, Formazione di Colle Jetto data da successione di argille, argille siltose e sabbiose grigie e grigio- azzurre, fossilifere, con locali intercalazione di lenti sabbiose, argille brune e giallo ocra, con lenti di sabbie. Passano verso l'alto a sabbie giallo-rossiccie, da medio-fini a grossolane, con componente quarzosa, sempre più prevalenti fino a chiudere la sequenza dell'unità sedimentaria marina. Lo spessore varia da 5 a 40m. Lo stato di coesione è elevato.	
BGI	Piroclastiti di Bagnetielli costituiti da livelli di ceneri e pomici di caduta, di colore grigio e biancastro, alternati a livelli di ceneri e pomici a laminazione incrociata e dune ben sviluppate di correnti di densità piroclastiche, freatomagmatici, non litificati, non correlabili ad un centro eruttivo ben definito.	
МІТ	Lave del Mortito costituite da lave trachitiche di colore grigio scuro, compatte, poco vescicolare, porfiriche, a sanidino, che formano il duomo del Mortito.	
TBR	Lave del Monte Tabor costituite da lave trachitiche di colore grigio nerastro porfiriche a biotite, pirosseno e sanidino.	
RTA	Lave del Monte Rotaro costituite da lave scoriacee di colore grigio scuro, trachitiche dello spessore di circa 87m. localmente sono presenti livelli piroclastici, bomb scoriacee e scorie saldate.	
SNA2	Membro de La Quercia costituito da livelli di ceneri grossolane e pomici biancast ricche in matrice a stratificazione incrociata. Depositi di correnti di densità piroclasti diluite.	

#### <u>Terreni di copertura</u>

Per quanto riguarda i terreni di copertura, affiorano in maniera predominate i depositi sabbiosi contraddistinti come SM che occupano circa il 58% dell'area di interesse; essi si individuano prevalentemente dalla fascia pedemontana fino alla costa della parte centrale del territorio comunale.

Subordinatamente sono presenti i complessi GM per il 22% ubicati alle falde dei rilievi/colline vulcaniche da SW a NE; gli ML, presenti per l'11%, a macchia di leopardo su piccole aree del territorio; i terreni di riporto RI presenti per il 6% principalmente nei centri storici di Piazza Maio e Piazza Bagni e nella zona portuale e i GC presenti in piccola parte (3%) al confine con il comune di Lacco Ameno.



Figura 44 - Distribuzione percentuale delle coperture affioranti.

I terreni di copertura affioranti nel territorio comunale di Casamicciola Terme sono i seguenti:

- RIzz Depositi e opere antropici. Terreni di discarica e di rinterro grossolani eterometrici ed eterogenei, con abbondante matrice limoso-sabbiosa; opere di difesa costiera in cemento, calcestruzzo e grandi blocchi litici. Lo spessore varia tra i 3 ed i 6 metri (codici CARG r, h1 ed h3). I terreni di riporto rivestono un significato importante per la microzonazione di Casamicciola, in quanto nelle aree urbanizzate di Piazza Majo, di Piazza Bagni e di via Passariello sono costituiti dai materiali di risulta dei fabbricati distrutti dai terremoti storici del 1881 e del 1883, che venivano riversati in particolari aree per poi ricostruire (Luongo et al., 1998);
- GMca Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica, di ambiente di conoide alluvionale, in abbondante matrice sabbioso-limosa e limo-argillosa. Da sciolti a moderatamente addensati (Codice CARG: b);
- GMfd Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica, di ambiente di versante e di accumulo gravitativo da frana, a struttura caotica e massiva e/o stratificata in matrice sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Da poco a moderatamente addensati (Codici CARG: a1a, aa, a1b, GSN);

- GCfd Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica, di ambiente di falda detritica, in matrice argilloso-sabbiosa. Da sciolti a moderatamente addensati (Codici CARG: a1a, a1b, ECV, LMO);
- GMcd Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica, formati da megablocchi e blocchi, di ambiente gravitativo, in matrice sabbioso-argillosa. Moderatamente addensati (Codice CARG: LMO);



Figura 45 - Affioramento in Via Monte della Misericordia dell'Unità di Lacco Ameno, sub sintema di la Rita-Monte Caccaviello



Figura 46-Particolare dell'Unità di Lacco Ameno, sub sintema di la Rita-Monte Caccaviello

- SMtm Depositi limo-sabbiosi di natura piroclastica, di origine mista (debris flow e/o torrentizia), fossiliferi, interessati da lembi di terrazzo di abrasione marina. Poco addensati (Codici CARG: a1b, g2, ia, GSN);
- SPsp Depositi eterometrici di natura piroclastica costituiti da sabbie da fini a molto grossolane, di ambiente di spiaggia attuale, che includono occasionalmente ghiaie e ciottoli.

Includono anche depositi limosi e argillosi di ambiente di retrospiaggia. Da sciolti a poco addensati (Codice CARG: g2);



Figura 47 – Depositi di spiaggia attuali e recenti costituiti da elementi eterometrici di sabbie medio fini e grossolane.

- SMsc Livelli di tufi a grana fine, tufi breccia e tufi gialli stratificati ricchi in scorie e litici, a luoghi rimaneggiati. Spessori compresi tra i 5 ed i 25m (Codice CARG: CMI).
- SMca Depositi sabbiosi eterometrici, di natura piroclastica, con rare inclusioni di tufacei, in matrice limo-sabbiosa. Da poco addensati a moderatamente addensati e/o poco coesivi (Codici CARG: ib, a1b, ia, ic, GSN, LMO).



Figura 48 - Unità della Grande Sentinella costituita da depositi epiclastici massivi di debris flow in via Mennella.



Figura 49 - Unità della Grande Sentinella costituita da depositi epiclastici massivi di debris flow.

- SMcd Depositi costituiti da sabbie fini e grossolane, di conoide detritica, inclusi lavici e tufi, in matrice limo-argillosa. Da poco a moderatamente addensati (Codici CARG: a1b, ia, ib, ic, b2, GSN, LMO);
- SMec- Depositi eterometrici ed eterogenei costituiti da sabbie limose di natura piroclastica, debolmente coesivi (Codice CARG: b2);
- SMpi Depositi eterometrici di natura piroclastica costituiti prevalentemente da sabbie medio-fini e grossolane in matrice limo-sabbiosa. Includono anche depositi limo-argillosi. Da poco a moderatamente addensati (Codici CARG: b2, g2);
- SMfd Depositi eterometrici di natura piroclastica prevalentemente sabbioso-limosi, massivi.
   Da poco a moderatamente addensati. Includono elementi grossolani, tufacei, intensamente fratturati e megablocchi di dimensioni che possono superare i 10 metri. Depositi originati da colate detritiche (Codici CARG: a1b, ia, ic, b2, LMO, GSN);
- MLec Depositi limoso-argillosi e limoso-sabbiosi di natura piroclastica in matrice sabbiosoghiaiosa, debolmente coesivi. Origine eluvio-colluviale (Codice CARG: b2).

Nella successiva Tabella 6 si riepilogano tutti i terreni di copertura affioranti.

Tabella 6 - Riepilogo terreni di copertura affioranti nel territorio comunale di Casamicciola Terme.

Codice CARG	Descrizione Coperture		
ala	Accumuli gravitativi da frana di materiale eterogeneo ed eterometrico in matrico argillosa-sabbiosa e sabbiosa-limosa, poco addensati, grossolani, a struttura caotic (OLOCENE SUPERIORE-ATTUALE).		
alb	Depositi di antiche frane eterogenei a struttura da massiva a caotica compos prevalentemente da sabbie limose e argille, con scheletro detritico grossolano fino dimensioni di blocchi, poco addensati (OLOCENE SUPERIORE-ATTUALE).		
aa	Depositi di versante eterometrici da minuti a grossolani, in matrice prevalenteme limo-argillosa e sabbiosa o clasto sostenuti. I depositi si presentano moderatame		

Codice CARG	Descrizione Coperture			
	addensati e/o debolmente coesivi in ragione della componente argillosa. Si presentano con struttura massiva o stratificati (OLOCENE SUPERIORE-ATTUALE).			
g2	Depositi di spiaggia attuali e recenti costituiti da elementi etero metrici di sabbie medic fini e grossolane, a luoghi da ghiaie e ciottoli localmente inglobanti blocchi. Includono anche depositi limosi e argillosi di ambiente di retrospiaggia			
GSN	da clasti etero metrici grossolani, fino a blocchi, in matrice limo sabbiosa ed argillosa inglobante clasti anche plurimetrici arrotondati. Moderatamente addensati			
h1	Discariche, terreni di discarica e di rinterro			
h3	Opere di difesa costiera costituiti da blocchi e massi etero metrici fino alle dimensioni di qualche metro cubo, di natura lavica e calcarea			
b	Depositi alluvionali eterogenei ed etero metrici sabbioso-limosie argillosi, con scheletro detritico eterometrico da minuto a blocchi (OLOCENE SUPERIORE-ATTUALE).			
b2	Coltre eluvio colluviale costituita da limi sabbiosi e argillosi con scheletro detritico eterometrico da minuto a localmente grossolano, pedogenizzati al tetto (OLOCENE SUPERIORE-ATTUALE).			
ia	Depositi di origine mista debris flow e/o torrentizio costituiti da detriti 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 epiclastici localmente con lapilli pomicei e/o grossi blocchi lavici.			
ib	Depositi di origine mista debris flow e/o torrentizio costituiti da colate detritiche e fangose, di colore verdastro, da clasto sostenute a matrice sostenuti, formati da clasti di tufo verde, epiclastiti, tufi gialli e piroclastiti, strutturati. Poco addensati.			
ic	Depositi di origine mista debris flow e/o torrentizio costituito da deposito di colata detritica e fangosa, di colore verdastro, da clasto sostenuti a matrice sostenuti, formati da clasti da centimetrici a metrici di rocce epiclastiche e tufacee delle Unità di Campomanno e Colle Jetto. Hanno uno spessore di 2-3metri. Formano il conoide di Pera di Basso. Moderatamente addensati.			
LMO	Unità di Lacco Ameno, sub sintema di La Rita-Monte Caccaviello, costituita da deposi epiclastici massivi, molto grossolani formati da megablocchi anche superiori a 10m blocchi di tufi del sintema del Rifugio di San Nicola, intensamente fratturati con struttur di tipo jigsaw e rampe. Si tratta di depositi di debris avalange derivanti dal collass gravitativo del settore settentrionale del Monte Epomeo. Si estende nell'area marina d Lacco Ameno a Punta della Scrofa, dove forma un fan con una marcata morfologia collinette, hummock. Nell'area più interna, nel territorio comunale di Casamicciola presente a sud-ovest nella Zona di Monte Cito. Nella zona del litorale presenta eviden rielaborazioni di ambiente marino e matrice sabbiosa. Lo stato di addensamento moderato. Moderatamente addensati			
r	Terreni di riporto.			
TIL	Unità di Castiglione del Sibsintema di La Rita-Monte Caccaviello, costituita da deposi di spiaggia cineritici e sabbiosi stratificati di colore grigio verdastro e marrone chiaro sabbie e sabbie siltose fossilifere ricche in microfossili a componente piroclastica massive e a stratificazione incrociata di spessore 25m. La formazione è fagliata e tiltat verso est.			
ECV	Unità di Cava Celario del Sintema del Rifugio di San Nicola, costituita da depositi epiclastici marini, costituiti da livelli da centimetrici a decimetrici di siltiti e areniti, di colore dal grigio chiaro al verde chiaro al bruno, massive o debolmente laminate, intensamente fratturate e intersecate da vene e noduli idrotermali di colore verde, costituiti da smectiti.			
СМІ	Tufi di Casamicciola del Sintema dell'Isola d'Ischia Subsintema di La Rita-Mon Caccaviello, costituiti da tufi breccia e tufi gialli, stratificati, ricchi in scorie e lavici. So depositi idromagmatici che si riferiscono all'attività di cono/i di tufo ubicati lungo settore costiero di Casamicciola.			

# 3.4 Assetto idrogeologico

#### Assetto idrogeologico generale dell'Isola di Ischia

Data la modalità di messa in posto dei depositi e le vicissitudini vulcano-tettoniche che hanno interessato l'isola, le modalità del flusso idrico sotterraneo sono notevolmente complicate. Al fine di comprendere questo aspetto, sono state eseguite (Celico et al. 1999) diverse indagini idrogeologiche ed idrogeochimiche che hanno permesso di individuare due zone con comportamento idrogeologico differenziato (vedi Figura 50).

Nella zona del graben di Ischia, l'acquifero superficiale (i primi 100-200m di spessore saturo) costituito da depositi piroclastici e lave, è caratterizzato da una trasmissività relativamente elevata ed ospita un'unica falda alimentata sia dalle acque di infiltrazione diretta sia da acque di ingressione marina. Il recapito principale dell'acquifero è rappresentato dal mare, in condizioni indisturbate.

Nella zona del Monte Epomeo, invece, e nelle zone marginali, nei primi 100-200m di spessore l'acquifero saturo sono presenti livelli permeabili (detriti e sabbie sciolte), livelli semipermeabili e impermeabili. Di conseguenza, l'acquifero risulta essere meno trasmissivo, più eterogeneo ed anisotropo, rispetto all'area del graben. Per questo motivo, in questa area sono presenti più falde sovrapposte, aventi come recapito principale il mare. Altra complicazione dello schema idrogeologico è data dalla presenza delle numerose faglie e fratture che interessano questo settore, perchè queste rappresentano vie preferenziali del deflusso idrico sotterraneo, soprattutto lungo la verticale. Anche in questa zona è stata rilevata l'incidenza dell'alimentazione con acque di ingressione marina ed anche con fluidi di provenienza profonda.

Con lo studio del 1999, Celico et al. affermano che in generale, sia la valutazione delle risorse idriche sotterranee dell'isola, sia il chimismo delle acque campionate nel corso del suo studio, ben si adattano ad un modello idrogeologico che prevede una ricarica aggiuntiva dell'acquifero vulcanico,

oltre a quella meteorica. Infatti, l'ingressione marina avviene anche senza emungimenti dalla falda, in relazione al flusso di calore che interessa l'isola, in quanto Celico (1999) afferma che *'l'interfaccia tra acqua di falda e acqua marina si solleva in funzione del variato rapporto di densità tra i due fluidi e ciò è dovuto essenzialmente alla differenza di temperatura tra le acque di mare (relativamente fredde, per effetto del sempre più attivo ricambio che subiscono via via che, all'interno dell'isola, si va verso la fascia costiera) e le più calde acque di falda".* 

Tuttavia, a causa della estrema eterogeneità ed anisotropia dell'acquifero, la ricarica con acqua di mare assume connotazioni diversificate secondo le locali condizioni idrodinamiche, tanto da differenziare il chimismo delle acque prelevate da pozzi molto vicini.



Figura 50-Carta idrogeologica dell'isola di Ischia, Celico 1999. 1 settore del graben, 2 settore horst Monte Epomeo, 3 settore delle aree marginali, 4 settore dei complessi vulcanici

#### Assetto idrogeologico del territorio comunale di Casamicciola Terme

Andando ad analizzare, pertanto, l'ubicazione del territorio comunale di Casamicciola Terme all'interno dell'assetto idrogeologico generale dell'Isola, si riscontra che esso ricade in due settori, quello marginale a nord e in quello dell'horst del Monte Epomeo a sud-ovest e quello del graben a est (Figura 51).



*Figura 51–Carta idrogeologica dell'isola di Ischia, Celico 1999, dettaglio area Casamicciola Terme. 1 settore del graben a est, 2 settore horst Monte Epomeo a sud-ovest, 3 settore delle aree marginali a nord.* 

Lo studio di Celico del 1999, per quanto riguarda l'area di Casamicciola Terme, dimostra che la concordanza dei livelli piezometrici secondo un'unica superficie piezometrica che si raccorda con il mare nel settore marginale a nord non è riscontrata nel settore prossimo all'horst del Monte Epomeo. Infatti dove è presente un significativo spessore di depositi sedimentari, detritici e di frane al tetto dei tufi di Monte Epomeo, oltre alla falda di base presente nel substrato tufaceo, è presente una falda superficiale nella coltre di copertura. Queste falde superficiali, a seguito del loro elevato gradiente piezometrico, si raccordano con quella di base, nel settore costiero.

Verso sud, invece, oltre le faglie marginali del Monte Epomeo con maggiore rigetto, la falda di base mostra un netto aumento del gradiente piezometrico. Infatti nella zona a monte di Casamicciola, sia pozzi che esplorano la modesta copertura detritica che ricopre la Formazione di Colle Jetto, sia i pozzi che superano l'impermeabile intercalare e si attestano nel sottostante Tufo Verde, si livellano a quote piezometrica tra 20 e 50m s.l.m. In questa zona la falda si raccorda anche con la quota di emergenza delle sorgenti La Rita e Piazza Bagni.

In corrispondenza delle faglie, quindi, la continuità della falda di base, ospitata nei tufi, sembra interrotta in ragione della differenza di quota causata dal rigetto tra le due porzioni di acquifero. Le stesse faglie, essendo anche le più recenti, possono rappresentare delle vie preferenziali per i deflussi idrici sotterranei a prevalente componente verticale.

#### Sorgenti

Nel territorio comunale di Casamicciola Terme sono anche presenti importanti sorgenti, La Rita e Piazza Bagni, ubicate in corrispondenza delle faglie marginali dell'horst del Monte Epomeo. Queste sorgenti hanno una portata di circa 15 l/s e sono riconducibili all'affioramento in quota della falda di base. La loro emergenza è condizionata sia dalla presenza dei depositi siltitici ed arenitici della Formazione di Colle Jetto che ricoprono il tufo, sia al dislocamento in quota dello stesso a monte delle faglie marginali.

#### Chimismo delle acque presenti nel sottosuolo

Celico nel 1999 ha analizzato 91 campioni d'acqua in corrispondenza di sorgenti e pozzi dai quali è emerso che le acque sotterranee dell'Isola sono caratterizzate da temperatura compresa tra i 18° e i 90°, conducibilità elettrica compresa tra 841 e 56000  $\mu$ S/cm, elevati tenori di alcali e silice. In Figura 52 è raffigurata la carta delle facies idrogeochimiche dell'isola di Ischia, Celico 1999, in dettaglio altresì l'area di Casamicciola Terme, in cui sono illustrate le quattro facies principali: 1 facies acque bicarbonato-calciche, 2 bicarbonato alcaline, 3 di transizione, 4 solfato-cloruratoalcaline.



Figura 52-Carta delle facies idrogeochimiche dell'isola di Ischia, Celico 1999, dettaglio area Casamicciola Terme. 1 facies acque bicarbonato-calciche, 2 bicarbonato alcaline, 3 di transizione, 4 solfato-cloruratoalcaline.

# 3.5 Elementi tettonici (Faglie attive e capaci e potenzialmente attive e capaci)

L'isola d'Ischia, come già accennato, può essere strutturalmente suddivisa in n. 4 aree (Figura 27):

- 1) L'Horst del Monte Epomeo, delimitato da faglie con direzione N-S ed E-O;
- Il Graben di Ischia, 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);
- 3) Il blocco stabile del Monte Torone-Vezzi-Cotto, che costituisce la dorsale sud-orientale dell'isola;
- 4) Le aree depresse marginali dell'Horst del Monte Epomeo;

I sistemi di faglie che interessano l'isola possono essere distinti in quattro gruppi:

- a) faglie ad orientazione E-O e ONO-ESE che bordano il settore nord del Monte Epomeo;
- b) il sistema di faglie NE-SO che taglia i depositi del settore orientale;

- c) faglie ad orientazione NO-SE relative al settore NO dell'isola;
- d) le faglie NNO-SSE e N-S che bordano il settore orientale ed occidentale del Monte Epomeo.

Le faglie con orientamento NE-SO e NO-SE (Acocella e Funiciello – 1999 - Figura 53) sono diffuse su tutta l'isola, sia ai bordi che in prossimità dell'Horst di Monte Epomeo, la prosecuzione delle suddette strutture verso mare è stata ricostruita dagli autori, pertanto le stesse sono verosimilmente correlabili ai sistemi regionali responsabili dell'estensione Plio-Quaternaria dei margini della Piana Campana.



Figura 53 - Mappa strutturale dell'isola d'Ischia, da Acocello e Funiciello (1999)

Al contrario i sistemi di faglie con orientazione N-S e subordinatamente E-O si individuano esclusivamente ai bordi del blocco risorgente del Monte Epomeo, e dunque le stesse sono verosimilmente indotte dalla stessa risorgenza.

Questo è confermato dalle morfologie associate a faglie presunte nell'area urbana di Casamicciola Terme, che sono rilevabili essenzialmente per le loro caratteristiche morfologiche, in quanto formano dorsali strette ed allungate con costante andamento E-O.

I lineamenti E-O risultano ben evidenti da aerofotogrammi, da DTM e dalla carta strutturale di Figura 54 (Alessio et alii 1996) e mostrano una limitata continuità laterale, in particolare verso oriente dove sembrano interrompersi in corrispondenza degli edifici vulcanici recenti.



Figura 54 – carta strutturale del settore ci Casamicciola (da Alessio et alii 1996)

Le faglie principali, che bordano a settentrione l'alto del Monte Epomeo, formano un classico profilo a gradinata e hanno un andamento ONO-ESE costante per diversi chilometri ed evidente anche sul DTM in Figura 55, dove si notano tratti vallivi profondamente incisi e gomiti di cattura torrentizia allineati secondo la direzione suddetta.



Figura 55 - DTM area del territorio comunale di Casamicciola Terme (faglie in rosso da carta Geologico Tecnica allegata al presente studio).

La presenza di zone cataclastiche, spesse fino a qualche decina di metri, associate alle faglie principali, suggerisce che la deformazione è localizzata in massima parte in questo settore. La maggior parte delle faglie è caratterizzata da movimenti dip-slip di tipo diretto (da Alessio et alii 1996), o localmente obliquo ma sempre a carattere transtensivo.

Alessio et alii 1996 hanno anche dedotto la geometria del campo di deformazione su coppie coniugate di fratture da taglio minori all'interno della zona di deformazione principale. Questi risultati, in maniera consistente con l'analisi cinematica delle faglie maggiori, indicano che il senso di trasporto tettonico prevalente su tutta l'area è verso N e NNE.

È stata inoltre verificata l'assenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA "ITaly HAzard from CApable faults" disponibile online dal sito internet della S.G.I..http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer (vedi Figura 56).

Legend	(+)	volturito
Layers	Ē	
<ul> <li>Bookmarks</li> </ul>		
Identify	0	
Find	~	Naples
Draw	~	
Measurement	r <	
▶ Print	~	Golfo di Napoli
Google Street View	~	Share Lind
		See See

*Figura 56 - Faglie attive e capaci, da <u>http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/</u>* 

#### Geotermia dell'Isola d'Ischia

(Tratto da: ''Ricerca di risorse geotermiche finalizzata alla sperimentazione di un impianto pilota nel Comune di Serrara Fontana'' GEOLOGIA E INQUADRAMENTO GEOTERMICO a cura dell'INGV)

Il potenziale geotermico ad Ischia era già ben noto verso la fine del XVI secolo, ma era utilizzato, come accade ancora oggi, esclusivamente per le cure termali. Verso la fine del XX secolo nell'isola erano operativi oltre 180 stabilimenti termali e 130 piscine termali, alimentati da circa 200 pozzi di piccola profondità. Questa attività costituisce una solida ossatura economica dell'isola, mentre gli obiettivi prefissati negli anni '80, di allargare l'utilizzo della risorsa geotermica ad usi anche di tipo industriale è rimasto incompiuto. Gli unici esempi sporadici sono relativi all'utilizzo di acqua calda per il riscaldamento domestico.

Ad Ischia, la prima serie di pozzi per la ricerca di risorsa geotermica fu realizzata dal 1939 al 1943, nel settore occidentale e meridionale dell'isola, tra Cetara (Forio) ed i Maronti (Serrara Fontana) e nel settore settentrionale in località Monte Tabor (Casamicciola). Si tratta di n° 84 pozzi, di cui solo 5 superano i 100 metri di profondità dal p.c. A partire dal 1951 e fino al 1954 la società SAFEN esegue n° 6 perforazioni, di cui n° 4 superano i 100 metri di profondità dal p.c. Dunque, in totale sul territorio dell'isola sono state effettuate n° 90 perforazioni, di cui solo n° 9 superano i 100 metri di profondità. La zona in superficie più calda dell'isola, è localizzata nel settore occidentale e meridionale, dove furono concentrate la maggior parte delle ricerche. In queste aree le temperature possono raggiungere più di 100 °C a pochi metri di profondità.



Figura 57 - Manifestazioni del tipo geyser durante le perforazioni ad Ischia a) Cetara, aprile1949, b) Fumarole (settore sud) agosto 1939 (DA INGV)

Le temperature rinvenute nelle perforazioni dell'isola d'Ischia mostrano generalmente valori elevati (mediamente ~ 100°C a profondità di ~ 100 m dal livello del mare), con gradienti variabili in funzione delle condizioni geologiche e tettoniche locali, e del tipo di circolazione dei fluidi geotermali. I dati di temperatura relativi ad i pozzi più profondi, ubicati tutti nel settore occidentale dell'isola, consentono di valutare il flusso di calore ed i gradienti di temperatura per questo settore. I gradienti di temperatura variano tra 180 e 220°Ckm<sup>-1</sup>.

Per quanto concerne le temperature misurate in superficie, si evidenza, in generale, un decremento radiale di queste (Figura 58 e Figura 59).



Figura 58 - Isoterme in superficie ricavate dalle temperature delle sorgenti termali e delle fumarole, da Ricerca di risorse geotermiche finalizzata alla sperimentazione di un impianto pilota nel Comune di Serrara Fontana (ISOLA D'ISCHIA-NA), INGV OV – ANNO?

Il decremento radiale delle temperatire in superficie è evidente anche nel territorio di Casamicciola Terme. Come si osserva del dettaglio di Figura 59, si nota come le temperature varino da un intervallo di 60°C÷90°C nel settore meridionale e orientale, in cui sono presenti lave e tufi con spessori notevoli, a temperature che scendono dai 40°C ai 60C° nella fascia più settentrionale. Infine si arriva a temperature di 20°C-40°C nella porzione centro settentrionale del comprensorio comunale, dove, fino alla profondità di 30/40m sono presenti terreni sciolti piroclastici poggianti su substrati geologici tufacei e lavici.



Figura 59 - Isoterme in superficie ricavate dalle temperature delle sorgenti termali e delle fumarole, dettaglio territorio di Casamicciola (da Ricerca di risorse geotermiche finalizzata alla sperimentazione di un impianto pilota nel Comune di Serrara Fontana (ISOLA D'ISCHIA-NA), INGV OV – ANNO?)
# 3.6 Considerazioni finali sull'architettura stratigrafica e sull'assetto morfologico e strutturale

La struttura del territorio di Casamicciola Terme è da ricondurre all'evoluzione vulcano tettonica dell'Isola, con il sollevamento del blocco centrale econ il versante settentrionale di Casamicciola che subisce diffusi collassi di settore con la messa in posto di *debris avalanche* molto estese, nonché al diffuso sistema di fratturazione che determina l'instaurarsi di un sistema ad horst e graben a prevalente orientazione ovest-ovest, che condiziona profondamente la risposta sismica delle differenti aree, ed infine alla presenza dei due complessi vulcanici della Fundera ad ovest e del Rotaro ad est.

I substrati individuati afferiscono prevalentemente ai depositi del Tufo Verde del Monte Epomeo, presente in profondità su tutto il territorio comunale, alle epiclastiti litificate di Campomanno e alle sequenze sedimentarie marine dell'Unità di Cava Leccie, alla lava della Fundera ed ai temini del complesso del Rotaro.

I termini di copertura sono prevalentemente livelli sabbiosi relativi ai depositi di debris avalanches che sono ricoperti, nei settori emersi insulari, da sedimenti marini associati a superfici terrazzate ben visibili a Casamicciola. Su di essi si osservano inoltre vari ordini di terrazzi che si sviluppano alle quote di 5m, 10m e 20m s.l.m. Questi terrazzi riflettono sia l'innalzamento del livello del mare avvenuto negli ultimi 10.000 anni sia movimenti verticali di sollevamento e subsidenza dell'intero campo vulcanico, legati con tutta probabilità alla evoluzione del sistema magmatico ischitano.

# 4. Dati geotecnici e geofisici

# 4.1 Dati pregressi

#### Studio eseguito coordinato dal CNR-IGAG

Lo studio eseguito con il coordinamento del CNR-IGAG *"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"* presenta un dataset significativo di indagini soprattutto geofisiche dato da prospezioni eseguite nei mesi di Ottobre e Novembre 2017 dal gruppo di Lavoro INGV (inquadrato nelle attività della sopracitata Ordinanza) nel territorio comunale con alcune indagini estese anche nel confinante comune di Lacco Ameno. Precisamente sono state eseguite:

1. n. 60 indagini HVSR utilizzando stazioni sismiche temporanee installate in siti selezionati nella zona di massimo danneggiamento;



Figura 60–Ubicazione delle HVSR eseguite (triangoli in blu). In rosso le stazioni sismiche temporanee in emergenza, installate dall'INGV, il poligono in rosso corrisponde alla ZONA ROSSA.

2. n.3 array sismici bidimensionali finalizzati alla valutazione dei modelli di velocità nelle aree investigate utilizzando tecniche passive basate sull'analisi di onde superficiali;



Figura 61–Array sismici installati, zona Fango (Verdi), Grande Sentinella (azzurri), Zona Rossa (Blu)

- 3. indagini geoelettriche con approcci speditivi. In particolare si sono applicate le tecniche "Time Domain" (TDEM) e "Geoelettrica capacitiva" (CRC) per ottenere rispettivamente immagini 1D e 2D delle caratteristiche elettriche dei terreni di copertura. Si sono acquisiti 12 sondaggi verticali TDEM e 4 profili CRC;
- 4. n.1 prospezione sismica attiva MASW;
- 5. n.1 prospezione sismica a rifrazione;
- 6. n.1 prospezione geoelettrica 2d ERT.

#### Studio geologico del PRG

Per quanto riguarda lo studio geologico del PRG, redatto dai geologi Rolandi e Bortolizzi nel 1990, sono stati presi in esame n.11 sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT e campioni di laboratorio, mentre non sono state considerate le down-hole effettuate in quanto i valori delle velocità riscontrati risultano troppo elevati rispetto a quelli riscontrati nella realtà. Per il lavoro sono stati inoltre utilizzati i dati di alcuni sondaggi/pozzi profondi a distruzione di nucleo riportati nella relazione illustrativa, che hanno permesso di individuare la profondità del bedrock lavico in prossimità della Grande Sentinella.

#### Studi vari

Sono stati forniti dall'Amministrazione Comunale due studi geologici, uno eseguito in Via Castanito da cui è stato esaminato n.1 sondaggio a carotaggio continuo spinto alla profondità di 30.00m, edun altro eseguito in zona eliporto, da cui è stata esaminata n.1 prospezione geofisica MASW ed una prova penetrometrica tipo DPSH.

Tutte le indagini reperite sono state ubicate sulla Carta delle Indagini ed archiviate secondo gli Standard previsti per gli Studi di Microzonazione Sismica nel database "Cdl\_Tabelle" nella cartella "Casamicciola\_Terme\_S41/Indagini/Documenti".

# 4.2 Dati acquisiti ex-novo

La campagna di indagini specifica per le attività di Microzonazione Sismica di Terzo Livello (campagna di indagini di tipo geognostico e geofisico), preventivamente concordata con il CNR-IGAG per il Centro MS, è consistita nell'esecuzione di:

- N° 2 sondaggi a carotaggio continuo, con prelievo di campioni indisturbati per analisi di laboratorio, esecuzione di prove SPT in foro ed attrezzati con tubazione in PVC per l'esecuzione di prospezioni geofisiche tipo Down-Hole;
- ✓ n° 13 prospezioni sismiche superficiali M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh);
- $\checkmark$  n°32 indagini di sismica passiva a stazione singola HVSR (microtremore ambientale).

Inoltre al fine di caratterizzare i terreni in profondità sono statai eseguiti a cura del Centro MS ulteriori n. 3 array bidimensionali.

Lo scopo di queste indagini è stato quello, principalmente, di individuare e caratterizzare fenomeni di risonanza sismica potenzialmente rappresentativi di fenomeni di amplificazione del moto sismico oltre a ricostruire il profilo di velocità delle onde S all'interno delle diverse MOPS e quindi a definire i valori di V<sub>s</sub> da attribuire ai diversi corpi geologici presenti (sismostratigrafia). Inoltre le prospezioni di tipo geofisico eseguite hanno contribuito al completamento ed alla validazione del modello geologico soprattutto per quanto riguarda le geometrie sepolte dei corpi geologici individuati. Tutte le prove pregresse e nuove, di tipo geognostico, geofisico e geotecnico, sono riportate negli shape files relativi alla carta delle indaginie illustrate nell'allegato cartografico "Carta delle Indagini", di cui precipuamente si riporta la legenda in Figura 62.

# Legenda



Figura 62- Legenda della ''Carta delle Indagini'' eseguita per lo studio di MS3

Per corroborare quanto esposto finora, vengono altresì riportate le tabelle seguenti che raggruppano le indagini in indagini puntuali (INDAGINI GEOLOGICHE, INDAGINI GEOFISICHE, INDAGINI GEOTECNICHE DI LABORATORIO E IN SITO) e in indagini lineari (INDAGINI GEOFISICHE).

	INDAGINI PUNTUALI					
	CLASSE INDAGINE: INDAGINI GEOLOGICHE (GG): totale n.31					
Quantità		Quantità				
CLASSE	Tipo indagine	TIPO	Fonte			
		11	Da PRG del 1990			
14	Sondaggi a carotaggio continuo (S)	2	Da MZS3 2019			
		1	Da INGE srl 2018			
		2	Da MZS3 2019			
9	Sondaggi con prelievo di campione (SC)	7	Da PRG del 1990			
2	Sondaggi a distruzione di nucleo (SD)	Da	PRG del 1990			
	Sondaggio a distruzione di nucleo che					
6	intercetta il substrato (SDS)	Da	PRG del 1990			

#### Tabella 7 – tabella riepilogativa indagini puntuali (classe indagini geologiche)

Tabella 8 – tabella riepilogativa indagini puntuali (classe indagini geofisiche), in rosso i nomi dei .pdf dei documenti in cui si rinvengono i principali risultati più significativi dei profili di Vs.

INDAGINI PUNTUALI					
	CLASSE INDAGINE: INI	DAGINI GEOFISI	CHE (GF): totale n. 151		
Quantità		Quantità			
CLASSE	Tipo indagine	TIPO	Fonte		
		8	Da PRG del 1990		
			Da MZS3 2019		
10	Down-Hole	2	(FILE.PDF: P56-P57)		
			Da CNR/IGAG/IAMC/CENTROMS/INGV		
			2017		
		3	(FILE.PDF: P151-P152-P153)		
			Da CNR/IGAG/IAMC/CENTROMS/INGV		
			2019		
6	ESAC_SPAC	3	(FILE.PDF: P162-P163-P164)		
			Da CNR/IGAG/IAMC/CENTROMS/INGV		
		49	2017		
		3	Da CNR/IGAG/IAMC/CENTROMS/INGV		
			2017		
		14	Da CNR/IGAG/IAMC/CENTROMS/INGV		
			2017		
		12	Da CNR/IGAG/IAMC/CENTROMS/INGV		
			2017		
		8	Da CNR/IGAG/IAMC/CENTROMS/INGV		
			2017		
		32	Da MZS3 2019		
		17	Da CNR/IGAG/IAMC/CENTROMS/INGV		
135	HVSR		2017		

	INDAGINI PUNTUALI						
	CLASSE INDAGINE: GEOTECNICA DI LABORATORIO (GL): totale n. 26						
Quantità		Quantità					
CLASSE	Tipo indagine	TIPO	Fonte				
3	Prova di colonna risonante e torsione ciclica (CR)	D	a MZS3 2019				
		9	Da PRG del 1990				
18	Analisi su campione (SM)	9	Da MZS3 2019				
5	Taglio diretto (TD)	Da	PRG del 1990				

#### Tabella 9 – tabella riepilogativa indagini puntuali (classe geotecnica di laboratorio).

#### Tabella 10 – tabella riepilogativa indagini puntuali geologiche (classe geotecnica in sito)

INDAGINI PUNTUALI							
	CLASSE INDAGINE: GEOTECNICA in SITO (GS): totale n. 42						
Quantità	Quantità Quantità						
CLASSE	Tipo indagine	TIPO Fonte					
1	1 DPSH (DS) Da INGE SRL del 2017						
		35 Da PRG del 1990					
41	SPT (SPT)	6	Da MZS3 2019				

#### Tabella 11 – tabella riepilogativa indagini lineari (classe indagini geofisiche), in rosso i nomi dei .pdf dei documenti in cui si rinvengono i principali risultati più significativi dei profili di Vs.

INDAGINI LINEARI					
	CLASSE INDAGINE: INDAGINI GEOFISICHE (GF): totale n. 25				
Quantità	Quantità Quantità				
CLASSE	Tipo indagine	TIPO	Fonte		
		1	Da relazione geol. Miragliuolo 2017		
			Da MZS3 2019		
15	Masw (MASW)	14	(FILE.PDF: L13)		
		8	Da PRG del 1990		
9	Sismica a rifrazione (SR)	1	Da CNR/IGAG/IAMC/CENTROMS/INGV 2017		
1	Profilo di resistività (PR)	Da CNR/IGAG/IAMC/CENTROMS/INGV 2017			

Le indagini di tipo geognostico e geofisico sono state eseguite dal gruppo di professionisti incaricati sulla scorta delle indicazioni dei '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'', emessi dal Centro per la Microzonazione Sismica le sue applicazioni nel mese di Gennaio 2019 volte a:

- 1. Evidenziare possibili criticità;
- 2. Delineare procedure rispettose dello "stato dell'arte" e ridurre possibili margini di errore nella pianificazione delle indagini e nella esecuzione ed interpretazione delle misure;
- 3. Ottimizzare il coordinamento complessivo delle attività con l'obiettivo di garantire un buon livello di omogeneità dei risultati ottenuti.

#### Sondaggi geognostici a carotaggio continuo

Lo scopo fondamentale delle indagini geognostiche per la Microzonazione Sismica (MS) è la ricostruzione di un Modello Geologico del sottosuolo che faccia da riferimento a tutte le elaborazioni successive, definendo i vincoli essenziali alla caratterizzazione in prospettiva sismica dell'assetto geologico dell'area di studio.

Per il presente studio sono stati eseguiti due sondaggi geognostici a carotaggio continuo allestiti per l'esecuzione in ciascuno di essi di una prova sismica in foro di tipo Down-Hole.

La scelta dei siti è stata concordata con la Struttura di Supporto, coordinata dal CNR-IGAG per il Centro MS.

È stata effettuata in modo da garantire la massima rappresentatività dei risultati in rapporto alle caratteristiche del territorio in oggetto, tenendo conto della logistica necessaria all'esecuzione dell'indagine, ivi compresa la sicurezza deglioperatori, oltre che in ottemperanza alla Legge regionale n.8 del 29 luglio 2008 "Disciplina della ricerca ed utilizzazione delle acque minerali e termali, delle risorse geotermiche e delle acque di sorgente" (e successive modificazioni LL.RR.3/2017e 10/2017) e Regolamenti n. 10/2010 e n. 12/2011.

La scelta dei due siti è stata anche fatta scegliendo una localizzazione nella quale sono presenti le principali unità stratigrafiche/geofisiche e il substrato sia raggiungibile e possibilmente rappresentativo per la definizione del substrato sismico.

Pertanto, sulla base delle suddette considerazioni, sono stati eseguiti n.2 sondaggi a c.c., precisamente:

1. Sondaggio DH1 con profondità 35m dal p.c., in Via Paradisiello, ubicato nelle vicinanze dell'Istituto Comprensivo IBSEN (Figura 63 e Figura 62);



Figura 63 - Fase di esecuzione sondaggio DH1, carotaggio continuo



Figura 64 - Fase di esecuzione sondaggio DH1, esecuzione prove SPT

2. Sondaggio denominato DH2 con profondità 35m dal p.c., in Via Santa Barbara (Figura 65 e Figura 64).



Figura 65-Fase di esecuzione sondaggio DH2, via Santa Barbara



Figura 66- Fase di esecuzione sondaggio DH2, via Santa Barbara, esecuzione SPT

Le stratigrafie dettagliate dei due sondaggi geognostici a c.c. eseguiti sono allegate alla presente relazione illustrativa.

I lavori di indagini geognostica sono stati realizzati con personale, modalità operative e attrezzature conformi alle prescrizioni contenute nei protocolli suddetti, dalla ditta INGE srl. Ogni variazione dai suddetti protocolli è stata preventivamente concordata e approvata dai responsabili per l'Unità Operativa di competenza (IUO).

Le modalità operative delle indagini in sito di tipo geognostico sono state conformi alle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" A.G.I., 1977.

I sondaggi hanno avuto lo scopo di fornire una campionatura completa dei litotipi attraversati, al fine di ricostruire la successione degli strati, di effettuare il prelievo di campioni indisturbati sottoposti ad analisi geotecniche di laboratorio, di eseguire prove SPT e di effettuare la posa in opera delle tubazioni per le prospezioni sismiche DH.

Le perforazioni sono state eseguite a carotaggio continuo con attrezzature idonee ad eseguire sondaggi a rotazione impiegando carotieri semplici o doppi scelti a secondo la natura litologica dei terreni incontrati.

Le profondità dei sondaggi (-35 m dal piano campagna) sono state raggiunte come da protocolli e in concerto con i responsabili per l'Unità Operativa di competenza (IUO).

#### Prelievo, conservazione e trasporto dei campioni

È stato eseguito il prelievo di due campioni indisturbati per ognuno dei sondaggi eseguiti, secondo le raccomandazioni fornite dai protocolli.

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Descrizione Campione - da analisi laboratorio	
DH1	C1	4.00 ÷ 4.50 m	Pomici e sabbia (con elementi scoriacei e lateritici di dimensioni massime 30 mm	
DH1	C2	14.50 ÷ 15.00 m	Sabbia fine di natura vulcanica. Colore grigio chiaro, verdognolo. Presenza di livelletti cementati conossidazione. Parte superiore leggermente più argillosarispetto a quella inferiore	
DH2	C1	5.50 ÷ 6.00 m	Parte inferiore: pomici e sabbia con intercalazione di spessori limosi (25-30 mm) Parte superiore: sabbia grossolana di colore verdognolo	
DH2	C2	10.50 ÷ 11.00 m	Sabbia con limo presenza di scorie dmax= 4mm	

Tabella 12	- Prospetto	riassuntivo	e descrizione	dei	campioni	prelevati
------------	-------------	-------------	---------------	-----	----------	-----------



Figura 67 - Campione DH1C2 estratto nel laboratorio Università UNINA



Figura 68 - Fustella campione DH1C1

I campioni del tipo ''indisturbato'' sono stati prelevati con campionatori a pistone, a pressione o a rotazione con doppia parete e scarpa avanzata, a seconda del tipo di terreno. Per il campionamento e il mantenimento dei campioni sono state utilizzate fustelle metalliche nuove. Le fustelle contenenti i campioni sono state sigillate alle due estremità con appositi tappi a tenuta, bloccati da nastri adesivi, accompagnati da una etichetta applicata al contenitore, non degradabile, in cui sono stati indicati: comune, località, affidatario, ditta esecutrice, numero identificativo del campione, profondità di prelievo, orientamento e data di prelievo.

Ulteriori prelievi di campioni rimaneggiati sono stati condotti dagli IUO selezionando, dal carotaggio sistemato nella cassetta catalogatrice, il tratto da destinare al laboratorio.

#### Cassette catalogatrici

Le cassette per la conservazione del materiale estratto durante il carotaggio sono state approntate incantiere prima dei lavori. Ogni cassetta, dotata di 5 scomparti interni della lunghezza di 1 m ciascuno e munite di coperchio, è stata segnata sull'esterno del coperchio con il numero d'ordine

del sondaggio e con le quote di prelievo cui il contenuto ha fatto riferimento. Il trasporto delle cassette fino al luogo di conservazione è stato realizzato con modalità e tempi definiti in accordo con il Comune di Casamicciola Terme. Le cassette sono state fotografate secondo le modalità specificate nel paragrafo 5.6 dei "Protocolli" e sono di seguito illustrate.



Figura 69 - Sondaggio DH1 Cassetta C1



Figura 70 - Sondaggio DH1 Cassetta C2



Figura 71 - Sondaggio DH1 Cassetta C3



Figura 72 - Sondaggio DH1 Cassetta C4



Figura 73 - Sondaggio DH1 Cassetta C5



Figura 74 - Sondaggio DH1 Cassetta C6



Figura 75 - Sondaggio DH1 Cassetta C7



Figura 76 - Sondaggio DH2 Cassetta C1



Figura 77 - Sondaggio DH2 Cassetta C2



Figura 78 - Sondaggio DH2 Cassetta C3



Figura 79 - Sondaggio DH2 Cassetta C4



Figura 80 - Sondaggio DH2 Cassetta C5



Figura 81 - Sondaggio DH2 Cassetta C6



Figura 82 - Sondaggio DH2 Cassetta C7

#### Prove speditive di resistenza sulle carote di terreni coesivi

Sui terreni di natura coesiva (Figura 83) sono state eseguite anche prove di resistenza al penetrometro tascabile e scissometro tascabile sulla carota appena estratta e scortecciata con frequenza di 1 prova ogni 20 cm. I risultati sono stati annotati in un'apposita colonna del rapporto stratigrafico (vedi colonne stratigrafiche).



Figura 83 - Sondaggio DH2 Cassetta C2, prove con scissometro tascabile

#### Prove penetrometriche dinamiche SPT (Standard Penetration Test)

Le prove sono state eseguite ai sensi delle normative e specifiche di riferimento delle:

- 3. ISSMFE Technical Committee (1988) Standard Penetration Test (SPT): International Reference Test Procedure;
- 4. Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Associazione Geotecnica Italiana (AGI) 1977.

Le suddette sono state effettuatealle profondità concordate con gli IOU.



Figura 84 - Sondaggio DH1, esecuzione prova SPT

Le strumentazioni utilizzate, pertanto, sono state le standard, date da un tubo campionatore Raymond, in acciaio indurito, apribile longitudinalmente, di diametro esterno  $51 \pm 1$  mm, diametro interno  $35 \pm 1$  mm e lunghezza minima (esclusa la scarpa tagliente terminale) di 457 mm.

Le aste di perforazione, con peso non superiore a 10 kg per metro lineare, prima di ogni prova sono state ben avvitate in corrispondenza dei giunti e con flessione totale della batteria pronta per la prova < 1‰.

È stato utilizzato un dispositivo di battitura, con peso totale non superiore a 115 kg, dotato di una testa di battuta in acciaio, che prima di ogni prova è stato strettamente avvitato all'estremità della batteria di aste. Al maglio è stata assicurata una corsa in caduta libera di 760 ± 10 mm, con attriti trascurabili. Le tre fasi di penetrazione di 15 cm ciascuna sono state eseguite, annotando il numero di colpi.

Prima di ogni prova il fondo foro è stato opportunamente pulito e sostanzialmente indisturbato alla quota di prova, senza un apprezzabile gradiente idraulico verso l'alto. Il rivestimento metallico provvisorio del foro, se utilizzato, non è stato mai infisso al di sotto della profondità di prova.

Dopo la pulizia, la quota del fondo foro è stata controllata con apposito scandaglio confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione.

Ogni prova è stata eseguita infiggendo a percussione a fondo foro il campionatore per tre tratti consecutivi, ciascuno di 15 cm, annotando separatamente il numero di colpi necessario per la penetrazione in ciascun tratto. L'indice della prova, N<sub>SPT</sub>, è dato dalla somma del numero di colpi relativo agli ultimi due tratti (ovvero necessari all'infissione negli ultimi 30 cm). L'infissione nel primo tratto è stata arrestata in ogni caso dopo 50 colpi. Si identifica la condizione di rifiuto quando nei due tratti successivi si ha un avanzamento minore o uguale di 30 cm con un numero di colpi

pari 100. In tal caso è stata annotata la lunghezza di infissione (in cm) corrispondente ai 100 colpi. La frequenza di battitura in tutte le fasi della prova non è stata mai superiore a 30 colpi al minuto. Al termine delle operazioni di infissione si è proceduto ad estrarre ed aprire il campionatore, misurare e descrivere il campione prelevato, trascurando l'eventuale parte alta costituita da detriti, e quindi sigillarlo in un contenitore cilindrico a tenuta d'aria (sacchetto di plastica consegnato ai responsabili per l'Unità Operativa di competenza (IUO) (Figura 85)



Figura 85-estrazione campione da punta SPT



Figura 86 - estrazione campione da punta SPT

Dall'analisi dei suddetti valori penetrometrici eseguiti nel corso dei due sondaggi (DH1 e DH2), si può constatare una netta rispondenza tra i suddetti valori sperimentali ed i risultati dei sondaggi effettuati. Infatti, si può notare come i valori riscontrati presentino una progressione costante in perfetto accordo con la natura dei terreni riscontrati nelle perforazioni (vedi Tabella 13).

Sondaggio	S.P.T.	Profonditàin m. dal p.c.	Numero di colpi	N <sub>SPT</sub>
DH1	1	4.45÷4.90	8-7-9	16
DH1	2	9.00÷9.45	14-45-24	69
DH2	3	25.50÷25.95	16-21-27	48
DH2	1	6.00÷6.45	5-9-17	26
DH2	2	11.00÷11.45	13-15-18	33
DH2	3	24.50÷24.95	12-19-20	39

#### Tabella 13-Riepilogo prove SPT effettuate

Posa in opera di tubi per prospezioni sismiche DH

L'esecuzione della prospezione sismica DH ha richiesto la preparazione di un foro di sondaggio, rivestito da tubazione metallica provvisoria, di diametro sufficiente a permettere l'installazione nel foro di un tubo in PVC munito di cannetta laterale per eseguire la cementazione dello stesso procedendo da fondo foro verso la superficie.

Il rivestimento metallico provvisorio, di un unico diametro in modo che il foro abbia diametro costante per tutta l'altezza, è stato estratto per sfilamento, senza l'aiuto della rotazione.

È stato inserito un tubo di rivestimento definitivo a sezione circolare, in PVC atossico con spessore  $\geq$  4 mm e diametro interno maggiore o uguale di 79 mm (3" nominali), costituito da spezzoni con lunghezza di 3 metri, dotati di filettatura maschio/femmina per l'assemblaggio, munito di tappo di testa e fondo foro (Figura 87).



Figura 87 - Sondaggio DH1, posa in opera tubazioni in PVC

Tutte le operazioni di posa in opera della tubazione e relativa cementazione sono state eseguite in accordo con le modalità descritte nei protocolli e/o in accordo con la Direzione Lavori e con iresponsabili per l'Unità Operativa di competenza (IUO). I due fori, opportunamente cementati, sono stati in seguito protetti con opportuni chiusini in acciaio con relativo lucchetto (Figura 88).



Figura 88 - Chiusino foro DH1



Figura 89 - Chiusino foro DH2

Ai fini dello studio di MS di III Livello, in funzione delle conoscenze pregresse dell'area di interesse e delle sue caratteristiche geologiche, è stata programmata ed eseguita, in varie fasi, una intensa campagna di indagini sismiche così articolata:

- ✓ N° 2prospezioni Down-Hole nei fori di sondaggio DH1 e DH2;
- ✓ n° 13 prospezioni sismiche superficiali M.A.S.W.;
- ✓ n°32 indagini di sismica passiva a stazione singola HVSR.
- ✓ N° 3 array bidimensionali (a cura del Centro MS).

#### Down-hole

Lo scopo della prova Downhole è determinare la velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P) e di taglio (onde SH), calcolando il tempo, ad esse necessario, per raggiungere il geofono ricevitore, posto all'interno del foro di sondaggio, dalla sorgente, posta sul piano campagna a distanza nota dal foro.

Le assunzioni che stanno alla base della metodologia sono che il volume di terreno interessato dall'indagine sia a strati orizzontali e che all'interno di ciascuno strato il comportamento sia elastico, omogeneo ed isotropo.

La prova consiste nel produrre in superficie sollecitazioni verticali, per la generazione di onde di compressione P ed orizzontali, per la generazione di onde di taglio polarizzate nel piano orizzontale SH e nel registrare i tempi di arrivo del treno d'onde ad un sistema di ricezione composto, nel caso specifico, da una doppia terna di sensori (1 verticale e 2 orizzontali) distanziati di 1 m, ancorato nel foro di sondaggio a profondità nota (Figura 90).



Figura 90 - Rappresentazione schematica di un'indagine sismica downhole

Conosciuta la distanza tra la sorgente ed i ricevitori e determinato il tempo di propagazione è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità delle onde P ed SH in corrispondenza della verticale di misura.

Per generare le onde di compressione è stata utilizzata una massa battente da 8 Kg agente perpendicolarmente al terreno mentre per le onde di taglio è stato utilizzato, come sorgente, un parallelepipedo di dimensioni tali da permettere le battute sui lati opposti in modo da esaltare gli arrivi delle onde di taglio e minimizzare le onde di compressione. Tale dispositivo è stato zavorrato al terreno utilizzando il peso di un'automobile in modo da migliorarne l'aderenza e ridurre al minimo la dispersione dell'energia prodotta.

Per una corretta determinazione dei tempi di arrivo è stato utilizzato un geofono starter verticale per le onde di compressione ed uno orizzontale per le onde di taglio e sono state effettuate 3 battute per le onde P, 3 per le SH destra e 3 per le SH sinistra, per ciascuna profondità.

L'interdistanza di misura è stata di 1 m e la sorgente è stata posizionata a 2 m di distanza dal boccaforo.

Il passo di campionamento utilizzato è stato di 0,125 millisecondi mentre la durata delle acquisizioni è stata di 1 secondo. Non è stato applicato nessuno tipo di filtro in fase di processing dei dati in quanto la qualità dei sismogrammi è risultata buona ed i primi arrivi chiari. Le onde SH, in fase di acquisizione sono state sovrapposte ed invertite nella polarità per ciascuna profondità in modo da agevolare la lettura dei tempi in fase di analisi.

Il metodo utilizzato per l'elaborazione è stato il metodo intervallo.

#### Prova DH1

L'indagine sismica in foro DH1 è stata effettuata all'interno del complesso scolastico sito in via Paradisiello, alle coordinate (WGS84 UTM33N) 407879 E, 4511161 N, fino alla profondità di 35 m con passo di 1 m.



Figura 91 - ubicazione DH1

#### **RISULTATI DH1**

Offset scoppio	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono	Interdistanza
[m]		[m]	[m]
2	35	2	1



Figura 92 - Parametri di acquisizione DH-S1

Figura 93 - Variazioni con la profondità delle velocità delle onde di compressione, delle onde di taglio e del coefficiente di Poisson.

z	Tp (ms)	Ts (ms)	Tp corr (ms)	Ts corr (ms)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Poisson
2	6.50	11.5	4.60	8.13	609.0098808822	229.93651930346	0.42
3	7.50	15	6.24	12.48	609.0098808822	229.93651930346	0.42
3	7.62	15	6.34	12.48	653.85021670814	257.25039793694	0.41
4	8.80	18.3	7.87	16.37	653.85021670814	257.25039793694	0.41
4	8.51	18	7.61	16.10	631.35188525916	258.89569383676	0.40
5	9.90	21.5	9.19	19.96	631.35188525916	258.89569383676	0.40
5	9.60	21.01	8.91	19.51	652.32160620796	274.68171828423	0.39
6	11.01	24.4	10.45	23.15	652.32160620796	274.68171828423	0.39
6	10.64	23.8	10.09	22.58	942.85482062377	344.62293735629	0.42
7	11.60	26.5	11.15	25.48	942.85482062377	344.62293735629	0.42
7	12.02	25.5	11.56	24.52	946.46295675444	376.6718441995	0.41
8	13.00	28.01	12.61	27.17	946.46295675444	376.6718441995	0.41
8	13.40	27.5	13.00	26.68	1155.394513113	451.21910271054	0.41
9	14.20	29.6	13.86	28.90	1155.394513113	451.21910271054	0.41
9	15.53	29.5	15.16	28.80	1185.4860477345	456.8648584987	0.41
10	16.32	31.6	16.00	30.99	1185.4860477345	456.8648584987	0.41
10	17.32	31.3	16.99	30.69	1190.5345887861	461.02498293215	0.41
11	18.12	33.4	17.83	32.86	1190.5345887861	461.02498293215	0.41
11	19.46	34.96	19.14	34.40	1161.8205611192	473.97193805362	0.40
12	20.28	37.01	20.00	36.51	1161.8205611192	473.97193805362	0.40
12	21.38	38.16	21.09	37.64	1111.0001972487	478.07714408926	0.39
13	22.25	40.2	21.99	39.73	1111.0001972487	478.07714408926	0.39
13	23.23	39.92	22.96	39.45	1177.2740242525	468.15054813385	0.41
14	24.05	42.01	23.81	41.59	1177.2740242525	468.15054813385	0.41
14	24.61	43.74	24.36	43.30	1224.1762487971	434,94632999647	0.43
15	25.40	46.00	25.18	45.60	1224.1762487971	434.94632999647	0.43
15	27.57	46.00	27.33	45.60	1219.862180199	469.62390395753	0.41
16	28.37	48.1	28.15	47.73	1219.862180199	469.62390395753	0.41
16	28.61	49.09	28.39	48.71	1271.9427497991	466.60248067658	0.42
17	29.38	51.20	29.18	50.85	1271.9427497991	466.60248067658	0.42
17	29.37	51.58	29.17	51.23	1251.7762009138	489.45366292888	0.41
18	30.15	53.60	29.97	53.27	1251.7762009138	489.45366292888	0.41
18	30.75	54.16	30.56	53.83	1301.3314846585	508.80198390188	0.41
19	31.50	56.10	31.33	55.79	1301.3314846585	508.80198390188	0.41
19	32.72	57.47	32.54	57.16	1350.7569206145	513.65378705549	0.42
20	33.45	59.40	33.28	59.11	1350.7569206145	513.65378705549	0.42
20	34.26	60.24	34.09	59.95	1308.6960036911	533.39741971865	0.40
21	35.01	62.10	34.85	61.82	1308.6960036911	533.39741971865	0.40
21	37.35	63.56	37.19	63.27	1354.6154731359	511.17571091821	0.42
22	38.08	65.50	37.92	65.23	1354.6154731359	511.17571091821	0.42
22	39.12	66.57	38.96	66.29	1354.342932923	512.71773473633	0.42
23	39.85	68.50	39.70	68.24	1354.342932923	512.71773473633	0.42
23	40.03	69.34	39.88	69.08	1375.8585827545	532.21222495058	0.41
24	40.75	71.20	40.61	70.95	1375.8585827545	532.21222495058	0.41
24	41.33	72.03	41.19	71.78	1324.1087905948	503.7562850085	0.42
25	42.08	74.00	41.95	73.76	1324.1087905948	503.7562850085	0.42
25	42.58	75.23	42.45	74.99	1377.5158956204	530.52490761579	0.41
26	43.30	77.10	43.17	76.87	1377.5158956204	530.52490761579	0.41
26	43.80	77.80	43.68	77.57	1423.0024857604	523.93430782221	0.42
27	44.50	79.70	44.38	79.48	1423.0024857604	523.93430782221	0.42
27	44.85	81.00	44.72	80.78	1313.2859373645	524.01141917284	0.41
28	45.60	82.90	45.48	82.69	1313.2859373645	524.01141917284	0.41
28	45.34	84.01	45.22	83.79	1499.7355658605	554.4889545052	0.42
29	46.00	85.80	45.89	85.60	1499.7355658605	554.4889545052	0.42
29	46.51	87.28	46.40	87.08	1397.3398083977	547.87418129567	0.41
30	47.22	89.10	47.12	88.90	1397.3398083977	547.87418129567	0.41
30	47.52	89.66	47.42	89.47	1387.5166150155	542.18902234759	0.41
31	48.24	91.50	48.14	91.31	1387.5166150155	542.18902234759	0.41
31	48.77	92.04	48.67	91.85	1466.6261457445	536.59611751754	0.42
32	49.45	93.90	49.35	93.72	1466.6261457445	536.59611751754	0.42
32	50.36	94.31	50.26	94.12	1439.3221057001	555.53144572248	0.41
33	51.05	96.10	50.96	95.92	1439.3221057001	555.53144572248	0.41
33	51.32	95.75	51.23	95.58	1488.0430906217	569.5211189341	0.41
34	51.99	97.50	51.90	97.33	1488.0430906217	569.5211189341	0.41
34	53.25	97.74	53.16	97.57	1522.2306519483	547.84947892146	0.43
35	53.90	99.56	53.81	99.40	1522.2306519483	547.84947892146	0.43
35	54.91	100.32	54.82	100.15	1508.5835012874	591.74261625341	0.41
36	55.57	102.00	55.48	101.84	1508.5835012874	591.74261625341	0.41

#### Figura 94 - Tabelle dei parametri

Profondità da p.c. (m)	Vp media (m/s)	Vs media (m/s)	Poisson medio
0 - 6,0	641	258	0,40
6,0-8,0	944	360	0,41
8,0-18,0	1188	467	0,41
18,0-28,0	1352	518	0,41
28,0-35,0	1477	550	0,41

Figura 95 - Interpretazione sismostratigrafica dei valori medi delle Vp, Vs e del coefficiente di Poisson DH1

L'indagine sismica in foro DH2 è stata effettuata in via Santa Barbara, alle coordinate (WGS84 UTM33N) 407330 E, 4510688 N, fino alla profondità di 35 m con passo di 1 m.



Figura 96 – ubicazione DH2

Offset scoppio	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono	Interdistanza
[m]		[m]	[m]
1,5	35	2	1

Figura 97 - Parametri di acquisizione DH-S2



Figura 98 - Variazioni con la profondità delle velocità delle onde di compressione, delle onde di taglio e del coefficiente di Poisson HD2

z	Tp (ms)	Ts (ms)	Tp corr (ms)	Ts corr (ms)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Poisson
2	6.73	13.30	4.76	9.40	536.1515063	209.8505386	0.41
3	7.96	17.03	6.62	14.17	536.1515063	209.8505386	0.41
3	8.15	17.10	6.78	14.23	490.1305986	215.3152118	0.38
4	9.86	21.10	8.82	18.87	490.1305986	215.3152118	0.38
4	10.30	20.80	9.21	18.60	830.4935348	286.2328030	0.43
5	11.22	23.80	10.42	22.10	830.4935348	286.2328030	0.43
5	9.21	23.01	8.55	21.36	738.4788547	311.8520531	0.39
6	10.44	25.90	9.90	24.57	738.4788547	311.8520531	0.39
6	10.94	23.80	10.38	22.58	847.4114164	302.3891064	0.43
7	12.02	26.92	11.56	25.89	847.4114164	302.3891064	0.43
7	11.82	27.00	11.36	25.96	797.2678266	295.3630329	0.42
8	13.01	30.25	12.62	29.35	797.2678266	295.3630329	0.42
8	13.06	30.82	12.67	29.90	912.4504545	357.3928904	0.41
9	14.10	33.50	13.76	32.70	912.4504545	357.3928904	0.41
9	18.10	36.72	17.67	35.84	1017.941321	345.9121977	0.43
10	19.03	39.50	18.66	38.73	1017.941321	345.9121977	0.43
10	19.44	41.48	19.06	40.67	980.6455464	364.0487295	0.42
11	20.41	44.13	20.08	43.42	980.6455464	364.0487295	0.42
11	22.37	44.00	22.01	43.29	932.9366239	325.7076089	0.43
12	23.40	47.00	23.08	46.36	932.9366239	325.7076089	0.43
12	22.28	48.50	21.98	47.84	953.8439246	361.7159048	0.42
13	23.30	51.20	23.03	50.60	953.8439246	361.7159048	0.42
13	24.02	52.80	23.74	52.19	1003.567864	350.2423067	0.43
14	24.99	55.60	24.74	55.04	1003.567864	350.2423067	0.43
14	28.20	57.04	27.92	56.47	887.7826968	402.1551810	0.37
15	29.30	59.48	29.04	58.96	887.7826968	402.1551810	0.37
15	29.34	59.93	29.08	59,41	1073.045928	398.1613178	0.45
16	30.25	62.40	30.02	61.92	1073.045928	398.1613178	0.45
16	30.54	63.87	30.30	63.38	1133.381381	405.5265598	0.43
17	31.40	66.30	31.18	65.85	1133.381381	405.5265598	0.43
17	31.60	68.59	31.38	68.12	1085.341818	427.0281271	0.41
18	32.50	70.90	32.30	70.47	1085.341818	427.0281271	0.41
18	33.07	74.41	32.87	73.95	1047.010604	435.3702867	0.37
19	34.01	76.67	33.82	76.25	1047.010604	435.3702867	0.37
19	34.53	76.67	34.34	76.25	1113.103465	424.0936463	0.42
20	35.41	79.00	35.24	78.61	1113.103465	424.0936463	0.42
20	36.87	81.43	36.69	81.03	1183.352626	455.3604473	0.41
21	37.70	83.60	37.53	83.22	1183.352626	455.3604473	0.41
21	38.50	84.40	38.33	84.02	1231.485661	448.9074263	0.42
22	39.30	00.06	39.14	86.24	1231.485661	448.9074263	0.42
22	41.10	89.27	40.93	88.91	1097.822677	444.7505320	0.40
23	42.00	91.50	41.84	91.16	1097.822677	444.7505320	0.40
23	42.52	92.67	42.36	92.32	1267.658641	464.6585229	0.42
24	43.30	94.80	43.15	94,47	1267.658641	464.6585229	0.42
24	44.39	95.70	44.24	95.37	1226.871484	450.6967695	0.42
25	45.20	91.90	45.06	97.59	1226.871484	450.6967695	0.42
20	45.40	100.00	40.39	37.09	1150.086650	441.1476257	0.41
20	40.40	101.25	40.26	39.95	1150.086650	441.1476257	0.41
20	40.00	107.00	47.86	100.70	1101.591052	447.3323066	0.40
27	40.90	103.22	40.77	102.94	1122 877420	430 3048364	0.40
27	49.02	106.00	40.89	105.72	1132.977438	430.2948364	0.42
20	49.90	107.50	49.77	107.04	1132.977438	430.2948304	0.42
20	40.00	109.72	43.77	107.23	1239.000559	447 7900525	0.42
29	61.60	111 00	51.40	110 74	1240 260246	472 3640610	0.42
30	62.40	113 10	52.10	112.05	1240.300340	473.3043010	0.41
30	53.30	114 18	52.20	112.85	1104 236920	462 6337333	0.41
31	54 20	116 33	54.09	116.00	1104 236629	462 6327220	0.35
31	62.80	118 10	52.69	117.85	1417 722520	473 7222050	0.00
32	53.50	120.20	53.40	119.97	1417 722520	473 7223950	0.44
32	54.00	121.07	53.90	120.84	1212 477344	491 1253777	0.41
33	54 82	123 10	54.72	122.87	1212 477344	491,1353777	0.41
33	55 30	123.34	55.20	123.11	1243 047524	482.5781869	0.41
34	56.10	125.40	56.00	125.18	1243 047524	482.5781869	0.41
34	58 10	125.80	58.00	125.59	1213 153560	496,6534121	0.41
35	58 92	127.80	58.82	127.59	1213 153580	496,6534121	0.41
35	59.10	127.98	59.00	127.77	1199.065060	488, 1383471	0.41
36	59 93	130.02	59.84	129.82	1199.065060	488.3383471	0.41

Figura 99 - Tabelle dei parametri

Profondità da p.c. (m)	Vp media (m/s)	Vs media (m/s)	Poisson medio
0-4,0	510	210	0,39
4,0-8,0	815	300	0,42
8,0-14,0	970	350	0,43
14,0-20,0	1080	415	0,41
20,0 - 30,0	1200	450	0,42
30,0-35,0	1215	485	0,40

Figura 100 - Interpretazione sismostratigrafica dei valori medi delle Vp, Vs e del coefficiente di Poisson DH2



Figura 101–Fase di esecuzione DH2



Figura 102 - Modalità di acquisizione DH2

#### MASW

Al fine di caratterizzare sismicamente il suolo nelle aree interesse, sono state eseguite n.13 prospezioni sismiche MASW.

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio VS. Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno. La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 4 passi fondamentali:

- 1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni;
- 2. Estrazione del modo fondamentale di oscillazione dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione)
- 3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle VS (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);
- 4. Ricostruzione di una sezione (modello 2D) delle VS dei terreni con approccio multicanale.

Quando vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume (P ed 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 tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando 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 103 - Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh

Le indagini sono state condotte mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 24 canali con ambiente operativo Microsoft Windows XP embedded.

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale T=2.048s, sono state effettuate con passo di campionamento dt=0.5ms. La frequenza di campionamento è data da:  $f_{campionamento}=1/dt=2000$ Hz. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da:  $f_{Nyquist}=1/2$ dt=1000Hz. La frequenza minima dei segnali è data da: fmin=1/T=0.488Hz.

La sorgente sismica è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 8kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra.

Quando la battuta sulla superficie della piastra non risultava netta o veniva colpita due volte erroneamente, la prova veniva ripetuta. La sorgente è stata posizionata all'inizio ed alla fine di ogni stendimento geofonico, con offset variabili, in modo tale da ottenere profili sismici diretti ed inversi. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo i profili di indagine con spacing pari a 2.50m

I segnali acquisiti (SEG2) sono stati salvati su apposito supporto esterno (Penna USB).

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate dapprima con il programma SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey ed in un secondo momento anche con il software open source Geopsy.

Sono allegate alla presente relazione illustrativa le schede con le modalità di acquisizione e le monografie di ogni singola masw con i risultati ottenuti.

Offset	Spacing	Stendimento	n. geofoni	Acquisizone
7.5m	2.5m	57.5m	24	Diretta ed inversa
5m		(72.5m comprensivi di offset)		

 Tabella 14 - Parametri di acquisizione prospezioni sismiche masw



Figura 104 - Sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 24 canali



Figura 105 - Sorgente energizzante, costituita da massa battente su piastra di alluminio. Come starter/trigger è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz

#### HVSR

Al fine di caratterizzare sismicamente il suolo nelle aree interesse, sono state eseguite n.32 prospezioni sismiche HVSR.



Α

В

Figura 106 - Acquisizione di sismica passiva, A Piazza Marina, B via Montecito

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre; esso è denominato anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni e/o le masse battenti della sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un litotipo roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Figura 107, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo di riferimento mentre la curva verde rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 Hz e 0.07Hz (cerchietti rossi inFigura 107) sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste.



*Figura 107 - Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra.* 

Le basi teoriche del rapporto spettrale H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato di terreno su bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (modellazione 1-D).

Consideriamo il sistema di Figura 108 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (p1 e p2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V1 e V2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.



Figura 108 - Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità  $\rho$  e velocità di propagazione V

L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato [1]. La frequenza fondamentale di risonanza (fr) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$(fr) = Vs1/4H (fr) = Vp1/4H [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh. Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di
risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1].

L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Inoltre la velocità aumenta con la profondità, possono inoltre esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini.

In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti e le curve HVSR sono state invertite secondo la procedura descritta da Arai e Tokimatsu (2004).

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970) e riproposta più recentemente da Nakamura (1989).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Inizialmente alcuni ricercatori proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione. Purtroppo, esiste abbondante letteratura scientifica comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute).

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier et al., 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

Al fine di caratterizzare l'area di Casamicciola Terme, come già detto, sono state eseguite n. 32 indagini di sismica passiva a stazione singola HVSR (microtremore ambientale).

Le indagini sono state condotte mediante l'utilizzo di un sismografoTromino Zero TRZ-0128/01-10 della MOHO, con frequenza banda di lavoro 0.1 500 Hz, finalizzati alla rilevazione di vibrazioni naturali e artificiali. Compatto, affidabile e semplice nel suo utilizzo in pochi secondi si configura ed è operativo. La terna di velocimetri ortogonali tra loro (un velocimetro verticale e due orizzontali da 4.5Hz) è stata posizionata correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul piano di calpestio (terreno). La stessa terna è stata orientata con il Nord.

Prima di procedere alla registrazione è stata posta la massima attenzione nel garantire un buon accoppiamento dello strumento di misura (velocimetro tri-direzionale) con il terreno, alle condizioni ambientali durante la misura e al possibile influsso di sorgenti di disturbo. La durata complessiva di ogni registrazioni è stata di 40 min con una frequenza di campionamento di 128 Hz.

La determinazione della curva HVSR in sito ha previsto, pertanto, i seguenti steps:

- 1. Misura delle tre componenti x, y, x del moto in un punto sulla superficie libera del suolo per una durata di 40 min.e una frequenza di campionamento superiore ai 128 Hz;
- lisciamento degli spettri su finestre mobili con passo dipendente dalla frequenza (Konno-Ohmachi con b=40, finestre triangolari con ampiezza pari al 5% della frequenza centrale), la rimozione dei transienti è stata effettuata con cautela valutando il loro eventuale impatto sui risultati dell'analisi;
- 2. Definizione degli N intervalli o finestre temporali stazionari entro cui calcolare le curve HVSR;
- 3. Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto;
- 4. Operazione di smoothing degli spettri di Fourier;
- 5. Somma delle due componenti orizzontali x e y;
- 6. Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari;
- 7. Calcolo della curva HVSR media tra le N curve HVSR.

Infine, i risultati ottenuti sono stati verificati secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME (Figura 109).



Figura 109 - Diagrams for interpretation of h/v results da sesame guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique on ambient vibrations December 2004

L'elaborazione dei data è stata eseguita mediante il software Grilla*rel.7.2 2017* della MOHO science & technology. Le registrazioni del microtremore nelle tre componenti ortogonali tra loro (verticale ed orizzontali) sono state illustrate nelle schede delle monografie allegate al presente studio).

### Array bidimensionali

A cura del gruppo di lavoro del Centro MS sono stati eseguiti ulteriori 3 array sismici bidimensionali (oltre a quelli della campagna di indagini precedenti di Zona Rossa, Villa Parodi e Grande Sentinella). Gli array sismici bidimensionali (antenna sismica 2D) sono stati installati nelle seguenti località:

- Antiche Terme (AT);
- Santa Barbara (SB);
- Chiesa Santa Maria Maddalena (SMM).

L'obiettivo è stato quello di caratterizzare l'area in termini di geometria e di caratteristiche geotecniche dei terreni di copertura. Per mezzo di indagini passive che sfruttano le caratteristiche dispersive delle onde superficiali, l'array fornisce informazioni sulla frequenza di risonanza del sito e sulla di curva di dispersione per le ondesuperficiali la cui inversione, basata su tecniche non lineari, consente di ottenere profili divelocità delle onde di taglio (Vs) fino a profondità anche elevate. I risultati ottenuti consentonoinoltre di calcolare la Vs media nei primi 30 metri di terreno (Vs<sub>30</sub>) e di assegnare al sito lacategoria di sottosuolo secondo quanto dettato dal codice NTC18. I risultati ottenuti sono riportati in allegato.

# Procedure di inversione delle misure congiunte e modalità di determinazione delle incertezze

La curva di dispersione sperimentale, costituita dal solo modo fondamentale dell'onda di Rayleigh, ottenuta dall'elaborazione dei segnali delle prove di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. e la curva di ellitticità, ottenuta dall'elaborazione dei segnali di sismica passiva, acquisiti con il tromografo, sono state utilizzate, insieme a tutti gli altri dati a disposizione, per la modellazione geologica del sito attraverso una metodologia di inversione congiunta.

Il software usato è Dinver, uno dei moduli di cui si compone il programma Geopsy (Geophisical Signal database for noise array processing), sviluppato nell'ambito del progetto europeo SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitation). Ai soli fini di verifica e di controllo dei risultati ottenuti con Dinver, sono state eseguite a campione delle inversioni congiunte anche con il software HV Inv. I due programmi usano algoritmi di inversione differenti: la procedura presente in Dinver usa tecniche di ricerca globale della soluzione, mentre HV Inv associa alle tecniche globali anche le tecniche di ricerca locale. I risultati ottenuti sono equiparabili.

La curva di dispersione sperimentale usata nel processo di inversione è la media delle singole curve ottenute dall'analisi dei segnali acquisiti in seguito ad ogni energizzazione (come riportato nel paragrafo relativo alla tecnica M.A.S.W.). Dalla scheda dei metadati delle indagini M.A.S.W. risultano 8 energizzazioni per sito.

Dopo aver caricato la curva di dispersione sono stati inseriti la curva di ellitticità e i dati relativi al picco della curva, comprensivi della deviazione standard.

Nella casella "Min. misfit" della finestra "Targets" è stato lasciato il valore di default, cioè zero. Ciò significa che sono stati presi in considerazione tutti i modelli generati nel processo di inversione.

Durante alcune elaborazioni si è provato a dare un peso maggiore alla curva con lo scarto molto più grande rispetto all'altra ma i risultati non sono stati soddisfacenti ottenendo dei modelli non comparabili con le informazioni geologiche a disposizione. È stato quindi scelto di dare lo stesso peso statistico ad ogni insieme di dati, cioè 1 (casella "Misfit weight").

Attraverso l'analisi delle curve, lo studio dei dati geognostici a disposizione (indagini pregresse e indagini recenti) e tenendo conto della geologia dell'area sono stati inseriti i parametri del modello. Sono state correlate le velocità delle onde longitudinali, i rapporti di Poisson e le densità ai corrispondenti valori delle velocità delle onde di taglio. Per verificare la correttezza della parametrizzazione inserita è stata eseguita un'inversione e valutato il misfit per entrambe le curve. È stato variato l'intervallo dei valori e ripetuto il processo di inversione fin quando non è stato trovato un buon adattamento per entrambe.

Il "misfit" rappresenta lo scarto tra la curva sperimentale e quella teorica. È la media quadratica normalizzata della deviazione standard, se fornita, o dei valori stessi nel caso non sia presente nessuna stima dell'errore.

È stato dunque scelto il modello con il misfit minore, quello cioè in cui la curva teorica si adattava meglio a entrambe le curve sperimentali.

Nella fattispecie, di concerto con il gruppo di lavoro del Centro MS, è stata eseguita n. 1 inversione congiunta per la MASW effettuata in prossimità del Campo Sportivo del Rotaro **(L13).** 

Tutte le informazioni disponibili in merito alle suddette indagini sono archiviate nel database "Cdl\_Tabelle" nella cartella "Casamicciola\_Terme\_S41/Indagini/Documenti".

# 5. Modello del sottosuolo finalizzato alla MS

Nel testo di "Microzonazione Sismica per la ricostruzione dell'area aquilana", viene definito come modello del sottosuolo "una rappresentazione tridimensionale approssimata di una porzione di sottosuolo, nella quale devono essere distinguibili gli elementi qualitativi e quantitativi necessari per il suo impiego nelle valutazioni funzionali alla specifica applicazione. Metodologicamente è il risultato di un processo interattivo e iterativo di trattamento di dati provenienti da diverse fonti informative, riconducibili a specifiche aree disciplinari: geologia, geofisica e geotecnica".

Dai risultati ottenuti dalle indagini e dai rilevamenti eseguiti all'interno del territorio comunale di Casamicciola Terme, uniti con le informazioni ricavate dai dati pregressi e dagli studi bibliografici, è stato possibile ottenere il modello del sottosuolo finalizzato all'analisi di Microzonazione Sismica di Livello 3, con cui, poi, si è proceduto ad individuare le Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), anche tramite la realizzazione di sezioni geologiche dei corpi omogenei del modello iniziale. Di seguito sono riportate le informazioni con cui sono state effettuate le modellazioni per individuare eventuali effetti di amplificazione sia stratigrafica che topografica; di queste analisi numeriche vengono descritti i risultati delle indagini ottenute e sono specificate le principali proprietà fisiche, meccaniche e geofisiche rilevanti per la risposta sismica locale.

## 5.1 Unità geologico-tecniche: definizione e parametrizzazione

L'esecuzione e l'elaborazione delle indagini geotecniche e geofisiche nel territorio comunale di Casamicciola Terme hanno consentito di definire le geometrie riguardanti i limiti delle unità geologico tecniche, ma non in maniera completa, in quanto solo per pochi punti si è riusciti ad individuare il bedrock sismico, grazie agli array sismici bidimensionali ed all'inversione congiunta effettuata per la MASW del Rotaro.

Il processo di inversione congiunta Masw – Hvsr non è risultato sempre realizzabile, per diversi motivi; principalmente perché il contenuto spettrale delle due metodologie è risultato spesso molto diverso, pertanto non utilizzabile in un unico processo di inversione.

In particolare, si è verificato, che i picchi del rapporto H/V, dovuti a contatti stratigrafici, risultavano spesso inferiori ad 1 Hz che, tradotti in profondità, erano dell'ordine delle diverse centinaia di metri, mentre il contenuto di frequenze in cui si osservava la dispersione dell'onda di Rayleigh, determinato dalla sismica attiva Masw, mediamente raggiungeva i 10-12 Hz. Questa situazione ha determinato un palese vuoto di informazioni non colmabile con nessun altro dato a disposizione.

Difatti per Casamicciola Terme i pochi dati profondi disponibili sono relativi solo agli array della Zona Rossa, della Grande Sentinella, di Villa Parodi e delle Antiche Terme, che permettono di individuare un bedrock sismico a profondità rispettivamente di:

- Villa Parodi -78m dal p.c.;
- Grande Sentinella -69m dal p.c.;
- Zona Rossa -87m dal p.c.;

• Antiche Terme -165m dal p.c.

I dati degli array sismici sono stati tarati anche sulla base dei dati dei n. 8 sondaggi profondi desunti dalla relazione illustrativa dello studio geologico del PRG.

Un utile confronto per la definizione del modello sottosuolo è derivato dall'allegato 1 (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" – Misure di carattere non strutturale finalizzate alla riduzione del rischio residuo art. 8 dell'Ordinanza OCDPC n. 476 del 29 agosto 2017 - Relazione Finale), dove sono riportate per il comune di Casamicciola Terme n. 2 sezioni geologiche con un ulteriore n. 1 dato stratigrafico (in prossimità di Piazza Maio) di sondaggio profondo, che hanno contribuito a tarare le poche informazioni profonde disponibili.

Di seguito si riporta una breve descrizione dei substrati e dei terreni di copertura individuati, con un riepilogo delle caratteristiche di ciascuno dei suddetti ed al contempo le curve di decadimento e smorzamento attributi ad ogni complesso dal gruppo di Ingegneria UNINA-DICEA.

#### Terreni di copertura

**RIzz:** Depositi e opere antropici. Terreni di discarica e di rinterro grossolani eterometrici ed eterogenei, con abbondante matrice limoso-sabbiosa; opere di difesa costiera in cemento, calcestruzzo e grandi blocchi litici. Lo spessore varia tra i 3 ed i 5 metri (codici CARG r, h1 ed h3).

Nome del Complesso Geologico-	Rizz
Tecnico	
Descrizione	Depositi ed opere antropiche
Variazione degli spessori individuati	Spessori massimi pari a 5 metri
Classazione granulometrica prevalente	Materiale eterometrico ed eterogeneo
Stato di addensamento	Da poco a moderatamente addensati
Peso di volume ( <sub>¥</sub> medio)	17.00 KN/m <sup>3</sup>
Valori di Vs	Velocità pari a 210m circa per i riporti di viale Paradisiello
	e Piazza Maio e pari a 450m/s* per i riporti di Piazza Bagni
	(* dato fornito da Gruppo di Lavoro Centro MS)

#### Tabella 15 - Principali caratteristiche complesso RIzz



Figura 110 - Curve di Decadimento normalizzate G/Go per tutti i terreni di copertura individuati per gli studi di Microzonazione dei tre comuni di Casamicciola Terme, Forio e Lacco Ameno



Figura 111 - Curve del fattore dismorzamento per tutti i terreni di copertura individuati per gli studi Microzonazione dei tre comuni di Casamicciola Terme, Forio e Lacco Ameno

Tabella 16 -Valori delle curve di decadimento di riferimento per iterreni di riporto,  $\gamma$ [%]=deformazione ditaglio; G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.00001	1.00000	0.00001	3.00
0.00030	0.99000	0.00030	3.10
0.00050	0.98000	0.00050	3.21
0.00068	0.97000	0.00068	3.31
0.00085	0.96000	0.00085	3.42
0.00102	0.95000	0.00102	3.52
0.00143	0.92500	0.00143	3.78
0.00148	0.92210	0.00148	3.81
0.00152	0.92000	0.00152	3.83
0.00185	0.90000	0.00185	4.04
0.00375	0.80000	0.00375	5.08
0.00633	0.70000	0.00633	6.12
0.01637	0.50000	0.01637	8.20
0.11178	0.20000	0.11178	11.32
0.40235	0.10000	0.40235	12.36
1.38288	0.05000	1.38288	12.88

**GMfd:** Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica, di ambiente di versante e di accumulo gravitativo da frana, a struttura caotica e massiva e/o stratificata in matrice sabbiosolimosa e limoso-argillosa. Da poco a moderatamente addensati (Codici CARG: a1a, aa, a1b, GSN).

Tabella	1	7 ·	-	Principali	caratteristiche compless	0	GMfd
---------	---	-----	---	------------	--------------------------	---	------

Nome del Complesso Geologico-	GMfd
Tecnico	
Descrizione	Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica
Variazione degli spessori individuati	5-25m
Classazione granulometrica prevalente	Classi grossolani in matrice sabbioso-limosa e limoso-
	argillosa.
Stato di addensamento	Da poco a moderatamente addensati
Peso di volume ( <sub>¥</sub> medio)	17.07 KN/m <sup>3</sup>
Valori di Vs	Compresi tra un minino di 184 m/s in superficie fino a
	397 m/s

Tabella 18 - Valori delle curve di decadimento di riferimento per GMfd,  $\gamma$ [%]=deformazione di taglio;G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.0001	0.998983	0.0001	3.514379
0.0002	0.997896	0.0002	3.528736
0.0003	0.996783	0.0003	3.543074
0.0004	0.995653	0.0004	3.557393
0.0005	0.994512	0.0005	3.571692
0.0006	0.993362	0.0006	3.585972
0.0007	0.992205	0.0007	3.600233
0.0008	0.991042	0.0008	3.614474
0.0009	0.989875	0.0009	3.628696
0.001	0.988704	0.001	3.642899
0.002	0.97689	0.002	3.783868
0.003	0.965053	0.003	3.922937
0.004	0.953305	0.004	4.06014
0.005	0.941695	0.005	4.195514
0.006	0.930251	0.006	4.329094
0.007	0.91899	0.007	4.460915
0.008	0.907919	0.008	4.591013
0.009	0.897045	0.009	4.719421
0.01	0.88637	0.01	4.846173
0.02	0.790242	0.02	6.02952
0.03	0.711082	0.03	7.078946
0.04	0.645331	0.04	8.017008
0.05	0.590076	0.05	8.861361
0.06	0.543103	0.06	9.62601
0.07	0.502746	0.07	10.32221
0.08	0.467739	0.08	10.95912
0.09	0.437111	0.09	11.54428
0.1	0.410106	0.1	12.08397
0.2	0.251368	0.2	15.83349
0.3	0.179894	0.3	17.96331
0.4	0.139538	0.4	19.33443
0.5	0.113706	0.5	20.28549
0.6	0.095793	0.6	20.97882
0.7	0.082661	0.7	21.50251
0.8	0.072632	0.8	21.90865
0.9	0.06473	0.9	22.23009
1	0.058346	1	22.48859

**GMca:** Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica, di ambiente di conoide alluvionale, in abbondante matrice sabbioso-limosa e limo-argillosa. Da sciolti a moderatamente addensati (Codice CARG: b)

Nome del Complesso Geologico-	GMca
Tecnico	
Descrizione	Depositi alluvionali eterogenei ed etero metrici sabbioso-
	limosie argillosi, con scheletro detritico eterometrico da
	minuto a blocchi
Variazione degli spessori individuati	5-10m
Classazione granulometrica prevalente	Detriti da minuti a blocchi a sabbioso-limosi e argillosi
Stato addensamento	Da sciolti a moderatamente addensati
Peso di volume	17.07 KN/m <sup>3</sup>

Tabella 19 - Principali caratteristiche complesso GMca

**GCfd:** Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica, di ambiente di falda detritica, in matrice argilloso-sabbiosa. Da sciolti a moderatamente addensati (Codici CARG: a1a, a1b, ECV, LMO).

Tabella 20 ·	Principali	caratteristiche	complesso	Gcfd
--------------	------------	-----------------	-----------	------

Nome del Complesso Geologico-	Gcfd
Tecnico	
Descrizione	Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica
	di ambiente di falda detritica.
Variazione degli spessori individuati	5-15m
Classazione granulometrica prevalente	Elementi grossolaniin matrice argilloso-sabbiosa
Stato addensamento	Da sciolti a moderatamente addensati
Peso di volume	17.06 KN/m <sup>3</sup>
Valori di Vs	Compresi tra un minino di 270 m/s in superficie fino a
	370 m/s

Tabella 21 - Valori delle curve di decadimento di riferimento per GCfd,  $\gamma$ [%]=deformazione di taglio;G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.0001	0.998983	0.0001	3.514379
0.0002	0.997896	0.0002	3.528736
0.0003	0.996783	0.0003	3.543074
0.0004	0.995653	0.0004	3.557393
0.0005	0.994512	0.0005	3.571692
0.0006	0.993362	0.0006	3.585972
0.0007	0.992205	0.0007	3.600233

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.0008	0.991042	0.0008	3.614474
0.0009	0.989875	0.0009	3.628696
0.001	0.988704	0.001	3.642899
0.002	0.97689	0.002	3.783868
0.003	0.965053	0.003	3.922937
0.004	0.953305	0.004	4.06014
0.005	0.941695	0.005	4.195514
0.006	0.930251	0.006	4.329094
0.007	0.91899	0.007	4.460915
0.008	0.907919	0.008	4.591013
0.009	0.897045	0.009	4.719421
0.01	0.88637	0.01	4.846173
0.02	0.790242	0.02	6.02952
0.03	0.711082	0.03	7.078946
0.04	0.645331	0.04	8.017008
0.05	0.590076	0.05	8.861361
0.06	0.543103	0.06	9.62601
0.07	0.502746	0.07	10.32221
0.08	0.467739	0.08	10.95912
0.09	0.437111	0.09	11.54428
0.1	0.410106	0.1	12.08397
0.2	0.251368	0.2	15.83349
0.3	0.179894	0.3	17.96331
0.4	0.139538	0.4	19.33443
0.5	0.113706	0.5	20.28549
0.6	0.095793	0.6	20.97882
0.7	0.082661	0.7	21.50251
0.8	0.072632	0.8	21.90865
0.9	0.06473	0.9	22.23009
1	0.058346	1	22.48859

**GMcd:** Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica, formati da megablocchi e blocchi, di ambiente gravitativo, in matrice sabbioso-argillosa. Moderatamente addensati (Codice CARG: LMO).

Tabella 22 - F	Principali	caratteristiche	complesso	GMcd
----------------	------------	-----------------	-----------	------

Nome del Complesso Geologico-	GMcd
Tecnico	
Descrizione	Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica,
	formati da megablocchi e blocchi, di ambiente gravitativo,
	in matrice sabbioso-argillosa.
Variazione degli spessori individuati	5-25m
Classazione granulometrica prevalente	Megablocchie blocchi, in matrice sabbioso-argillosa

Nome del Complesso Geologico-	GMcd
Tecnico	
Stato addensamento	Moderatamente addensati
Peso di volume	16.36 KN/m <sup>3</sup>

Tabella 23 - Valori delle curve di decadimento di riferimento per GMcd,  $\gamma$ [%] = deformazione di taglio; G/G0 =rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.0001	0.998983	0.0001	3.514379
0.0002	0.997896	0.0002	3.528736
0.0003	0.996783	0.0003	3.543074
0.0004	0.995653	0.0004	3.557393
0.0005	0.994512	0.0005	3.571692
0.0006	0.993362	0.0006	3.585972
0.0007	0.992205	0.0007	3.600233
0.0008	0.991042	0.0008	3.614474
0.0009	0.989875	0.0009	3.628696
0.001	0.988704	0.001	3.642899
0.002	0.97689	0.002	3.783868
0.003	0.965053	0.003	3.922937
0.004	0.953305	0.004	4.06014
0.005	0.941695	0.005	4.195514
0.006	0.930251	0.006	4.329094
0.007	0.91899	0.007	4.460915
0.008	0.907919	0.008	4.591013
0.009	0.897045	0.009	4.719421
0.01	0.88637	0.01	4.846173
0.02	0.790242	0.02	6.02952
0.03	0.711082	0.03	7.078946
0.04	0.645331	0.04	8.017008
0.05	0.590076	0.05	8.861361
0.06	0.543103	0.06	9.62601
0.07	0.502746	0.07	10.32221
0.08	0.467739	0.08	10.95912
0.09	0.437111	0.09	11.54428
0.1	0.410106	0.1	12.08397
0.2	0.251368	0.2	15.83349
0.3	0.179894	0.3	17.96331
0.4	0.139538	0.4	19.33443
0.5	0.113706	0.5	20.28549
0.6	0.095793	0.6	20.97882
0.7	0.082661	0.7	21.50251
0.8	0.072632	0.8	21.90865

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.9	0.06473	0.9	22.23009
1	0.058346	1	22.48859

**SMtm:** Depositi limo-sabbiosi di natura piroclastica, di origine mista (debris flow e/o torrentizia), fossiliferi, interessati da lembi di terrazzo di abrasione marina. Poco addensati (Codici CARG: a1b, g2, ia, GSN).

Tabella 24 -	Principali	caratteristiche	complesso	SMtm
--------------	------------	-----------------	-----------	------

Nome del Complesso Geologico-	SMtm	
Tecnico		
Descrizione	Depositi limo-sabbiosi di natura piroclastica, di origine	
	mista (debris flow e/o torrentizia), fossiliferi, interessati da	
	lembi di terrazzo di abrasione marina.	
Variazione degli spessori individuati	5-35m	
Classazione granulometrica prevalente	Limi sabbiosi	
Stato addensamento	Poco addensati	
Peso di volume	14.74 KN/m <sup>3</sup>	

Tabella 25 -- Valori delle curve di decadimento di riferimento per SMtm,  $\gamma$ [%]=deformazione di taglio;G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.00010	0.99951	0.00010	1.509418
0.0002	0.998996	0.0002	1.51883
0.00030	0.99846	0.00030	1.528236
0.0004	0.997924	0.0004	1.537635
0.00050	0.99738	0.00050	1.547028
0.0006	0.996826	0.0006	1.556415
0.00070	0.99627	0.00070	1.565795
0.0008	0.99571	0.0008	1.57517
0.00090	0.995149	0.00090	1.584538
0.00100	0.994585	0.00100	1.593899
0.002	0.988852	0.002	1.687172
0.003	0.983036	0.003	1.779821
0.004	0.97719	0.004	1.871851
0.005	0.97134	0.005	1.963266
0.006	0.96550	0.006	2.054072
0.007	0.959685	0.007	2.144274
0.008	0.953897	0.008	2.233878
0.009	0.948143	0.009	2.322891
0.01	0.942426	0.01	2.411316
0.02	0.887711	0.02	3.26456

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.03	0.837785	0.03	4.065166
0.04	0.792452	0.04	4.818053
0.05	0.751283	0.05	5.527568
0.06	0.713824	0.06	6.197546
0.07	0.679652	0.07	6.831377
0.08	0.648389	0.08	7.432063
0.09	0.619704	0.09	8.002271
0.1	0.59331	0.1	8.544381
0.2	0.413348	0.2	12.79929
0.3	0.315209	0.3	15.6799
0.4	0.253895	0.4	17.76886
0.5	0.212111	0.5	19.35537
0.6	0.181877	0.6	20.60115
0.7	0.15902	0.7	21.60442
0.8	0.141153	0.8	22.42857
0.9	0.126815	0.9	23.1165
1	0.115062	1	23.69831

**SPsp:** Depositi eterometrici di natura piroclastica costituiti da sabbie da fini a molto grossolane, di ambiente di spiaggia attuale, che includono occasionalmente ghiaie e ciottoli. Includono anche depositi limosi e argillosi di ambiente di retrospiaggia. Da sciolti a poco addensati (Codice CARG: g2).

Tabella 26 -	Principali	caratteristiche	complesso SPsp
--------------	------------	-----------------	----------------

Nome del Complesso Geologico-	SPsp
Tecnico	
Descrizione	Depositi eterometrici di natura piroclastica costituiti da
	sabbie da fini a molto grossolane, di ambiente di spiaggia
	attuale, che includono occasionalmente ghiaie e ciottoli.
	Includono anche depositi limosi e argillosi di ambiente di
	retrospiaggia.
Variazione degli spessori individuati	5-35m
Classazione granulometrica prevalente	Sabbie da fini a molto grosse con incluse ghiaie e ciottoli.
Stato addensamento	Da sciolti a poco addensati
Peso di volume	15.66 KN/m <sup>3</sup>

Tabella 27 - Valori delle curve di decadimento di riferimento per SPsp,  $\Box$  [%]=deformazione di taglio;G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.0001	0.999637	0.0001	0.910083
0.0002	0.999223	0.0002	0.920162
0.0003	0.998787	0.0003	0.930235
0.0004	0.998336	0.0004	0.940303
0.0005	0.997875	0.0005	0.950366
0.0006	0.997404	0.0006	0.960424
0.0007	0.996926	0.0007	0.970477
0.0008	0.996441	0.0008	0.980524
0.0009	0.995951	0.0009	0.990566
0.001	0.995455	0.001	1.000603
0.002	0.990309	0.002	1.10068
0.003	0.984943	0.003	1.200227
0.004	0.979454	0.004	1.299242
0.005	0.973887	0.005	1.397724
0.006	0.968272	0.006	1.495674
0.007	0.962628	0.007	1.593095
0.008	0.956969	0.008	1.689987
0.009	0.951306	0.009	1.786352
0.01	0.945648	0.01	1.882193
0.02	0.890312	0.02	2.812335
0.03	0.838609	0.03	3.693166
0.04	0.791083	0.04	4.527828
0.05	0.747629	0.05	5.319447
0.06	0.707951	0.06	6.071006
0.07	0.671701	0.07	6.785301
0.08	0.638534	0.08	7.464924
0.09	0.608126	0.09	8.112265
0.1	0.580188	0.1	8.729521
0.2	0.392	0.2	13.61924
0.3	0.292158	0.3	16.95372
0.4	0.23123	0.4	19.37185
0.5	0.190489	0.5	21.20328
0.6	0.161462	0.6	22.63562
0.7	0.1398	0.7	23.78383
0.8	0.123052	0.8	24.72241
0.9	0.10974	0.9	25.50189
1	0.098919	1	26.15776

**SMsc:** Livelli di tufi a grana fina, tufi breccia e tufi gialli stratificati, ricchi di scorie e litici, a luoghi rimaneggiati. Spessori compresi tra i 5 e i 25 metri. (Codice CARG: CMI).

Nome del Complesso Geologico-	SM sc		
Tecnico			
Descrizione	Tufi di Casamicciola del Sintema dell'Isola d'Ischia		
	Subsintema di la Rita-Monte Caccaviello, costituiti da tufi		
	breccia e tufi gialli, stratificati, ricchi in scorie e lavici.		
Variazione degli spessori individuati	5-25m		
Classazione granulometrica prevalente	Sabbie da fini a grosse con incluse ghiaie e ciottoli.		
Stato addensamento	Addensati		
Peso di volume	14.50 KN/m <sup>3</sup>		
Valori di Vs	Compresi tra un minino di 380 m/s in superficie fino a 550		
	m/s		

Tabella 28 - Principali caratteristiche complesso SMsc

Tabella 29 - Valori delle curve di decadimento di riferimento per SMsc,  $\gamma[\%]$  = deformazione di taglio; G/G0 =rapporto dei moduli di taglio; D[%] = rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.00084	1	0.00084	0.5
0.00126	0.997437	0.00126	0.5
0.00183	0.994098	0.00183	0.5
0.00286	0.977704	0.00286	0.5997
0.00414	0.957583	0.00414	0.92305
0.00642	0.932172	0.00642	1.07
0.01007	0.89363	0.01007	1.37
0.01028	0.880485	0.01028	1.47
0.01442	0.835609	0.01442	1.98
0.02071	0.778154	0.02071	2.82
0.03038	0.691964	0.03038	4.14
0.04713	0.588411	0.04713	6.21
0.07737	0.472129	0.07737	8.66
0.14126	0.337934	0.14126	12.24
0.28442	0.217718	0.28442	15.71
0.49734	0.150158	0.49734	17.19

**SMca:** Depositi sabbiosi eterometrici, di natura piroclastica, con rare inclusioni di tufacei, in matrice limo-sabbiosa. Da poco addensati a moderatamente addensati e/o poco coesivi (Codici CARG: ib, a1b, ia, ic, GSN, LMO).

Tabella 30 - Principali caratteristiche complesso SMca

Nome del Complesso Geologico- Tecnico	SMca
Descrizione	Depositi sabbiosi eterometrici, di natura piroclastica, con rare inclusioni di tufacei, in matrice limo-sabbiosa.
Variazione degli spessori individuati	5-45m

Nome del Complesso Geologico-	SMca	
Tecnico		
Classazione granulometrica prevalente	Ghiaie e ciottoli in matrice limo sabbiosa	
Stato addensamento	Da poco addensati a moderatamente addensati e/o poco	
	coesivi	
Peso di volume	15.59 KN/m <sup>3</sup>	
Valori di Vs	Compresi tra un minino di 220 m/s in superficie fino a 390	
	m/s	

Tabella 31 - Valori delle curve di decadimento di riferimento per SMsc,  $\gamma$ [%]=deformazione di taglio;G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.0001	0.998951	0.0001	1.015589
0.0002	0.997904	0.0002	1.031158
0.0003	0.996859	0.0003	1.046708
0.0004	0.995816	0.0004	1.062239
0.0005	0.994776	0.0005	1.077749
0.0006	0.993738	0.0006	1.093241
0.0007	0.992701	0.0007	1.108713
0.0008	0.991667	0.0008	1.124165
0.0009	0.990636	0.0009	1.139599
0.001	0.989606	0.001	1.155013
0.002	0.979426	0.002	1.3081
0.003	0.969453	0.003	1.459303
0.004	0.959681	0.004	1.60866
0.005	0.950104	0.005	1.756207
0.006	0.940717	0.006	1.901983
0.007	0.931513	0.007	2.046022
0.008	0.922487	0.008	2.188359
0.009	0.913635	0.009	2.329027
0.01	0.904951	0.01	2.468059
0.02	0.826402	0.02	3.774947
0.03	0.7604	0.03	4.948195
0.04	0.704161	0.04	6.009057
0.05	0.655668	0.05	6.974259
0.06	0.613424	0.06	7.85719
0.07	0.576293	0.07	8.668722
0.08	0.543402	0.08	9.417794
0.09	0.514062	0.09	10.11184
0.1	0.487728	0.1	10.7571
0.2	0.322513	0.2	15.39546

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.3	0.240907	0.3	18.18009
0.4	0.19226	0.4	20.05159
0.5	0.159958	0.5	21.39789
0.6	0.13695	0.6	22.41176
0.7	0.119728	0.7	23.2009
0.8	0.106354	0.8	23.83063
0.9	0.095667	0.9	24.34304
1	0.086932	1	24.76654

**SMcd:** Depositi costituiti da sabbie fini e grossolane, di conoide detritica, inclusi lavici e tufi, in matrice limo-argillosa. Da poco a moderatamente addensati (Codici CARG: a1b, ia, ib, ic, b2, GSN, LMO).

Tabella 32	-	Principali	caratteristiche	complesso	SMcd
------------	---	------------	-----------------	-----------	------

Nome del Complesso Geologico-	SMcd
Tecnico	
Descrizione	Depositi costituiti da sabbie fini e grossolane, di conoide
	detritica, inclusi lavici e tufi, in matrice limo-argillosa.
Variazione degli spessori individuati	10-55m
Classazione granulometrica prevalente	Sabbie da fini a grosse con incluse ghiaie e ciottoli, in
	matrice limo-argillosa
Stato addensamento	Da poco a moderatamente addensati
Peso di volume	16.18 KN/m <sup>3</sup>
Valori di Vs	Compresi tra un minino di 147 m/s in superficie fino a 450-
	650m/s

Tabella 33- Valori delle curve di decadimento di riferimento per SMcd – MOPS 2001 – 2002 – 2004 – 2005-2006,  $\gamma$ [%]=deformazione di taglio; G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.0001	0.998878	0.0001	1.019650574
0.0002	0.997679	0.0002	1.03927219
0.0003	0.996452	0.0003	1.058864729
0.0004	0.995207	0.0004	1.078428151
0.0005	0.993949	0.0005	1.097962456
0.0006	0.992682	0.0006	1.117467656
0.0007	0.991408	0.0007	1.136943776
0.0008	0.990127	0.0008	1.156390845
0.0009	0.988842	0.0009	1.1758089
0.001	0.987553	0.001	1.19519798
0.002	0.974566	0.002	1.387505528

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.003	0.961587	0.003	1.57697178
0.004	0.948735	0.004	1.763653888
0.005	0.936065	0.005	1.947610632
0.006	0.923606	0.006	2.128900783
0.007	0.911374	0.007	2.307582413
0.008	0.899376	0.008	2.483712559
0.009	0.887618	0.009	2.657347043
0.01	0.876101	0.01	2.828540372
0.02	0.773505	0.02	4.417233056
0.03	0.690503	0.03	5.812090754
0.04	0.622554	0.04	7.048149726
0.05	0.566136	0.05	8.152288868
0.06	0.518658	0.06	9.145464089
0.07	0.478216	0.07	10.04427373
0.08	0.443394	0.08	10.86205509
0.09	0.413123	0.09	11.60966398
0.1	0.386583	0.1	12.29603844
0.2	0.233347	0.2	16.98269195
0.3	0.165862	0.3	19.57987655
0.4	0.128162	0.4	21.22462441
0.5	0.104181	0.5	22.35106998
0.6	0.08762	0.6	23.16344532
0.7	0.075515	0.7	23.77110244
0.8	0.066291	0.8	24.23805585
0.9	0.059034	0.9	24.60432194
1	0.053181	1	24.89621082

Tabella 34- Valori delle curve di decadimento di riferimento per SMcd – MOPS 2003 – 2007; [%] = deformazione di taglio; G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%] = rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.0001	0.998878	0.0001	1.019650574
0.0002	0.997679	0.0002	1.03927219
0.0003	0.996452	0.0003	1.058864729
0.0004	0.995207	0.0004	1.078428151
0.0005	0.993949	0.0005	1.097962456
0.0006	0.992682	0.0006	1.117467656
0.0007	0.991408	0.0007	1.136943776
0.0008	0.990127	0.0008	1.156390845
0.0009	0.988842	0.0009	1.1758089
0.001	0.987553	0.001	1.19519798
0.002	0.974566	0.002	1.387505528
0.003	0.961587	0.003	1.57697178

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.004	0.948735	0.004	1.763653888
0.005	0.936065	0.005	1.947610632
0.006	0.923606	0.006	2.128900783
0.007	0.911374	0.007	2.307582413
0.008	0.899376	0.008	2.483712559
0.009	0.887618	0.009	2.657347043
0.01	0.876101	0.01	2.828540372
0.02	0.773505	0.02	4.417233056
0.03	0.690503	0.03	5.812090754
0.04	0.622554	0.04	7.048149726
0.05	0.566136	0.05	8.152288868
0.06	0.518658	0.06	9.145464089
0.07	0.478216	0.07	10.04427373
0.08	0.443394	0.08	10.86205509
0.09	0.413123	0.09	11.60966398
0.1	0.386583	0.1	12.29603844
0.2	0.233347	0.2	16.98269195
0.3	0.165862	0.3	19.57987655
0.4	0.128162	0.4	21.22462441
0.5	0.104181	0.5	22.35106998
0.6	0.08762	0.6	23.16344532
0.7	0.075515	0.7	23.77110244
0.8	0.066291	0.8	24.23805585
0.9	0.059034	0.9	24.60432194
1	0.053181	1	24.89621082

**SMec:** Depositi eterometrici ed eterogenei costituiti da sabbie limose di natura piroclastica, debolmente coesivi (Codice CARG: b2).

Tabella 35 - Principal	i caratteristiche	complesso	SMec
------------------------	-------------------	-----------	------

Nome del Complesso Geologico-	SMec
Tecnico	
Descrizione	Depositi eterometrici ed eterogenei costituiti da sabbie
	limose di natura piroclastica, debolmente coesivi
Variazione degli spessori individuati	5-25m
Classazione granulometrica prevalente	Sabbie limose.
Stato addensamento	Poco coesive
Peso di volume	15.66 KN/m <sup>3</sup>

Tabella 36 -- Valori delle curve di decadimento di riferimento per SMec, $\gamma$ [%]=deformazione di taglio;G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.00010	0.99951	0.00010	1.5094181
0.0002	0.99899624	0.0002	1.51883
0.00030	0.99846	0.00030	1.5282355
0.0004	0.99792393	0.0004	1.5376349
0.00050	0.99738	0.00050	1.547028
0.0006	0.99682561	0.0006	1.5564148
0.00070	0.99627	0.00070	1.5657954
0.0008	0.99571	0.0008	1.5751697
0.00090	0.99514907	0.00090	1.5845377
0.00100	0.99458468	0.00100	1.5938995
0.002	0.98885204	0.002	1.6871724
0.003	0.98303596	0.003	1.7798214
0.004	0.97719	0.004	1.8718508
0.005	0.97134025	0.005	1.9632657
0.006	0.96550	0.006	2.0540715
0.007	0.95968522	0.007	2.1442738
0.008	0.95389706	0.008	2.2338783
0.009	0.94814258	0.009	2.3228906
0.01	0.94242557	0.01	2.4113165
0.02	0.88771135	0.02	3.2645599
0.03	0.83778454	0.03	4.0651663
0.04	0.792452	0.04	4.8180528
0.05	0.75128335	0.05	5.5275676
0.06	0.71382431	0.06	6.1975463
0.07	0.67965195	0.07	6.8313774
0.08	0.64838887	0.08	7.4320628
0.09	0.61970413	0.09	8.0022707
0.1	0.59330958	0.1	8.5443806
0.2	0.41334836	0.2	12.799294
0.3	0.31520877	0.3	15.679899
0.4	0.2538951	0.4	17.768857
0.5	0.21211129	0.5	19.35537
0.6	0.1818768	0.6	20.601155
0.7	0.15901951	0.7	21.604424
0.8	0.14115261	0.8	22.428573
0.9	0.1268146	0.9	23.116495
1	0.11506161	1	23.698315

**SMpi:** Depositi eterometrici di natura piroclastica costituiti prevalentemente da sabbie medio-fini e grossolane in matrice limo-sabbiosa. Includono anche depositi limo-argillosi. Da poco a moderatamente addensati (Codici CARG: b2, g2).

Nome del Complesso Geologico-	SMpi	
Tecnico		
Descrizione	Depositi eterometrici di natura piroclastica costituiti prevalentemente da sabbie medio-fini e grossolane in	
	argillosi.	
Variazione degli spessori individuati	5-15m	
Classazione granulometrica prevalente	Sabbie da fini a molto grosse in matrice limo-sabbiosa	
Stato addensamento	Da poco a moderatamente addensati	
Peso di volume	15.66 KN/m <sup>3</sup>	
Valori di Vs	Compresi tra un minino di 280 m/s in superficie fino a 300 m/s	

#### Tabella 37 - Principali caratteristiche complesso SMpi

Tabella 38 - Valori delle curve di decadimento di riferimento per SMpi,  $\gamma$ [%]=deformazione di taglio;G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.00010	0.99951	0.00010	1.509418
0.0002	0.998996	0.0002	1.51883
0.00030	0.99846	0.00030	1.528236
0.0004	0.997924	0.0004	1.537635
0.00050	0.99738	0.00050	1.547028
0.0006	0.996826	0.0006	1.556415
0.00070	0.99627	0.00070	1.565795
0.0008	0.99571	0.0008	1.57517
0.00090	0.995149	0.00090	1.584538
0.00100	0.994585	0.00100	1.593899
0.002	0.988852	0.002	1.687172
0.003	0.983036	0.003	1.779821
0.004	0.97719	0.004	1.871851
0.005	0.97134	0.005	1.963266
0.006	0.96550	0.006	2.054072
0.007	0.959685	0.007	2.144274
0.008	0.953897	0.008	2.233878
0.009	0.948143	0.009	2.322891
0.01	0.942426	0.01	2.411316
0.02	0.887711	0.02	3.26456
0.03	0.837785	0.03	4.065166

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.04	0.792452	0.04	4.818053
0.05	0.751283	0.05	5.527568
0.06	0.713824	0.06	6.197546
0.07	0.679652	0.07	6.831377
0.08	0.648389	0.08	7.432063
0.09	0.619704	0.09	8.002271
0.1	0.59331	0.1	8.544381
0.2	0.413348	0.2	12.79929
0.3	0.315209	0.3	15.6799
0.4	0.253895	0.4	17.76886
0.5	0.212111	0.5	19.35537
0.6	0.181877	0.6	20.60115
0.7	0.15902	0.7	21.60442
0.8	0.141153	0.8	22.42857
0.9	0.126815	0.9	23.1165
1	0.115062	1	23.69831

**SMfd:** Depositi eterometrici di natura piroclastica prevalentemente sabbioso-limosi, massivi. Da poco a moderatamente addensati. Includono elementi grossolani, tufacei, intensamente fratturati e megablocchi di dimensioni che possono superare i 10 metri. Depositi originati da colate detritiche. (Codici CARG: a1b, ia, ic, b2, LMO, GSN).

Nome del Complesso Geologico-	SMfd
Tecnico	
Descrizione	Depositi eterometrici di natura piroclastica
	prevalentemente sabbioso-limosi, massivi. Includono
	elementi grossolani, tufacei, intensamente fratturati e
	megablocchi di dimensioni che possono superare i 10
	metri.
Variazione degli spessori individuati	5-15m
Classazione granulometrica prevalente	Sabbie limose da fini a molto grosse con incluse ghiaie e
	ciottoli, o anche blocchi oltre i 10m.
Stato addensamento	Da poco a moderatamente addensati.
Peso di volume	16 KN/m <sup>3</sup>

Tabella	39 -	Principali	caratteristiche	complesso	SMfd
		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		00	0

Tabella 40 - Valori delle curve di decadimento di riferimento per SMfd,  $\gamma$ [%]=deformazione di taglio;G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.0001	0.998878	0.0001	1.019651
0.0002	0.997679	0.0002	1.039272
0.0003	0.996452	0.0003	1.058865
0.0004	0.995207	0.0004	1.078428
0.0005	0.993949	0.0005	1.097962
0.0006	0.992682	0.0006	1.117468
0.0007	0.991408	0.0007	1.136944
0.0008	0.990127	0.0008	1.156391
0.0009	0.988842	0.0009	1.175809
0.001	0.987553	0.001	1.195198
0.002	0.974566	0.002	1.387506
0.003	0.961587	0.003	1.576972
0.004	0.948735	0.004	1.763654
0.005	0.936065	0.005	1.947611
0.006	0.923606	0.006	2.128901
0.007	0.911374	0.007	2.307582
0.008	0.899376	0.008	2.483713
0.009	0.887618	0.009	2.657347
0.01	0.876101	0.01	2.82854
0.02	0.773505	0.02	4.417233
0.03	0.690503	0.03	5.812091
0.04	0.622554	0.04	7.04815
0.05	0.566136	0.05	8.152289
0.06	0.518658	0.06	9.145464
0.07	0.478216	0.07	10.04427
0.08	0.443394	0.08	10.86206
0.09	0.413123	0.09	11.60966
0.1	0.386583	0.1	12.29604
0.2	0.233347	0.2	16.98269
0.3	0.165862	0.3	19.57988
0.4	0.128162	0.4	21.22462
0.5	0.104181	0.5	22.35107
0.6	0.08762	0.6	23.16345
0.7	0.075515	0.7	23.7711
0.8	0.066291	0.8	24.23806
0.9	0.059034	0.9	24.60432
1	0.053181	1	24.89621

**MLec**: Depositi limoso-argillosi e limoso-sabbiosi di natura piroclastica in matrice sabbioso-ghiaiosa, debolmente coesivi. Origine eluvio-colluviale (Codice CARG: b2).

Nome del Complesso Geologico-	MLec		
Tecnico			
Descrizione	Depositi limoso-argillosi e limoso-sabbiosi di natura		
	piroclastica in matrice sabbioso-ghiaiosa. Origine eluvio-		
	colluviale.		
Variazione degli spessori individuati	5-10m		
Classazione granulometrica prevalente	Limi argillosi e sabbiosi con sabbia e ghiaia		
Stato addensamento	Poco coesivi		
Peso di volume	15.66 KN/m <sup>3</sup>		
Valori di Vs	Compresi tra un minino di 208 m/s in superficie fino a 330		
	m/s		

#### Tabella 41 - Principali caratteristiche complesso MLec

Tabella 42 - Valori delle curve di decadimento di riferimento per MLec,  $\gamma$ [%]=deformazione di taglio;G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.00010	0.99951	0.00010	1.509418
0.0002	0.998996	0.0002	1.51883
0.00030	0.99846	0.00030	1.528236
0.0004	0.997924	0.0004	1.537635
0.00050	0.99738	0.00050	1.547028
0.0006	0.996826	0.0006	1.556415
0.00070	0.99627	0.00070	1.565795
0.0008	0.99571	0.0008	1.57517
0.00090	0.995149	0.00090	1.584538
0.00100	0.994585	0.00100	1.593899
0.002	0.988852	0.002	1.687172
0.003	0.983036	0.003	1.779821
0.004	0.97719	0.004	1.871851
0.005	0.97134	0.005	1.963266
0.006	0.96550	0.006	2.054072
0.007	0.959685	0.007	2.144274
0.008	0.953897	0.008	2.233878
0.009	0.948143	0.009	2.322891
0.01	0.942426	0.01	2.411316
0.02	0.887711	0.02	3.26456
0.03	0.837785	0.03	4.065166
0.04	0.792452	0.04	4.818053

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.05	0.751283	0.05	5.527568
0.06	0.713824	0.06	6.197546
0.07	0.679652	0.07	6.831377
0.08	0.648389	0.08	7.432063
0.09	0.619704	0.09	8.002271
0.1	0.59331	0.1	8.544381
0.2	0.413348	0.2	12.79929
0.3	0.315209	0.3	15.6799
0.4	0.253895	0.4	17.76886
0.5	0.212111	0.5	19.35537
0.6	0.181877	0.6	20.60115
0.7	0.15902	0.7	21.60442
0.8	0.141153	0.8	22.42857
0.9	0.126815	0.9	23.1165
1	0.115062	1	23.69831

### Substrati

**SFGRS:** Deposito costituito da alternanza di depositi tufacei massivi affetti da alterazione idrotermale e da brecce piroclastiche costituite da bombe scoriacee ed abbondanti litici lavici. Depositi afferenti al Tufo del Pizzone, al Tufo di Frassinelli e al Tufo Verde del Monte Epomeo del Sintema del Rifugio di San Nicola, ai Tufi di cava Puzzillo del subsintema di La Rita-Monte Caccaviello, al Membro di Pietra Vono del Sintema dell'Isola d'Ischia e ai Tufi di Casamicciola del Sintema dell'Isola d'Ischia, subsintema di La Rita-Monte Caccaviello. Si presentano alterati/fratturati e/o ricoperti da corpi di frana.Depositi arenitici e siltitici massivi e/o sottilmente stratificati. Presenza di ciottoli e blocchi sparsi di tufacei e subordinatamente lavici. Presenza di olistoliti di spessore plurimetrico. Moderatamente addensati (Codici CARG: CPMa, CPMb, TFS, PZE, TCN, CMI, TME). È suddivisibile geotecnicamente nelle areniti di Capomanno (SFGRS 1), nel Tufo Verde del Monte Epomeo (SFGRS 2) e nel deposito degli accumuli gravitativi da frana di materiale eterogeneo ed eterometrico compatto della Zona Rossa (SFGRS 3).

Tabella 43 - Principali caratteristiche complesso SFGRS 1	
---	--

Nome del Complesso Geologico-	SFGRS 1 - Depositi arenitici e siltitici massivi (CPM	
Tecnico	CARG)	
Descrizione	Depositi arenitici e siltitici massivi e/o sottilmente	
	stratificati. Presenza di ciottoli e blocchi sparsi di tufacei e	
	subordinatamente lavici. Presenza di olistoliti di spessore	
	plurimetrico.	
Variazione degli spessori	20-60m	
Classazione granulometrica prevalente	Areniti e siltiti.	
Stato addensamento/fratturazione	Da addensati a moderatamente addensati	
Peso di volume	17.89 KN/m <sup>3</sup>	

Nome del	Complesso	Geologico-	SFGRS 1 - Depositi arenitici e siltitici massivi (CPM
Tecnico			CARG)
Valori di Vs			Compresi tra 570÷1020 m/s

Tabella 44- Valori delle curve di decadimento di riferimento per SFGRS1,  $\gamma$ [%]=deformazione di taglio;G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.0001	0.998939	0.0001	1.61005
0.0002	0.997952	0.0002	1.620089
0.0003	0.996993	0.0003	1.630117
0.0004	0.996052	0.0004	1.640134
0.0005	0.995124	0.0005	1.650141
0.0006	0.994207	0.0006	1.660138
0.0007	0.9933	0.0007	1.670124
0.0008	0.9924	0.0008	1.680099
0.0009	0.991508	0.0009	1.690065
0.001	0.990622	0.001	1.700019
0.002	0.982041	0.002	1.799
0.003	0.973823	0.003	1.896968
0.004	0.965876	0.004	1.993943
0.005	0.958155	0.005	2.089943
0.006	0.950633	0.006	2.184987
0.007	0.943289	0.007	2.279091
0.008	0.936108	0.008	2.372271
0.009	0.92908	0.009	2.464544
0.01	0.922195	0.01	2.555925
0.02	0.859852	0.02	3.423722
0.03	0.806726	0.03	4.216409
0.04	0.760528	0.04	4.944265
0.05	0.719824	0.05	5.61564
0.06	0.683604	0.06	6.237427
0.07	0.651114	0.07	6.815382
0.08	0.621774	0.08	7.354358
0.09	0.595125	0.09	7.858483
0.1	0.570796	0.1	8.331295
0.2	0.407722	0.2	11.85207
0.3	0.318954	0.3	14.08058
0.4	0.26272	0.4	15.63831
0.5	0.223764	0.5	16.79623
0.6	0.195121	0.6	17.69388
0.7	0.173143	0.7	18.41135
0.8	0.155727	0.8	18.99828
0.9	0.141576	0.9	19.48728

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
1	0.129842	1	19.90073



Figura 112 - Curve di Decadimento normalizzate G/Go per tutti i substrati individuati per gli studi Microzonazione dei tre comuni di Casamicciola Terme, Forio e Lacco Ameno



Figura 113 - Curve del fattore dismorzamento per tutti i substrati individuati per gli studi Microzonazione dei tre comuni di Casamicciola Terme, Forio e Lacco Ameno

Nome del Complesso Geologico-	SFGRS 2 - Tufi del Monte Epomeo	
Tecnico		
Descrizione	Tufo Verde del Monte Epomeo del Sintema del rifugio di San	
	Nicola, dato da tufi massivi di colore da verde chiaro	
Variazione degli spessori	40-300m	
Classazione granulometrica prevalente	Sabbie, limi e ghiaie	
Stato addensamento/fratturazione	Da fratturati/alterati a compatti	
Peso di volume	17.89 KN/m <sup>3</sup>	
Valori di Vs	Compresi tra 570÷1020 m/s	

Tabella 46-Valori delle curve di decadimento di riferimento per i Tufi del Monte Epomeo,  $\gamma[\%]$ =deformazione di taglio; G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.00001	1	0.00001	0.5
0.001471	0.99	0.001471	0.800021
0.00465	0.98	0.00465	1.100041
0.00922	0.97	0.00922	1.400062
0.015107	0.96	0.015107	1.700082
0.022299	0.95	0.022299	2.000103

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.046158	0.925	0.046158	2.750154
0.049493	0.9221	0.049493	2.83716
0.051985	0.92	0.051985	2.900165
0.079084	0.9	0.079084	3.500206
0.331477	0.8	0.331477	6.500412
0.908049	0.7	0.908049	9.500618
5.024195	0.5	5.024195	15.50103

Tabella 47 - Principali caratteristiche complesso SFGRS 3

Nome del Complesso Geologico-	SFGRS 3 - Depositi da frana	
Tecnico		
Descrizione	Deposito degli accumuli gravitativi da frana di materiale	
	eterogeneo ed eterometrico compatto della Zona Rossa.	
Variazione degli spessori	20-30m	
Classazione granulometrica prevalente	Ghiaie grossolane addensate	
Stato addensamento/fratturazione	Addensati	
Peso di volume	17.06 KN/m <sup>3</sup>	
Valori di Vs	Pari a circa 1000 m/s	

Tabella 48 -- Valori delle curve di decadimento di riferimento per SFGRS 3,  $\chi$ [%]=deformazione di taglio;G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.0001	0.998983	0.0001	3.514379
0.0002	0.997896	0.0002	3.528736
0.0003	0.996783	0.0003	3.543074
0.0004	0.995653	0.0004	3.557393
0.0005	0.994512	0.0005	3.571692
0.0006	0.993362	0.0006	3.585972
0.0007	0.992205	0.0007	3.600233
0.0008	0.991042	0.0008	3.614474
0.0009	0.989875	0.0009	3.628696
0.001	0.988704	0.001	3.642899
0.002	0.97689	0.002	3.783868
0.003	0.965053	0.003	3.922937
0.004	0.953305	0.004	4.06014
0.005	0.941695	0.005	4.195514
0.006	0.930251	0.006	4.329094
0.007	0.91899	0.007	4.460915
0.008	0.907919	0.008	4.591013
0.009	0.897045	0.009	4.719421

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.01	0.88637	0.01	4.846173
0.02	0.790242	0.02	6.02952
0.03	0.711082	0.03	7.078946
0.04	0.645331	0.04	8.017008
0.05	0.590076	0.05	8.861361
0.06	0.543103	0.06	9.62601
0.07	0.502746	0.07	10.32221
0.08	0.467739	0.08	10.95912
0.09	0.437111	0.09	11.54428
0.1	0.410106	0.1	12.08397
0.2	0.251368	0.2	15.83349
0.3	0.179894	0.3	17.96331
0.4	0.139538	0.4	19.33443
0.5	0.113706	0.5	20.28549
0.6	0.095793	0.6	20.97882
0.7	0.082661	0.7	21.50251
0.8	0.072632	0.8	21.90865
0.9	0.06473	0.9	22.23009
1	0.058346	1	22.48859

**SFCO:** Depositi argillosi, argilloso-siltosi e siltoso-sabbiosi di natura piroclastica, fossiliferi, con locali intercalazione di lenti sabbiose. Passano verso l'alto a sabbie da medio-fini a grossolane, con componente quarzosa, sempre più prevalenti fino a chiudere la sequenza dell'unità sedimentaria marina. Lo spessore varia da 5 a 40m. Lo stato di coesione è elevato (Codici CARG: b, VEC, CIT).

Nome del Complesso Geologico-	SFCO
Tecnico	
Descrizione	Depositi argillosi, argilloso-siltosi e siltoso-sabbiosi di
	natura piroclastica, fossiliferi, con locali intercalazione di
	lenti sabbiose. Passano verso l'alto a sabbie da medio-fini a
	grossolane, con componente quarzosa, sempre più
	prevalenti fino a chiudere la sequenza dell'unità
	sedimentaria marina.
Variazione degli spessori	5-40m
Classazione granulometrica prevalente	Argille siltose sabbiose con sabbie medio fini e grosse
Stato addensamento	Lo stato di coesione è elevato
Peso di volume	20.24 KN/m <sup>3</sup>
Valori di Vs	Compresi tra 490÷1030 m/s

Tabella 49 - Principali caratteristiche complesso SFC
---

			-
γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.0001	0.99974	0.0001	2.006672
0.0002	0.999443	0.0002	2.013341
0.0003	0.99913	0.0003	2.020008
0.0004	0.998807	0.0004	2.026672
0.0005	0.998476	0.0005	2.033334
0.0006	0.998138	0.0006	2.039993
0.0007	0.997794	0.0007	2.04665
0.0008	0.997446	0.0008	2.053304
0.0009	0.997094	0.0009	2.059956
0.001	0.996738	0.001	2.066605
0.002	0.993034	0.002	2.132954
0.003	0.989162	0.003	2.199045
0.004	0.985187	0.004	2.264876
0.005	0.981143	0.005	2.330446
0.006	0.977052	0.006	2.395757
0.007	0.972926	0.007	2.460807
0.008	0.968776	0.008	2.525598
0.009	0.96461	0.009	2.590129
0.01	0.960433	0.01	2.654402
0.02	0.918858	0.02	3.283076
0.03	0.878779	0.03	3.886878
0.04	0.840837	0.04	4.466902
0.05	0.805184	0.05	5.024289
0.06	0.771792	0.06	5.560177
0.07	0.740563	0.07	6.075671
0.08	0.711362	0.08	6.571829
0.09	0.68405	0.09	7.049658
0.1	0.658485	0.1	7.51011
0.2	0.473547	0.2	11.33199
0.3	0.365419	0.3	14.12855
0.4	0.295593	0.4	16.26314
0.5	0.247158	0.5	17.9454
0.6	0.211754	0.6	19.30441
0.7	0.184832	0.7	20.42406
0.8	0.163716	0.8	21.36137
0.9	0.146741	0.9	22.15648
1	0.132815	1	22.83851

Tabella 50 - Valori delle curve di decadimento di riferimento per SFCO,  $\gamma$ [%]=deformazione di taglio;G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

**SFLP:** Lave trachitiche massive di colore grigio subafiriche con fenocristalli di sanidino, del duomo della Fundera (codici CARG: FUD).

Nome del Complesso Geologico-	SFLP	
Tecnico		
Descrizione	Lave della Fundera, del sub sintema di la Rita-Monte	
	Caccaviello, costituite da lave trachitiche massive di colore	
	grigio porfiriche a sanidino, del duomo della Fundera.	
Variazione degli spessori	20-65m	
Classazione granulometrica prevalente		
Stato addensamento/fratturazione	Da fratturata a compatta	
Resistenza alla compressione semplice	250 kg/cmq	
Peso di volume	17.89 KN/m <sup>3</sup>	
Valori di Vs	Pari a circa 1000 m/s	

Tabella 51 - Principali caratteristiche complesso SFLP

SFALS: Depositi costituiti da successioni di lave, piroclastiti, brecce piroclastiche stratificate in strati, da depositi epiclastici marini, costituiti da livelli da centimetrici a decimetrici di siltiti e areniti, da lave scoriacee a blocchi, da tufi gialli stratificati formati da un'alternanza di livelli di tufi cineritici e da depositi di spiaggia cineritici e sabbiosi stratificati. Depositi afferenti ai Tufi di Cava Puzzillo del subsintema di La Rita-Monte Caccaviello, al Membro del Montagnone inferiore del Sintema dell'Isola d'Ischia, all'Unità di Cava Celario del Sintema del Rifugio di San Nicola e alle Lave e piroclastiti del Bosco della Maddalena (Membro di Cognolo) del Sintema dell'Isola d'Ischia. Si presentano alterati/fratturati e/o ricoperti da corpi di frana (Codici CARG: h3, b2, PUZa, PUZb, BGI, MIT, PUT1, PUT2, BMD1, BMD2a, BMD2b, BMD3; MMH1, MMH2, MMH3, TBR, RTA, ECV, SNA2).

Nome del Complesso Geologico-	SFALS	
Tecnico		
Descrizione	Depositi costituiti da successioni di lave, piroclastiti, brecce	
	piroclastiche stratificate in strati, da depositi epiclastici	
	marini, costituiti da livelli da centimetrici a decimetrici di	
	siltiti e areniti, da lave scoriacee a blocchi, da tufi gialli	
	stratificati formati da un'alternanza di livelli di tufi cineritici	
	e da depositi di spiaggia cineritici e sabbiosi stratificati.	
Variazione degli spessori	40-85m	
Classazione granulometrica prevalente	Brecce, siltiti e areniti, sabbie, cineiriti	
Stato addensamento/fratturazione	Da alterati/fratturati a compatti	
Peso di volume	16.30 KN/m <sup>3</sup>	
Valori di Vs	Compresi tra 198÷280 m/s in superficiefino a 800m/s	

Tabella 52 - Principali caratteristiche complesso SFALS

Tabella 53- Valori delle curve di decadimento di riferimento per SFALS,  $\gamma$ [%]=deformazione di taglio;G/G0=rapporto dei moduli di taglio; D [%]=rapporto di smorzamento.

γ [%]	G/G0 [-]	γ [%]	D [%]
0.00001	1	0.00001	0.5
0.001471	0.99	0.001471	0.800021
0.00465	0.98	0.00465	1.100041
0.00922	0.97	0.00922	1.400062
0.015107	0.96	0.015107	1.700082
0.022299	0.95	0.022299	2.000103
0.046158	0.925	0.046158	2.750154
0.049493	0.9221	0.049493	2.83716
0.051985	0.92	0.051985	2.900165
0.079084	0.9	0.079084	3.500206
0.331477	0.8	0.331477	6.500412
0.908049	0.7	0.908049	9.500618
5.024195	0.5	5.024195	15.50103

Tutte le informazioni disponibili in merito ai parametri geotecnici e geofisici dei vari complessi (substrati e terreni di copertura) sono archiviate nel database "CdI\_Tabelle" nella cartella "Casamicciola\_Terme\_S41/Indagini/Documenti".

# 5.2 Sezioni geologico-tecniche

Al fine di rappresentare al meglio le condizioni del sottosuolo di Casamicciola Terme sono state tracciate ben n° 8 sezioni Geologico tecniche, concentrate nella zona di Microzonazione Sismica di III Livello (Figura 114) e cioè nella porzione urbanizzata a nord del territorio comunale. Le uniche due sezioni che sono in gran parte esterne alla zona di Microzonazione di III Livello sono la E-E' che parte dal Monte Epomeo e adima verso mare e la H-H' che interessa il Monte Rotaro.

Le tracce di sezione sono state rappresentate in funzione di tutte le indagini in possesso del RTP incaricato e di eventuali criticità (variazioni morfologiche, topografiche e faglie).

Nelle sezioni sono stati rappresentati tutti i dati utilizzati per la ricostruzione dei complessi geologici, sono stati indicati i limiti delle MOPS e le linee di intersezione con altre sezioni. Inoltre in queste ultime sono state indicate altresì le aree indicate nella carta Geologico-Tecnica come in frana.



Figura 114 -Ubicazione delle tracce di sezione sul confine comunale

#### Sezione A-A'

La prima sezione (Sezione A-A') presenta un'orientazione Ovest-Est, è lunga 5.25km, con un dislivello massimo di 110 metri circa. Evidenzia una morfologia accidentata, intercettando gli alti morfologici di loc. Coste e del Cretaio ed i falsopiani di Piazza Maio e Tresta ed il vallone Sinigallia. Nella porzione ad ovest la sezione permette di individuare molto facilmente il graben di Piazza Maio (cd. Zona Rossa di Casamicciola) dove due faglie dirette ribassano il complesso SFCO di circa 70/90 metri.

Il riempimento del graben è dato dai depositi costituiti da sabbie fini e grossolane, di conoide detritica, inclusi lavici e tufi, in matrice limo-argillosa al top (SMcd) e dai depositi degli accumuli gravitativi da frana di materiale eterogeneo ed eterometrico compatto in profondità, depositi indicati come substrati (SFGRS) in funzione delle velocità delle onde per gli stessi riscontrate nell'array sismico Zona Rossa. La presenza del suddetto deposito è stata indicata agli scriventi dal gruppo di lavoro del Centro MS a seguito della interpretazione della stratigrafia del sondaggio profondo indicato nelle sezioni dell'Allegato 1 della Relazione Finale. La parte ad est della sezione è caratterizzata dall'assenza del complesso SFCO al tetto degli SFGRS, mentre la parte finale presenta al top, invece dei terreni relativi ai depositi di versante, i termini del complesso vulcanico del Rotaro (SFALS).





#### Sezione B-B'

La sezione **B-B'** presenta un'orientazione ONO-ESE a nord rispetto alla precedente, è lunga 2.13km, con un dislivello massimo di 130 metri circa. È caratterizzata da una morfologia accidentata, intercettando gli alti morfologico/strutturali della Grande e Piccola Sentinellae del Cretaio ed il vallone Buceto-Puzzillo.

La porzione ad ONO della sezione, al letto dei depositi di SMcd, individua il corpo tabulare delle lave del vulcano della Fundera (SFLP), la cui presenza contribuisce a determinare la particolare risposta in termini di frequenze di risonanza del complesso della Grande Sentinella.

La sezione di valle presenta una sostanziale continuità nel sottosuolo dei complessi di SFCO ed SFGRS. In prossimità di via Paradisiello/Bagnisi riscontra la presenza di terreni di riporto antropici. A ESE si indivdua infine il complesso degli SFALS. Ad ovest del toponimo di via Paradisiello si nota il passaggio delle sabbie di conoide detrica (SMcd) a quelle più recenti di conoide alluvionale (SMca) imputabile alle alluvioni del complesso dei valloni Sinigallia – Leccie.

Anche per questa sezione è fondamentale evidenziare l'importante controllo strutturale dei sistemi di faglia, che determina particolari condizioni di risposta sismica locale.



Figura 116 - Sezione B-B'
#### Sezione C-C'

La terza sezione (Sezione C-C') è lunga 1.79km, con un'orientazione Ovest-Est ed un dislivello massimo di 80 metri circa. La morfologia accidentata è dettata dalla presenza del complesso del Monte Rotaro ad est (SFALS) e del vallone Sinigallia – Leccie a valle di Piazza Bagni.

Ad ovest al top si riscontra la presenza del complesso di SMca (Depositi sabbiosi eterometrici, di natura piroclastica, con rare inclusioni di tufacei, in matrice limo-sabbiosa di conoide alluvionale), mentre ad est si ritrovano i termini del Rotaro.

In profondità si nota la solita successione tipica dei substrati di Casamicciola, con al top gli SFCO (Depositi argillosi, argilloso-siltosi e siltoso-sabbiosi di natura piroclastica, fossiliferi, con locali intercalazione di lenti sabbiose. Passano verso l'alto a sabbie da medio-fini a grossolane, con componente quarzosa, sempre più prevalenti fino a chiudere la sequenza dell'unità sedimentaria marina – ASM del CARG), seguiti dagli SFGRS 1 (Depositi arenitici e siltitici massivi e/o sottilmente stratificati. Presenza di ciottoli e blocchi sparsi di tufacei e subordinatamente lavici. Presenza di olistoliti di spessore plurimetrico – CPM del CARG) e SFGRS 2 (Tufo Verde del Monte Epomeo – TME del CARG).



Figura 117 - Sezione C-C'

# Sezione D-D'

La sezione **D-D'** presenta un'orientazione SSO-NNE, è lunga 1.30km, con un dislivello massimo di 150 metri circa. A partire dalla costa si incontra dapprima il terrazzo di via Eddomade, e successivamente si sale verso i contrafforti della Grande Sentinella. Il cambio di pendenza è dato dalla presenza del vallone La Rita. La sezione termina sulle prime propaggini dell'Epomeo.

La sezione è fortemente controllata da un sistema di faglie dirette parallele che ribassano da SSO a NNE. Risulta importante segnalare la presenza delle lave della Fundera (SFLP) nel sottosuolo della Grande Sentinella e del complesso dei tufi di Casamicciola (SMsc) nel sottosuolo del terrazzo di via Eddomade.Verso l'Epomeo non si individua più il complesso degli SFCO.



Figura 118 - Sezione D-D'

#### Sezione E-E'

La Sezione E-E'è caratterizzata da un notevole dislivello (circa 780m) a partire dal Monte Epomeo (SSO) fino ad arrivare sul mar Tirreno (NNE) ed è lunga ben 2.28km. La parte a SSO è caratterizzata da elevate pendenze, la porzione centrale individua il basso morfostrutturale di Piazza Maio-Zona Rossa. Verso NNE si individua dapprima l'horst della Grande Sentinella ed infine il terrazzo di via Eddomade e la costa.

Questa sezione risulta fondamentale per comprendere la complessità del territorio ed il forte condizionamento delle faglie sulla risposta sismica sito-specifica. Difatti si evidenzia come sia fortemente carattestico il graben di Piazza Maio/Zona Rossa, con un rigetto significativo della faglia di SSO (maggiore di 100 metri).

Ancora una volta si deve evidenziare la presenza del complesso lavico della Fundera nel sottosuolo della Grande Sentinella.

È inoltre possibile sottolineare nella zona dell'Epomeo la presenza di terreni di copertura più grossolani (GMfd) ed in profondità la presenza dello SFALS relativo alla presenza di una successione di siltiti ed arentiti pre-tufo verde (ECV).

Anche in questo caso l'SFCO non viene più rilevato in profondità a nord del graben di Zona Rossa.



Figura 119 - Sezione E-E'

#### Sezione F-F'

La sestasezione (Sezione **F-F'**) è la sezione di viale Paradisiello, con orientazione SSO-NNE e lunghezza di 970m. Il dislivello massimo è pari a 70 metri con un andamento ondulato in particolar modo presso la scuola IBSEN di Viale Paradisiello ed in prossimità di Via Nizzola, dove si individua anche il vallone Sinigallia – Leccie in prossimità di Piazza Bagni.

La sezione si caratterizza per la presenza di una faglia che ribassa il blocco verso mare. A monte della succitata non si individua più il substrato SFCO. Si evidenzia inoltre la presenza di una estesa coltre di terreni di riporto. Come già accennato in precedenza i riporti di viale Paradisiello, Piazza Bagni e Piazza Maio sono riconducibili ai materiali di risulta dei fabbricati crollati nei terremoti storici del 1881 e 1883. In particolare si evidenzia una differenza tra i riporti accumulati sull'alto di viale Paradisiello (riscontrati anche durante le attività di perforazione del sondaggio) e tra quelli di Piazza Bagni. Questi ultimi, probabilmente, sono stati accumulati per successivi sversamenti dall'alto e, interessati poscia,da eventi alluvionali per la posizione della zona lungo l'impluvio principale di Casamicciola (piazza Bagni rappresenta il punto dove si incontrano i valloni, loc. cave, Buceto – Puzzillo, Leccie-Fasaniello e Celario- Sinigallia per poi sfociare nel porto di Casamicciola) hanno subito un costipamento negli anni e presentano velocità delle onde S decisamente elevate (pari a 450 m/s). Tale particolare valore di Vs, e quindi tali particolari condizioni, sono stati valutati dal gruppo di lavoro del centro MS a partire dagli hv "P37", "P40" e "P96" di piazza Bagni che risultano pressocchè ''piatti'' e da un'inversione congiunta tra la masw "L16" e l'hv "P37" che ha permesso di verificare la presenza di una netta inversione a causa di un livello molto veloce (vedi Figura 120).



Figura 120 - Inversione congiunta fornita dal Gruppo di Lavoro del Centro MS



Figura 121 - Sezione F-F'

#### Sezione G-G'

La Sezione **G-G'** presenta un'orientazione SSO-NNE, è lunga 1.20km, con un dislivello massimo di 130 metri circa. Si ubica lungo il versante ovest del Rotaro ed intercetta la nicchia di distacco di un antico crollo del Rotaro, successivamente riempita dai depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica, di ambiente di falda detritica, in matrice argilloso-sabbiosa messi (GMfd).

La sezione evidenzia come i termini del Rotaro (SFALS) siano più recenti e quindi sovrapposti ai substrati SFCO e SFGR. Verso SSO una faglia diretta ribassa il Rotaro rispetto all'area del Monte Epomeo.



Figura 122 - Sezione G-G'

#### Sezione H-H'

L'ottava ed ultima sezione (Sezione H-H') è stata tracciata lungo il versante NE del Rotaro, con un'orientazione NO-SE, lunghezza1.20km, con un dislivello massimo di 90 metri circa, con quote crescenti verso SE. La sezione presenta una sostanziale continuità dei litotipi nel sottosuolo, passando dai termini dello SFALS, al SFCO ed agli SFGRS già precedentemente descritti.



Figura 123 - Sezione H-H'

## 6. Interpretazioni e incertezze

Negli I.C.M.S. è riportato che la finalità delle indagini geotecniche negli studi di Microzonazione Sismica è pervenire alla conoscenza dettagliata dello stato del sito e deiterreni presenti nell'area prima, durante e dopo il terremoto di riferimento attraverso lo studio delle condizioni naturali del terreno in sito mediante sondaggi, prove geotecniche di tipo corrente (CPT, SPT, DMT, ecc...) e prove dinamiche (CH, DH, SASW, MASW, ecc...) e mediante la riproduzione in laboratorio delle condizioni di sollecitazione e deformazione più prossime a quelle che possono aversi in occasione del terremoto di riferimento . Sono quindi indagini estremamente mirate, che devono contribuire a definire tutte le caratteristiche morfologiche, stratigrafiche, idrogeologiche, e che, soprattutto, devono identificare il comportamento dinamico dei vari terreni presenti nel sito, assegnando dei valori ai parametri dinamici indispensabili per la valutazione della risposta del sito mediante modelli analitici e numerici.

La base dello studio di MS di III Livello del Comune di Casamicciola Terme è rappresentata dallo studio effettuato dal gruppo di lavoro Centro MS del 2017, da cui si è partiti per definire le caratteristiche dei siti e dei terreni presenti nell'area. Lo studio si basava unicamente su approfonditi rilevamenti geologici di dettaglio, dati di sondaggi profondi a distruzione di nulceo ed indagini geofisiche di neorealizzazione (array sismici e hvsr). Tali dati sono stati implementati con una raccolta dati bibliografici (PRG) e successivamente con le indagini in situ effettuate. Ciò ha permesso di migliorare sensibilmente il grado di conoscenza in particolar modo dei terreni superficiali (fino a 35m di profondità), mentre non è stato possibile definire in maniera più approfondita le condizioni del sottosuolo più profondo.

Pertanto le maggiori incertezze del modello precedentemente definito sono relative alle condizioni di sottosuolo più profondo. Inoltre si sottolinea la difficoltà riscontrata nella individuazione dei Substrati Sismici, in quanto, come mostrano i dati degli array profondi, i valori di Vs > 800 m/s sono presenti a profondità variabili all'interno del comprensorio comunale e non sono correlabili in maniera univoca con la presenza di un substrato geologico, anzi gli stessi substrati geologici individuati presentano notevoli variazioni dei valori di Vs. Tali condizioni sono anche riconducibili alla presenza dei fluidi geotermici precedentemente trattati che localmente possono condizionare le proprietà fisico-meccaniche dei terreni determinando anche un decremento delle caratteristiche geomeccaniche degli stessi.

Nell'ambito della stima della RSL le incertezze sono di varia origine (variabilità intrinseca delle diverse grandezze in gioco, imperfetta esecuzione delle prove, errori di misura, approssimazione del comportamento dei terreni mediante modelli semplificati, ecc...) e riguardano lo scuotimento sismico, il modello geotecnico e il codice di calcolo utilizzato. Per quest'ultimo, le incertezze devono essere sostanzialmente trascurate.

Per lo scuotimento sismico le incertezze vengono considerate in funzione della selezione di n. 7 accelerogrammi rappresentativi della pericolosità sismica di riferimento (ovvero relativa a condizioni di basamento sismico affiorante e con superficie orizzontale) ed effettuando n.7 diverse stime della RSL, determinando n.7 diversi accelerogrammi in superficie (uno per ogni accelerogramma di input),

n.7 corrispondenti spettri di risposta elastici in pseudo-accelerazione e n.7 diverse terne di fattori di amplificazione (FA). Sulla base di queste 7 valutazioni è stata poi assegnata alla singola una sola terna di fattori di amplificazione (FA), ciascuno calcolato come valore medio dei 7 valori relativi ad ognuno dei tre intervalli di periodo indicati (0.1-0.5s, 0.4-0.8s e 0.7-1.1s).

Invece per il modello geotecnico, le principali incertezze riguardano il profilo Vs(h) di velocità delle onde S in funzione della profondità h, le curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato (G/G0) e di incremento di smorzamento (D) dei materiali presenti e la profondità del basamento sismico.

La determinazione univoca di queste grandezze presenta infatti alcune difficoltà legate ai seguenti aspetti:

- a. il profilo Vs(h) è derivato da misure (curva di dispersione, curva HVSR, ecc.) affette da incertezze dovute alle condizioni sperimentali;
- all'interno della singola microzona possono esistere vari profili Vs(h) a causa di variazioni di spessore delle coperture o della eterogeneità (variabilità intrinseca) di queste ultime (nel nostro caso tale incertezza è molto diffusa in quanto per la definizione delle microzone si è partiti dalle condizioni strutturali del comprensorio comunale);
- c. i campioni raccolti e analizzati in laboratorio potrebbero non essere pienamente rappresentativi o non sufficienti a caratterizzare tutti materiali presenti (difatti per moli dei terreni riscontrati nel sottosuolo si è fatto ricorso a dati bibliografici);
- d. le curve di rigidezza normalizzata e decadimento sono incerte perché frutto di misure di laboratorio e della interpretazione approssimata mediante modelli reologici 'semplificati';
- e. la profondità del basamento sismico potrebbe non essere stata raggiunta e verificata con indagini dirette, ma solo stimata con indagini indirette o estrapolata (nel caso del presente studio, sono stati ottenuti i valori "certi" del raggiungimento del bedrock in 4 degli array sismici e nell'unica inversione congiunta).

Nella fattispecie è stato possibile "gestire" la variabilità dei valori di Vs alle diverse profondità (h) anche sulla base di n.1 dato per tipologia di terreno sulla base di metodologie statistiche.

In particolare, è possibile descrivere la variabilità di una certa 'popolazione' (insieme di tutte le possibili unità che costituiscono l'oggetto di studio) a partire dall'osservazione di un sottoinsieme di unità estratte dalla popolazione ('campione statistico').

Per questo contesto la distribuzione asimmetrica di tipo log-normale è quella più adatta alla rappresentazione di queste grandezze. Nel caso della distribuzione log-normale i parametri di interesse sono mln e sln che, con riferimento ad esempio all'insieme N di valori Vsi, 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 In indica il logaritmo naturale (in base e) dell'argomento.

Si dimostra che, in questo caso, il valore di riferimento Vsrif sarà:

$$Vs_{rif} = e^{m_{ln}} \quad [5]$$

che rappresenta la mediana della distribuzione che in questo caso, essendo la curva asimmetrica, è diversa dalla media.

Pertanto per la stima dei valori di ogni singolo complesso individuato nel modello di sottosuolo è stato implementato un foglio di calcolo inserendo per ogni MOPS tutti i dati di Vs in possesso alle differenti profondità e ricavandone successivamente i valori di Vs<sub>rif</sub>.

Per maggiore dettaglio si ricorda che tutte le informazioni disponibili in merito ai parametri geotecnici e geofisici sono archiviate nel database "CdI\_Tabelle" nella cartella "Casamicciola\_Terme\_S41/Indagini/Documenti".

# 7. Metodologie di elaborazione e risultati

Le analisi numeriche previste dall'Ordinanza n.1 del 27 novembre 2018, hanno riguardato la determinazione di alcuni parametri rappresentativi della Risposta Sismica Locale (RSL) in tutte le microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) definite come stabili e soggette a fenomeni di amplificazione. I parametri di interesse determinati sulla base delle analisi 1D di RSL sono stati:

- Accelerogrammi (in numero di 7) rappresentativi della pericolosità sismica locale (scenari di scuotimento) associata ad eventi con tempo di ritorno di 475 anni e relativi spettri di risposta elastici in pseudo-accelerazione con smorzamento pari al 5% dello smorzamento critico (Sa);
- Fattori di Amplificazione (FA) relativi a tre intervalli di periodi (0.1-0.5s, 0.4-0.8s e 0.7-1.1s).

La modellazione è stata effettuata utilizzando il codice di calcolo STRATA che opera nel dominio delle frequenze e modella il comportamento non lineare dei terreni mediante ilmetodo lineare equivalente (EQL).

Il codice monodimensionale Strata (Kottke and Rathje, 2008) calcola la risposta sismica di un deposito stratificato orizzontalmente, a comportamento visco-elastico lineare, poggiante su bedrock deformabile a superficie orizzontale, soggetto alla propagazione verticale di onde di taglio. Il codice opera nel dominio delle frequenze analogamente al codice SHAKE e sue successive modificazioni (Schnabel et. Al. 1972, Idriss & Sun, 1992); è senz'altro il codice di calcolo per analisi monodimensionali più conosciuto e diffuso.

Nel modello, il sottosuolo è schematizzato mediante una successione di strati orizzontali sovrapposti omogenei (modelli 1D). Iprincipali dati richiesti in ingresso sono:

- lo scuotimento sismico (accelerogramma) su basamento sismico affiorante ovvero su un sito di riferimento rigido e superficie topografica orizzontale (Categoria di sottosuolo A e Categoria topografica T1 secondo la classificazione NTC18, corrispondente ad un ammasso roccioso o terreno rigido con superficie suborizzontale e valori della velocità media delle onde S nei primi 30 metri almeno pari a 800 m/s); questo scuotimento è detto anche "moto di input" o "moto di riferimento" e deve essere assegnato al codice di calcolo come "rock outcropping input motion" (indicato anche come '2A' nel codice STRATA);
- il profilo di velocità delle onde S (Vs) fino alla profondità corrispondente al basamento sismico ovvero al tetto di un ammasso roccioso o terreno rigido caratterizzato da valori di Vs almeno pari a 800 m/s; più in generale si deve identificare come profondità di riferimento quella del tetto del primo strato della successione che presenta valori di velocità delle onde S maggiori di 750-800m/s con uno spessore ritenuto sufficientemente significativo in relazione al modello geologico del sito;
- le curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato G/G0 e del rapporto di smorzamento D, in funzione della deformazione di taglio, per ciascuno dei materiali presenti nel modello di sottosuolo.

# 7.1 Zone stabili suscettibili di amplificazione

Le zone stabili suscettibili di amplificazione interessate dalla modellazione numerica sono quelle ricomprese nei limiti delle zone di microzonazione di III Livello e non interessate da fenomenologie di instabilità (frane e liquefazione).

Per Casamicciola Terme le MOPS sottoposte ad analisi sono:

- ➢ MOPS 2001;
- ➢ MOPS 2002;
- ➢ MOPS 2003;
- ➢ MOPS 2004;
- ➢ MOPS 2005;
- ➢ MOPS 2006;
- ➢ MOPS 2099.

# 7.1.1 Scelta dell'input sismico (fornito dal CNR IGAG per il CENTRO MS)

I 7 accelerogrammi utilizzati per la definizione dell'input sismico relativi alla pericolosità sismica di base sono quelli forniti dall'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del Consiglio Nazionale delle Ricerche (per il centro per la Microzonazione sismica e le sue applicazioni).

Lo stesso istituto ha fornito il report per la "Definizione dell'input sismico da utilizzare per le analisi numeriche di risposta sismica locale (1D e 2D)" (Paragrafo 4.3), di seguito integrato dal CNR-IGAG per il Centro Ms (maggio 2019) nell'ambito della Convenzione tra Commissario Straordinario del Governo per la Ricostruzione nei territori dell'Isola di Ischia interessati dal sisma del 21 agosto 2017 e Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del Consiglio Nazionale delle Ricerche, di cui di seguito si riporta lo stralcio:

"Nell'ambito degli studi di microzonazione sismica di livello III (MZS) si prevede la realizzazione di modellazioni numeriche mono o bidimensionali del moto sismico. Tali simulazioni vengono realizzate assumendo come moto di input un gruppo di 7 accelerogrammi rappresentativi dello spettro di progetto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018 (NTC18). Le NTC18 si basano sulla carta di pericolosità sismica a scala nazionale (OPCM 3519 del 28/04/2006; Montaldo et al., 2007) che fornisce i parametri necessari per la formulazione degli spettri di progetto, intesi su suoli rigidi, su una griglia regolare di punti distribuita sul territorio nazionale. In Figura 124 si mostrano i valori di picco di accelerazione previsti dalla mappa di pericolosità per l'Isola di Ischia per il periodo di ritorno di 475 anni, utilizzato di prassi per gli studi di MZS.



Figura 124 - Valori di a(g) per l'isola di Ischia come forniti dalla mappa di pericolosità a scala nazionale (disponibile al sito http://esse1.mi.ingv.it).

Come si può notare dalla Figura 124, la spaziatura del grigliato utilizzato nelle mappe di pericolosità è relativamente ampia rispetto alle dimensioni dell'isola che è interessata soltanto da due punti della stessa griglia.

È possibile ottenere dalle NTC18 i valori dei parametri che descrivono lo spettro di progetto. In questo caso viene effettuata una media pesata dei valori associati ai quattro punti della griglia più vicini al centroide del comune di interesse. In Tabella 1 vengono riportati i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c$  per i tre comuni interessati dalla MZS.

Tabella 54 - Parametri per la costruzione degli spettri di normativa per i tre comuni interessati dalla MZS (NTC18).

Comune	ag	Fo	Тс
Casamicciola Terme	0.152	2.285	0.325
Lacco Ameno	0.148	2.289	0.327
Forio	0.137	2.321	0.333

Tabella 54 si possono notare alcune differenze tra i valori dei parametri per i tre comuni interessati dalla MZS. Tuttavia, lo scarto tra i valori di minimo e massimo della distribuzione è inferiore al 10% di a<sub>g</sub> tabellato per il comune di Casamicciola Terme.

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.

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.

Viste le differenze osservate in Tabella 54, 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 (Figura 124). 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 Tr 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.

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

Gli accelerogrammi naturali tra i quali si è effettuata la ricerca della spettro compatibilità 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 Ml indifferentemente (Mw or Ml 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.

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.

Di seguito (Figura 125) sono rappresentate rispettivamente le forme d'onda selezionate e i relativi spettri di risposta in accelerazione (Figura 126).



Figura 125 - Forme d'onda selezionate e scalate per i sette accelero grammi



Figura 126 - 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).

Nella Tabella 55 e nella Tabella 56 sono riportate invece le caratteristiche degli eventi selezionati, espresse in termini di: Magnitudo Mw/Ml, 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 (la, cm/s), Durata Spettrale (SD, s)".

Accelerogramma	ID ITACA	Nome evento	Comune	Data e ora	Mw	D Epicen trale [Km]	Profon dità ipocen trale [Km]
Motion 1 - IT.0EQTHGN.D.20130630.14 4008.C.ACC (scaled)	IT-2013-0009	NORTHER N_ITALY	Casola in Lunigiana (Toscana)	30/06/ 13 14:40:0 8	4.5	3	6.1
Motion 2 - IT.MRMHGE.D.20121025.230 524.C.ACC scaled)	IT-2012-0061	COSENZA	Mormanno (Calabria)	25/10/ 2012 23:05:2 4	5.2	2.4	9.7
Motion 3 - IT.SVNHGE.D.20181226.021 917.C.ACC (scaled)	EMSC- 20181226_0000 014	SICILY_ITA LY	Viagrande (Sicilia)	26/12/ 2018 02:19:1 7	4.9	4.5	/

Tabella 55 - Tabella dei parametri tratta dal database ITHACA.

Accelerogramma	ID ITACA	Nome evento	Comune	Data e ora	Mw	D Epicen trale [Km]	Profon dità ipocen trale [Km]
Motion 4 - IV.EMCNHNE.D.20190108.23 5034.C.ACC_mod4 (scaled)	_	SICILY_ITA LY	Linguaglossa (Sicilia)	08/01/ 2019 23:50:3 4	4.1 (ML)	1.2	2.2
Motion 5 - IV.EMCNHNN.D.20190108.23 5034.C.ACC_mod4 (scaled)	_	SICILY_ITA LY	Linguaglossa (Sicilia)	08/01/ 2019 23:50:3 4	4.1 (ML)	1.2	2.2
Motion 6 - IV.RM03HNE.D.20090407.17 4737.C.ACC (scaled)	IT-2009-0102	CENTRAL_I TALY	Fossa (Abruzzo)	07/04/ 2009 17:47:3 7	5.5	3.4	17.1
Motion 7 - IV.T1212HNN.D.20161026.1 71036.C.ACC (scaled)	EMSC- 20161026_0000 077	CENTRAL_I TALY	Castel Sant'Angelo sul Nera (Marche)	26/10/ 2016 17:10:3 6	5.4	15.2	8.1

Tabella 56 - 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 (la, cm/s), Durata

Spettrale (SD, s)

		Distanza Epicentral	Profondità ipocentrale	Classe di sottosuolo	Fattore di Scala			
Evento	Mw	e [Km]	[Km]	(EC8)	(SF)	Drms	la [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	Α	1.3	0.056107	18.06469	2.99
IV.EMCNHNE.D.20190108.235034.C.ACC_mod4.ASC	4.1 (MI)	1.2	2.2	N/A	1.28	0.039256	7.531587	3.49
IV.EMCNHNN.D.20190108.235034.C.ACC_mod4.ASC	4.1 (MI)	1.2	2.2	N/A	1.28	0.035833	8.257111	2.405
NORTHERN_ITALY [30/06/2013 14:40:08 - Station: 0EQT - 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

Dalla Figura 127 alla Figura 147 si riportano i grafici:

- 1. dell'accelerazione orizzontale;
- 2. degli spettri di amplificazione di Fourier;
- 3. degli spettri di risposta

dei terremoti individuati che fanno riferimento agli eventi recenti dell'Italia Centrale (2009 e 2016), della Sicilia (n. 2 eventi del 2019), uno in Sicilia del 2018, di Cosenza del 2012 e del Nord Italia (evento del 2013).



Figura 127 - Storia temporale dell'accelerazioneorizzontale eventoIT.0EQT..HGN.D.20130630.144008.C.ACC



Figura 128 - Fourier\_Amp\_Spectrum\_IT.0EQT..HGN.D.20130630.144008.C.ACC



Figura 129 - Resp\_Spectrum\_IT.0EQT..HGN.D.20130630.144008.C.ACC



Figura 130 - Storia temporale dell'accelerazione orizzontale evento IT.MRM..HGE.D.20121025.230524.C.ACC



Figura 132 - Resp\_Spectrum\_IT.MRM..HGE.D.20121025.230524.C.ACC







Figura 135 - Resp\_Spectrum\_IT.SVN..HGE.D.20181226.021917.C.ACC



Figura 136 - Storia temporale dell'accelerazione orizzontale evento IV.EMCN.HNE.D.20190108.235034.C.ACC



Figura 137 - Fourier\_Amp\_Spectrum\_IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC



Figura 138 - Resp\_Spectrum\_IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC



Figura 139 - Storia temporale dell'accelerazione orizzontale evento IV.EMCN.HNN.D.20190108.235034.C.ACC



Figura 141 - Resp\_Spectrum\_IV.EMCN..HNN.D.20190108.235034.C.ACC

RTP geologi Toscano-Cuccurullo-D'Anna





Figura 142 - Storia temporale dell'accelerazione orizzontale evento IV.RM03..HNE.D.20090407.174737.C.ACC



Figura 143 - Fourier\_Amp\_Spectrum\_IV.RM03..HNE.D.20090407.174737.C.ACC



RTP geologi Toscano-Cuccurullo-D'Anna





Figura 145 - Storia temporale dell'accelerazione orizzontale evento IV.T1212HNN.D.20161026.171036.C.ACC



Figura 147 - Resp\_Spectrum\_IV.T1212..HNN.D.20161026.171036.C.ACC

# 7.1.2 Simulazioni numeriche e risultati (forniti dal centro MS per le simulazioni 2D)

La modellazione numerica per le MOPS individuate è stata effettuata al fine di determinare diversi parametri di risposta sismica locale, ed in particolar modo gli accelerogrammi rappresentativi delle pericolosità sismica locale ed i fattori di amplificazione (FA) relativi a tre intervalli di periodi (0.1-0.5s, 0.4-0.8s e 0.7-1.1s).

La modellazione monodimensionale è stata effettuata con il codice di calcolo gratuito Strata (Kottke et al., 2013), che modella una colonna di terreno come un continuo stratificato a comportamento visco-elastico lineare. Le equazioni del moto sono risolte nel dominio della frequenza attraverso il calcolo e la successiva convoluzione delle funzioni di trasferimento di ogni strato, analogamente alla procedura seguita dal ben noto codice di calcolo SHAKE. La non linearità delle proprietà dinamiche, assunte indipendenti dalla frequenza, è portata in conto tramite l'approccio lineare equivalente.

L'analisi è stata effettuata impostando un file Strata di base secondo i parametri definiti durante gli incontri formativi e la riunione tenuta presso il Dipartimento di Ingegneria Geotecnica di Napoli (UNINA-DICEA).

Su questo file sono stati caricati:

- 17 accelerogrammi già descritti precedenza;
- Le curve di decadimento e di smorzamento per singola unità CGT fornite da UNINA-DICEA e già riportate al paragrafo 5.1 del presente lavoro;

Successivamente sono stati definiti gli output da ottenere per ogni simulazione effettuata (spettri di risposta al bedrock ed in superficie, rapporti della funzione di accelerazione e spettrali, serie temporali dell'accelerazione).

L'altezza massima degli strati continui modellati nell'analisi è stata fissata in proporzione alla velocità delle onde S, tramite la medesima relazione utilizzata per gli elementi finiti, per assicurare l'accuratezza della soluzione con riferimento una frequenza f<sub>MAX</sub> pari a 20 Hz.

È stato fissato un numero di iterazioni per analisi lineare equivalente pari a 100.

L'approccio di input è stato basato su serie temporali, la tolleranza dell'errore impostata all'1,0%, il numero massimo di iterazioni al di sopra della quale la convergenza si intende raggiunta pari a 20, l'effective strain ratio pari a 0,65, 20 Hz la massima frequenza considerata e 0,12 la funzione di lunghezza d'onda.

Considerando che uno degli aspetti problematici che affliggono la procedura di determinazione della RSL è l'incertezza o variabilità dei dati di input (Vs, proprietà di decadimento della rigidità e

smorzamento, spessori...), l'output è particolarmente sensibile. Pertanto l'analisi di RSL è stata condotta in maniera probabilistica, considerando l'incertezza dei dati di input e propagando gli errori associati a tale incertezza con il metodo Monte Carlo, ottenendo così non un unico risultato per ogni segnale di input, bensì un insieme di risultati statisticamente plausibili, chiamati "realizzazioni".

Per le modellazioni sono stati inseriti nel codice di calcolo per ogni MOPS i dati relativi ai modelli di sottosuolo definiti in precedenza, inserendo lo spessore medio di riferimento di ogni singolo strato, i valori di velocità delle onde S, la profondità del bedrock, i valori del peso di volume e le curve di decadimento caratterizzanti il comportamento non lineare e dissipativo dei materiali.

Successivamente, sulla base di fogli excel predefiniti, sono stati calcolati i valori di FA e rappresentati gli spettri di risposta di accelerazione in superficie e di input e le storie temporali degli accelerogrammi.

L'Analisi di Risposta Sismica Locale 2D, necessaria per la valutazione di amplificazioni indotte da particolari configurazioni geometriche (ad esempio in prossimità di valli etc.) è stata effettuata a cura del Dipartimento UNINA-DICEA Centro di Microzonazione Sismica sulle sezioni B-B' e E-E', a cui si rimanda per le modalità di analisi ed in merito al codice di calcolo utilizzato.

Sono state eseguite n.7 analisi monodimensionali per ognuna delle 8 MOPS da sottoporre a modellazione (in tutto 56 analisi monodimensionali i cui risultati sono stati caricati sul server FTP) con il codice STRATA (Kottke et al., 2013), che modella una colonna di terreno come un continuo stratificato a comportamento visco-elastico lineare.

Le equazioni del moto sono risolte nel dominio della frequenza attraverso il calcolo e la successiva convoluzione delle funzioni di trasferimento di ogni strato, analogamente alla procedura seguita dal ben noto codice di calcolo SHAKE. La non linearità delle proprietà dinamiche, assunte indipendenti dalla frequenza, è portata in conto tramite l'approccio lineare equivalente.

#### Analisi monodimensionali

Le analisi monodimensionali sono state effettuate secondo i criteri definiti dal Centro di Microzonazione Sismica sulla base del file Strata opportunamente predisposto. Dapprima è stato impostato un file di base per ogni MOPS definendo le opportune colonne stratigrafiche. In seguito per ognuna delle MOPS/colonne stratigrafiche sono stati prodotti sette file assegnando i sette diversi accelerogrammi di input individuati per il comune di Casamicciola Terme.

Il file strata utilizzato è stato impostato per ottenere i seguenti output principali, sia in termini grafici che numerici:

- 1. Spettro di risposta dell'accelerazione in superficie;
- 2. Spettro di risposta dell'accelerazione al bedrock.

I dati numerici ottenuti sono stati inseriti successivamente nei fogli di calcolo predisposti dal Centro di Microzonazione Sismica secondo quanto indicato. Il file calcolo\_FA.xls, previo inserimento dei valori mediani degli spettri in superficie ed al bedrock ottenuti da strata, ha consentito di ottenere i fattori di amplificazione dell'accelerazione massima FA nel campo di periodi di interesse (0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s) ed i relativi grafici che vengono di seguito riportati per ogni MOPS.

Di seguito vengono definiti i risultati per ogni modellazione realizzata per ogni MOPS:

#### MOPS 1



#### Tabella 57 - Tabella riepilogativa delle velocità e dei tipi di terreni

Figura 148 - Spettri di risposta di accelerazione - Mops 2001

Tabella 58 - Tabella riepilogativa dei valori di FA ottenuti nei periodi di interesse per la Microzona 2001

Zona 2001	FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
Acc. 1	1.375260546	1.728096717	1.892418325
Acc. 2	1.225277699	1.809133632	1.904821569
Acc. 3	1.315914135	1.731595981	2.096215423
Acc. 4	1.442250082	1.826577689	2.051371927
Acc. 5	1.299827712	1.676446067	2.002317963
Acc. 6	1.352647089	1.747862121	2.111486885
Acc. 7	1.383164072	1.823196032	2.153993303
FA medio	1.340484	1.762471	2.028161

#### MOPS 2

Profondità	Spessore	Tipo suolo	Vs	V min	V
			media		max
0	5	RI_zz	210	205	215
5	42.5	SM_cd (Lacco_MOPS_2003_2005 - Casamicciola_MOPS_2001_2002_2004_2005_20 06)	340	220	522
47.5	42.5	SM_cd (Lacco_MOPS_2003_2005 - Casamicciola_MOPS_2001_2002_2004_2005_20 06)	512	453	570
90	Half- Space	Bedrock	996	924	1068

#### Tabella 59 - Tabella riepilogativa delle velocità e dei tipi di terreni



Figura 149 - Grafici spettri di risposta di accelerazione - Mops 2002

Tabella 60 - Tabella riepilogativa dei valori di FA ottenuti nei periodi di interesse per la Microzona 20	002
---	-----

Zona 2002	FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
Acc. 1	1.542315574	1.749445309	1.896319162
Acc. 2	1.366480575	1.858706877	2.038983097
Acc. 3	1.568538159	1.827276655	2.201187455
Acc. 4	1.590845751	1.858473859	2.217453787
Acc. 5	1.4397468	1.723364504	2.105797676
Acc. 6	1.62075743	1.879416959	2.301157944
Acc. 7	1.566938709	1.855216483	2.219837748
FA medio	1.525535	1.820819	2.136219

#### MOPS 3

Profondità	Spessore	Tipo suolo	Vs media	V min	V max
0	10	SM_pi	244	220	280
10	35	SM_ca	323	280	390
45	17.5	SFCO (ASM, Casamicciola)	633	570	696
62.5	25	SFGRS (SEM, Lacco)	633	570	696
87.5	62.5	SFGRS-2 (TVME allentato)	633	570	696
150	Half-Space	Bedrock	835	767	903

Tabella 61 - Tabella riepilogativa dell	le velocità e dei tipi di terreni
---	-----------------------------------



Figura 150 - Grafici spettri di risposta di accelerazione - Mops 2003

Tabella 62 - Tabella riepilogativa dei valori di F	A ottenuti nei periodi di interesse per la Microzona 2	2003
--	--	------

Zona 2003	FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
Acc. 1	1.495825399	1.792644293	1.813676986
Acc. 2	1.396356044	1.763860763	1.776899163
Acc. 3	1.442857573	1.702295688	1.792057048
Acc. 4	1.537192806	1.784499949	1.810416928
Acc. 5	1.439986177	1.713437999	1.81839006
Acc. 6	1.424254765	1.665851175	1.80224961
Acc. 7	1.456294184	1.770266314	1.848276091
FA medio	1.455471	1.741264	1.808733

#### MOPS 4 a

Profondità	Spessore	Tipo suolo		V	V
				min	max
0	20	SM_ca	319	221	475
20	20	SM_cd (Lacco_MOPS_2003_2005 -	486	467	518
		Casamicciola_MOPS_2001_2002_2004_2005_2006)			
40	15	SFCO (ASM, Casamicciola)	633	570	696
55	20	SFGRS (SEM, Lacco)	633	570	696
75	20	SFGRS-2 (TVME allentato)	633	570	696
95	Half-	Bedrock		900	1100
	Space				

#### Tabella 63 - Tabella riepilogativa delle velocità e dei tipi di terreni



Figura 151 - Grafici spettri di risposta di accelerazione - Mops 2004a

Tabella 64 - Tabella riepilogativa dei valori di FA ottenuti nei periodi di interesse per la Microzona 2004a

Zona 2004 a	FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
Acc. 1	1.605541046	1.943040232	1.9084609
Acc. 2	1.611108983	1.922830781	1.745571481
Acc. 3	1.701423417	1.891448778	1.812493054
Acc. 4	1.795130253	1.928066948	1.714256505
Acc. 5	1.758235704	1.898940424	1.771514242
Acc. 6	1.726733347	1.818548388	1.787391627
Acc. 7	1.701784447	1.98746532	1.950790423
FA medio	1.698725	1.912289	1.81119

#### MOPS 4 b

Profondità	Spessore	Tipo suolo		V	V
			media	min	max
0	7	1 – RI_zz	450	400	500
7	14	14 - SM_ca	250	200	300
21	24	14 – SM_ca	360	300	500
45	10	27 – SFCO (ASM, Casamicciola)	633	570	696
55	20	28 – SFGRS (SEM, Lacco)	633	570	696
75	15	31 - SFGRS-2 (TVME allentato)	633	570	696
90	Half-	Bedrock	1000	900	1100
	Space				

#### Tabella 65 - Tabella riepilogativa delle velocità e dei tipi di terreni



Figura 152 - Grafici spettri di risposta di accelerazione - Mops 2004b

Tabella 66 - Tabella riepilogativa dei valori di FA ottenuti nei periodi di interesse per la Microzona 2004b

Zona 2004 b	FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
Acc. 1	1.440343311	2.000469142	2.100139919
Acc. 2	1.409233251	2.155344141	2.159194361
Acc. 3	1.538025015	2.010986589	2.298937381
Acc. 4	1.672476411	2.112723227	2.182904979
Acc. 5	1.592881104	2.016744093	2.185991546
Acc. 6	1.515332754	1.945163886	2.244709778
Acc. 7	1.556557297	2.133295999	2.372200039
FA medio	1.529894	2.052214	2.218971

#### MOPS 5

Profondità	Spessore	Tipo suolo		V	V
			media	min	max
0	10	GM_fd (z<100m)	265	218	312
10	20	SFALS (CTR, Casamicciola)	468	400	570
30	Half-	Bedrock	813	745	880
	Space				

#### Tabella 67 - Tabella riepilogativa delle velocità e dei tipi di terreni



Figura 153 - Grafici spettri di risposta di accelerazione - Mops 2005

Tabella 68 - Tabella riepilogativa dei valori di FA otten	nuti nei periodi di interesse per la Microzona 2005
---	---

Zona 2005	FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
Acc. 1	1.595792444	1.57605528	1.548869123
Acc. 2	1.601072575	1.598277154	1.473901327
Acc. 3	1.652347703	1.614550511	1.50597134
Acc. 4	1.653042373	1.548472446	1.461624415
Acc. 5	1.596977892	1.547590476	1.478366679
Acc. 6	1.63444828	1.555080909	1.530317323
Acc. 7	1.59234281	1.568779971	1.553548342
Media	1.617803	1.572508	1.507115

#### MOPS 6

Profondità	Spessore	Tipo suolo		V	V
		n		min	max
0	2.5	ML_ec	210	140	270
2.5	7.5	SM_fd	290	228	354
10	20	SFGRS (SEM, Lacco)	633	570	696
30	20	SFGRS-2 (TVME allentato)	633	570	696
50	Half-	Bedrock	800	800	0
	Space				

#### Tabella 69 - Tabella riepilogativa delle velocità e dei tipi di terreni



Figura 154 - Grafici spettri di risposta di accelerazione - Mops 2006

Tabella 70 - Tabella riepilogativa dei valori di FA ottenuti nei periodi di interesse per la Microzona 2006

Zona 2006	FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
Acc. 1	1.571764617	1.30287375	1.238968494
Acc. 2	1.55665442	1.226582629	1.106868318
Acc. 3	1.538254877	1.323243876	1.134958545
Acc. 4	1.516970975	1.207264676	1.093706176
Acc. 5	1.449160352	1.221164522	1.102444756
Acc. 6	1.583506339	1.282210993	1.157302295
Acc. 7	1.505507525	1.243705843	1.160622288
Media	1.53109	1.257474	1.1412

#### MOPS 7a

Profondità	Spessore	Tipo suolo		V	V
		n		min	max
0	5	SM_tm	210	170	270
5	15	SM_ca	323	280	390
20	25	SM_sc	290	235	320
45	20	SFCO (ASM, Casamicciola)	633	570	696
65	Half-	Bedrock	996	924	1068
	Space				





Figura 155 - Grafici spettri di risposta di accelerazione - Mops 2007a

Zona 2007 a	FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
Acc. 1	1.381524307	1.507258951	1.793475714
Acc. 2	1.178491499	1.675906871	1.929045788
Acc. 3	1.22023256	1.564574685	2.125810869
Acc. 4	1.364059925	1.681453671	2.158019273
Acc. 5	1.198959319	1.520353249	2.064940057
Acc. 6	1.302559804	1.667998275	2.202952183
Acc. 7	1.299358228	1.644477684	2.174358298
Media	1.275722	1.607304	2.059181

#### MOPS 7b

Profondità	Spessore	Tipo suolo		V	V
			media	min	max
0	5	SM_tm	266	170	300
5	15	SM_ca	404	280	450
20	25	SM_sc	468	380	500
45	20	SFCO (ASM, Casamicciola)	633	570	725
65	Half-	Bedrock	996	924	1068
	Space				

Tahella	73	- Tabella	rieniloaativa	delle	velocità	e dei	tini di	terreni
гарена	15	тарена	перподитии	uene	VEIDEILU	CUCI	прі иі	<i>cerren</i>



Figura 156 - Grafici spettri di risposta di accelerazione - Mops 2007b

	Tabella 74 - Tabella	riepiloaativa dei	valori di FA ottenuti ne	i periodi di interesse	per la Microzona 2007b
--	----------------------	-------------------	--------------------------	------------------------	------------------------

Zona 2007 b	FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
Acc. 1	1.722097528	2.110699287	2.022780821
Acc. 2	1.62734012	1.954048897	1.672907626
Acc. 3	1.638588396	1.908032798	1.766312609
Acc. 4	1.790745843	1.983135276	1.653595543
Acc. 5	1.705862034	1.910068625	1.745054958
Acc. 6	1.629894421	1.783783329	1.701414088
Acc. 7	1.73206408	2.050152169	1.936489264
Media	1.691391	1.954646	1.780944

#### **MOPS 2099**

Profondità	Spessore	Tipo suolo	Vs	V	V
			media	min	max
0	10	29 - SFALS (CTR, Casamicciola)	320	165	380
10	20	29 - SFALS (CTR, Casamicciola)	633	570	696
30	Half-	Bedrock	830	800	1000
	Space				

Tabella 75 - Tabella riepilogativa delle velocità e dei tipi di terreni



Figura 157 - Grafici spettri di risposta di accelerazione - Mops 2099

Tabella 76 - Tabella riepilogativa dei va	alori di FA ottenuti nei periodi	di interesse per la Microzona 2099
---	----------------------------------	------------------------------------

Zona 2099	FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
Acc. 1	1.640485884	1.254855601	1.192720864
Acc. 2	1.624806219	1.195077058	1.081163855
Acc. 3	1.571156303	1.273340089	1.096286371
Acc. 4	1.566416918	1.170567396	1.070651292
Acc. 5	1.454852733	1.175191035	1.073569196
Acc. 6	1.638063709	1.257382911	1.131042269
Acc. 7	1.506391224	1.189439621	1.123161487
Media	1.570357	1.215886	1.109085

Infine sono stati opportunamente ricavati e salvati nei files Selezione\_Accelerogrammi.txt i valori relativi agli spettri di risposta, allegati alla presente relazione illustrativa.
#### Analisi bidimensionali (tratto dalla relazione sintetica fornita da UNINA - DICEA)

Le simulazioni bidimensionali sono state eseguite a cura del Dipartimento di Ingegneria Geotecnica (DICEA) dell'Università di Napoli Federico II e fornite dal Centro MS. Nel relativo elaborato, a cui si rimanda.

Nella Figura 158 è rappresentato uno stralcio della Carta Geologico-Tecnica dell'area, con una legenda sintetica dei litotipi presenti. Sono indicate in rosso le tracce delle sezioni sottoposte alle analisi bidimensionali, i cui corrispondenti profili stratigrafici sono riportati in Figura 159.



Figura 158-carta Geologico tecnica di Casamicciola Terme



Figura 159 – Profili stratigrafici: a) sez. BB', b) sez. EE'

La profondità e l'andamento del substrato sismico per entrambe le sezioni analizzate sono stati definiti sulla base degli studi geologici e delle indagini geofisiche effettuate. Essi, inoltre, sono stati calibrati verificando la corrispondenza tra le funzioni di amplificazione numeriche e quelle ricavate sperimentalmente sotto forma di rapporti HVSR misurati su *noise*.

Le proprietà fisico-meccaniche dei terreni e rocce adottate nelle analisi sono sinteticamente riportate nelle Tabella 77 e Tabella 78 rispettivamente per le sezioni BB' e EE'.

Farmariana	Z	γ	Vs	Vp		G <sub>0</sub>	D <sub>0</sub>	Riferimento curve
Formazione	(m)	(kN/m²)	(m/s)	(m/s)	ν	(MPa)	(%)	$G(\gamma)/G0$ e $D(\gamma)$
SM <sub>ca</sub> 1	0-12		200	512		63.57		
SM <sub>ca</sub> 2	0-40	15.59	250	640	0.41	99.32	1.0	MS3_CAS_DH1_C2
SM <sub>ca</sub> 3	5-50		360	922		205.96		
SM <sub>cd</sub> 1	0-80		370	906		225.79		
SM <sub>cd</sub> 2	0-30	16.18	260	637	0.40	111.50	10	
SM <sub>cd</sub> 3	30-55	10.16	500	1225	0.40	412.33	1.0	M33_CA3_DH2_C2
SM <sub>cd</sub> 4	55-80		600	1470		593.76		
Mlec	0-8	15.66	250	476	0.31	99.77	1.5	MS3_LAC_DH1_C1
								Riporti Benevento
Rizz	0-10	17.00	450	1060	0.39	350.92	3.0	(Santucci de Magistris et
								al., 2014)
SMpi	0-5	15.66	250	486	0.32	99.77	1.5	MS3_LAC_DH1_C1
SM <sub>fd</sub> 1	0-5	16.00	250	520	0.35	101 94	10	
SM <sub>fd</sub> 2	0-15	10.00	250	520	0.55	101.54	1.0	M33_CA3_D112_C2
GM <sub>fd</sub> 1	0-5	17.06	250	612	0.40	108 69	35	MS3 FO DH1 C2
GM <sub>fd</sub> 2	0-10	17.00	250	012	0.10	100.05	5.5	M35_10_D111_C2
SFALS	0-50	16.30	330	641	0.32	180.94	0.5	Tufo giallo napoletano Vinale (1988)
SFCO 1	30-90	20.24	650	1220	0.24	971 70	2.0	
SFCO 2	10-55	20.24	050	1520	0.54	871.70	2.0	M35_F0_DH1_C4
	45-							Tufo giallo napolotano
31 KG3 1	150	17.89	650	1263	0.32	770.49	0.5	
SFRGS 2	25-90							(vinale, 1900)
Bedrock sismico	40-	17.89	1000	1944	0.32	1823.65	0.5	Visco elastico lineare

 Tabella 77 - Proprietà fisiche e meccaniche dei terreni per la sezione BB' (i codici delle formazioni fannoriferimento alle sezioni precedenti)

Tabella 78 - Proprietà fisiche e meccaniche dei terreni per la sezione EE'' (i codici delle formazioni fannoriferimento alle sezioni precedenti)

Formaziono	z	$\gamma$	Vs	Vp		G <sub>0</sub>	D <sub>0</sub>	Riferimento curve
Formazione	(m)	(kN/m²)	(m/s)	(m/s)	ν	(MPa)	(%)	$G(\gamma)/G0 e D(\gamma)$
MLecsx	0-6	15.66	250	476	0.21	00.77	1 5	
ML <sub>ec</sub> dx	0-15	15.00	250	470	0.51	99.77	1.5	M35_LAC_DH1_C1
GM <sub>fd</sub> sx	0-15	17.06	225	551	0.40	00.04	2 5	
GM <sub>fd</sub> dx	0-6	17.06	225	155	0.40	00.04	5.5	MI33_FO_DHI_C2
RIzzsx	0-6							Riporti Benevento
PL dy	0.5	17.00	215	506	0.39	80.10	3.0	(Santucci de Magistris
	0-5							et al., 2014)
SMcd GR 1	0-15		225	551		83.50		
SM <sub>cd</sub> GR 2	0-50	16.18	400	980	0.40	263.89	1.0	MS3_CAS_DH2_C2
SM <sub>cd</sub> GR 3	50-80		570	1396		535.87		

Formaziono	z	$\gamma$	Vs	Vp	7.4	G <sub>0</sub>	D <sub>0</sub>	Riferimento curve
Formazione	(m)	(kN/m²)	(m/s)	(m/s)	ν	(MPa)	(%)	$G(\gamma)/G0 e D(\gamma)$
SM <sub>cd</sub> GR 4	80-100		750	1837		927.75		
SM <sub>cd</sub> GS	0-80	16.18	370	906	0.40	225.79	1.0	MS3_CAS_DH2_C2
SM <sub>ca</sub>	0-25	15.59	400	1024	0.41	254.27	1.0	MS3_CAS_DH2_C2
SMsc	0-50	14.50	470	933	0.33	326.51	1.0	Licata et al. (2015)
SP <sub>tm</sub>	0-5	15.66	250	612	0.40	99.77	1.5	MS3_LAC_DH1_C1
SFCO	20-40	20.24	700	1422	0.34	1010.97	2.0	MS3_FO_DH1_C4
SFGRS	0 70	17.80	650	1262	0.32	770.40	05	Tufo giallo napoletano
Epomeo	0-70	17.09	030	1205 0.52	0.32 770.49	52 770.49 0.	0.5	(Vinale, 1988)
SFGRS	100-	17.80	750	1458	0.32	1025.80	05	Tufo giallo napoletano
Graben	130	17.09	750	1450	0.52	1023.80	0.5	(Vinale, 1988)
Bedrock	30	17.80	1000	1044	0.32	1822.65	0.5	Visco alastico linoaro
sismico	50 -	17.09	1000	1944	0.52	1023.03	0.5	visco elastico inteare

Poiché i metodi numerici di analisi utilizzati nel presente studio fanno riferimento al tradizionale approccio di legame costitutivo visco-elastico lineare equivalente, il comportamento di ciascun materiale è stato espresso attraverso il peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ), le velocità delle onde di taglio e di compressione (V<sub>s</sub>, V<sub>p</sub>), e le curve di variazione di rigidezza e smorzamento con la deformazione al taglio, G(<sub>g</sub>)/GO e D(<sub>g</sub>).

Le velocità delle onde S sono state determinate per ogni formazione a partire dai risultati delle prove MASW, DH e array passivi. Ad ogni unità litologica sono stati, quindi, attribuiti valori realistici dei coefficienti di Poisson (v) e di conseguenza sono state stimate le velocità delle onde di compressione.

Questi parametri sono stati poi utilizzati per le analisi di risposta sismica eseguite con i modelli mono e bidimensionali.

I profili di V<sub>s</sub> delle diverse formazioni adottate nei modelli di calcolo sono riassunti e confrontati in Figura 160.

Con riferimento alla sezione EE' (Figura 159), si può notare come nel Graben la formazione SMcd presenta un incremento graduale di VS con la profondità, mentre in corrispondenza della Grande Sentinella presenta, invece, un valore di velocità costante. Tali velocità sono state ottenute utilizzando i risultati di due array passivi, appositamente effettuati nelle due zone. Quest'ultime indagini hanno permesso di identificare la profondità del bedrock sismico, che nella Grande Sentinella è stato localizzato in corrispondenza del passaggio fra le formazioni SMcd e SFLP, mentre nel Graben è stato individuato al tetto della formazione SFCO. Lungo le pendici dell'Epomeo, è stata individuata una fascia alterata di Tufo Verde alla cui base è stato posto il bedrock sismico. Infine, nella zona litoranea a Nord della sezione, il bedrock sismico è stato posto alla base della formazione SFCO.

Nella sezione BB' (Figura 159) il sottosuolo della Grande Sentinella è stato caratterizzato conformemente alla sezione EE', mentre in corrispondenza della Piccola Sentinella la formazione SMcd presenta un profilo di V<sub>s</sub> crescente con la profondità. L'andamento del bedrock sismico nella parte orientale della sezione è stato posto alla base della formazione SFGRS.



Figura 160 – Profili di velocità delle onde S: a) sezione BB', b) sezione EE'

Nelle Figura 161 e Figura 162 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 BB' e EE'.

Il comportamento non lineare e dissipativo dei terreni è stato caratterizzato interpretando con le relazioni analitiche derivate dal modello di Darendeli (2001) utilizzando sia i 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 Tabella 77 e Tabella 78, sia curve di letteratura relative a materiali con caratteristiche litologiche simili a quelli interessati dal presente studio.



Figura 161 – Curve del decadimento del modulo di taglio e dell'andamento del fattore di smorzamento con il livello di deformazione per la sezione BB'



Figura 162 – Curve del decadimento del modulo di taglio e dell'andamento del fattore di smorzamento con il livello di deformazione per la sezione EE'

Nelle analisi numeriche bidimensionali il substrato è modellato come semispazio visco elastico lineare, mentre il sottosuolo viene suddiviso in un numero finito di formazioni continue omogenee; per ognuna delle suddette la non linearità è portata in conto mediante analisi iterative lineari equivalenti.

Le analisi bidimensionali sono state eseguite con il codice di calcolo agli elementi finiti QUAD4M (Hudson et al., 2003).

I segnali di input forniti dal Centro di Microzonazione sono costituiti da un set di 7 accelerogrammi selezionati e scalati in modo tale che lo spettro medio risulti compatibile con quello di riferimento proposto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18) allo stato limite SLV per la zona in esame. 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 ques'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'amplificazione2D 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 FA0.1-0.5s più prossimo a quello medio della stessa porzione.

In Figura 163 è riportata la carta delle MOPS per il comune di Casamicciola Terme, mentre nelle Figura 164 e Figura 165 sono rappresentati 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 relativi alla sezione BB' (Figura 164) mostrano come le massime amplificazioni, relative a periodi medio-alti, siano localizzate in corrispondenza dei rilievi della Grande e Piccola Sentinella, e soprattutto della cresta situata nella parte orientale della sezione. Per quest'ultima, il fattore di amplificazione per medi e alti periodi raggiunge valori insolitamente elevati (prossimi a 5!). Tali valori sono giustificati dal fatto che la frequenza di risonanza di tali rilievi è compresa fra 1 e 2 Hz, e quindi le massime amplificazioni sono attese in un intervallo di periodi compreso fra 0.5 e 1 s. Per periodi più bassi si ha una minore amplificazione, che comunque può raggiungere valori locali prossimi a 3. Il profilo è inoltre molto più irregolare e risente anche di modesti cambi di pendenza. In corrispondenza del Graben localizzato fra le progressive 1300 m e 1800 m, il fattore di amplificazione mostra andamenti tipici di tali geometrie sepolte, con una focalizzazione delle onde sismiche al centro della struttura.

I risultati relativi alla sezione EE' (Figura 165) mostrano una maggiore amplificazione per i medi e bassi periodi lungo la Grande Sentinella ed il Graben posto a Sud di essa; in corrispondenza di quest'ultimo, il fattore di amplificazione per medi e alti periodi raggiunge valori massimi di circa 4. Nella parte settentrionale della sezione, in corrispondenza delle progressive 1600 m e 1800 m, le massime amplificazioni si rilevano invece per bassi e medi periodi, coerentemente con i rapporti spettrali sperimentali misurati nella stessa zona.

Il confronto con i risultati ottenuti dalle analisi monodimensionali, per entrambe le sezioni, mostra che i fenomeni di amplificazione bidimensionale, derivanti sia da effetti topografi sui rilevi, sia da effetti di valle nei graben, nella maggior parte dei casi non sono affatto trascurabili, in quanto, le

analisi 2D, in generale, forniscono fattori di amplificazione nettamente superiori rispetto a quelle 1D.



Figura 163 – Carta delle MOPS per il comune di Casamicciola Terme



Figura 164 – Profilo dei fattori di amplificazione per la sezione BB'



In Tabella 79 si riportano i valori dei fattori di amplificazione medi per i tratti di MOPS attraversati dalle due sezioni d'analisi, mentre in Tabella 80 si riportano i valori finali dei fattori di amplificazione attribuibili alle singole MOPS.

	Sezione BB'				Sezione EE'			
	2001	2004	2005	2099	2001	2002	2006	2007
FA0.1-0.5s	1.45	1.95	1.52	1.76	1.45	2.22	1.60	1.88
FA0.4-0.8s	1.93	2.43	1.33	1.94	1.85	3.21	1.88	1.69
FA <sub>0.8-1.1s</sub>	1.91	2.25	0.90	1.33	2.58	3.22	1.52	1.24

Tabella 79 - Fattori di amplificazione medi per le MOPS attraversate dalle sezioni BB' e EE'

Tabella 80 - Fattori di amplificazione attribuibili alle MOPS del comune di Casamicciola Terme

	2001	2002	2004	2005	2006	2007	2099
FA0.1-0.5s	1.45	2.22	1.95	1.76	1.60	1.88	1.76
FA0.4-0.8s	1.85	3.21	2.43	1.94	1.88	1.69	1.94
FA0.8-1.1s	2.58	3.22	2.25	1.33	1.52	1.24	1.33

# 7.2 Zone instabili

# 7.2.1 Faglie attive e capaci (FAC)

Come già illustrato nel capitolo 3.4, la presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA "ITaly HAzard from CApable faults" disponibile online (vedi Figura 56) consultabile dal sito internet della S.G.I. Dal suddetto catalogo risulta che il territorio comunale di Casamicciola Terme non è interessato da faglie attive e capaci.

# 7.2.2 Liquefazioni (LQ)

Per "fenomeno di liquefazioni", nella letteratura scientifica, si intende la perdita della resistenza dei terreni saturi sotto sollecitazioni statiche o dinamiche in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di una massa viscosa. Questo si verifica generalmente nei depositi di sabbie sciolte fini quando, sotto l'azione di sollecitazioni sismiche o di carichi applicati, la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento. Ne consegue che gli sforzi efficaci si riducono a zero.

Le aree a maggior rischio di fenomeni di liquefazioni sono associate alla presenza di termini precipuamente sabbiosi o limosi con bassa plasticità e densità. Alcuni terreni ghiaiosi possono essere vulnerabili ai fenomeni di liquefazione se interposti tra terreni che impediscono una rapida dissipazione della pressione dei pori indotta dai sismi.

Di seguito si riportano alcuni fattori che influenzano la liquefazione dei depositi incoerenti secondo la maggior parte degli autori. Vale a dire:

- i terreni che manifestano fluidificazione ricadono in depositi deltizi, fluviali e marini recenti con falde superficiali, costituiti da materiale fine (sabbie fine sciolte) saturi, non consolidati, con granulometria uniforme (coefficiente di uniformità Uc<5) e con densità da media a bassa;
- la liquefazione difficilmente interessa strati di profondità maggiore di 15-20 m;
- la presenza di percentuali di argilla o di ghiaia possono ridurre in maniera rilevante la suscettibilità alla liquefazione dei depositi;
- la presenza di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3 m possono contrastare la liquefazione degli strati sottostanti;
- i terremoti che producono liquefazione in aree di pianura sono caratterizzati da magnitudo superiore a 6 e da durata prolungata;
- la storia sismica del territorio può dare indicazioni sulla fluidificazione dei depositi, cioè in aree dove si sono manifestati questi fenomeni si possono ripetere con maggiori probabilità.

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 AGI2005 e NTC2018 nelle quali vengono indicate le condizioni predisponenti lo sviluppo dei fenomeni di liquefazione:

 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  $M_w \ge 5$  ( $I_{rif} \ge VII$ ) e da un'accelerazione di picco in superficie del segnale di riferimento  $a_{max} \ge 0.1$  g (IMCS  $\ge VII$ ).

Se sono verificate queste tre condizioni allora si rappresenta una ZA<sub>Iq</sub> 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 ZS<sub>Iq</sub> da una ZR<sub>Iq</sub> 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.

Verificatele altre condizioni necessarie, esistono diverse metodologie per il calcolo della magnitudo Mw da utilizzareper la valutazione della suscettibilità alla liquefazione.

Sono stati applicati due metodi classici di calcolo della Mwutili alla valutazione della suscettibilità alla liquefazione:

- Massima magnitudo dal catalogo DBMI 11 (Figura 166 e Tabella 81);
- Massima magnitudo delle zone sismogenetiche e disaggregazione (GdL MS, 2008).



*Figura* 166 - Intensità macrosismiche stimate per il terremoto del 1883 luglio 28 per l'Isola di Ischia (fonte: <u>https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/eq/18830728\_2025\_000</u>; Rovida et al., 2016)

Tabella 81 - Magnitudo massima stimata da DBMI11per il terremoto del 1883 luglio 28. Valore estratto dalla Figura 5.2.1.

Magnitudo massima Catalogo DBMI 11					
CPTI (2015): IMCS Max= 10	Mw Max= 4.26				
https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/					

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 (Tabella 82), è indicato un valore massimo di Magnitudo Max di 5.91 (Linee guida per la liquefazione, pag. 31).

Tabella 82 - Magnitudo massima da Linee guida liquefazione.

Magnitudo massima da zona sismogenetica (Linee guida liquefazione) MwMAX per l'isola di ISCHIA= 5.91

In Tabella 83 sono riportati i valori medi e modali proposti per i comuni di Forio, Lacco Ameno e Casamicciola Terme estratti dall'allegato "Comuni\_MR" del CD-ROM allegato a GdL MS (2008).

Tabella 83 - Magnitudo medie e modali per i tre comuni dell'isola di Ischia oggetto dell'Ordinanza n.1 del 27 novembre 2018.

Magnitudo metodo della disaggragazione (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				

A queste stime si è aggiunto il calcolo di coppie M-D basato su valutazioni della pericolosità media INGV (Figura 167).

Mean values					
Magnitude	Distance	Epsilon			
4.920	7.160	0.841			



Figura 167 - Valori medi disaggregazione INGV per il comune di Casamicciola Terme (disponibile al sito web: <u>http://esse1-gis.mi.ingv.it</u>).

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 questapericolosità. Fra questi viene infine selezionato quell'evento che ha fornito il maggiore contributo perl'intensità Irif indicandone la magnitudo macrosismica e la distanza epicentrale così come riportatedal catalogo sismico di riferimento.

I dati indicati nell'Allegato alle linee guida per la liquefazione sono riportati in Tabella 84.

Tabella 84 - Magnitudo massima da c	odice SASHA (D'Amico e Albarello,2008).
-------------------------------------	---

Metodo Originale (da codi				
	Nfelt	Irif	Mrif	Drif
Casamicciola	22	10	5.79	2
Lacco Ameno	22	10	5.79	1
Forio	6	9	5.79	2

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 stati riportatiin Tabella 85.

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 85 - Magnitudo del terremoto e distanze per alcune località dell'isola di Ischia (Azzaro et. al., 2017).

Per le zone di instabilità per liquefazione è possibile ottenere gli scenaridi Figura 168nella quale, oltre ai punti rappresentativi dei singoli scenari, sono riportate le curve di Seed et al. 1984 e Galli (2000).



Figura 168 - Applicazione delle linee guida relative alle instabilità per liquefazione (Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica2018). I punti sono rappresentativi delle coppie M-D più cautelative con riferimento ai tre comuni dell'isola di Ischia

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  $I_{MCS}$ -Me e pertanto 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.

### <u>Conclusioni</u>

Per tutte le motivazioni sopraelencate, vista l'incertezza e la sovra-semplificazione del metodo per la verifica della suscettibilità alla liquefazione, l'applicazione delle linee guida relative alla liquefazione nel comune di Casamicciola Terme oggetto dell'Ordinanza n.1 del 28 novembre 2018 conduce alla scelta di non definire nella carta delle MOPS zone di attenzione per liquefazione.

Si rimanda ad ulteriori approfondimenti da effettuarsi anche previa esecuzione di nuove indagini e test di laboratorio nelle aree indicate di seguito in Figura 169 che corrispondono alla fascia settentrionale tra la linea di costa a nord e i terrazzamenti a sud.



Figura 169 - Quadro d'insieme delle aree necessarie di approfondimento per le verifiche a liquefazione, in aree cerchiate in rosso.

# 7.2.3. Instabilità di versante

### FRANE INNESCATE DA FENOMENI FRANOSI IN EPOCA STORICA

Dall'analisi sulla sismicità storica dell'isola di Ischia emerge che tutti i terremoti di cui si ha notizia sonostati sempre accompagnati dall'innesco di fenomeni franosi, amplificandone i disastrosi effetti (Mele & DelPrete 1998).

Partendo dal 1228 (Guadagno e Mele 2000), si evince che ricostruzioni storiche di eventi sismici avvenuti sull'isola hanno documentato un forte terremoto di intensità del IX-X grado MCS (secondo Cubellis) che ha interessato il settore nordoccidentale dell'isola <u>con associati eventi di frana</u>.

La fonte storica più importante è la ''Chronica'' di Riccardo da S. Germano il quale riferisce che «nello stesso mese di luglio il Monte d'Ischia franò (mons Isclae subversus est) e seppellì nelle case (et operuit in casalibus sub eo) settecento persone tra uomini e donne (degentes fere septigentos homines Inter viros et mulieres)».

Le geometrie delle fenomenologie di frana associate a questo sisma non sono riconoscibili con certezza, anche per la sovrapposizione di eventi successivi che hanno mobilizzato nuove masse e riattivato vecchi cumuli di frana. Tuttavia, i rilievi diretti e l'analisi aereofotogrammetrica hanno evidenziato che tutta l'area nord-occidentale è caratterizzata da morfologie tipiche di accumuli di frana, con frequente presenza, lungo i pendii, di blocchi di Tufo Verde anche di notevoli dimensioni. Sono state ipotizzate, pertanto, fenomenologie di colata di detrito e crolli dai versanti tufacei (vedi Figura 170 da Guadagno e Mele 2000).



Figura 170-Le frane del settore nord occidentale dell'isola d'ischia (da Guadagno e Mele 2000)

Proseguendo negli anni (Guadagno e Mele 2000), un altro evento sismico di intensità del VIII-IX grado MCS (secondo Cubellis), il 2 febbraio 1828, ha coinvolto il settore settentrionale di Ischia. Anche a questo evento è stato possibile associare fenomeni d'instabilità di versante da numerose fonti storiche in cui si hanno notizie abbastanza dettagliate sugli eventi accaduti. In particolare dal Giornale delle Due Sicilie si apprende che *«lo spaventevole fenomeno cominciò dalle falde del Monte Epomeo, ossia di San Nicola, e propriamente nel luogo detto di S. Giuseppe, ove la terra screpolassi, estendendosi per Casamicciola fino al comune di Lacco».* Rilievi diretti e lo studio di foto aeree hanno permesso di riconoscere nella zona di S. Giuseppe caratteristiche morfologie di aree da accumulo di corpi di frana, oltre a blocchi di Tufo Verde crollati dai versanti di Monte Epomeo.

Successivamente (Guadagno e Mele 2000) un altro evento sismico a cui le ricostruzioni storiche hanno permesso di associare fenomenologie di frana, è quello che ha interessato il territorio di Casamicciola il 30 gennaio 1863 (Intensità del VII secondo Cubellis), documentato da Mercalli e da Morgera i quali scrivono che «franarono rocce dall'Epomeo», testimoniando ancora fenomenologie di crollo dai versanti tufacei del rilievo epomeico.

Sempre da Guadagno e Mele (2000) si legge che il 14 marzo del 1881 un terremoto (Intensità del IX grado MCS secondo Cubellis) arrecò danni ai territori di Casamicciola e di Lacco ed anche in questa occasione furono osservati fenomeni franosi lungo il versante nordoccidentale di Monte Epomeo. In particolare, Palmieri scrive che *«ovunque il suolo trovavasi in ripido pendio avvennero frane che in* 

qualche parte trasportarono alquanto le piantagioni, inclinando i fusti degli alberi verso ildeclivio, e rimanendo sulla cresta una fenditura. E le fenditure che si osservavano per le vie, nell'interno dell'abitato, accennavano tutte a frana o scoscendimento del terreno laterale a superficie inclinata». Per quanto non sia stato possibile ricostruire le esatte geometrie delle instabilità, si possono evidenziare meccanismi di scorrimento traslativo, e talvolta rotazionale, coinvolgenti coperture detritiche di spessore variabile. A tali fenomenologie sono da aggiungere quelle di crollo che, come al solito, hanno interessato le porzioni più elevate dei versanti epomeici.

Ma i fenomeni franosi, sicuramente tra i più documentati, sono quelli associati al terremoto del 28 luglio 1883.



Figura 171 - Il settore del versante settentrionale di Monte Epomeo interessato dalle frane indotte dal terremoto del 1883 (da Johnston Lavis, 1885) confrontato con una veduta attuale; rispettivamente a) e b)

Le numerose fonti storiche documentano che anche in quest'occasione al sisma si associarono diverse instabilità di versante. Le due frane più ingenti interessarono il versante settentrionale di Monte Epomeo, nel territorio di Fango.

Dalle documentazioni storiche, nonché fotografiche e dai rilievi diretti ed aereofotogrammetrici è possibile classificare questi eventi come scorrimenti traslativi di detrito (debris slides secondo Hutchinson), che hanno coinvolto le masse detritiche costituite da litorelitti tufacei immersi in una matrice limo-argillosa di piroclastiti alterate, poggianti su un substrato di Tufo Verde la cui superficie ha costituito piano di scorrimento, inclinato di circa 30 gradi (vedi Figura 171).

In Tabella 86 (da Rapolla et al., 2010) sono riportate, per differenti terremoti, sia la tipologia, sia la distanza epicentrale dei fenomeni sismoindotti.

Landslide number	Landslide type	Year	Average slope	Epicentral distance (km)
1	Debris flow	-	30°	1.68
2	Debris flow	-	30°	1.47
3-4-5-6	Rock falls	1828, 1863, 1881, 1883	42°	1.73
7-8-9-10	Rock falls	1828, 1863, 1881, 1883	43°	1.33
11	Debris slide	1883	20°	1.98
12	Debris slide	-	30°	1.64
13	Debris slide	-	30°	1.26
14	Debris slide	-	22°	1.57
15	Debris slide	-	24°	1.91
16	Debris slide	1883	28°	1.14
17	Debris slide	1883	29°	0.95
18	Debris slide	II-III Cent. A.D.	30°	2.72
19	Debris slide	II-III Cent. A.D.	30°	3.05
20	Deep-seated slump	IV Cent. B.C.	30°	1.65
21	Deep-seated slump	IV Cent. B.C.	25°	1.72

Tabella 86 – tabella Inventario delle frane storiche sismo-indotte dell'isola di Ischia (Rapolla et al., 2010). L'anno ed il tipo deifenomeni franosi sono tratti da Guadagno e Mele (1995) e Mele e Del Prete (1998).

#### <u>RILIEVO DELLE FRANE SISMOINDOTTE a seguito del terremoto di Casamicciola di Mw 3.9 del</u> 21/08/2017 - ore 20:57:51 (Gruppo di lavoro UNIROMA1-DST)

Trail 17 ed il 22 novembre 2017 è stato eseguito, da parte del **Gruppo di lavoro UNIROMA1-DST**, il censimento delle frane sismoindotte al suolo dal terremoto di Casamicciola del 21/08/2017. Questa attività è stata condotta nell'ambito dell'aggiornamento del catalogo CEDIT (Catalogo degli Effetti Deformativi Indotti da forti Terremoti) e si è concentrata in particolare nel Comune di Casamicciola Terme, nell'area interessata dal massimo risentimento (Figura 172).



Figura 172 – Localizzazione degli effetti sismoindotti dal terremoto di Casamicciola e rilevati nella campagna di indagini (da "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).

Il rilevamento di campagna ha permesso di individuare 11 effetti sismoindotti tra cui 9 frane e 2 fratture alsuolo (*ground cracks*). Sulla base delle evidenze morfologiche rilevate sul terreno le frane sono state classificate per tipo di meccanismo in accordo con la classificazione di Varnes (1978): sono state riconosciute 4 frane per scorrimento in detrito, 3 crolli in roccia, 1 crollo in detrito ed 1 scorrimento in terra. Nel corso del rilevamento, le frane sono state ubicate utilizzando sistemi GPS, restituendone le coordinate geografiche.

Per ogni effetto è stato stimato il volume di frana coinvolto considerando le seguenti 3 classi dimensionali:

- A (volume inferiore a 1 m<sup>3</sup>): 1 evento;
- B (volume compreso tra 1 e 5 m<sup>3</sup>): 5 eventi;
- C (volume maggiore di 5 m<sup>3</sup>): 2 eventi.

Per tre effetti non è stato possibile effettuare una stima attendibile dei volumi coinvolti. Inoltre, per ognieffetto è stato specificato il coinvolgimento o meno delle infrastrutture viarie, riconoscendo 6 effetti comeinterferenti e 5 effetti come non interferenti. Tutti i fenomeni sismoindotti censiti si sono verificati su versanti naturali, non coinvolgendo invece versanti antropici quali i tagli stradali.

#### Nella Tabella 87 sono riassunte le caratteristiche degli eventi censiti.

Tabella 87 – Tabella riassuntiva degli effetti sismoindotti al suolo dal terremoto di Casamicciola, rilevati nella campagna di indagini (da "Primi interventi urgenti di protezione civile conseguenti all'evento sismico che hainteressato il territorio dei comuni di Casamicciola Terme, di Forio e di Lacco Ameno dell'Isola di Ischia il giorno 21 agosto 2017", CNR-IGAG).

Codice Evento	Long.	Lat.	Effetto	Specifica	Class e vol.	Interazione
MF001	13.886869	40.741144	frattura al suolo	frattura al suolo	n.d.	INTERFERENTE
MF002	13.907359	40.741906	frana	crollo in roccia	с	NON INTERFERENTE
MF003	13.911039	40.747619	frana	crollo in detrito	b	INTERFERENTE
MP004	13.887912	40.741882	frana	scorrimen to in terra	с	NON INTERFERENTE
MP005	13.903553	40.740345	frana	crollo in roccia	b	NON INTERFERENTE
MP006	13.905312	40.740196	frana	scorrimen to in detrito	а	INTERFERENTE
MP007	13.905534	40.74006	frana	scorrimen to in detrito	b	INTERFERENTE
MP008	13.905612	40.740044	frana	scorrimen to in detrito	b	INTERFERENTE
MP009	13.906284	40.73964	frana	scorrimen to in detrito	b	INTERFERENTE
MP010	13.905641	40.74006	frattura al suolo	frattura al suolo	n.d.	NON INTERFERENTE
MP011	13.917363	40.737994	frana	crollo in roccia	n.d.	NON INTERFERENTE

### ALTRI EFFETTI GEOLOGICI DEL TERREMOTO DEL 21 AGOSTO DEL 2017

A seguito del sisma che ha interessato l'isola di ischia il 21 agosto 2017, il Servizio Emergenza Geologica dell'Osservatorio Vesuviano dell'INGV, il giorno 22 ha pianificato un intervento sul posto da parte di 4 unità di personale che si sono recate sull'isola già a partire dalla serata, che è proseguita fino al 24 al fine il verificare la presenza di eventuali effetti geologici sull'ambiente quali fratture nel terreno, caduta di blocchi rocciosi, frane, scoscendimenti,variazioni idrologiche e di temperatura.

Al termine di tali verifiche è stato redatto un "Rapporto di sintesi preliminare sul Terremoto dell'isola d'Ischia" nel quale (al par.3.5 "Rilievi geologici") vengono descritti i risultati del rilievo geologico effettuato.

Di seguito si riporta una raccolta di immagini relative ad alcuni degli effetti osservati nei punti di misura effettuati tratte dal suddetto rapporto ed illustrate in figura con le relative coordinate GPS.



Figura 173 – Punti di misura degli effetti geologici cosismici eseguiti sul territorio comunale di Casamicciola Terme, (da INGV Rapporto di sintesi preliminare sul Terremoto dell'isola d'Ischia (Casamicciola) M4.0 del 21 agosto 2017)

In sintesi, i rilievi svolti hanno evidenziato che nell'area tra Lacco Ameno e Casamicciola gli effetti geologici cosismici prevalenti sono costituiti da fratturazione al suolo sia sui rilevati stradali che nella copertura terrigena con strike compreso tra N70E e N110E e lunghezze da decimetriche a metriche (fino ad un massimo di 30m). Inoltre, alcune fratture presentano aperture beanti fino a 3cm e sono stati osservati anche fenomeni di scuotimento che hanno provocato crolli di muretti a secco e spostamento del suolo da monte verso valle (vedi Figura 174).





Figura 174 – Foto degli effetti geologici cosismici verificatisi sul territorio comunale di Casamicciola Terme, (da INGV Rapporto di sintesi preliminare sul Terremoto dell'isola d'Ischia (Casamicciola) M4.0 del 21 agosto 2017)

### FRANA del 10 novembre 2009

L'evento franono più rilevante e tragico in epoca recente che ha interessato il territorio comunale di Casamicciola Terme risale al 10 novembre del 2009, quando intorno alle ore 8:00, in concomitanza con intense precipitazioni piovose, che già dalle prime ore del giorno interessarono il versante settentrionale del Monte Epomeo, le strade, che dalla zona alta di Casamicciola Terme scendono

verso il Porto, furono improvvisamente invase da rapidi flussi piroclasticiche travolsero autovetture e persone provocando una giovane vittima e vari feriti oltre a diffusi danni. Tronchi d'albero, detriti vari tra cui rifiuti, autovetture e anche persone furono violentemente trascinate fino al mare.

L'aspetto idro-geomorfologico in cui si innescò la frana è stato bene illustrato da Ortolani (ORTOLANI F. Le colate di fango del 10 novembre 2009 di Casamicciola Terme (Ischia) 2009).

Secondo Ortolani l'assetto morfostrutturale conseguente il sollevamento recente del Monte Epomeo ha determinato un controllo sul reticolo idrografico del versante settentrionale, determinando la convergenza di tutte le incisioni vallive in un'unica valle, che canalizza le acque verso mare proprio in corrispondenza dell'area maggiormente urbanizzata di Casamicciola Terme (vedi Figura 175).



Figura 175 – Rappresentazione schematica, su foto satellitare, dei più significativi effetti ambientali causati dalla pioggia del 10 novembre 2009 (da ORTOLANI F. (2009), Le colate di fango del 10 novembre 2009 di Casamicciola Terme (Ischia)

Sotto l'aspetto geologico, secondo Ortolani, ivallonisono impostati in versanti molto inclinati, incisi in sedimenti piroclastici, mentre in superficie si trova il suolo avente spessore compreso tra 30 cm e 1m circa. Gli alvei e i versanti, inoltre, sono interessati da continue modificazioni naturali causate dalle attività antropiche.

L'instabilità dei versanti dei valloni è nota in quanto periodicamente si verificano scollamenti dei sedimenti superficiali (suolo e parte alterata dei sedimenti piroclastici) in seguito alla forte imbibizione idrica o saturazione in connessione ad eventi piovosi significativi. Tali dissesti si trasformano in colate di fango che di solito provocano il trasferimento di centinaia di metri cubi di sedimenti liquefatti dai versanti verso la base della depressione valliva. Spesso si realizzano sversamenti incontrollati di acqua, terreni e materiali di risulta lungo i cigli delle scarpate, lungo i versanti e lungo gli alvei, come è facile rilevare in loco, che incrementano l'instabilità e aumentano

al contempo il volume del materiale che può essere coinvolto da eventuali flussi fangosi rapidi incanalati.

Nello studio di Ortolani del 2009, inoltre, viene specificato il fatto che gli alvei, in seguito all'urbanizzazione, sono stati ricoperti e trasformati, in gran parte, in alvei-strada mentre le sezioni fognariepossono essere idonee a far defluire l'acqua di ruscellamento ma certamente non sono sufficienti a raccogliere e incanalare eventuali colate rapide di fango sviluppatesi neglialvei pedemontani in quanto i flussi fangosi sono caratterizzati da portate consistenti e dal trasporto di materiale ingombrante quale alberi d'alto fusto, massi di roccia, eventuali materiali in alveo (vedi Figura 176).



Figura 176 – foto evento del 10.09.2009 (da ORTOLANI F. (2009), Le colate di fango del 10 novembre 2009 di Casamicciola Terme (Ischia)

Altri eventi simili si verificarononell'ottobre 1910 (vedi

Figura 177), quando Casamicciola fu devastata da potenti colate rapide di fango e detrito incanalatesi nelle "cave" pedemontane che invasero l'abitato e le strade seminando distruzione e morte e il 30 aprile 2006, quando nella zona di Monte Vezzi, si innescarono alcune colate rapide di fango che provocarono vittime e seri danni alle abitazioni e alle strade.



Figura 177 – foto evento dell'ottobre 1910 (da ORTOLANI F. (2009), Le colate di fango del 10 novembre 2009 di Casamicciola Terme (Ischia)

# <u>AUTORITÀ DI BACINO</u>

Le instabilità di versante presenti all'interno del Capoluogo di Casamicciola Terme sono riportate nel PSAI (vedi cartografia allegata al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell' ADB Campania Centrale <u>http://www.adbcampaniacentrale2.it/</u> (vedi figg. Figura 178 e Figura 179).



Figura 178 - Cartografia PERICOLOSITA' DA FRANA PSAI AdB Campania Centrale



Figura 179 - Cartografia RISCHIO DA FRANA PSAI AdB Campania Centrale

Dalla suddetta cartografia, possiamo evincere che il 59% del territorio comunale di Casamicciola Terme risulta coperto da aree a rischio frane R3 e R4 (vediFigura 180).



Figura 180-percentuale di aree a RISCHIO DA FRANA R3 R4 PSAI AdB Campania Centrale rispetto alla superficie comunale

### Banca dati inventario fenomeni franosi d'Italia IFFI

Per quanto riguarda le frane presenti sul territorio comunale di Casamicciola Terme, inserite nel del progetto IFFI (banca dati inventario fenomeni franosi d'Italia catalogo http://193.206.192.136/cartanetiffi/carto3.asp?cat=47&lang=IT#) si nota la presenza di fenomeni franosi distribuiti soprattutto sul territorio collinare posto a sud ovest. I movimenti sono classificati soprattutto come fenomeni superficiali sovrapposti a colamenti lenti quiescenti e a frane di crollo (illustrate in Figura 181). Altri movimenti sono del tipo scivolamento rotazionale/traslativo in una limitata area a ovest.



Figura 181 - Cartografia IFFI

#### Descrizione delle instabilità di versante rilevate

Nel corso del rilevamento geologico eseguito per il presente studio, sono stati riscontrati n.2 fenomeni franosi di cui sono state anche prodotte relative ''schede di raccolta dati per rilevamento frane''. Precipuamente:

1. Un colamento rapido di terreni prevalentemente limo sabbiosi a struttura massiva in destra idraulica Vallone Cava del Monaco. Le coordinate del sito sono 4510834 N406437 E;



Figura 182 – frana di colamento dx idraulica vallone Cava del Monaco

 Uno scorrimento attivo in terreni sabbiosi di terrazzo marino avvenuto ad inizio 2019 nel settore nord occidentale, al confine con comune di Lacco Ameno. Le coordinate del sito sono: 40°45'1.92"N13°53'57.70"E;



Figura 183 – frana di colamento rapido in terreni sabbiosi di terrazzo marino avvenuto

### Analisi di Instabilità di versante finalizzata allo studio di MS

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 184.





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 ZA<sub>fr</sub>, 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 anchegli 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 è stata redatta 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 cosismiciè 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 versanteal 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 mobilizzazione 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 (ZS<sub>fr</sub>oZR<sub>fr</sub>).

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 ZS<sub>fr</sub> sia delle ZR<sub>fr</sub> 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 (*run out distance*) e per definire le ZS<sub>fr</sub> sono:

- metodo del cono d'ombra (Evans e Hungr, 1993)
- heightfuction 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 ZS<sub>fr</sub> è quella di Newmark (1965) su pendio infinito.

Per la definizione delle ZR<sub>fr</sub> i metodi da utilizzare prevedono le analisi sforzi-deformazioni, condotte secondo AGI (2005) e circolare esplicativa NTC (2018). 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 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.

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).

# 7.2.3.1 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 (<u>http://esse1-gis.mi.ingv.it;</u> vedasi anche laFigura 167); ii) Barani et al., 2009(Allegati a Gdl MS, 2008, vedasi anche laTabella 83) ; iii) lervolino 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 185 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 185 - 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

# 7.2.3.2 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 perimetrate 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.

Nel caso del territorio comunale di Casamicciola Terme, un corpo di frana definito per frana da crollo attiva, mostra il superamento della soglia Hfr (vedi Figura 186). In tale zona ricade un settore moderatamente esteso tra la zona rossa e Piazza Bagni sulla quale sono per altro disponibili alcuni dati delle indagini di nuova acquisizione (array, DH, misure di rumore).



Figura 186 - corpo di frana definito per frana da crollo attiva, mostra il superamento della soglia Hfr
# 8. Descrizione degli elaborati cartografici

# 8.1 Carta delle indagini (CI)

È stata predisposta una carta che raccoglie tutte le indagini eseguite all'interno del territorio comunale di Casamicciola Terme indagato rappresentata in scala 1:3.500 ma realizzate su base cartografica C.T.R. in scala 1:5000.

La suddetta carta raccoglie le prove eseguite appositamente per il presente studio e tutte le indagini realizzate all'interno dell'area di studio, sia quelle recenti che quelle pregresse.

Tutte le indagini sono illustrate secondo gli standard di rappresentazione grafica e archiviazione informatica degli studi di microzonazione sismica elaborati dal Dipartimento della Protezione Civile. Dalla carta si evince che le indagini coprono in maniera disomogenea il territorio dell'area indagata. Inoltre, oltre ai punti indagati, sono state ubicate anche le tracce delle sezioni geologiche rappresentative del modello del sottosuolo, e le aree di studio di terzo livello, come concordato con il gruppo di lavoro.

Per quanto riguarda le tipologie di indagini, si può notare un gran numero di HVSR, realizzate prevalentemente nella ''ZONA ROSSA'' e Gran Sentinella, mentre i sondaggi geognostici risultano in numero piuttosto esiguo e andrebbero integrati in maniera cospicua e patula.

Le MASW, invece, sono state eseguite in modo da coprire gran parte del territorio indagato in funzione delle possibilità logistiche di messa in opera degli stendimenti.

# 8.2 Carta delle frequenze naturali dei terreni

La carta delle frequenze naturali è stata realizzata riportando le varie stazioni di misura di rumore ambientale, suddivise nelle diverse località di studio e per ogni misura è stato assegnato un simbolo circolare la cui dimensione è funzione dell'ampiezza del picco fondamentale, mentre la colorazione è legata al valore della frequenza fondamentale F0.

Le misurazioni HV sono state effettuate con l'obiettivo di stimare la frequenza di risonanza fondamentale della copertura sedimentaria attraverso la tecnica dei rapporti spettrali HVSR-Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Nakamura Y., 1989). Il metodo viene ritenuto uno strumento valido ed affidabile per l'identificazione di possibili effetti di risonanza dei terreni e la stimapreliminare della frequenza di risonanza (FO) di sito.

Le registrazioni delle indagini eseguite ex-novo sono state realizzate dai professionisti dell'RTP, attraverso acquisizioni di rumore ambientale da stazione singola. Le misure HV sono state effettuate con durata pari a 40 minuti, esplorando la variazione di F0 e l'ampiezza A0 in funzione del livello di rumore ambientale. Il processing delle registrazioni è avvenuto attraverso la scelta ragionata dei valori dei parametri di elaborazione, facendo riferimento a procedure standardizzate (SESAME, 2004) per l'elaborazione e validazione statistica delle curve HVSR.

Le carte delle frequenze dei terreni sono state realizzate partendo dall'inserimento puntuale di tutte le misure HVSR reperite ed effettuate nel corso degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3. Successivamente, la struttura della Banca dati geografica HVSR ha previsto l'archiviazione di n. 3 valori di frequenze e relative ampiezze: tali valori sono stati riportati neicampi F0, F1 e F2 (Hz) a crescere in frequenza e relative ampiezze (H/V) A0, A1 e A2. Nel campo numerico Fr e della relativa ampiezza Ar sono stati invece riportati i valoridi riferimento della frequenza e dell'ampiezza più rappresentative scelte tra F0, F1 e F2. Il valore 'No pick' della misura si ottiene dando un valore nullo o '0' (zero) nel camponumerico F0 o Fr.

Infine, sulla base dei dati di frequenza sono stati creati due tavole:

- > una Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni (F0), dove sono state rappresentate le frequenze "F0", intese come massimi significativi in più bassa frequenza;
- una Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni, dove sono state rappresentate le frequenze "Fr", intese come massimi giudicati rappresentativi di un contrasto di impedenza tra le coperture e il substrato sismico.

In Figura 118 è rappresentata la legenda della carta delle frequenze realizzata seguendo gli standard di Ms.



# Frequenza f (Hz)

Figura 187 - Simboli della carta delle frequenze naturali dei terreni.

Nella successiva tabella sono elencati i valori di frequenza e di ampiezza utilizzati per la realizzazione delle due carte.

 Tabella 88 - Valori di frequenza ed ampiezza dei picchi H/V per ogni misura.

Progressivo indagine	Codice indagine HVSR	Frequenza del picco più evidente (F0)	Ampiezza della curva HV (A0)	Frequenza rappresentativa in Hz	Ampiezza della curva HV (Ar)
1	D12	1 55	2.2	(FI) 1 55	2.2
2	P12	1.55	3.5	1.55	5.5
2	P15	0.5	1.9	0.5	1.9
3	P14	0.27	1.9	0.27	1.9
4	P15	0.26	1.7	0.26	1./
5	P16	0.3	1.7	0.3	1./
6	P17	0.26	4.3	2.8	2.66
/	P18	0.44	2.8	1.4	2.05
8	P19	0.25	2.9	1.4	2.5
9	P20	0.26	2.4	0.26	2.4
10	P21	0.45	2.5	1.4	2.3
11	P22	0.4	2.4	2.62	2.8
12	P23	0.6	2	10	3.5
13	P24	0.45	3.5	1.5	2.5
14	P25	0.26	2	0.26	2
15	P26	0.6	2.9	1.9	2.38
16	P27	0.4	2.2	1.25	2.6
17	P28	0.26	2.9	0.26	2.9
18	P29	0.26	2.8	0.26	2.8
19	P30	0.45	2.15	6.5	4
20	P31	0.38	3.41	0.38	3.41
21	P32	0.5	2.6	1.1	2.44
22	P33	0.6	3.3	0.6	3.3
23	P34	0.48	2.72	0.48	2.72
24	P35	0.23	4.9	3	3.19
25	P36	0.46	2.9	1.9	3.1
26	P37	0.24	4.15	0.24	4.15
27	P38	0.43	3	12.1	3.8
28	P39	0.25	3 74	1.8	2.6
29	P40	0.26	3 52	0.26	3 52
30	P41	0.41	2 13	3 12	2 77
31	P/12	0.45	3.3	1 55	6.4
32	D/13	0.45	J.J	1.55	6
32	P45	0.30	11.6	2.42	1.8
24	P 44	0.22	2.64	2.5	4.8
25	P45	0.4	2.04	0.4	5.04
35	P40	1.44	2.5	1.77	2.26
27	P47	1.44	5.50	1.44	5.50
37	P48	0.48	3.3	1.55	0.3
20		0.30	5./ 2 1	2.2 0.2E	5.0 2.1
39		1.01	5.Z	0.25	5.Z
40	P21	1.01	3.15	4.43	1.//
41	P52	0.25	3.3	12.5	2.0
42	P53	0.46	2.8	0.46	2.8
43	P54	0.46	2.4	0.46	2.4
44	P55	0.58	2.1	1.59	1.23
45	P58	0.41	1./6	8	1.55
46	P59	1.39	1.3	1.39	1.3
47	P60	1.41	1.61	1.41	1.61
48	P61	0.45	2.09	0.45	2.09
49	P62	0.45	1.95	0.45	1.95
50	P63	7.66	4.14	7.66	4.14
51	P64	2.73	4.73	2.73	4.73
52	P65	0.27	1.72	3.4	1.5
53	P66	9.16	2.75	9.16	2.75
54	P67	1.7	1.88	1.7	1.88
55	P68	1.77	1.78	1.77	1.78

Progressivo indagine	Codice indagine HVSR	Frequenza del picco più evidente (F0)	Ampiezza della curva HV (A0)	Frequenza rappresentativa in Hz (Fr)	Ampiezza della curva HV (Ar)
56	P69	0.52	1.45	8.3	1.3
57	P70	8.13	1.94	8.13	1.94
58	P71	0.58	1.63	5.5	1.5
59	P72	0.42	1.69	5	1.7
60	P73	1.41	3.18	1.41	3.18
61	P74	3.53	1.79	8	1.2
62	P75	2.16	3.02	2.16	3.02
63	P76	0.59	0.73	0.59	0.73
64	P77	1.56	2.94	1.56	2.94
65	P78	3.73	2.13	3.73	2.13
66	P79	1.83	2.17	1.83	2.17
67	P80	1.53	4.29	1.53	4.29
68	P81	1.2	2.6	1.2	2.6
69	P82	0.53	1.82	2.9	1.7
70	P83	0.53	2.05	7.9	1.5
71	P84	0.31	2.31	1.4	1.5
72	P85	0.31	2.34	1.8	1.7
73	P86	0.31	2.19	1.3	1.7
74	P87	0.27	2.17	1.4	1.85
75	P88	1.48	2.11	1.48	2.11
76	P89	1.72	2.14	1.72	2.14
77	P92	0	0	0	0
78	P93	0	0	0	0
79	P94	0	0	0	0
80	P95	0	0	0	0
81	P96	0	0	0	0
82	P97	0	0	0	0
83	P98	0	0	0	0
84 P124		0	0	0	0

Per quanto riguarda la **carta delle F0**, il suo esame consente di fare le seguenti considerazioni:

- 1. Quasi tutte le frequenze F0 dei picchi principali sono inferiori al valore di 1 Hz con ampezze prevalenti tra 2 e 6;
- 2. Nel settore orientale, alle falde del Monte Rotaro, si riscontra la presenza di valori di F0 piuttosto eterogenei, con frequenze che vanno da  $\leq 0.5$ Hz come valore minimo, a valori  $\geq 6$ Hz;
- 3. Altri picchi con frequenze diverse dal trend generale, si riscontrano in Via Paradisiello e sulla collina della Gran Sentinella in cui si riscontrano frequenze che vanno da 0.5 a 1.5Hz.

Per quanto riguarda la carta delle Fr, il suo esame consente di elencare le seguenti considerazioni:

- 1. In quasi tutta l'area indagata non è stato possibile individuare un picco e quindi una relativa frequenza rappresentativa dal punto di vista ingegneristico della curva HVSR;
- 2. In quasi tutta l'area si riscontra la presenza di valori di Fr piuttosto eterogenei, con la maggior parte delle frequenze che vanno da  $\leq$ 1Hz come valore minimo, a valori  $\geq$ 3Hz;
- Altri picchi con frequenze diverse dal trend generale, si riscontrano in Piazza Maio, Piazza Bagni e alle falde occidentali del Rotaro in cui si riscontrano frequenze che vanno da 3 a 10Hz.

## 8.3 Carta Geologico Tecnica per la MS (CGT\_MS)

Nella carta geologico-tecnica sono rappresentati i seguenti elementi:

- 1. I litotipi affioranti, distinti tra terreni di copertura e substrato geologico, descritti al paragrafo successivo. Lo spessore minimo delle coperture rappresentate è di 3 metri;
- 2. Elementi tettonico strutturali:
  - a. Faglia potenzialmente attiva e capace con cinematismo non definito, incerta;
  - b. Faglia potenzialmente attiva e capace, incerta.
- 3. Elementi geologici ed idrogeologici:
  - a. I sondaggi che hanno raggiunto il substrato con l'indicazione della relativa profondità raggiunta;
  - b. I sondaggi che non hanno raggiunto il substrato con la corrispondente profondità raggiunta;
  - c. L'indicazione della profondità della falda in aree con sabbie e/o ghiaie;
  - d. Tracce delle sezioni geologiche adoperate per la descrizione del modello geologico del sottosuolo, già descritte nel paragrafo 5.2; le stesse tracce sono state impiegate dal Centro MS per ulteriori approfondimenti bidimensionali;
- 4. Elementi relativi alle instabilità di versante:
  - a. Frane di crollo o ribaltamento attiva;
  - b. Frana scorrimentoattiva;
  - c. Frana di colata attiva;
  - d. Frana di crollo o ribaltamento quiescente;
  - e. Frana di scorrimento/quiescente;
  - f. Frana di colata quiescente;
  - g. Frana di scorrimento inattiva;
  - h. Frane con tipologia di movimento e stato di attività non definiti (AREE PAI).
- 5. Le forme di superficie e sepolte ritenute significative quali:
  - a. Conoide alluvionale;
  - b. Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale altezza superiore a venti metri;
  - c. Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale altezza tra i 10m e i 20m;
  - d. Creste;
  - e. Picchi isolati;
  - f. Cavità sepolte.

Nella carta sono stati inseriti tutti gli elementi relativi alle litologie rilevate sul territorio e desunte dalle informazioni cartografiche e stratigrafiche acquisite.

I litotipi sono stati suddivisi in classi predefinite in modo da essere rappresentativi delle situazioni litostratigrafiche potenzialmente suscettibili di amplificazione locale o di instabilità.

Tabella 89 -Descrizione dei terreni di copertura

TERRENI DI COPERTURA					
Codice gt	Descrizione				
RIzz	Depositi e opere antropici. 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. Lo spessore varia tra i tre ed i sei metri.				
GMfd	Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica, di ambiente di versante e di				
	accumulo gravitativo da frana, a struttura caotica e massiva e/o stratificata in matrice				
	sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Da poco a moderatamente addensati.				
GMca	Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica, di ambiente di conoide alluvionale,				
	in abbondante matrice sabbioso-limosa e limo-argillosa. Da sciolti a moderatamente				
	addensati				
GMfd	Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica, di ambiente di falda detritica, in				
	matrice argilloso-sabbiosa. Da sciolti a moderatamente addensati.				
GMcd	Depositi eterometrici ed eterogenei di natura piroclastica, formati da megablocchi e blocchi,				
	di ambiente gravitativo, in matrice sabbioso-argillosa. Moderatamente addensati				
SMtm	Depositi limo-sabbiosi di natura piroclastica, di origine mista (debris flow e/o torrentizia),				
	fossiliferi, interessati da lembi di terrazzo di abrasione marina. Poco addensati.				
SPsp	Depositi eterometrici di natura piroclastica costituiti da sabbie da fini a molto grossolane, di				
	ambiente di spiaggia attuale, che includono occasionalmente ghiaie e ciottoli. Includono				
	anche depositi limosi e argillosi di ambiente di retrospiaggia. Da sciolti a poco addensati				
SMsc	Livelli di tufi a grana fina, tufi breccia e tufi gialli stratificati, ricchi di scorie e litici, a luoghi				
	rimaneggiati. Spessori compresi tra i 5 e i 25 metri.				
SMca	Depositi sabbiosi eterometrici, di natura piroclastica, con rare inclusioni di tufacei, in matrice				
	limo-sabbiosa. Da poco addensati a moderatamente addensati e/o poco coesivi.				
SMcd	Depositi costituiti da sabbie fini e grossolane, di conoide detritica, inclusi lavici e tufi, in				
	matrice limo-argillosa. Da poco a moderatamente addensati.				
SMec	Depositi eterometrici ed eterogenei costituiti da sabbie limose di natura piroclastica,				
	debolmente coesivi.				
SMpi	Depositi eterometrici di natura piroclastica costituiti prevalentemente da sabbie medio-fini e				
	grossolane in matrice limo-sabbiosa. Includono anche depositi limo-argillosi. Da poco a				
	moderatamente addensati.				
SMfd	Depositi eterometrici di natura piroclastica prevalentemente sabbioso-limosi, massivi. Da				
	poco a moderatamente addensati. Includono elementi grossolani, tufacei, intensamente				
	fratturati e megablocchi di dimensioni che possono superare i 10 metri. Depositi originati da				
	colate detritiche.				
MLec	Depositi limoso-argillosi e limoso-sabbiosi di natura piroclastica in matrice sabbioso-				
	ghiaiosa, debolmente coesivi. Origine eluvio-colluviale.				

Tabella 90 - Descrizione dei substrati geologici

SUBSTRATO	GEOLOGICO

Descrizione
Deposito costituito da alternanza di depositi tufacei massivi affetti da alterazione idrotermale
e da brecce piroclastiche costituite da bombe scoriacee ed abbondanti litici lavici. Depositi
afferenti al Tufo del Pizzone, al Tufo di Frassinelli e al Tufo Verde del Monte Epomeo del
Sintema del Rifugio di San Nicola, ai Tufi di cava Puzzillo del subsintema di La Rita-Monte
Caccaviello, al Membro di Pietra Vono del Sintema dell'Isola d'Ischia e ai Tufi di Casamicciola
del Sintema dell'Isola d'Ischia, subsintema di La Rita-Monte Caccaviello. Si presentano
alterati/fratturati e/o ricoperti da corpi di frana. Depositi arenitici e siltitici massivi e/o
sottilmente stratificati. Presenza di ciottoli e blocchi sparsi di tufacei e subordinatamente
lavici. Presenza di olistoliti di spessore plurimetrico. Moderatamente addensati.
Depositi argillosi, argilloso-siltosi e siltoso-sabbiosi di natura piroclastica, fossiliferi, con locali
intercalazione di lenti sabbiose. Passano verso l'alto a sabbie da medio-fini a grossolane, con
componente quarzosa, sempre più prevalenti fino a chiudere la sequenza dell'unità
sedimentaria marina. Lo spessore varia da 5 a 40m. Lo stato di coesione è elevato.
Lave trachitiche massive di colore grigio subafiriche con fenocristalli di sanidino, del duomo
della Fundera.
Depositi costituiti da successioni di lave, piroclastiti, brecce piroclastiche stratificate in strati,
da depositi epiclastici marini, costituiti da livelli da centimetrici a decimetrici di siltiti e areniti,
da lave scoriacee a blocchi, da tufi gialli stratificati formati da un'alternanza di livelli di tufi
cineritici e da depositi di spiaggia cineritici e sabbiosi stratificati. Depositi afferenti ai Tufi di
Cava Puzzillo del subsintema di La Rita-Monte Caccaviello, al Membro del Montagnone
inferiore del Sintema dell'Isola d'Ischia, all'Unità di Cava Celario del Sintema del Rifugio di San
Nicola e alle Lave e piroclastiti del Bosco della Maddalena (Membro di Cognolo) del Sintema
dell'Isola d'Ischia. Si presentano alterati/fratturati e/o ricoperti da corpi di frana.

Nella carta geologico-tecnica redatta sono rappresentate, altresì, le instabilità di versante di seguito elencate:

- a. Frane di crollo o ribaltamento attiva;
- b. Frana scorrimentoattiva;
- c. Frana di colata attiva;

Г

- d. Frana di crollo o ribaltamento quiescente;
- e. Frana di scorrimento/quiescente;
- f. Frana di colata quiescente;
- g. Frana di scorrimento inattiva;
- h. Frane con tipologia di movimento e stato di attività non definiti (AREE PAI).

Le frane di crollo o ribaltamento attiva si riscontrano, prevalentemente, nel settore sud occidentale e interessano i terreni del margine settentrionale del Monte Epomeo. Una stessa fenomenologia di frane la si rileva nell'area nord-orientale, a monte della Località Castiglione (vedi Figura 188).



Figura 188-In verde le frane di crollo o ribaltamento attiva

Le frane di scorrimento attive, invece, sono presenti in tre limitati areali. Uno posto a nordoccidentale, uno centro orientale e uno a sud (vedi fig. 189).



*Figura 189–In verde le frane di scorrimento attive.* 

Come si evince dalla Figura 190, le frane di 'colata attiva' sono ubicate in due limitate porzioni, una impostata su terreni piroclastici, a sud est, l'altra ubicata a nord est tra Punta la Scrofa e Loc. Perrone.



Figura 190-In verde le frane di colata attiva.

Si segnala la presenta di una singola frana di crollo o ribaltamento quiescente, cartografata nel settore meridionale (vedi fig. 191).



Figura 191-In verde le frane di crollo o ribaltamento quiescente

Una frana di scorrimento quiescente, dall'estensione particolarmente patula, si rileva nel settore occidentale al confine con il comune di Lacco Ameno, che insiste su terreni di natura piroclastica di ambiente (vedi Figura 192).



Figura 192-In verde le frane di scorrimento quiescente

Dalla Figura 193 si evidenzia la presenza di una frana di colata quiesente nel settore centro occidentale, impostata su terreni di natura piroclastica.



Figura 193–In verde la frana di colata quiescente

Si segnala la presenta di una singola frana di scorrimento inattiva nel settore nord-occidentale al confine con il comune di Lacco Ameno (vedi Figura 194).



Figura 194-In verde la frana di scorrimento inattiva

A seguito del rilevamento di carattere geologico-stratigrafico eseguito in campo e anche sulla base delle indicazioni concordate con il gruppo di lavoro CNR-IGAG di Napoli, Dipartimento di Ingegneria dell'Università Federico II di Napoli e il centro MS, nel corso di numerosi incontri e riunioni, è stata redatta la carta Geologico Tecnica allegata a cui è stato dato particolare attenzione non solo agli aspetti puramente litologici ma anche a quelli geomorfologici e quindi alle forme superficiali. Tra questi ultimi, infatti, ricordiamo le creste, gli orli di scarpata e i conoidi, che sono state tracciate e ubicate con l'ausilio di un dettagliato rilievo DTM fornito dal Gruppo di Lavoro. È stata posta molta attenzione alle forme superficiali, in quanto questi, molto diffusi su tutto il territorio comunale, possono essere considerati elementi che vanno ad accentuare l'amplificazione sismica.

Sotto l'aspetto puramente geolitologico, nella carta GT sono state rappresentate le coperture affioranti, che sono essenzialmente di carattere sabbioso, e i substrati, che appartengono a litologie piuttosto differenti. Questi ultimi, con netta prevalenza delle formazioni dello SFALS (*'Substrato geologico alternanza di litotipi fratturato/alterato stratificato''* da standard MS), affiorano in particolare a NW, essendo costituiti dalle lave del Monte Rotaro. I substrati SFGRS (*'Substrato geologico granulare cementato fratturato/alterato stratificato''* da standard MS), invece, si rinvengono in minore estensione, a SW e corrispondono alle formazioni del Monte Epomeo ed all'Unità di Campomanno.

Gli SFCO (*''Substrato geologico coesivo sovraconsolidato fratturato/alterato*''da Standard MS) affiorano nel settore centro meridionale mentre una piccolissima parte delle formazioni dell'SFLP, costituiti dalle Lave della Fundera, affiorano nel settore occidentale.

Per i terreni di copertura, invece, affiorano in maniera predominate i depositi sabbiosi, contraddistinti come SM (*''Sabbie limose, miscela di sabbia e limo''* da standard MS), che occupano più della metà dell'area di interesse affiorando in particolare dalla fascia pedemontana fino alla costa della parte centrale del territorio comunale di Casamicciola Terme.

Meno estesi sono i complessi GM ("Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo" da standard MS), che sono ubicati alle falde dei rilievi e delle colline vulcaniche da SW a NE. Gli ML ('Limi inorganici, farina di roccia, Sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità" da standard MS), sono presenti in minima parte a macchia di leopardo su piccole aree del territorio; i terreni di riporto RI sono invece presenti principalmente nei centri storici di Piazza Maio, Piazza Bagni e nella zona portuale. Piccolissimi affioramenti di GC ('Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla" da standard MS) sono presenti al confine con il comune di Lacco Ameno.

# 8.4 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

Sulla base di tutti i dati a disposizione sono state individuate 8 zone omogenee per caratteristiche litostratigrafiche, sismiche e strutturali (geometrie delle faglie). Tutte le informazioni disponibili in merito ai parametri geotecnici e geofisici dei vari complessi (substrati e terreni di copertura) sono archiviate nel database "Cdl\_Tabelle" nella cartella "Casamicciola\_Terme\_S41/Indagini/Documenti". Nella Tabella 91, per ogni MOPS, sono riepilogati gli spessori di ogni tipologia di terreno con le rispettive Vs.

MOPS	SPESSORE MIN (m)	SPESSORE MAX (m)	TIPO_GT	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
2001	5	10	MLec/GMfd	TC	210	140	270
	30	90	SMcd	тс	323	128	476
	10	70	SFLP	SS	945	900	1000
	10	20	SFCO	SS	945	900	1000
	40	60	SFGRS	SS	945	900	1000
	>300		SFGRS	SS	945	900	1000
2002	0	5	RI zz	TC	210	205	215
	0	15	ML ec	TC	210	140	270
	70	100	SMcd	тс	340	220	522
	50	70	SFGRS	SS	996	924	1068
	45	65	SFCO	SS	996	924	1068
2003	0	5	RI zz	TC	210	205	215
	5	15	SMpi	тс	244	220	280
	20	50	SMca	тс	323	280	290
	15	20	SFCO	SG	633	570	696
	20	30	SFGRS	SG	633	570	696
	>300		SFGRS	SS	835	767	903
2004	0	5	RI zz	TC	450	400	500
	0	5	ML ec	TC	210	140	270
	10	40	SMca	TC	250	200	300
	10	60	SMcd	TC	486	467	518
	15	40	SFCO	SG	633	570	696
	30	60	SFGRS	SG	633	570	696

#### Tabella 91-Tabella riepilogativa delle MOPS individuate.

MOPS	SPESSORE MIN (m)	SPESSORE MAX (m)	TIPO_GT	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
	>300		SFGRS	SS	1000	900	1100
2005	0	5	ML ec	тс	210	140	270
	5	10	SMtm	TC	210	170	270
	5	20	GMfd	ТС	265	218	312
	40	85	SFALS	SG	468	400	570
	10	20	SFCO	SS	813	745	880
	40	60	SFGRS	SS	813	745	880
2006	0	5	ML ec	тс	210	140	270
	5	10	GMfd	TC	265	218	312
	10	30	SMfd	TC	290	228	354
	10	40	SFGRS	SG	633	570	696
	>300		SFGRS	SG	800	800	800
2007	0	5	RI zz	тс	210	205	215
	0	5	SMtm	TC	210	170	270
	5	10	GMfd	TC	265	218	312
	10	20	SMca	ТС	323	280	390
	20	25	SMsc	ТС	290	235	320
	10	20	SFCO	SG	633	570	696
	50	65	SFGRS	SS	996	924	1068
	>300		SFGRS	SS	996	924	1068
2099	10	20	SFCO	SG	633	570	696
	30	60	SFGRS	SG	633	570	696
	>300		SFGRS	SS	996	924	1068
2099	20	50	SFLP	SS	1000	1000	1000
	10	20	SFCO	SG	633	570	696
	30	60	SFGRS	SG	633	570	696
	>300		SFGRS	SG	633	570	696
2099	20	60	SFGRS	SG	633	570	696
	>300		SFGRS	SG	633	570	696
2099	40	60	SFALS	SG	320	165	380
	10	20	SFCO	SG	633	570	696
	40	60	SFGRS	SS	830	800	1000

Di seguito si riporta le descrizioni nel dettaglio di ogni singola zona individuata, individuata nella Carta delle MOPS del presente studio.

- **ZONE STABILI:** non sono state cartografate zone stabili poiché sul territorio sono state individuate solo zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.
- ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI:

#### MOPS 2001:



Questa microzona, che corrisponde grossomodo all'area della Grande Sentinella, è ubicata nella porzione nord-occidentale del comprensorio comunale indagato.

È caratterizzata dalla presenza di depositi piroclastici sabbioso-limosi massivi, da poco a moderatamente addensati, con spessore da 30 a 90m (SM cd) a luoghi coperti da depositi eluvio colluviali e limo sabbiosi argillosi poco coesivi (ML ec ) ed eterometrici piroclastici (GM fd), poggianti su substrati geologici costituiti dalave trachitiche fratturate con spessori da i 10 a i 70m (SFLP), depositi argillosi, argilloso-siltosi con spessore da 10 a 20m(SFCO) seguiti da depositi epiclastici siltosi fratturati depositi tufacei del Monte Epomeo con spessori massimo 300m (SFGRS). Per le caratteristiche litostratigrafiche emorfologiche date soprattutto dalla presenza di orli di scarpate di altezza anche superiori ai 20m ed instabilità di versante, sono possibili fenomeni di amplificazione sismica locale.

In questa zona sono state eseguite:

- n°2 prove di sismica attiva con la tecnica MASW (L20-L23);
- n°16 prove di sismica passiva attraverso la registrazione a stazione singola HVSR (P36-P38-P43-P46-P47-P48-P49-P53-P80-P81-P82-P83-P91-P94-P98-P124);
- n°2 Array bidimensionali (P151-P152).

Dalle prove HVSR si evidenzia la presenza di un picco compreso tra 1.2 e 1.5Hz.



Figura 195 - Profilo di velocità dell'onda di taglio, indagine 063019L23



Figura 196 - Identificativo indagineHVSR 063019P46



Figura 197 - Identificativo indagine HVSR 063019P48



Figura 198 - Identificativo indagine HVSR 063019P80

#### RTP geologi Toscano-Cuccurullo-D'Anna



Figura 199 - Identificativo indagine ESAC 063019P151



Figura 200 - Identificativo indagine ESAC 063019P152



Figura 201 - Colonna stratigrafica con schemi dei rapporti litostratigrafici MOPS 2001

MOPS 2002:



Questa microzona, è ubicata nella parte occidentale del comprensorio di Casamicciola Terme, corrispondente alla ''zona rossa'' maggiormente danneggiata dai principali terremoti recenti e storici. Essa è stata delimitata sulla base delle faglie individuate e corrisponde, strutturalmente, a un graben. È caratterizzata dalla presenza di depositi piroclastici sabbioso-limosi massivi, con spessore da 70 a 100m (SMcd) a luoghi coperti da terreni di riporto (RIzz) e depositi eluvio colluviali e limo sabbiosi argillosi, con spessoremassimo di 15m (MLec), poggianti su accumuli gravitativi di frane con spessore di 50/70m e substrati costituiti dadepositi argillosi, argilloso-siltosi con spessore da 45 a 55m (SFCO). Per le caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche (date da instabilità di versanti), nell'area sono possibilifenomeni di amplificazionesismica locale.

In questa zona sono state eseguite:

- n°2 prove di sismica attiva con la tecnica MASW (L21-L22);
- n°14 prove di sismica passiva attraverso la registrazione a stazione singola HVSR (P21-P23-P24-P25-P27-P29-P30-P32-P34-P84-P85-P86-P87-P88);
- n°1 array bidimensionale (P153).



Figura 202 - Profilo di velocità dell'onda di taglio, indagine MASW 063019L21







Figura 204 - Identificativo indagine HVSR 042017P25



Figura 205 - Identificativo indagine HVSR 042017P29



Figura 206 - Identificativo indagine HVSR 042017P30



Figura 207 - Identificativo indagine HVSR 042017P34



Figura 208 - Identificativo indagine HVSR 042017P86



Figura 209 - Identificativo indagine HVSR 042017P87



Figura 210 - Identificativo indagine ESAC 063019P153



Figura 211 - Colonna stratigrafica con schemi dei rapporti litostratigrafici MOPS 2002

MOPS 2003:



Microzona, presente a nord e rappresentativa dell'area delle Antiche Terme, è costituita da depositi sabbiosi, con spessore da 20 a 50m (SMca), coperti da sabbie medio fini (SMpi) con spessori da 5 a 15m e riporti con spessori 5m, poggianti su substrati geologici costituiti da depositi argillosi, argilloso-siltosi con spessore massimo di 15-20m (SFCO), depositi epiclastici siltosi massivi con spessore da 20 a 30m e infine sui depositi tufacei(SFGRS). Per le caratteristiche litostratigrafiche emorfologiche (conoidi alluvionali e orli di scarpate), sono possibili fenomeni di amplificazione sismica locale.

In questa zona sono state eseguite:

- n°1 prova di sismica attiva con la tecnica MASW (L11);
- n°5 prove di sismica passiva attraverso la registrazione a stazione singola HVSR (P61-P62-P75-P93-P97);
- n°1 array bidimensionale (P162).

L'array eseguito evidenzia la presenza di valori di Vs superiori a 800 m/sec dalla profondità di circa 140m dal p.c. all'interno del complesso del tufo verde del Monte Epomeo che quindi, localmente, è stato considerato come un substrato sia geologico che sismico.



Figura 212 - Identificativo indagine MASW063019L11



Figura 213 - Identificativo indagine HVSR063019P61



Figura 214 - Identificativo indagine HVSR063019P62



Figura 215 - Identificativo indagine HVSR 063019P75



Figura 216 - Identificativo indagine HVSR 063019P93



*Figura 217 - Identificativo indagine HVSR 063019P97* 



Figura 218 - Identificativo indagine ESAC 063019P162



*Figura 219 - Colonna stratigrafica con schemi dei rapporti litostratigrafici MOPS 2003* 

#### **MOPS 2004**



Questa MOPS è ubicata in due settori del territorio comunale di Casamicciola Terme, uno posto a Ovest, a confine con il Comune di Lacco Ameno, e uno posto nel settore centro settentrionale (tra Piazza Bagni e Viale Paradisiello). Sotto l'aspetto geolitologico è caratterizzata dalla presenza di depositi piroclastici sabbioso-limosi massivi, con spessore da 10 a 40m (SMca) e sabbie fini con inclusi lavici, di spessore massimo 60m (SMcd), coperti da terreni di riporto (RI) con spessore massimo 5m, depositi eluvio colluviali e limo sabbiosi argillosi (MLec), poggianti su substrati geologici costituiti dadepositi argillosi, argilloso-siltosi con spessore da 15 a 40m (SFCO) e depositi epiclastici massivi seguiti dal substrato tufaceo (SFGRS). Per le caratteristiche litostratigrafiche, nonché per quelle morfologiche, date dalla presenza di orli di scarpate, frane, in quest'area sono possibili fenomeni di amplificazione sismica locale.

In questa zona sono state eseguite:

- n°2 prove di sismica attiva con la tecnica MASW (L16-L19);
- n°16 prove di sismica passiva attraverso la registrazione a stazione singola HVSR (P31-P33-P35-P37-P39-P40-P41-P44-P45-P50-P71-P72-P78-P79-P89-P95);
- n°1 array bidimensionale (P164).



Figura 220-profili di velocità onda di compressione e taglioMASW 063019L19



Figura 221 - Identificativo indagine HVSR 063019P33



Figura 222 - Identificativo indagine HVSR 063019P35



Figura 223 - Identificativo indagine HVSR 063019P41



Figura 224 - Identificativo indagine HVSR 063019P79



Figura 225 - Identificativo indagine HVSR 063019P89



Figura 226 - Identificativo indagine ESAC 063019P164



Figura 227 - Colonna stratigrafica con schemi dei rapporti litostratigrafici MOPS 2004

MOPS 2005:



Questa microzona è situata nel settore nord-orientale, alle pendici del Monte Rotaro. È caratterizzata dalla presenza di depositi eluvio colluviali elimo sabbiosi argillosi poco coesivi (MLec), eterometrici di versante e da frana (GMfd), piroclastici sabbioso-limosi (SMtm), con spessori da 5 a 20m, poggianti su substrato costituito da successioni di lave, piroclastiti e brecce stratificate, alterati al top (SFALS), che in profondità superano i valori di 800 m/sec. Per le caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche dell'area sono possibili fenomeni di amplificazione sismica locale dovuti a orli di scarpate e instabilità di versanti.

In questa zona sono state eseguite:

- n°1 prova di sismica attiva con la tecnica MASW (L15);
- n°7 prove di sismica passiva attraverso la registrazione a stazione singola HVSR (P52-P58-P63-P64-P69-P70-P73);



Figura 228-profili di velocità identificativo indagine MASW 063019L15



Figura 229- identificativo indagine HVSR 063019P52



Figura 230- identificativo indagine HVSR 063019P63



Figura 231– identificativo indagine HVSR 063019P70



*Figura 232 - Colonna stratigrafica con schemi dei rapporti litostratigrafici MOPS 2005*
MOPS 2006:



Microzona situata su gran parte del territorio comunale indagato, in particolare nel settore centro meridionale (falde del Monte Epomeo), caratterizzata stratigraficamente da depositi eluvio colluviali e limo sabbiosi argillosi poco coesivi (MLec), depositi eterometrici di versante e frana (GMfd) e depositi piroclastici sabbioso-limosi (SMfd) con spessori da 10 a 30m, poggianti su substrati geologici costituiti da depositi epiclastici siltosi con spessore da 10 a 40m ed infine dai depositi tufacei massivi (SFGRS).

Per le caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche (frane e orli di terrazzi), in quest'area sono possibili fenomenidi amplificazione sismica locale.

• n°9 prove di sismica passiva attraverso la registrazione a stazione singola HVSR (P12-P13-P14-P16-P17-P19-P26-P59-P60);



• n°1 array bidimensionale (P163).

Figura 233 - Identificativo indagine HVSR 063019P12



Figura 234 - Identificativo indagine HVSR 063019P16



Figura 235 - Identificativo indagine HVSR 063019P59



Figura 236 - Identificativo indagine ESAC 063019P163



Figura 237 - Colonna stratigrafica con schemi dei rapporti litostratigrafici MOPS 2006

MOPS 2007:

# 2007

Questa microzona, ubicata nel settore nord occidentale della zona di studio (corrispondente al terrazzo di Via Eddomade), è caratterizzata dalla presenza di depositi piroclastici sabbioso-limosi (SMtm), depositi di versante (GMfd) e riporti, con spessori massimi di 10m poggianti su depositi sabbiosi (SMca) con spessori 10-20m e tufi a grana fina (SMsc) con spessori 20-25m, che poggiano su substrati geologico argillitico (SFCO) e successivamente su substrati sismici (SFGRS).

Per le caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche (frane, e orli di terrazzi), in questa microzona sono possibili fenomeni di amplificazione sismica locale.

- n°2 prove di sismica passiva attraverso la registrazione a stazione singola HVSR (P54-P55);
- n°1 prova di sismica attiva con la tecnica MASW (L20);



Figura 238 - Identificativo indagine HVSR 063019P54



Figura 239 - Identificativo indagine MASW 063019L20



Figura 240 - Colonna stratigrafica con schemi dei rapporti litostratigrafici MOPS 2007

MOPS 2099:



È diffusa su gran parte del territorio comunale ed è rappresentativa dei differenti substrati geologici in affioramento:

- 1. depositi argillosi ed argilliti alterati al top (SFCO);
- 2. lave trachitiche massive della Fudera (SFLP);
- 3. depositi epiclastici siltosi (SFGRS);
- 4. successioni di lave, piroclastiti brecce stratificate, tufi stratificati, alterati (SFALS).

Per le caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche caratterizzate da picchi isolati, orli di scarpate e frane, in questa MOPS sono possibili fenomeni di amplificazione sismica locale.

- n°3 prove di sismica attiva con la tecnica MASW (L12-L14-L17);
- n°10 prove di sismica passiva attraverso la registrazione a stazione singola HVSR (P18-P22-P42-P65-P66-P67-P68-P74-P76-P77);



Figura 241-profili velocità onde, Identificativo indagine MASW 063019L12



Figura 242-profili velocità onde, Identificativo indagine MASW 063019L14



Figura 243-Identificativo indagine HVSR 063019P18



Figura 244–Identificativo indagine HVSR063019P22



Figura 245- Identificativo indagine HVSR 063019P42



Figura 246- Identificativo indagine HVSR 063019P66



Figura 247– Identificativo indagine HVSR 063019P77



Figura 248 - Colonna stratigrafica con schemi dei rapporti litostratigrafici MOPS 2099

## 8.5 Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3

Sono state prodotte, ed allegate alla presente relazione illustrativa, n. 3 Carte di Microzonazione Sismica di Terzo Livello, redatte secondo gli Standard ed i Protocolli di riferimento, in funzione dei valori dei Fattori di Amplificazione calcolati per i tre differenti periodi di interesse (0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s), con le modalità descritte in precedenza. Dunque ad ogni Microzona individuata è stato assegnato un differente valore di FA per ognuna delle cartografie. Il valore di FA assegnato è relativo al confronto tra la modellazione monodimensionale e bidimensionale, da cui è stata scelta la terna di valori con l'FA massimo per il periodo 0.1-0.5s (considerato di maggior interesse ingegneristico per il territorio comunale di Casamicciola Terme).

- La tavola relativa al periodo 0.1-0.5s mostra fattori valori di FA particolarmente elevati per le MOPS 2002 (Piazza Maio e Zona Rossa, mediamente pari a 2.22), 2004 (1.95) e 2007 (1.88), mentre i valori più bassi sono attribuibili alla MOPS 2001 (Grande Sentinella) con valori pari a 1.45;
- La tavola relativa al periodo 0.4-0.8s restituisce valori molto elevati di FA per la MOPS 2002 (Piazza Maio e Zona Rossa, mediamente pari a 3.21), e la MOPS 2004 (2.43). I fattori di amplificazione più bassi si riscontrano per le MOPS 2005 (1.57) e 2007 (1.69);
- Nella tavola relativa al periodo 0.7-1.1s i valori più elevati di FA sono attribuiti alle MOPS 2002 (3.22), 2001 (2.58) e 2004 (2.25), mentre in questo caso i valori di FA più bassi si individuano per le MOPS 2007 (1.24) e 2099 (1.33).

Si riscontra facilmente che i valori più elevati di FA sono sempre attribuibili alla MOPS 2002 (Piazza Maio e Zona Rossa), verosimilmente a causa delle particolari condizioni geostrutturali che la caratterizzano.

Per le prospezioni sismiche down-hole in foro (DH1 e DH2) e per gli array sismici bidimensionali, è stato effettuato il calcolo delle Vs medie ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018.

Il calcolo della media pesata ha fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine nelle categorie  $B \in C$  del D.M. 17 gennaio 2018.

Questa categoria è stata ricavata, come da normativa, dalla relazione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove  $h_i e^{V_i}$  indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti fino ad individuare il bedrock sismico o qualora non individuato nei primi 30 metri di profondità al di sotto del piano fondale. Risulta doveroso, a tal proposito, evidenziare che la valutazione della Vs<sub>eq</sub> calcolata è da ritenersi puntuale e valida soltanto per il punto oggetto d'indagine e non può essere estesa a tutta le MOPS in cui la prospezione ricade.

Tabella 92 - Categorie Suoli di Fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).

## Categorie di sottosuolo

Decreto del 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni

#### Categoria A

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da **valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s**, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

#### Categoria B

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da **valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s**.

#### Categoria C

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da **valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s**.

#### Categoria D

Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da **valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s**.

#### Categoria E

Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m.

Prospezione sismica	V <sub>seq</sub> (m/s)	Categoria Suoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)
P56	[417]	В
P57	[359]	С
P151	[344]	С
P1 52	[269]	С
P1 53	[330]	С
P162	[331]	С
P164	[324]	С

Tabella 93 - Categoria Suolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismiche Down-hole ed array bidimensionali.

## 8.6 Commenti finali e criticità

Lo studio di III livello di Microzonazione Sismica per il territorio comunale di Casamicciola Terme ha permesso di pervenire ad una microzonazione approfondita del territorio indagato basata su metodologie analitiche di analisi di tipo quantitativo.

Lo studio è stato condotto con acribia sulla scorta di un continuo scambio di informazioni, dati ed interpretazioni, con la struttura di supporto coordinata dal CNR IGAG per il centro MS, attraverso differenti fasi operative che possono essere così riassunte:

- Analisi geologica, geomorfologica, litostratigrafica e geologico tecnica del territorio comunale sulla base della bibliografia recente, lavori pubblici e privati;
- Definizione di un accurato piano di indagini sia geognostiche che soprattutto geofisiche finalizzate a quantificare la risposta sismica locale in maniera omogenea per il territorio oggetto di studio e che hanno integrato la campagna geofisica pregressa;
- Elaborazione dei dati ottenuti in cantiere con successiva formulazione delle MOPS e definizione di un modello del sottosuolo;
- Elaborazione del Modello di sottosuolo definitivo;
- Elaborazione di simulazioni numeriche 1D e 2D (queste ultime a cura del centro MS);
- Definizione della Modellazione sismica di III livello per l'area di studio;
- Redazione delle tavole conclusive e della presente relazione illustrativa.

L'analisi effettuata ha permesso di suddividere il territorio d'interesse in n° 8 Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, per le quali sono stati definiti sufficientemente i modelli geologici e sismici, sia delle coperture sia del substrato geologico e a cui sono stati attribuiti i rispettivi fattori di amplificazione del moto sismico. Tutto lo studio di III Livello, pertanto, ha avuto il fine di quantificare l'amplificazione sismica delle microzone ed è stato svolto rispettando quanto indicato dal disciplinare d'incarico sfruttando, al contempo e al massimo, tutte le informazioni e le conoscenze disponibili derivanti dalle indagini pregresse e quelle svolte.

Il piano di indagini svolto ha consentito di rilevare, in particolare, profili sismostratigrafici rappresentativi che hanno consentito di individuare le MOPS in relazione a vari fattori, quali:

- posizione del substrato sismico;
- posizione del substrato geologico;
- spessore delle coperture date da materiali di riporto, depositi di versante ed eluvio colluviali, e sabbie piroclastiche;

Per quanto riguarda le instabilità di versante, oltre ad una dettagliata analisi storica, sono stati rilevati, attraverso un rilevamento geologico, due movimenti gravitativi recenti, mentre le frane cartografate dal PAI e dall'IFFI sono state rappresentate senza variazione alcuna.

In dettaglio, il presente studio di III livello di MS ha evidenziato una significativa predisposizione ad effetti di amplificazione sismica in alcune aree del territorio comunale. Dalle tre carte di

Microzonazione Sismica di III livello redatte si riscontra come le frazioni comunali oggetto di studio mostrino una situazione abbastanza diversificata. Infatti i valori più elevati di FA (per tutti e tre i differenti periodi di interesse presi in esame) sono sempre attribuibili alla MOPS 2002 relativa all'area di Piazza Maio ed alla Zona Rossa, verosimilmente a causa delle particolari condizioni geostrutturali che le caratterizzano e che corrispondono altresì alle aree maggiormente danneggiate dall'evento sismico del 21 agosto 2017 e da quelli storici. In quest'area il graben strutturale 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 risultato il più elevato riscontrato, compreso tra 2.22 e 3.22, per tutti e tre gli intervalli di periodo considerati.

Valori più bassi di FA sono attribuibili, invece, all'area della Grande Sentinella (MOPS 2001) e a quella del porto e delle Antiche Terme (MOPS 2003). Nelle suddette gli effetti di sito sono stati e possono essere determinati anche dall'effetto topografico dovuto alla presenza degli alti strutturali.

La microzona, per la quale gli effetti di amplificazione del segnale sismico sono caratterizzati da un minore discrepanza (da 1.33 a 1.76 nei tre intervalli di periodo considerati), è la MOPS 2005, ubicata alle pendici del Rotaro, contraddistinta da depositi eluvio colluviali e limo sabbiosi con spessori da 5 a 20m, poggianti su substrato di lave.

In Figura 249 è riportato un grafico di sintesi in cui sono rappresentate le variazioni dei fattori di amplificazione nei tre periodi di riferimento per ciascuna microzona individuata.



Figura 249-variazione di fattore di amplificazione per ogni microzona

Circa le criticità relative alle indagini, si può notare un gran numero di prospezioni geofisiche realizzate e pregresse, prevalentemente nella 'ZONA ROSSA'' e Gran Sentinella, mentre i sondaggi

geognostici risultano in numero piuttosto esiguo e andrebbero integrati in maniera cospicua e patula.

Per le prospezioni sismiche in foro e per gli array sismici è stato effettuato il calcolo delle Vs medie ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018. Si sottolinea che la valutazione della Vs<sub>eq</sub> calcolata è da ritenersi puntuale e valida soltanto per il punto oggetto d'indagine e non può essere estesa a tutta la microzona in cui la prospezione ricade.

Si sottolinea che in fase di pianificazione e progettazione di nuovi insediamenti e/o di verifica sismica di quelli esistenti è auspicabile effettuare analisi di Risposta Sismica Locale in particolare in aree in frana ed in quelle geomorfologicamente più esposte a fenomeni di amplificazione sismica locale (orli di scarpata, bordi di valli ove le coperture presentano spessori differenti, picco isolato, creste et similia) e ove le condizioni morfologiche si discostano in misura significativa rispetto al valore limite di acclività.

# 9. Bibliografia e sitografia

Bibliografia:

- 1. AA. VV. -INGV-Ricerca di risorse geotermiche finalizzata alla sperimentazione di un impianto pilota nel Comune di Serrara Fontana (ISOLA D'ISCHIA-NA), 2011.
- 2. AA.VV., "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.
- 3. AA.VV.,Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Associazione Geotecnica Italiana (AGI) 1977.
- 4. Acocella, Funiciello, 1999, The interactionbetweenregional and localtectonicsduringresurgentdoming: the case of the island of Ischia, Italy. Journal of Volcanology and GeothermalResearch. pp 109-123.
- 5. 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.
- 7. Alessio, G., Esposito, E., Ferranti, L., Mastrolorenzo, G., Porfido, S., 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
- 9. Baratta M. (1901). I terremoti d'Italia. Saggio di storia, geografia e bibliografia sismica italiana. (ristampa anastatica, Sala Bolognese 1979). Torino 1901.

- Barra, D., Cinque, A., Italiano, A., Scorziello, R., 1992. II, Pleistocene superiore di Ischia: Paleoecologiae rapporti con l'evoluzione tettonica recente. Studi Geol. Camerti, Vol. Spec. 231-243.
- 11. Bazzurro P., Cornell C.A. (1999) Disaggregation of seismichazard. Bulletin of the Seismological Society of America 89, 501-520.
- 12. Bonito, M., 1691. Terra tremante o vero continuationedè terremoti dalla creatione del mondo fino al tempo presente, Napoli.
- Brown R.J., Orsi G., de Vita S. (2008) New insightsinto Late Pleistocene explosivevolcanicactivity and caldera formation on Ischia (southernItaly). - Bull. Volcanol. 70(5), 583-603.
- 14. Capaldi, G., Civetta, L., Gasparini, P., 1976. Volcanichistory of the Island of Ischia \_South Italy.. Bull. Volcanol. 41, 11-22.
- 15. Carlino S., Cubellis E. Marturano A., 2008. Effetti del terremoto di Casamicciola del 1883 (isola d'Ischia): ruolo della geologia ed effetti di sito. Atti del 27° convegno nazionale GNGTS-2008.
- 16. Carlino S., Somma R., Troiano A., Di Giuseppe M.G., Troise C., De Natale G. (2014) The geothermalsystem of Ischia Island (southernItaly): Critical review and sustainabilityanalysis of geothermalresource for electricity generation. Renewable Energy 62, 177-196.
- 17. Carrara, E., Iacobucci, F., Pinna, E., Rapolla, A., (1973). Gravity and magneticsurvey of the campanianvolcanic area, S.Italy. Boll. Geof. Teor. Appl. 15, 39-51.
- 18. Cassignol C., Gillot P.Y. (1982). Range and effectiveness of unspikedpotassium-argon dating: experimentalgroundwork and applications. In : G.S. Odin (Editor), NumericalDating in Stratigraphy. Willey, Chichester, pp. 159-179.
- 19. Celico et ali, 1999. La complessità idrogeologica di un'area vulcanica attiva: l'isola di Ischia. Boll. Soc. geol., 188 (1999) 485-504;
- 20. Chiesa, S., Civetta, L., De Lucia, M., Orsi, G., Poli, S., 1987. Volcanologicalevolution of the island of Ischia. Rend. Acc. Sc. Fis. Mat. Napoli. Sp. Issue 69-83.
- 21. 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.
- 22. 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.
- 23. Cubellis, E., 1985. II. 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.
- 24. D'Amico V., Albarello D. (2008) SASHA: a computer program to assess seismic hazard from intensity data. Seism. Res. Lett., 79, 5, 663-671.
- 25. Darendeli M.B. (2001). Development of a new family of normalised modulus reduction and damping curves. Ph.D. The University of Texas at Austin.
- 26. 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.

- 27. De Vita, S., Sansivero, F., Orsi, G., Marotta, E., Piochi, M., 2010. Volcanological and structuralevolution of the Ischia resurgent caldera (Italy) over the past 10 ka. Geological Society of America, Special Paper, 464: 193-239.
- 28. Del Prete S. & Mele R. (1999) L'influenza dei fenomeni di instabilità di versante nel quadro morfoevolutivo della costa dell'isola d'Ischia. Boll. Soc. Geol. It., 118 (2), 339-360.
- 29. Evans S.G. &Hungr O. (1993) The assessment of rock fall hazard at the base of talus slopes. Canadian Geotechnical Journal, 30, 620-636.
- 30. Faccenna, C., Funiciello, R., Bruni, A., Mattei, M., Sagnotti, L. (1994). Evolution of a transferrelatedbasin: The Ardea basin (Latium, centralItaly). Basin Res. 6, 35-46.
- 31. Fedi, M., Rapolla, A., 1987. The campanianvolcanic area: Analysis of the magnetic and gravimetricanomalies. Boll.Soc. Geol. Ital. 106, 793-805.
- 32. Finetti I., Morelli C., 1974. Esplorazione sismica a riflessione dei Golfi di Napoli e Pozzuoli.Boll. Geof: Teor.Appl., 16, 175-222.
- 33. Funiciello, R., Locardi, E., Parotto, M., 1976. Lineamenti geologici dell.area sabatina orientale. Boll. Soc. Geol. Ital. 95, 831-849.
- 34. Fusi N., Tibaldi A. & Vezzoli L. (1990) Vulcanismo, Risorgenzacalderica e relazioni con la tettonica regionale nell'isola d'Ischia. 75° Conv. Soc. Geol. Ital.
- 35. Galli P. (2000) New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction. Tectonophysics, 324, 169-187.
- 36. Gatta L., 1883. Il disastro di Casamicciola. Gazzetta Letteraria di Torino. 11 agosto, Torino. B.N.R.
- 37. GdLMS (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.
- 38. Gillot P.Y., Chiesa S., Pasquare G., Vezzoli L., 1982. 633,000 yr K-Ardating of the volcanotectonichorst of the isle of Ischia, Gulf of Naples. Nature 229, 242-24
- 39. Grablovitz, G., 1889. Funzionamento degli apparecchi in occasione di un terremoto nell'Isola d'Ischia. Ann. Uff. Centr. Meteor. Geodin., s. II, 11, p. III (1893), pp. 175-180
- 40. Grünthal, G. (Ed.) (1998): EuropeanMacroseismic Scale 1998 EMS-98, (Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie
- 41. Guadagno, F.M., Mele, R., 1995. I. Movimenti franosi indotti da terremoti nell'Isola d'Ischia.
  In: Bonardi, G., De Vivo, B., Gasparini, P., Vallario, A., Cinquant'anni di attività didattica e scientifica del Prof. Felice Ippolito. Liguori Editore, Napoli.
- 42. Guadagno F.M. & Mele R. (1995) La fragile isola d'Ischia. Geol. Appl. eldrogeol., 30 (1), 177-187 - Atti I Conv. G.N.G.A., Taormina.
- 43. Heim A. (1932) Bergsturz und Menschenleben. Zurich, Fretz and WasmuthVerlag, 218 pp.
- 44. Hudson M., Idriss I.M., Beikae M. (2003). User's Manual for QUAD4M. Center for GeotechnicalModeling. University of California, Davis.
- 45. Iervolino I., Baltzopoulos G., Chioccarelli E. (2017). Preliminary engineering report on groundmotion data of the Aug 21st 2017 Ischia earthquakeV1.0.. DOI: 10.13140/RG.2.2.31712.99842, availableathttp://www.reluis.it.

- 46. Iervolino I., Galasso C., Cosenza E. (2009). REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. Bulletin of EarthquakeEngineering, 8:339-362. DOI 10.1007/s10518-009-9146-1.
- 47. Ippolito F., D.Argenio B., Pescatore T., Scandone P., 1973a. Unità stratigrafico-strutturali e schema tettonicodell'Appennino Meridionale. Istituto di Geologia e Geofisica dell'Università di Napoli, pubbl. num.15.
- 48. 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.
- 49. Johnston Lavis H. J. 1885. Monograph of the earthquakes of Ischia, London-Naples.
- 50. Keefer, D.K. (1984) Landslides caused by earthquakes. Geological Society of America Bulletin, 95(4), 406-421.
- 51. 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.
- 52. Kirkby M.J. & Statham I. (1975) Surface stone movement and scree formation. Journal of Geology 83, 349-62. Korner, 1980
- 53. Kottke A.R., Rathje E.M. (2008). Technical manual for Strata. Report No.: 2008/10. Pacific EarthquakeEngineeringResearch Center, University of California, Berkeley.
- 54. Lenti L., Martino S., Paciello A., Prestininzi A., Rivellino S. (2015). Recordeddisplacements in a landslideslope due to regional and teleseismicearthquakes. Geophysical Journal International, vol. 201, p. 1335-1345.
- 55. Licata, V. (2015). A laboratory and fieldstudy on cyclicliquefaction of a pyroclasticsoil. Tesi per il conseguimento del titolo di dottore di ricerca in Ingegneria Geotecnica - Università degli studi di Napoli Federico II
- 56. Luongo, G., Cubellis, E., Di Vito, M., Cascone, E., 1995. L'isola d'Ischia: dinamica e struttura del M. Epomeo. In: Bonardi, G., De Vivo, B., Gasparini, P., Vallario, A., Cinquant'anni di attività didattica e scientifica del Prof. Felice Ippolito. Liguori Editore, Napoli.
- 57. Luongo, G., S. Carlino, E. Cubellis, I. Delizia, R. Iannuzzi, F. Obrizzo, 2006. Il terremoto di Casamicciola del 1883: una ricostruzione mancata. Alfa Tipografia, Napoli, 64 pp.
- 58. Mariani, M., Prato, R., 1988. I bacini neogenici costieri del margine tirrenico: approccio sismicostratigrafico. Mem. Soc. Geol. It., 41, 519-531.
- 59. Marmoni, G. M., S. Martino, M. J. Heap, and T. Reuschlé (2017) Gravitationalslopedeformation of a resurgent caldera: New insights from the mechanicalbehaviour of Mt. Nuovo tuffs (Ischia Island, Italy) J. Volcanol. Geoth. Res. 345, 1-20.
- 60. McClung D.M. & Lied K. (1987) Statistical and geometrical definition of snow avalanche runout. Cold Regions Science and Technology 13, 107–19.
- 61. McGuire, R. K. (1995). Probabilisticseismichazardanalysis and design earthquakes: closing the loop, Bull. Seism. Soc. Am. 85, 1275-1284.
- 62. Meletti C., Patacca E., Scandone P., (2000): Construction of a seismotectonic model: the case of Italy. Pageoph, 157, 11-35.

- 63. Mercalli G., 1881. I terremoti dell'Isola d'Ischia. Atti Soc.Ital. Sc. Nat. 24, 20-37.
- 64. Mercalli G., 1883. Vulcani e fenomeni vulcanici in Italia. Vallard, Milano. B. N.N.
- 65. Mercalli G., 1884. I terremoti e le eruzioni dell'Isola d'Ischia. La Rassegna Nazionale, 17, 40-52.
- 66. Molin P., Acocella V., Funiciello R., Structural, seismic and hydrothermalfeaturesat the border of an active intermittent resurgent block: Ischia Island (Italy). Journal of Volcanology and Geothermal Research 121 (2003) 65^81.
- 67. Nakamura Y. (1989) A method for dynamiccharacteristicsestimation of subsurfaceusingmicrotremor on the groundsurface. Quarterly Report of Railway Technical ResearchInstitute (RTRI), Vol. 30, No. 1.
- 68. Newmark N.M. (1965) Effects of earthquakes on dams and embankments. Geotechnique 15, 139-159.
- 69. NTC18. D.M. 17/01/2018. Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni». Gazzetta Ufficiale, n.42 del 20/02/2018 supplemento ordinario n.8.
- 70. 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, <u>http://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2018/02/20/42/so/8/sg/pdf</u>.
- 71. 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.
- 72. Orsi, G., Gallo, G., Zanchi, A., 1991. Simple-shearingblockresurgence in caldera depression. A model from Pantelleria and Ischia. J. Volcanol. Geotherm. Res. 47, 1-11.
- 73. Ortolani F., 2009. Le colate di fango del 10 novembre 2009 di Casamicciola Terme (Ischia).
- 74. Paoletti, V., D'Antonio, M., Rapolla, A., 2013. The structuralsetting of the Ischia Island (PhlegreanVolcanicDistrict, Southern Italy): inferences from geophysics and geochemistry. Journal of Volcanology and GeothermalResearch, 249, 155-173
- 75. Paparo, M.A., Tinti, S. (2017). Analysis of Seismic-DrivenInstability of Mt. Nuovo in the Ischia Island, Italy. Bulletin of the Seismological Society of America.
- 76. Penta P. Conforto B., 1951 Risultati di sondaggi e di ricerche geominerarie nell'isola d'Ischia dal 1939 al 1943 nel Campo del vapore, delle acque termali e delle « forze endogene » in generale pp. 159 -190
- 77. Piochi M., 1995 The Ischia magmaticsystem in the last 10 ka: geochemical and geophysicalevidence. Plinius 13, 190-196
- 78. Rittmann A. (1930) Geologie derInsel Ischia. Z f VulkanolErganzungsband, 6.
- 79. Rittman A., Gottini, V., 1980. L'isola di Ischia-Geologia. Boll. Ser. Geol. Ital. 101, 131^274.
- 80. Rolandi e Bortoluzzi, 1990 Studio geologico allegato al PIANO REGOLATORE GENERALE.
- 81. Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the ParametricCatalogue of ItalianEarthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15.
- 82. Safen, 1951. Ricerche di Acqua termale e di vapore nei Campi Flegrei e nell'Isola d'Ischia. University of Rome 'La Sapienza'.

- 83. Santacroce R., Cristofolini R., La Volpe L., Orsi G., Rosi M. (2003). Italian Active Volcanoes. Episodes, 26 (3): 227-234.
- 84. Santucci de Magistris F., d'Onofrio A., Penna A., Puglia R., Silvestri F. (2014).
  Lessonslearned from two case histories of SeismicMicrozonation in Italy. Natural Hazards 74 (3): 2005-2035.
- 85. Sbrana A., Marianelli P., Pasquini G., 2018, Volcanologicalmap of Ischia Scala 1:10.000.
- 86. Sbrana, A., Toccaceli, R.M. (2011) Carta Geologica della Regione Campania alla scala
  1:10.000. Foglio 464 Isola d'Ischia. Progetto CARG Campania, Assessorato Difesa del
  Suolo. Litografia artistica cartografica, Firenze. 216 pp + 1 carta.
- 87. 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.
- 88. Slejko D., Peruzza L. and Rebez A.; (1998): Seismichazardmaps of Italy. Annali di Geofisica, 41, 183 214.
- 89. 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
- 90. Stucchi, M., Meletti, C., Montaldo, V., Crowley, H., Calvi, G. M., & Boschi, E. (2011). Seismichazardassessment (2003–2009) for the Italian building code. Bulletin of the Seismological Society of America, 101(4), 1885-1911.
- 91. Tibaldi A. & Vezzoli L. (1998) The spaceproblem of caldera resurgence: an example from Ischia Island, Italy. Geol. Rundsch. 87, 53-66.
- 92. Tibaldi, A., Vezzoli, L., 2000. Late Quaternarymonoclinalfoldinginduced by calderaresurgenceat Ischia, Italy. In: Cosgrove, J.W., Ameen, M.S. (Eds.), ForcedFolds andFractures: Geol. Soc. Spec. Publ.,London, vol. 169, pp. 103–113.
- 93. Tibaldi, A., Vezzoli, L., 2004. A newtype of volcanoflankfailure: the resurgent caldera sectorcollapse, Ischia, Italy. Geophys. Res. Lett. 31, L14605. doi:10.1029/2004GL020419.
- 94. Vezzoli L (1988) Island of Ischia. In: Vezzoli L (ed) CNR Quaderni de La ricerca scientifica, 114-10, 122 pp.
- 95. Vezzoli L. et al., 2009. Modes and times of caldera resurgence: The b10 ka evolution of Ischia Caldera, Italy, from high-precisionarchaeomagneticdating. Journal of Volcanology and GeothermalResearch 186 (2009) 305-319.
- 96. Vinale F. (1988). Caratterizzazione del sottosuolo di un'area campione di Napoli ai fini di una microzonazione sismica. Rivista Italiana di Geotecnica 22(2): 77-100.
- 97. Zaniboni, F., Pagnoni, G., Tinti, S., Della Seta, M., Fredi, P., Marotta, E., Orsi, G., 2013. The potentialfailure of Monte Nuovo at Ischia Island (Southern Italy): numericalassessment of a likelyinduced tsunami and itseffects on a denselyinhabited area (2013). Bulletin of Volcanology, 75 (11).
- 98. 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.

## Sitografia:

- 1. Banca dati DISS, Database of IndividualSeismogenicSources dell'INGV http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml.
- 2. Cartografia allegata al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Campania Centrale http://www.adbcampaniacentrale2.it/;
- 3. Catalogo parametrico terremoti italiani dell'INGV, https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/.
- 4. https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/ Database macrosismico nazionale- INGV.
- 5. http://www.questingv.it/index.php/rilievi-macrosismici/34-ischia-21-08-2017-md-4-0-rapporto-finale/file.
- 6. INGV (2006) Mappe di pericolosità sismica (http://esse1-gis.mi.ingv.it/s1\_en.php)
- 7. ITACA release 2.2 dell'INGV, http://itaca.mi.ingv.it/.
- 8. Mappa interattiva pericolosità sismica INGV http://esse1-gis.mi.ingv.it/.
- 9. Progetto IFFI (banca dati inventario fenomeni franosi d'Italia), dal sito ufficiale del Servizio Geologico Italiano, http://sgi.isprambiente.it/GMV2/index.html.
- 10. Progetto ITHACA, dal sito ufficiale del Servizio Geologico Italiano http://sgi.isprambiente.it/GMV2/index.html.
- 11. QUEST- Rilievo macrosismico per il terremoto dell'isola di Ischia del 21 agosto 2017. Rapporto finale.

## <u>10. Allegati</u>

- 11.1 Carta delle indagini in scala 1:3.500;
- 11.2 Carta delle frequenze naturali dei terreni (F0) in scala 1:3.500;
- 11.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni (Fr) in scala 1:3.500;
- 11.4 Carta Geologico-Tecnica per la MS (CGT\_MS) in scala 1:3.500;
- 11.5 Sezioni geologico-tecniche in scala 1:5.000;
- 11.6 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) in scala 1:3.500;
- 11.7Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3 in scala 1:3.500;