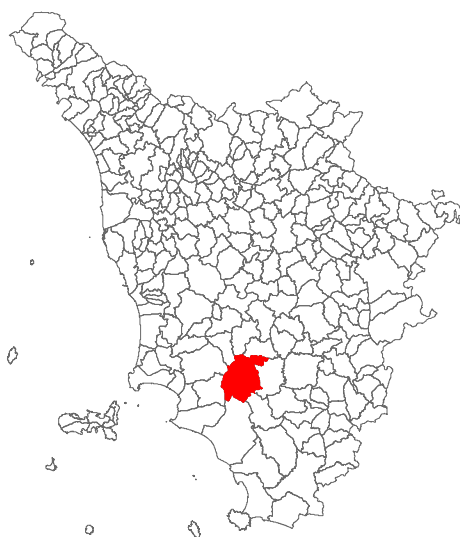


Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

### Regione Toscana Comune di Roccastrada (GR)



<b>Regione</b> Regione Toscana – Settore Sismica	<b>Soggetto realizzatore:</b> Comune di Reggello/Servizio Assetto del Territorio/RUP Arch. Anna Baglioni  Professionisti incaricati: Dott. Geol. Eros Aiello Dott. Geol. Gabriele Grandini   Via Andrea del Castagno, 8 - 50132 Firenze tel.055/571393, 055/575954; fax.055/5522329 ✉ info@geoscoprogetti.com	<b>Data</b> giugno 2018
---	---	----------------------------

## Indice generale

1. INTRODUZIONE.....	2
1.1 METODOLOGIA.....	2
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1 SISMICITA' DELL'AREA.....	5
2.2 RISCHIO SISMICO.....	8
2.3 MODELLAZIONE SISMICA.....	12
2.4 PERICOLOSITA' SISMICA.....	15
2.5 LIQUEFAZIONE – BASE TEORICA E VERIFICA per LOCALITA'.....	22
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	40
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO.....	40
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NOTAZIONI STRATIGRAFICHE.....	41
3.3 DESCRIZIONE DELLE FORMAZIONI.....	44
3.4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....	50
3.5 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E NOTAZIONI IDROGEOLOGICHE.....	53
3.6 ACCLIVITA' DEI VERSANTI.....	55
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	57
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	66
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	67
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	68
8. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	69
8.1 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE.....	71
8.2 CARTA DELLE INDAGINI E CARTA DELLE FREQUENZE.....	72
8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA.....	74
8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS).....	81
8.5 CONSIDERAZIONI RELATIVE AGLI APPROFONDIMENTI CONDOTTI SULLE VARIE PORZIONI DI TERRITORIO INDAGATE.....	86
9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....	131
10. BIBLIOGRAFIA.....	132
11. ALLEGATI.....	133

# RELAZIONE ILLUSTRATIVA

## 1. INTRODUZIONE

La Regione Toscana (Direzione Ambiente ed Energia – Settore Sismica), con Decreto Dirigenziale di G.R.T. n. 16585 del 6.11.2017 ha inserito il Comune di Roccastrada nella graduatoria dei comuni relativa alla erogazione di finanziamenti previsti per la redazione di **indagini e studi di microzonazione sismica sui centri urbani** di cui alla Del. G.R.T. n. 144 del 23.02.2015.

Il presente studio è finanziato ai sensi dell'Ordinanza O.C.D.P.C. n. 293/2015 – art. 2, comma 1 lett. a, che disciplina a livello nazionale i contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico già previsti all'art. 11 della legge n. 77 del 24 giugno 2009.

Con la delibera di cui sopra, la Regione Toscana ha definito le modalità di finanziamento degli studi Microzonazione Sismica.

Il Comune di Roccastrada, individuava nella Geo Eco Progetti il “soggetto realizzatore” delle indagini in questione da svolgersi nelle more e modalità previste dalle precipue specifiche tecniche regionali approvate con la citata Del. G.R.T. n. 144 del 23.02.2015 “*Approvazione delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica*” e con esplicito riferimento agli “*Indirizzi e Criteri Generali per la Microzonazione Sismica*” (in seguito denominati ICMS) – GdLDPC/Regioni. Documento approvato dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni nella seduta del 13 novembre 2008.

### 1.1 METODOLOGIA

La Regione Toscana, con propria Del. G.R.T. n. 144/2015, ha definito il “programma minimo” di tali studi dettagliando:

- indicazione delle aree di indagine,
- indicazione del quantitativo minimo e delle tipologie di indagine da realizzare,
- indicazione della documentazione tecnica da produrre.

In merito ai tre citati punti si dettaglia quanto segue:

#### 1) Indicazione delle aree di indagine

Secondo quanto indicato dalle istruzioni tecniche in materia le suddette attività devono essere concentrate in corrispondenza dei centri urbani maggiormente significativi che il Comune individua secondo le specifiche di cui al Par. 1.B.1.2 delle ITR (Istruzioni Tecniche Regionali) del Programma VEL e perimetra secondo i criteri definiti dagli ICMS.

L'Amministrazione Comunale, di compendio con la Struttura Regionale deputata, ha individuato le seguenti aree:

- capoluogo di Roccastrada
- frazione di Ribolla
- frazione di Roccatederighi
- frazione di Sassofortino
- frazione di Montemassi
- frazione di Madonnino

- frazione di Sticciano e Sticciano Scalo
- frazione di Piloni e Torniella

Al fine di una migliore rappresentazione delle strutture geologiche e delle fenomenologie geomorfologiche, i tematismi cartografici allestiti sono inoltre stati estesi a quelle porzioni di territorio, in adiacenza ai centri urbani, per cui fosse disponibile cartografia C.T.R. in scala 1:2.000, ricorrendo talvolta a “mosaici cartografici” con cartografia C.T.R. in scala 1:10.000, in settori di particolare interesse ove non fosse disponibile cartografia in scala 1:2.000.

## 2) Indicazione del quantitativo minimo e delle tipologie di indagine da realizzare

Relativamente alle cartografie geologiche e geomorfologiche in prima fase si è fatto riferimento alle cartografie originali in scala 1:10.000 realizzate nell’ambito del supporto geologico tecnico al vigente Piano Strutturale del Comune di Roccastrada per l'intero territorio comunale. Tali cartografie sono state rivisitate mediante le recenti indicazioni della cartografia regionale CARG e con appositi rilievi di campagna geologico e geomorfologico di dettaglio.

Si è provveduto inoltre ad acquisire tutte le indagini geognostiche e geofisiche esistenti sulle porzioni di territorio in esame reperibile presso gli archivi regionale, provinciale e comunale.

Il Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica ha, inoltre, fornito l’indicazione di minima, in funzione del quadro conoscitivo esistente, circa la realizzazione delle seguenti indagini geofisiche minime obbligatorie:

- n. 8 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde SH, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità Vp e Vs nel sottosuolo;
- n. 7 prospezioni di sismica attiva frequenziale con tecnica di tipo MASW per la valutazione del Vs30;
- n. 47 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr), e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, per determinare l’eventuale comportamento amplificativo del terreno.

## 3) Indicazione della documentazione tecnica da produrre

La delibera prevede che lo studio di microzonazione sismica restituisca i seguenti elaborati tecnici per ciascuna delle frazioni indagate:

- carta delle indagini
  - carta geologico-tecnica con relative sezioni
  - carta delle frequenze
  - carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (M.O.P.S.) con relative sezioni
- e a compendio delle varie cartografie allestite la presente relazione tecnica illustrativa.

Per le venti frazioni come sopra dettagliate sono pertanto stati realizzati tutti i tematismi sotto dettagliati su base cartografica C.T.R. in scala 1:5.000 (scala adottata per la restituzione grafica dei tematismi rilevati in scala 1:2.000 di dettaglio).

N° Elaborato	Titolo	Scala	Data di emissione
	<b>Approfondimenti per le tematiche di carattere sismico</b>		
<b>G.08/1</b>	Carta delle indagini - Ribolla	1:5.000	Giugno 2018

<b>G.08/2</b>	Carta delle indagini – Roccatederighi e Sassofortino	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.08/3</b>	Carta delle indagini – Roccastrada, Montemassi e Madonnino	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.08/4</b>	Carta delle indagini – Sticciano, Sticciano Scalo, Torniella e Piloni	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.09/1</b>	Carta delle frequenze - Ribolla	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.09/2</b>	Carta delle frequenze – Roccatederighi e Sassofortino	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.09/3</b>	Carta delle frequenze – Roccastrada, Montemassi e Madonnino	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.09/4</b>	Carta delle frequenze – Sticciano, Sticciano Scalo, Torniella e Piloni	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.10/1</b>	Carta geologico tecnica per la M.S. - Ribolla	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.10/2</b>	Carta geologico tecnica per la M.S. – Roccatederighi e Sassofortino	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.10/3</b>	Carta geologico tecnica per la M.S. – Roccastrada, Montemassi e Madonnino	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.10/4</b>	Carta geologico tecnica per la M.S. – Sticciano, Sticciano Scalo, Torniella e Piloni	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.11/1</b>	Carta delle MOPS - Ribolla	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.11/2</b>	Carta delle MOPS - Roccatederighi e Sassofortino	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.11/3</b>	Carta delle MOPS - Roccastrada, Montemassi e Madonnino	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.11/4</b>	Carta delle MOPS – Sticciano, Sticciano Scalo, Torniella e Piloni	1:5.000	Giugno 2018
<b>G.13</b>	Sezioni geologico tecniche con indicazione zone Mops	1:2.500	Giugno 2018
<b>Indagini sismiche in sito propedeutiche alla realizzazione della cartografia MOPS realizzate dalla Ditta ENKI s.r.l.</b>			
	Indagini geofisiche di caratterizzazione sismica e propedeutiche alla redazione di cartografie di microzonazione sismica Mops e pericolosità sismica costituite da: - Relazione tecnica e certificazioni delle prove - Tav. 01 Carta delle indagini - Tav. 02 Carta delle frequenze - Tav. 03 Carta di dettaglio indagini		Giugno 2014 Giugno 2018

Occorre sottolineare che la cartografia realizzata nel presente studio di “microzonazione sismica” costituisce implementazione e adeguamento del quadro conoscitivo del supporto geologico – tecnico agli strumenti urbanistici del Comune di Roccastrada, ai sensi del Regolamento Regionale n. 53/R, e risulta di fondamentale importanza per improntare future eventuali scelte secondo il principio dello sviluppo sostenibile.

A questo scopo è importante evidenziare che tutta la cartografia tematica elaborata è georeferenziata nel sistema di riferimento Gauss Boaga, e perciò coerente con la topografia della Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 / 1:2.000 ed è presentata anche nel sistema WGS84UTM33N.

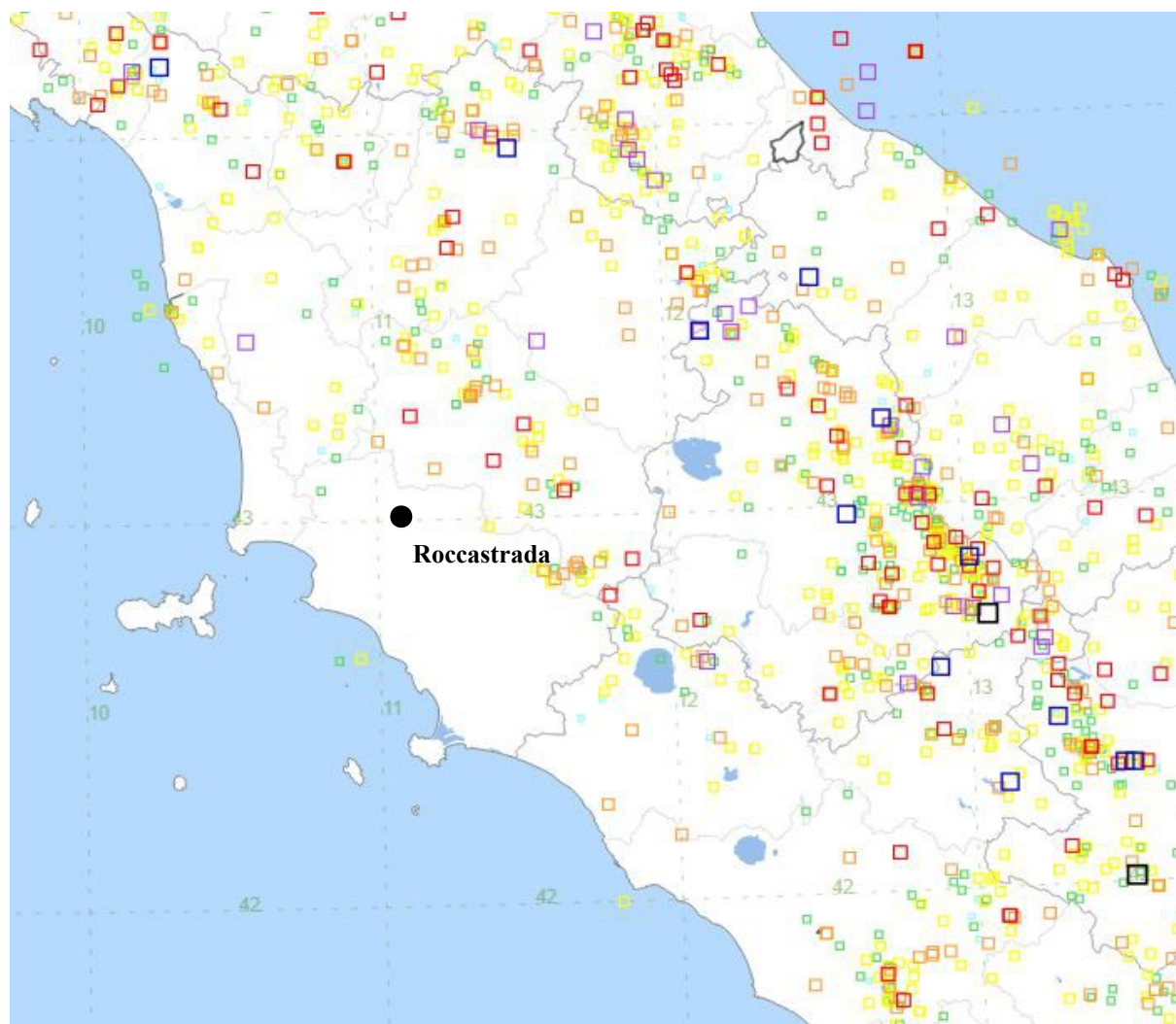
I dati tematici sono tutti vettoriali ed inseriti all’interno di una Banca Dati GIS facilmente interrogabile e aggiornabile, in ottemperanza a quanto richiesto nell’art. 28 della L.R. 1/2005; in particolare, i dati consegnati alla amministrazione comunale sono in formato sia “shape” che “pdf”.

**Le note illustrative, relative alle tavole elencate, sono contenute nel presente fascicolo "Relazione tecnica illustrativa".**

## 2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 SISMICITA' DELL'AREA

La sismicità storica del Comune di Roccastrada è stata ricostruita con la consultazione del “Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 Release v1.5 - Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>).



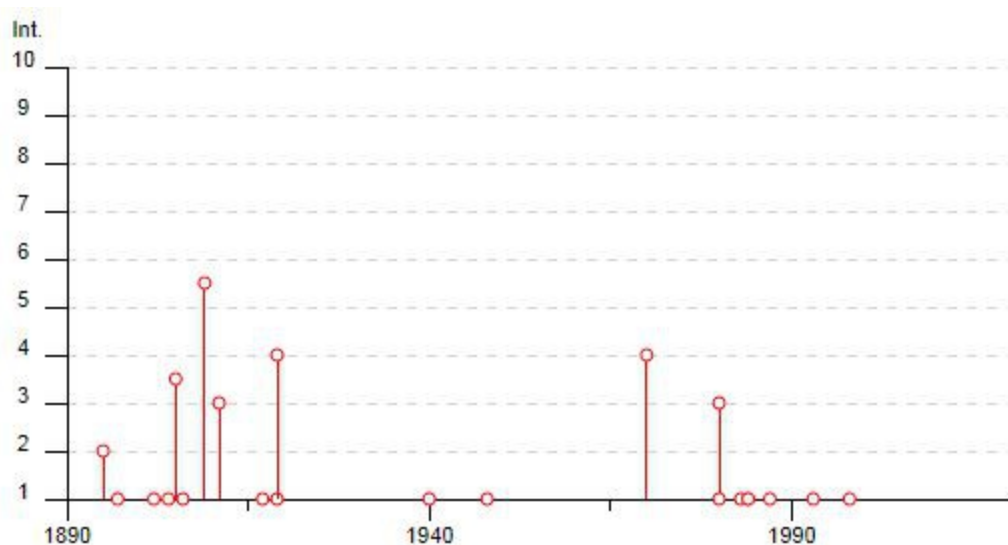
*Localizzazione degli eventi macrosismici a livello regionale nel territorio circostante il Comune di Roccastrada (Periodo 1000 – 2014)*

In particolare gli effetti macrosismici che hanno interessato il Comune di Roccastrada sono riconducibili a n. 22 eventi sismici, verificatisi dal 1905 al 2005, con vario grado di intensità sismica. (cfr. Database Macrosismico Italiano DBMI15 - Release v1.5 - Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. [doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15](http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15)).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
2	<a href="#">🔗</a> 1895	05	18	19	55	1	Fiorentino	401	8	5.50
NF	<a href="#">🔗</a> 1897	11	15	23	52		Val d'Orcia	26	5	4.10
NF	<a href="#">🔗</a> 1902	12	17	05	21		Monte Amiata	30	6-7	4.83
NF	<a href="#">🔗</a> 1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10
3-4	<a href="#">🔗</a> 1905	02	12	08	28		Monte Amiata	61	6	4.55
NF	<a href="#">🔗</a> 1906	04	21	06	35		Valdelsa	45	5-6	4.30
5-6	<a href="#">🔗</a> 1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34
3	<a href="#">🔗</a> 1911	09	13	22	29	0	Chianti	115	7	5.08
NF	<a href="#">🔗</a> 1917	04	26	09	35	5	Alta Valtiberina	134	9-10	5.99
NF	<a href="#">🔗</a> 1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
4	<a href="#">🔗</a> 1919	09	10	16	57		Val di Paglia	67	7-8	5.36
NF	<a href="#">🔗</a> 1940	10	16	13	17		Val di Paglia	106	7-8	5.29
NF	<a href="#">🔗</a> 1948	11	03	11	40		Monte Amiata	16	6	4.82
4	<a href="#">🔗</a> 1970	08	19	12	19		Colline Metallifere	26	6	4.68
3	<a href="#">🔗</a> 1980	09	08	19	41	1	Costa Grossetana	55	5-6	4.44
NF	<a href="#">🔗</a> 1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
NF	<a href="#">🔗</a> 1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	<a href="#">🔗</a> 1984	05	07	17	50		Monti della Meta	912	8	5.86
NF	<a href="#">🔗</a> 1984	05	11	10	41	4	Monti della Meta	342	7	5.47
NF	<a href="#">🔗</a> 1987	01	22	05	10	5	Costa pisano-livornese	157	5-6	4.15
NF	<a href="#">🔗</a> 1993	08	06	07	51	4	Colline Metallifere	35	5-6	4.03
NF	<a href="#">🔗</a> 1998	05	20	11	07	4	Colline Metallifere	31	4-5	4.19

*Eventi macrosismici riportati nel DBMI15*

La maggiore intensità sismica percepita in questo territorio raggiunge il grado 5-6 MCS registrato durante il terremoto avvenuto nelle Crete Senesi nel 1909 (Mw = 5,34).

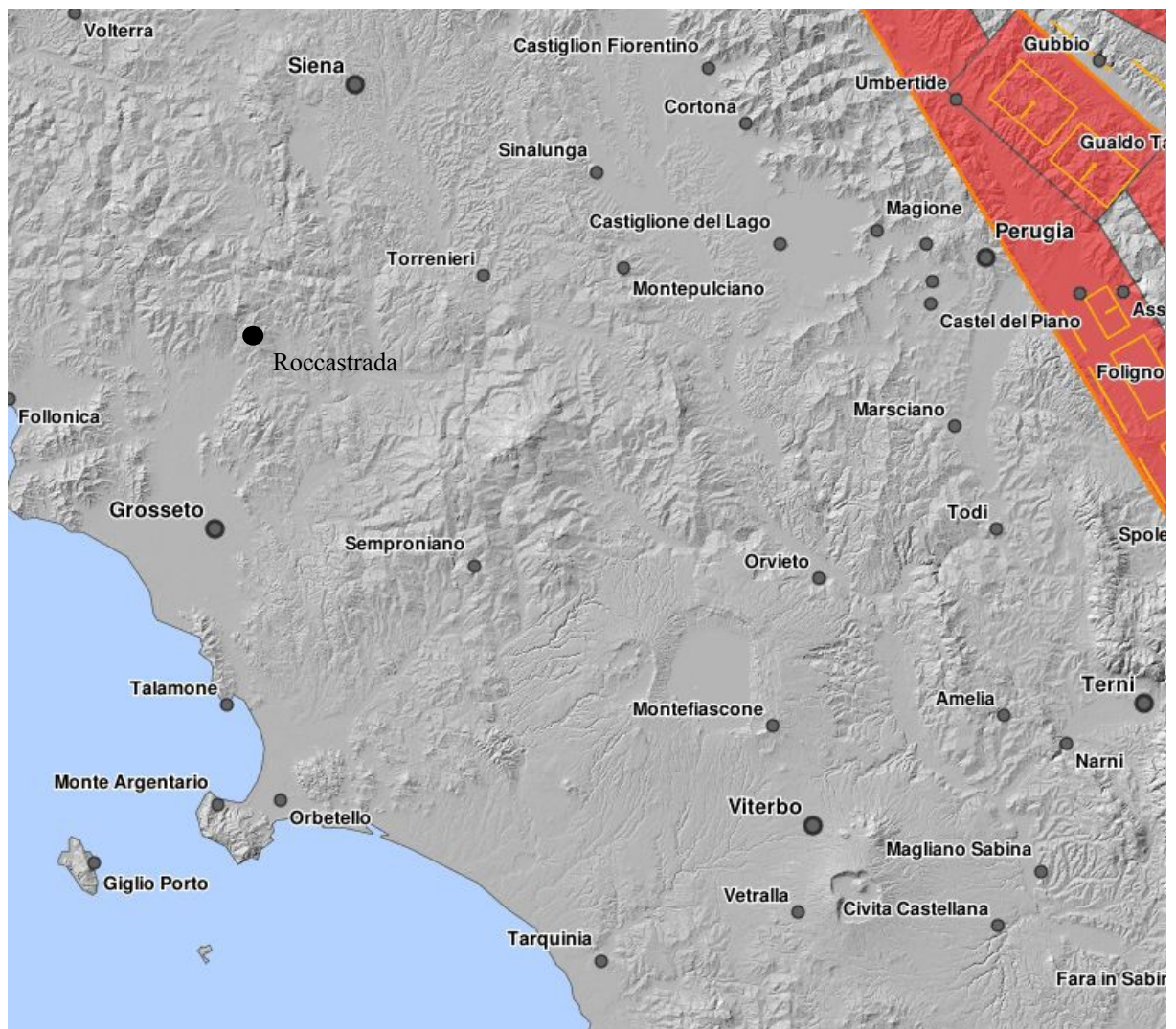


*Distribuzione temporale ed intensità degli eventi macrosismici nel periodo 1890-2016*



Analizzando il catalogo delle sorgenti sismogenetiche (DISS - Database of Individual Seismogenic Sources - Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi, 2008) si osserva che il territorio di Roccastrada si trova a circa 93,0 km a sud-ovest dell'area sismogenetica composite codificata come ITCS037 – Mugello-Cuittàdi Castello-Leonessa, caratterizzata dai seguenti parametri:

Strike (angolo rispetto al nord):	280° - 330°
Dip (inclinazione rispetto al piano campagna):	25° - 40°
Profondità min - max:	0,5 – 8 km
Magnitudo massima (Mw):	6,2



*Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0*





## 2.2 RISCHIO SISMICO

Il rischio sismico nella accezione corrente rappresenta il probabile danno che un determinato sito può subire in occasione di un sisma. In maniera analitica può essere espresso come il prodotto della pericolosità sismica, della vulnerabilità sismica e della quantificazione economica delle realtà danneggiate. La pericolosità sismica può essere direttamente riferita alla vibrazione che un sito può subire durante un sisma, mentre la vulnerabilità definisce lo stato di conservazione del patrimonio edilizio e delle strutture sociali potenzialmente rese inattive dal sisma. Il parametro relativo alla quantificazione economica delle realtà danneggiate è di difficilissima valutazione poiché comprende, oltre a edifici, strutture produttive ed infrastrutture, anche vite umane e beni artistici e culturali.

La *valutazione del rischio sismico*, in aree ad estensione regionale, viene effettuata mediante la **macrozonazione sismica**, definita come l'individuazione di aree che possano essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità.

All'interno di queste aree si possono valutare, con maggior dettaglio, le differenze di intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche locali attraverso procedure il cui insieme costituisce la **microzonazione sismica**. Infatti l'esame della distribuzione dei danni prodotti da un terremoto nello stesso territorio dimostra che le azioni sismiche possono assumere anche a distanze di poche decine di metri caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, etc.).

La microzonazione sismica mira ad individuare gli strumenti necessari a prevedere e a mitigare gli effetti sismici in una zona di dimensioni urbane, tramite opportuni criteri d'uso del territorio.



Le indagini per la *valutazione del rischio sismico* sono, pertanto, suddivise in due fasi.

### **Macrozonazione sismica**

Fornisce un quadro generale del potenziale sismico e quindi della pericolosità sismica di una regione, con l'individuazione delle aree sismiche e di quelle non soggette a sisma.

Nell'ambito dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274/03 si sono individuate 4 zone, delle quali le prime tre coincidono con quelle (Categorie) individuate dalla L.n. 64/74 e successivi D.M. ad essa collegati, mentre la quarta è di nuova costituzione. In quest'ultima zona le regioni possono imporre l'obbligo della progettazione antisismica e stabilire norme e criteri specifici.

Sulla scorta di questa classificazione il territorio del Comune di Roccastrada è inserito in Zona 2 con accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (ag/g) pari a 0,25.

La OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006 disciplina i criteri alla base degli studi per la definizione della pericolosità sismica utili alla riclassificazione sismica del territorio nazionale, ma definisce anche con:

- la lett. g) la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle zone sismiche che dovranno prevedere:

1) la discretizzazione dell'elaborato di riferimento rispetto ai confini dei comuni. E' opportuno a tale proposito che il passaggio fra zone sismiche territorialmente contigue sia definito in termini graduali, sia all'interno di ciascuna regione che al confine di regioni diverse.

2) la definizione di eventuali sottozone nell'ambito di uno stesso comune e secondo quanto previsto alla lett. a) per descrivere meglio l'azione sismica, soprattutto in relazione alle esigenze di valutazione e di recupero degli edifici esistenti.

- la lett. c) - sulla base della valutazione di *ag* l'assegnazione di un territorio ad una delle zone sismiche potrà avvenire, secondo la tab. di cui alla lett. a), con la tolleranza di 0,025 *ag*.

La Regione Toscana con D.G.R. n. 431 del 19.06.2006 ha proposto la riclassificazione sismica regionale, mantenendo in via preliminare un atteggiamento di cautela soprattutto nelle situazioni che potevano comportare una declassificazione dei comuni dalla zona a media sismicità alla zona a bassa sismica (da zona 2 a zona 3).

A tal proposito ha ritenuto opportuno, nel processo di declassificazione dei comuni, mantenere lo stesso livello di protezione assicurato dalle azioni sismiche della zona 2, provvedendo di conseguenza all'individuazione di una zona 3S. Il territorio comunale di Roccastrada è stato inserito in zona sismica 3S, mantenendo lo stesso livello di protezione della zona 2.

A distanza di sei anni dall'entrata in vigore della precedente classificazione sismica, la Regione Toscana ha provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica del proprio territorio. La nuova mappa sismica è stata approvata con la delibera n. 878 dell'8 ottobre 2012. L'aggiornamento della classificazione sismica, redatto ai sensi dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3519/2006, si è reso necessario al fine di recepire le novità introdotte dall'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008) e di rendere la classificazione sismica (riferimento per la disciplina dei controlli sui progetti depositati presso gli Uffici tecnici regionali preposti), maggiormente aderente all'approccio *sito-dipendente* introdotto dalle vigenti Norme. Il territorio comunale di Roccastrada passa da zona 3S a **zona 3 nella più recente classificazione regionale**.

#### ***Microzonazione sismica***

Individua le risposte sismiche locali nell'ambito di una zona dell'ordine di grandezza di un comune o di una città metropolitana, fornendo informazioni di dettaglio relative agli effetti locali, ottimizzando quindi i dati rilevati tramite la macrozonazione.

Compito precipuo della microzonazione è quello di individuare terreni dinamicamente instabili e stimare le accelerazioni che si possono verificare in terreni dinamicamente stabili, poiché condizioni geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche particolari possono determinare variazioni nella risposta sismica locale e di conseguenza sulla pericolosità del sito.

### **NTC**

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ( $V_{s30} > 800$  m/s), viene definita mediante un approccio "sito-dipendente" e non più tramite un criterio "zona-dipendente".

Secondo l'approccio "zona dipendente", adottato dalla precedenti normative nazionali in campo antisismico, l'accelerazione di base  $a_g$ , senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni, derivava direttamente dalla Zona sismica di appartenenza del comune nel cui territorio è localizzato il sito di progetto.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica. Pertanto, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (tabella 1, allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Tale griglia è costituita da 10.751 nodi (distanziati di non più di 10 km) e copre l'intero territorio nazionale ad esclusione delle isole (tranne Sicilia, Ischia, Procida e Capri) dove, con metodologia e convenzioni analoghe vengono forniti parametri spettrali costanti per tutto il territorio (tabella 2, allegato B del D.M. 14 gennaio 2008); tale considerazione riguarda anche le isole dell'arcipelago toscano. La Toscana è interessata da 936 nodi.

Per ciascuno dei nodi della griglia vengono forniti, per 9 valori del periodo di ritorno (da 30 anni a 2.475 anni), i valori dei parametri  $a_g$  (espresso in  $g/10$ ),  $F_0$  (adimensionale) e  $T^*c$  (espresso in secondi) necessari per la definizione dell'azione sismica.

Secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, sarà possibile il calcolo dei suddetti parametri spettrali (per uno dei tempi di ritorno forniti) tramite media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni (Tabella 1 in Allegato B) che comprendono il sito in esame. Qualora il tempo di ritorno richiesto sia differente da uno dei 9 tempi di ritorno forniti in tabella, sarà possibile ricavare il valore del parametro di interesse mediante interpolazione tra i valori dei parametri corrispondenti ai due tempi di ritorno (dei nove forniti per ognuno dei nodi del reticolo di riferimento) che comprendono il tempo di ritorno necessario.

A tale proposito sono state predisposte dal Servizio Sismico della Regione Toscana, le mappe di pericolosità relative alla distribuzione dei nodi della griglia per ciascuna delle dieci province.

Per ogni territorio comunale è riportata inoltre la classificazione sismica (Del. GRT n. 431 del 19 giugno 2006) sia in mappa che in forma tabellare. Infine, sempre in tabella, è illustrato a titolo indicativo anche il valore di accelerazione ( $a_{g475}$ ), calcolato in corrispondenza della sede comunale.

Si ricorda che i valori di accelerazione vanno divisi per 10. Pertanto, i valori di accelerazione del settore nord del territorio comunale (Capoluogo) sono compresi tra 0,125 e 0,150 g, mentre ai restanti settori vengono attribuiti valori di accelerazione compresi tra 0,100 e 0,125 g.

L'attività di valutazione su un territorio (alla scala comunale) delle modificazioni apportate allo scuotimento del suolo dalle condizioni geologico-tecniche locali e dalle condizioni topografiche locali viene chiamata **microzonazione sismica (MS)**.

Tale attività rientra in un quadro più generale nei programmi di prevenzione e di mitigazione degli effetti di un terremoto, in cui è necessario individuare in via preliminare con criteri speditivi le zone a più elevato rischio sismico da sottoporre a studi particolareggiati.

Si definiscono “**condizioni locali di sito**”:

- la geologia e la geomorfologia locale;
- condizioni geotecniche e stratigrafiche locali;
- prossimità ad una faglia sismicamente attiva.

Le condizioni locali di sito sono responsabili degli effetti locali di sito che possono schematicamente essere così riassunti:

- modifica delle caratteristiche dello scuotimento rispetto a quanto definito in termini di pericolosità di base;
- fenomeni di instabilità del terreno.

Per ciò che attiene alla modifica del moto sismico, si tratta di definire la **pericolosità sismica locale**. Ciò comporta in generale un'amplificazione del moto sismico, la cui causa è riconducibile a motivi stratigrafici (presenza di depositi soffici poggianti su substrato roccioso), topografici (amplificazione del moto sismico lungo pendii o alla sommità di scarpate o pendii) oppure riferibile alla presenza di particolari geometrie sepolte, in grado di modificare le caratteristiche del moto sismico sia in termini di intensità sia per quanto concerne il contenuto spettrale.

Per quanto concerne i fenomeni di instabilità dei terreni e delle rocce gli aspetti rilevanti sono quelli che riguardano:

- liquefazione e/o densificazione dei depositi sabbiosi;
- eccessivi cedimenti e deformazioni permanenti del suolo;
- instabilità di pendio in terreni e roccia;
- attività di faglia.

Danni consistenti possono ricorrere quando la frequenza di risonanza di un terreno raggiunta durante un evento sismico corrisponde a quella propria dell'edificio (fenomeno della doppia risonanza).

La pericolosità di base è di norma definita mediante approccio di tipo probabilistico. In generale, per la determinazione della pericolosità di base è necessario definire:

- la sismicità storica;
- le zone sismogenetiche;
- le relazioni di attenuazione;
- le leggi di ricorrenza.

A tal fine è necessario raccogliere e interpretare dati e informazioni riguardanti la sismicità regionale, la sismo-tettonica, dati e registrazioni ottenuti da reti sismiche nazionali e locali.

Per quanto riguarda la stima della pericolosità sismica locale, essa è da ricondurre ad una serie di caratteri geologico-tecnici di un'area più o meno ampia che viene presa in esame. Tali caratteri geologico tecnici come è noto riguardano: la morfologia di superficie, la morfologia sepolta, le litologie, le caratteristiche fisico meccaniche, le condizioni idrogeologiche s.l. Queste condizioni infatti oltre ad essere causa di possibile amplificazione degli effetti sismici possono provocare i cosiddetti fenomeni indotti, quali: attivazione e rimobilizzazione di fenomeni gravitativi, liquefazione in terreni granulari saturi, deformazioni permanenti in terreni di fondazione.

La **valutazione degli effetti locali** di amplificazione del moto sismico e quindi la pericolosità sismica locale sono di norma valutati attraverso analisi di risposta sismica locale dei depositi di terreno.

A riguardo la normativa di riferimento (D.M. 14.09.2008) consente di valutare gli effetti locali di amplificazione del moto sismico sia in modo semplificato, sia con modalità analitiche più rigorose.

Uno degli aspetti più importanti di queste normative è quello di definire e di valutare l'amplificazione sismica dei terreni sulla base della definizione del parametro Vs, cioè della velocità delle onde di taglio.

## 2.3 MODELLAZIONE SISMICA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica, che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare quel *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, una volta definite le relative *probabilità di superamento*, è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la **pericolosità sismica di base** per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

### **VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO**

Nelle NTC il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \times C_U \quad (2.1)$$

dove:

$V_R$  = *periodo di riferimento*

$V_N$  = *vita nominale*

$C_U$  = *coefficiente d'uso*

La vita nominale di un'opera strutturale VN, secondo le NTC, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata

e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità:

$VN \leq 10$  anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto  $\geq 2$  anni.

$VN \geq 50$  anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.

$VN \geq 100$  anni per grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.

Nel caso specifico **VN = 50 anni**.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.  $CU = 0.7$ ;

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.  $CU = 1.0$ ;

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.  $CU = 1.5$ ;

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.  $CU = 2.0$ ;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso **CU = 1**.

Una volta ottenuti VN e CU, è possibile calcolare il periodo di riferimento VR, che qui vale:

**$VR = 50 * 1 = 50$  anni.**

### **STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO**

Le NTC prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o



comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

**Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

**Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

**Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le NTC, in presenza di azioni sismiche, richiedono le verifiche allo SLO solo per gli elementi non strutturali e per gli impianti di strutture di classi d'uso III e IV. Lo SLO si utilizza anche come riferimento progettuale per quelle opere che devono restare operative durante e subito dopo il terremoto. Le verifiche allo SLC sono, invece, richieste solo per le costruzioni o ponti con isolamento e/o dissipazione.

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento PVR*, ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento VR, si verifichi almeno un evento sismico ( $n \geq 1$ ) di ag prefissata (ag = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza  $\lambda = 1/TR$  (TR = periodo di ritorno).

*Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR*

Stati limite			PVR
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	81%
	Stato limite di danno	SLD	63%
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	10%
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	5%

Fissati VR e PVR associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica TR, espresso in anni, mediante l'espressione riportata nell'Allegato A delle NTC08:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

Tale relazione tra PVR (probabilità) e TR (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

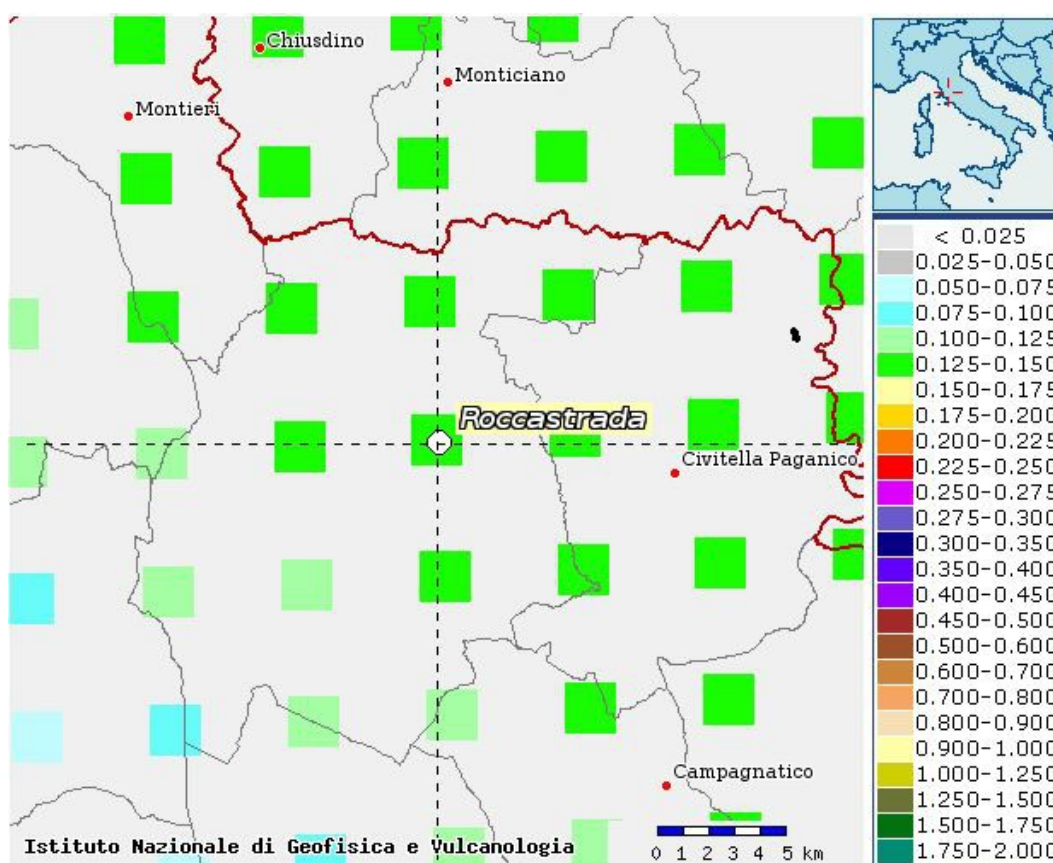
Poiché è **VR = 50 anni**, il tempo di ritorno TR sarà:

*Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento VR*

Stati limite			TR
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	30
	Stato limite di danno	SLD	50
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	475
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	975

## 2.4 PERICOLOSITA' SISMICA

In termini generali la pericolosità sismica dell'area di intervento è valutabile facendo riferimento agli studi condotti dal “Gruppo di Lavoro MPS, 2004” nell’ambito della “Convenzione - Progetto “S1” DPC - INGV 2004-2006” i cui risultati sono stati promulgati mediante l’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006 (cfr. Mappa MPS04).



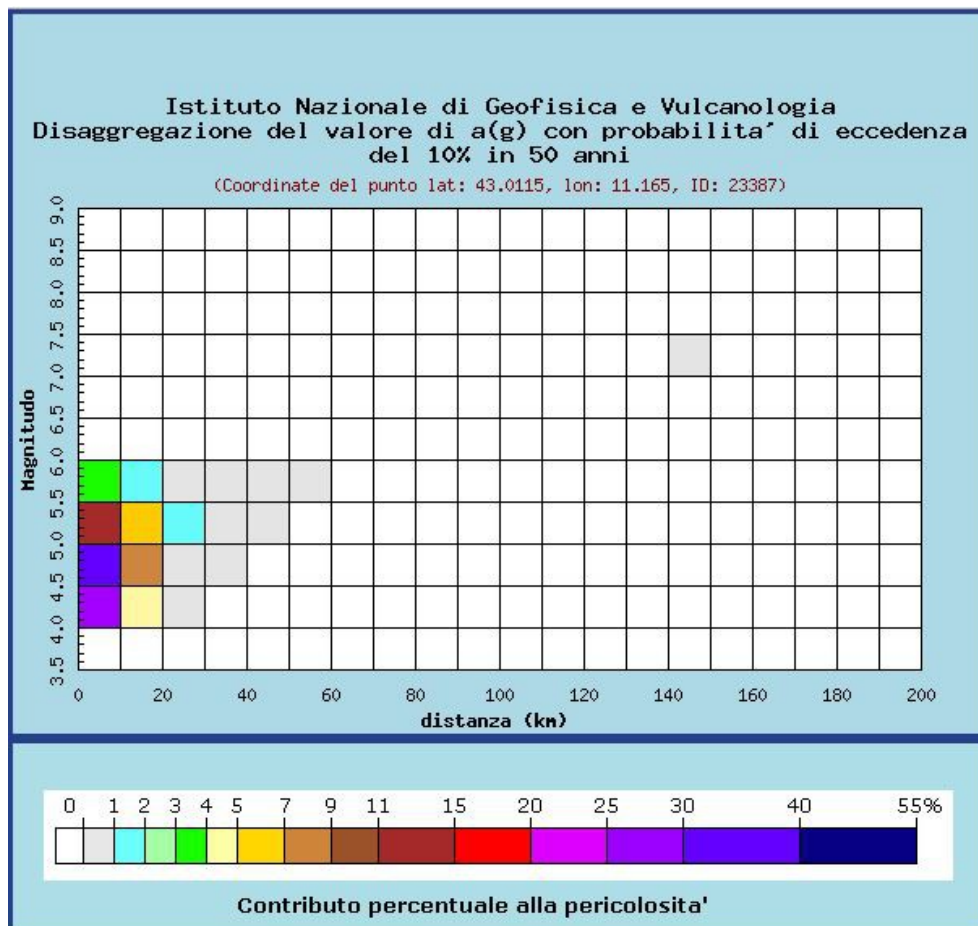
*Mappa di pericolosità sismica - Accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_s > 800$  m/s; cat.A) – da INGV*

Per valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di sito viene operata la disaggregazione della pericolosità sismica. La disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di

pericolosità (terremoto di scenario) come l'evento di magnitudo  $M$  a distanza  $R$  dal sito di interesse, che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica dello stesso.

Dalla mappa di pericolosità sismica viene effettuata un'analisi della disaggregazione dei valori di  $a(g)$  e per ogni nodo della griglia di calcolo è possibile valutare il contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo e distanza.

Questa informazione è riportata sia in forma grafica che in forma tabellare.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.0115, lon: 11.165, ID: 23387)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	26.300	35.600	12.500	3.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	4.090	8.600	5.210	1.940	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.049	0.686	1.030	0.582	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.003	0.153	0.181	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.004	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Questo tipo di analisi è utile nell'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici.

La Magnitudo media riferibile all'area di intervento è pari a 4,77.

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.770	7.280	0.838

Dove  $\epsilon$  rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R.

#### **DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE**

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (ag) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione “Mappe interattive della pericolosità sismica”.

Secondo le NTC le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'Allegato A alle NTC08:

ag = accelerazione orizzontale massima;

F0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

TC\* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

ag, il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F0 e TC\* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti nella seguente tabella, contenuta nell'Allegato B delle NTC08, per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

ID	LON	LAT	TR = 30			TR = 50			TR = 72			TR = 101		
			ag	F0	T*c	ag	F0	T*c	ag	F0	T*c	ag	F0	T*c
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

*Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.*

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno TR corrispondente alla VR e PVR fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere



ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

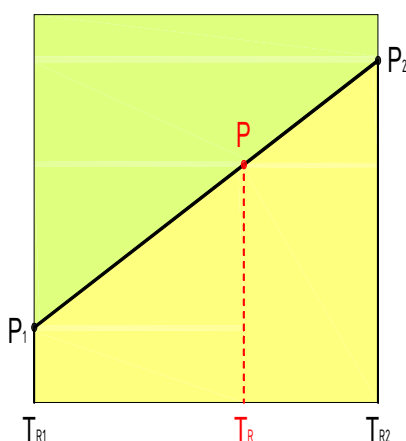
$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $ag$ ,  $Fo$ ,  $TC^*$ ) corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato, mentre  $p_1, 2$  è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno  $T_{R1}, 2$ .

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p$  possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

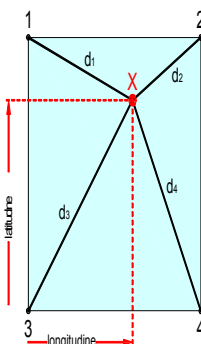
$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (4.2)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $ag$ ,  $Fo$ ,  $TC^*$ ) corrispondente al punto considerato,  $p_i$  è il valore di tale parametro nell' $i$ -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e  $d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo vertice della suddetta maglia.



*Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.*

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella figura che segue.





*Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.*

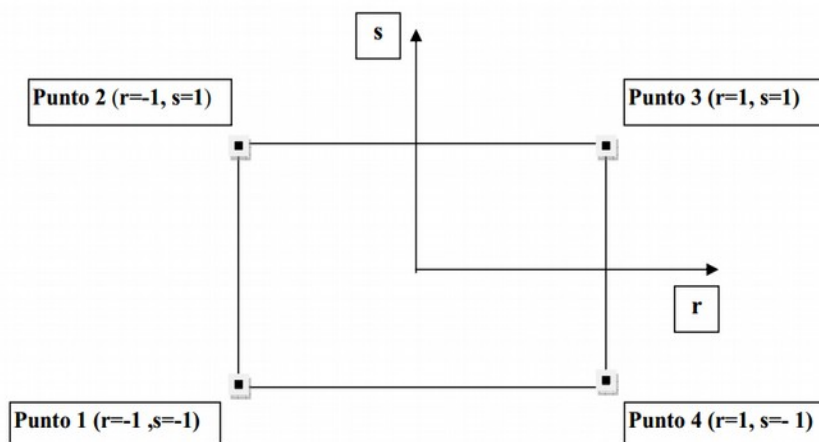
Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza  $d$  tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(lat\beta) \cdot \sin(lata\alpha) + \cos(lat\beta) \cdot \cos(lata\alpha) \cdot \cos(lon\alpha - lon\beta)] \quad (4.3)$$

dove  $R = 6371$  è il raggio medio terrestre in km, mentre  $lata\alpha$ ,  $lon\alpha$ ,  $lat\beta$  e  $lon\beta$  sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di  $\pm 0,01g$  ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.



*Applicazione dell'interpolazione bilineare.*

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1 - r)(1 - s)/4 \quad (4.4)$$

$$h_2 = (1 - r)(1 + s)/4 \quad (4.5)$$

$$h_3 = (1 + r)(1 + s)/4 \quad (4.6)$$

$$h_4 = (1 + r)(1 - s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate  $x, y$  di un punto generico e le coordinate  $r, s$  dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i x_i = [(1-r)(1-s)x_1 + (1-r)(1+s)x_2 + (1+r)(1+s)x_3 + (1+r)(1-s)x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i y_i = [(1-r)(1-s)y_1 + (1-r)(1+s)y_2 + (1+r)(1+s)y_3 + (1+r)(1-s)y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di  $r$  ed  $s$ , si determinano i parametri  $ag$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i p_i = [(1-r)(1-s)p_1 + (1-r)(1+s)p_2 + (1+r)(1+s)p_3 + (1+r)(1-s)p_4] \quad (4.10)$$

Dove  $p$  rappresenta il parametro cercato.

### **PERICOLOSITA' SISMICA DI SITO**

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

### **COEFFICIENTI SISMICI**

I coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (TR) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$TR = -VR / \ln(1-PVR)$$

Con  $VR$  vita di riferimento della costruzione e  $PVR$  probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $VR$  non può essere inferiore a 35 anni.

### **STABILITA' DEI PENDII DI FONDAZIONE**

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti  $K_h$  e  $K_v$  sono così determinati:

$$K_h = \beta_s \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_h$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  accelerazione di gravità.

I valori di  $\beta_s$  sono riportati nella seguente tabella.

Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$a_{max} = SS \cdot ST \cdot a_g$

SS (effetto di amplificazione stratigrafica) ( $0,90 \leq S_s \leq 1,80$ ) è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

ST (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

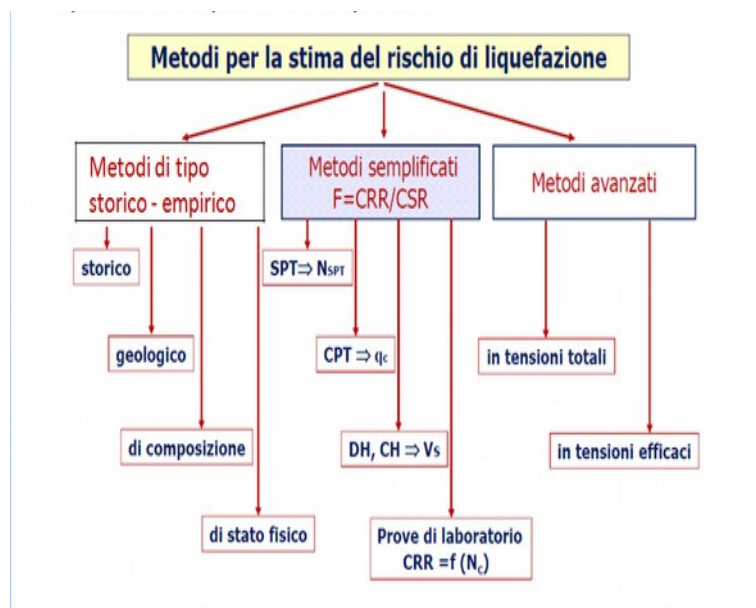
T1:  $ST = 1,0$ ; T2:  $ST = 1,20$ ; T3:  $ST = 1,2$ ; T4:  $ST = 1,40$ .

## 2.5 LIQUEFAZIONE – BASE TEORICA E VERIFICA per LOCALITA'

I siti in cui si possa prevedere la realizzazione di edifici e/o manufatti dovranno risultare stabili per quanto concerne fenomeni di liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni non coesivi saturi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni, incrementi indotti nei pali.



Assumendo per la stima del rischio di liquefazione i **metodi semplificati**, tra questi si privilegia quello basato sui risultati delle prove CPT, ossia un Metodo semplificato/quantitativo di tipo semi/empirico utilizzando il **Metodo di Robertson e Wride (1997)**.

Si utilizzano nel caso di specie i risultati di prove penetrometriche statiche meccaniche (CPTm), le uniche rinvenute negli archivi comunali. Sebbene sia invalso nel nostro Paese l'uso del penetrometro elettrico (CPTe), non avendo dati derivati da tale prova, si applicano le procedure delle stesse alle (CPTm). Nel caso esaminato, tuttavia, la valutazione del potenziale di liquefazione sismica, generalmente sottostimata rispetto alle CPTe, appare molto verosimilmente realistica, specie nell'ambito della prima decina di metri di profondità.

Il 'metodo di Robertson e Wride' è basato sui risultati di prove CPT (*Cone Penetration Test*) ed utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo **IC** che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = \left[ (3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (5.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (5.0c)$$

dove:

**q<sub>c</sub>** è la resistenza alla punta misurata

**Pa** è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di  $\sigma'_{vo}$

**f<sub>s</sub>** è l'attrito del manicotto

**n** è un'esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume  $n = 1$ , come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di IC con la (5.0a).

Se  $IC > 2,6$  il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma. Il terreno non si considera a rischio di liquefazione.

Se  $IC \leq 2,6$ , vuol dire che l'ipotesi assunta è errata, il suolo è di natura granulare, Q verrà ricalcolato utilizzando la (5.0a) usando come esponente  $n = 0,5$ .

Se è ancora  $IC \leq 2,6$ , significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece  $IC > 2,6$ , vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso. Q deve essere nuovamente ricalcolato dalla (2.8b) ponendo  $n = 0,75$ .

Calcolato IC, si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata  $q_c$  mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.1)$$

dove l'esponente di sforzo **n** è lo stesso utilizzato nel calcolo di IC.

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene determinata dalla seguente procedura:

#### **Robertson e Wride classico**

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N} \quad (5.2a)$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad (5.2b)$$

#### Robertson e Wride modificato

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (5.3a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N} \quad (5.3b)$$

dove  $K_c$  dipende dal contenuto di fine,  $FC$  (%):

$$\begin{aligned} K_c &= 0 && \text{per } FC \leq 5 \\ K_c &= 0,0267(FC - 5) && \text{per } 5 < FC \leq 35 \\ K_c &= 0,8 && \text{per } FC > 35 \end{aligned}$$

$FC$  (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1,75 (I_c)^{3,25} - 3,7 \quad (5.4)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR7,5**) si calcola con le espressioni seguenti:

se  $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0,833 \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 \quad (5.5)$$

se  $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR = 93 \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \quad (5.6)$$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 (**CSR7,5**) si determina dalla seguente espressione:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma'_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d \quad (5.7)$$

Per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** (*Magnitude Scaling Factor*) come raccomandato dal **NCEER** (vedi tabella)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF} \quad (5.8)$$

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. (1982)	Ambraseys N.N (1988)	NCEER (Seed R. B. et alii) (1997; 2003)
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19

7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

*Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori*

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo **rd** vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del **NCEER** (*National Center for Earthquake Engineering Research*):

per  $z < 9,15$  m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z \quad (5.9)$$

per  $9,15 \leq z < 23$  m

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z \quad (5.10)$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione **FS** viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (5.11)$$

mentre l'indice e il rischio di liquefazione vengono calcolati con il metodo di **Iwasaki et alii** (1978; 1984).

Vengono di seguito riportate le verifiche eseguite per ciascuna frazione di interesse degli studi di microzonazione prendendo in esame i settori laddove vi è la presenza nel sottosuolo di terreni potenzialmente liquefacibili e specifiche indagini geognostiche di riferimento (prove penetrometriche Cpt significative).

## MADONNINO

The screenshot displays a seismic analysis software interface. On the left, the 'Parametri sismici' (Seismic Parameters) section is active, showing site-specific data for 'Madonnino Roccastrada'. The map on the right shows the location of the site, marked with a red pin and coordinates: Lat: 42.8922, Long: 11.0654. The map includes labels for nearby locations like Castellaccia, Giuncarico, Sticciano Scalo, Braccagni, Vetulonia, and Buriano. The software interface also shows a table of seismic hazard parameters (P1, P2) and a 'Stato limite' (Limit State) table.

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	TC [s]
Px Operatività (SLO)	30	0.033	2.568	0.2
Danno (SLD)	50	0.040	2.591	0.2
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.087	2.631	0.2
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.107	2.643	0.2
P1 Operatività (SLO)	30	0.033	2.567	0.2
Danno (SLD)	50	0.040	2.604	0.2
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.084	2.639	0.2
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.104	2.652	0.2
P2 Operatività (SLO)	30	0.036	2.556	0.2

## PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso (Cu): 1



Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 42.8922900 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11.0654500 [°]  
 Latitudine (ED50): 42.8932700 [°]  
 Longitudine (ED50): 11.0664200 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	23829	42.908750	11.032380	3263.43
2	23830	42.910180	11.100620	3360.70
3	24052	42.860210	11.102510	4707.85
4	24051	42.858780	11.034310	4642.91

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.033	2.567	0.207
SLD	50	0.040	2.604	0.226
SLV	475	0.084	2.639	0.280
SLC	975	0.104	2.652	0.286

#### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.036	2.556	0.213
SLD	50	0.044	2.543	0.230
SLV	475	0.101	2.551	0.275
SLC	975	0.128	2.547	0.282

#### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.033	2.567	0.208
SLD	50	0.040	2.606	0.227
SLV	475	0.084	2.641	0.281
SLC	975	0.104	2.654	0.288

#### Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
--------------	--------------	-----------	-----------	------------

SLO	30	0.031	2.587	0.201
SLD	50	0.037	2.625	0.221
SLV	475	0.073	2.721	0.283
SLC	975	0.088	2.751	0.291

#### Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.033	2.568	0.208
SLD	50	0.040	2.591	0.226
SLV	475	0.087	2.631	0.279
SLC	975	0.107	2.643	0.286

#### PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000

Categoria sottosuolo:

C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa  $c_{u30}$  compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

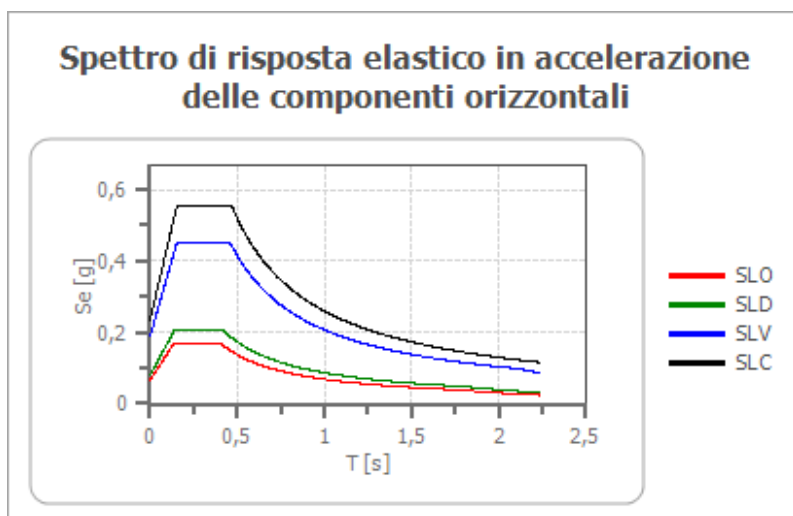
Categoria topografica:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

#### Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,013	0,016	0,045	0,056
kv	0,007	0,008	0,023	0,028
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,644	0,782	1,840	2,298
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

#### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



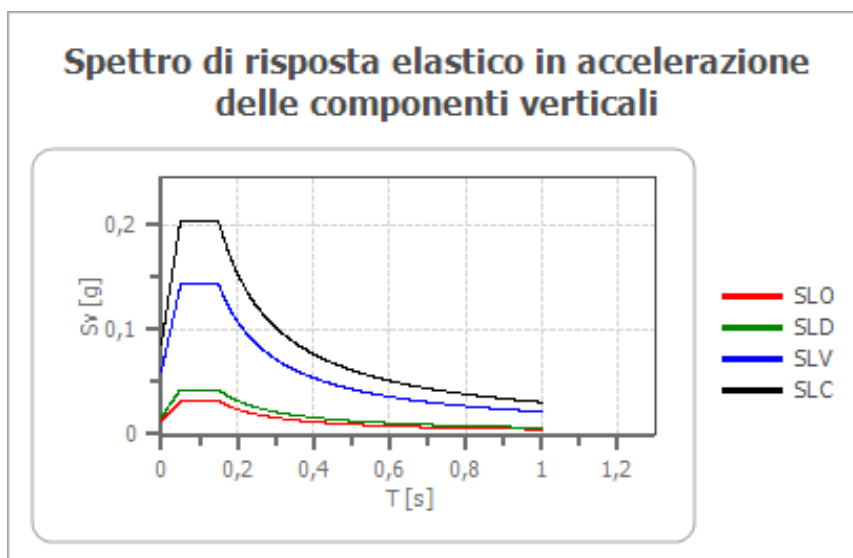
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,044	2,559	0,244	1,500	1,670	1,000	1,500	1,000	0,136	0,408	1,775	0,066	0,168
SLD	1,0	0,053	2,583	0,257	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,140	0,421	1,813	0,080	0,206

SLV	1,0	0,125	2,399	0,291	1,500	1,580	1,000	1,500	1,000	0,153	0,460	2,100	0,188	0,450
SLC	1,0	0,159	2,376	0,297	1,470	1,570	1,000	1,470	1,000	0,155	0,466	2,238	0,234	0,557

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,044	2,559	0,244	1	1,670	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,012	0,032
SLD	1,0	0,053	2,583	0,257	1	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,017	0,043
SLV	1,0	0,125	2,399	0,291	1	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,060	0,143
SLC	1,0	0,159	2,376	0,297	1	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,086	0,204

### DATI GENERALI

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n. 617

Fattore sicurezza normativa 1,25

### FALDA

Profondità falda idrica 3,0 m

### DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0,15

Fattore amplificazione 2,631

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza  $V_{s30}=180-360$

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1,46321

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico ( $M_w$ ) 5,5

Peak ground acceleration (PGA)

0,2194815

**Prova penetrometrica 70\_CPT****PARAMETRI GEOTECNICI**

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturato (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	3	18	20	0	0	1389,6	10,79	0
2		3	13,4	18	20	0	0	10863,8	104,9	0
3		13,4	15	19	21	0	0	12650,57	5	0

Correzione per la magnitudo (MSF)

1,77

Rischio	Indice di liquefazione	Suscettibilità di liquefazione	Coefficiente di sicurezza Fs	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla punta corretta q <sub>cl</sub> (KPa)	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Indice di comportamento Ic	Attrito laterale normalizzato F(%)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Pressione verticale effettiva (KPa)	Pressione litostatica totale (KPa)	Profondità dal p.c. (m)
Molto basso	0	No	6,917	0,065	0,451	0,976	158,533	1,335845	1,780	0,971	145,124	56,039	58,000	3,20
Molto basso	0	No	6,488	0,067	0,435	0,974	156,313	1,31219	1,786	0,971	142,554	58,077	62,000	3,40
Molto basso	0	No	6,113	0,069	0,421	0,972	154,203	1,289748	1,792	0,971	140,116	60,116	66,000	3,60
Molto basso	0	No	5,782	0,071	0,408	0,971	152,196	1,26842	1,797	0,972	137,799	62,155	70,000	3,80
Molto basso	0	No	5,488	0,072	0,396	0,969	150,283	1,248116	1,802	0,972	135,593	64,193	74,000	4,00
Molto basso	0	No	5,226	0,074	0,384	0,968	148,458	1,228757	1,807	0,973	133,490	66,232	78,000	4,20
Molto basso	0	No	4,991	0,075	0,374	0,966	146,713	1,210272	1,812	0,973	131,482	68,271	82,000	4,40
Molto basso	0	No	4,778	0,076	0,364	0,965	145,044	1,192596	1,817	0,973	129,561	70,309	86,000	4,60
Molto basso	0	No	4,586	0,077	0,355	0,963	143,446	1,175673	1,822	0,974	127,723	72,348	90,000	4,80
Molto basso	0	No	4,410	0,078	0,346	0,962	141,913	1,159451	1,827	0,974	125,960	74,387	94,000	5,00
Molto basso	0	No	4,250	0,079	0,338	0,960	140,441	1,143882	1,831	0,974	124,269	76,425	98,000	5,20
Molto basso	0	No	4,103	0,080	0,330	0,959	139,027	1,128924	1,836	0,975	122,644	78,464	102,000	5,40
Molto basso	0	No	3,968	0,081	0,323	0,957	137,667	1,114538	1,840	0,975	121,081	80,503	106,000	5,60
Molto basso	0	No	3,844	0,082	0,316	0,956	136,358	1,100688	1,844	0,975	119,577	82,541	110,000	5,80
Molto basso	0	No	3,728	0,083	0,309	0,954	135,096	1,087342	1,848	0,976	118,127	84,580	114,000	6,00
Molto basso	0	No	3,621	0,084	0,303	0,953	133,880	1,07447	1,852	0,976	116,728	86,619	118,000	6,20
Molto basso	0	No	3,522	0,084	0,297	0,951	132,706	1,062044	1,856	0,977	115,378	88,657	122,000	6,40
Molto basso	0	No	3,429	0,085	0,292	0,950	131,572	1,05004	1,860	0,977	114,074	90,696	126,000	6,60
Molto basso	0	No	3,343	0,086	0,287	0,948	130,476	1,038434	1,864	0,977	112,813	92,735	130,000	6,80
Molto basso	0	No	3,262	0,086	0,282	0,946	129,416	1,027204	1,868	0,978	111,593	94,773	134,000	7,00
Molto basso	0	No	3,186	0,087	0,277	0,945	128,391	1,016331	1,871	0,978	110,412	96,812	138,000	7,20
Molto basso	0	No	3,115	0,087	0,272	0,943	127,398	1,005796	1,875	0,978	109,268	98,851	142,000	7,40
Molto basso	0	No	3,048	0,088	0,268	0,942	126,435	0,9955824	1,878	0,979	108,158	100,889	146,000	7,60
Molto basso	0	No	2,984	0,088	0,264	0,940	125,502	0,9856735	1,882	0,979	107,082	102,928	150,000	7,80
Molto basso	0	No	2,925	0,089	0,260	0,939	124,597	0,9760546	1,885	0,979	106,037	104,967	154,000	8,00
Molto basso	0	No	2,869	0,089	0,256	0,937	123,718	0,966712	1,888	0,980	105,022	107,005	158,000	8,20
Molto basso	0	No	2,815	0,090	0,252	0,936	122,865	0,9576326	1,892	0,980	104,035	109,044	162,000	8,40
Molto basso	0	No	2,765	0,090	0,249	0,934	122,036	0,9488044	1,895	0,981	103,076	111,083	166,000	8,60
Molto basso	0	No	2,717	0,090	0,246	0,933	121,230	0,9402158	1,898	0,981	102,143	113,121	170,000	8,80
Molto basso	0	No	2,672	0,091	0,243	0,931	120,446	0,9318564	1,901	0,981	101,235	115,160	174,000	9,00
Molto basso	0	No	2,632	0,091	0,239	0,928	119,684	0,923716	1,904	0,982	100,351	117,199	178,000	9,20
Molto basso	0	No	2,602	0,091	0,236	0,923	118,941	0,9157853	1,907	0,982	99,489	119,237	182,000	9,40
Molto basso	0	No	2,573	0,091	0,234	0,918	118,218	0,9080554	1,910	0,982	98,649	121,276	186,000	9,60
Molto basso	0	No	2,546	0,091	0,231	0,912	117,514	0,9005181	1,913	0,983	97,830	123,315	190,000	9,80
Molto basso	0	No	2,521	0,091	0,228	0,907	116,828	0,8931653	1,916	0,983	97,032	125,353	194,000	10,00
Molto basso	0	No	2,497	0,090	0,226	0,902	116,158	0,8859898	1,919	0,984	96,252	127,392	198,000	10,20

10,40	202,000	129,431	95,491	0,984	1,921	0,8789845	115,506	0,896	0,223	0,090	2,475	No	0	Molto basso
10,60	206,000	131,470	94,748	0,984	1,924	0,8721427	114,869	0,891	0,221	0,090	2,453	No	0	Molto basso
10,80	210,000	133,508	94,022	0,985	1,927	0,8654583	114,247	0,886	0,219	0,090	2,433	No	0	Molto basso
11,00	214,000	135,547	93,312	0,985	1,929	0,8589252	113,640	0,880	0,216	0,090	2,414	No	0	Molto basso
11,20	218,000	137,586	92,618	0,985	1,932	0,8525379	113,047	0,875	0,214	0,089	2,397	No	0	Molto basso
11,40	222,000	139,624	91,939	0,986	1,935	0,8462911	112,468	0,870	0,212	0,089	2,380	No	0	Molto basso
11,60	226,000	141,663	91,275	0,986	1,937	0,8401795	111,902	0,864	0,210	0,089	2,364	No	0	Molto basso
11,80	230,000	143,702	90,626	0,986	1,940	0,8341985	111,348	0,859	0,208	0,089	2,350	No	0	Molto basso
12,00	234,000	145,740	89,990	0,987	1,942	0,8283434	110,807	0,854	0,207	0,088	2,336	No	0	Molto basso
12,20	238,000	147,779	89,367	0,987	1,945	0,8226098	110,278	0,848	0,205	0,088	2,323	No	0	Molto basso
12,40	242,000	149,818	88,757	0,988	1,947	0,8169937	109,760	0,843	0,203	0,088	2,311	No	0	Molto basso
12,60	246,000	151,856	88,159	0,988	1,949	0,8114911	109,253	0,838	0,201	0,088	2,299	No	0	Molto basso
12,80	250,000	153,895	87,573	0,988	1,952	0,8060983	108,756	0,832	0,200	0,087	2,289	No	0	Molto basso
13,00	254,000	155,934	86,999	0,989	1,954	0,8008115	108,270	0,827	0,198	0,087	2,279	No	0	Molto basso
13,20	258,000	157,972	86,435	0,989	1,956	0,7956274	107,794	0,822	0,196	0,087	2,270	No	0	Molto basso
13,40	262,000	160,011	85,883	0,989	1,959	0,7905427	107,328	0,816	0,195	0,086	2,261	No	0	Molto basso
13,60	266,200	162,250	99,316	0,040	1,483	0,7850699	84,846	0,811	0,137	0,086	1,594	No	0	Molto basso
13,80	270,400	164,488	98,638	0,040	1,486	0,7797092	84,601	0,806	0,136	0,085	1,596	No	0	Molto basso
14,00	274,600	166,727	97,973	0,040	1,489	0,7744569	84,355	0,800	0,136	0,085	1,597	No	0	Molto basso
14,20	278,800	168,966	97,322	0,040	1,492	0,7693092	84,108	0,795	0,135	0,085	1,600	No	0	Molto basso
14,40	283,000	171,204	96,684	0,040	1,495	0,764263	83,862	0,790	0,135	0,084	1,602	No	0	Molto basso
14,60	287,200	173,443	96,058	0,040	1,498	0,7593147	83,615	0,784	0,134	0,084	1,604	No	0	Molto basso
14,80	291,400	175,682	95,444	0,040	1,500	0,7544612	83,368	0,779	0,134	0,083	1,607	No	0	Molto basso
15,00	295,600	177,920	94,841	0,040	1,503	0,7496998	83,121	0,774	0,133	0,083	1,609	No	0	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio = Molto basso

### Prova penetrometrica 55\_CPT

#### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	1	18	20	0	0	1389,6	98	0
2		1	2	20	22	0	0	1117,95	83,36	0
3		2	3,4	19	21	0	0	10647	5865	0
4		3,4	3,8	20	22	0	0	14275	392	0
5		3,8	4,4	20,5	22	0	0	13435	618	0
6		4,4	5,6	20,5	22	0	0	6047	196	0
7		5,6	7,4	20,5	22	0	0	5832	340	0
8		7,4	8	20,5	22	0	0	12356	322	0
9		8	9	20,5	22	0	0	8626	507	0

Correzione per la magnitudo (MSF) 2,21

Rischio	Indice di liquefazione	Suscettibilità di liquefazione	Coefficiente di sicurezza Fs	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla punta corretta q <sub>c1</sub> (KPa)	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Indice di comportamento Ic	Attrito laterale normalizzato F(%)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Pressione verticale effettiva (KPa)	Pressione litostatica totale (KPa)	Profondità dal p.c. (m)
Molto basso	0	No	6696	0,065	435,19	0,976	1672,52	1,688087	3,204	55,404	178,698	59,239	61,200	3,20
Molto basso	0	No	5997,3	0,067	400,73	0,974	1627,15	1,626616	3,210	55,426	172,122	61,477	65,400	3,40
Molto basso	0	No	21,763	0,068	1,490	0,972	247,528	1,250821	2,060	2,760	178,555	63,916	69,800	3,60
Molto basso	0	No	20,514	0,070	1,436	0,971	244,323	1,227621	2,065	2,760	175,243	66,355	74,200	3,80
Molto basso	0	No	36,147	0,071	2,582	0,969	299,636	1,205665	2,268	4,627	161,981	68,793	78,600	4,00
Molto basso	0	No	34,435	0,073	2,504	0,968	296,510	1,184847	2,272	4,629	159,184	71,232	83,000	4,20
Molto basso	0	No	32,898	0,074	2,432	0,966	293,539	1,165072	2,276	4,630	156,527	73,671	87,400	4,40

4,60	91,800	76,109	69,314	3,291	2,382	1,146254	155,218	0,965	0,428	0,075	5,700	No	0	Molto basso
4,80	96,200	78,548	68,230	3,294	2,387	1,12832	154,112	0,963	0,420	0,076	5,526	No	0	Molto basso
5,00	100,600	80,987	67,194	3,296	2,391	1,111202	153,055	0,962	0,413	0,077	5,366	No	0	Molto basso
5,20	105,000	83,425	66,205	3,299	2,396	1,094841	152,043	0,960	0,407	0,078	5,221	No	0	Molto basso
5,40	109,400	85,864	65,258	3,301	2,401	1,079181	151,074	0,959	0,401	0,079	5,086	No	0	Molto basso
5,60	113,800	88,303	64,351	3,303	2,405	1,064175	150,145	0,957	0,395	0,080	4,963	No	0	Molto basso
5,80	118,200	90,741	62,968	5,951	2,602	1,102033	214,575	0,956	0,999	0,080	12,442	No	0	Molto basso
6,00	122,600	93,180	61,273	5,955	2,610	1,073191	212,013	0,954	0,966	0,081	11,936	No	0	Molto basso
6,20	127,000	95,619	59,664	5,960	2,618	1,04582	209,561	0,953	0,936	0,082	11,471	No	0	Molto basso
6,40	131,400	98,057	58,135	5,964	2,625	1,019811	207,213	0,951	0,907	0,082	11,041	No	0	Molto basso
6,60	135,800	100,496	56,681	5,969	2,633	0,995064	204,960	0,950	0,881	0,083	10,644	No	0	Molto basso
6,80	140,200	102,935	55,295	5,974	2,640	0,9714895	202,796	0,948	0,856	0,083	10,276	No	0	Molto basso
7,00	144,600	105,373	53,974	5,978	2,647	0,9490062	200,716	0,946	0,832	0,084	9,934	No	0	Molto basso
7,20	149,000	107,812	52,712	5,983	2,654	0,9275399	198,714	0,945	0,810	0,084	9,615	No	0	Molto basso
7,40	153,400	110,251	51,506	5,987	2,661	0,9070234	196,786	0,943	0,789	0,085	9,317	No	0	Molto basso
7,60	157,800	112,689	116,396	2,640	2,160	0,9420164	183,267	0,942	0,652	0,085	7,671	No	0	Molto basso
7,80	162,200	115,128	115,156	2,641	2,163	0,931986	182,109	0,940	0,642	0,085	7,511	No	0	Molto basso
8,00	166,600	117,567	113,956	2,642	2,166	0,9222693	180,987	0,939	0,631	0,086	7,359	No	0	Molto basso
8,20	171,000	120,005	78,742	5,996	2,543	0,9128504	236,000	0,937	1,302	0,086	15,122	No	0	Molto basso
8,40	175,400	122,444	77,954	6,000	2,546	0,9037142	234,880	0,936	1,285	0,086	14,866	No	0	Molto basso
8,60	179,800	124,883	77,190	6,003	2,549	0,8948469	233,790	0,934	1,268	0,087	14,623	No	0	Molto basso
8,80	184,200	127,321	76,447	6,006	2,552	0,8862357	232,729	0,933	1,252	0,087	14,391	No	0	Molto basso
9,00	188,600	129,760	75,725	6,009	2,555	0,8778685	231,697	0,931	1,237	0,087	14,170	No	0	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio = Molto basso

### Prova penetrometrica 59\_CPT

#### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unia volume (KN/mc)	Peso unia volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	1,6	18	20	0	0	1389,6	98	0
2		1,6	4,6	20	22	0	0	1117,95	83,36	0
3		4,6	5,4	19	21	0	0	10647	5865	0
4		5,4	8,4	20	22	0	0	14275	392	0
5		8,4	9,4	20,5	22	0	0	13435	618	0

Correzione per la magnitudo (MSF) 2,21

Rischio	Indice di liquefazione	Suscettibilità di liquefazione	Coefficiente di sicurezza Fs	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla punta corretta q <sub>c1</sub> (KPa)	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Indice di comportamento Ic	Attrito laterale normalizzato F(%)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Pressione verticale effettiva (KPa)	Pressione litostatica totale (KPa)	Profondità dal p.c. (m)
Molto basso	0	No	5,314	0,065	0,345	0,976	141,839	1,688087	3,067	7,888	17,839	59,239	61,200	3,20
Molto basso	0	No	4,984	0,067	0,333	0,974	139,594	1,621341	3,082	7,921	17,062	61,677	65,600	3,40
Molto basso	0	No	4,698	0,068	0,322	0,972	137,482	1,559673	3,097	7,955	16,345	64,116	70,000	3,60
Molto basso	0	No	4,448	0,070	0,311	0,971	135,490	1,502524	3,111	7,988	15,680	66,555	74,400	3,80
Molto basso	0	No	4,227	0,071	0,302	0,969	133,607	1,449415	3,125	8,022	15,062	68,993	78,800	4,00
Molto basso	0	No	4,031	0,073	0,293	0,968	131,824	1,399932	3,139	8,056	14,486	71,432	83,200	4,20
Molto basso	0	No	3,856	0,074	0,285	0,966	130,133	1,353717	3,152	8,090	13,948	73,871	87,600	4,40
Molto basso	0	No	3,699	0,075	0,277	0,965	128,527	1,310455	3,165	8,125	13,445	76,309	92,000	4,60
Molto basso	0	No	3073,3	0,076	233,82	0,963	1359,62	1,273106	3,254	55,588	134,323	78,548	96,200	4,80
Molto basso	0	No	2853,8	0,077	219,97	0,962	1332,22	1,237828	3,260	55,610	130,549	80,787	100,400	5,00
Molto basso	0	No	2657,4	0,078	207,31	0,960	1306,16	1,204451	3,265	55,632	126,978	83,025	104,600	5,20



5,40	108,800	85,264	123,595	55,655	3,270	1,172827	1281,33	0,959	195,72	0,079	2480,9	No	0	Molto basso
5,60	113,200	87,703	152,430	2,768	2,102	1,067809	222,341	0,957	1,102	0,080	13,835	No	0	Molto basso
5,80	117,600	90,141	150,354	2,769	2,106	1,053266	220,350	0,956	1,075	0,080	13,371	No	0	Molto basso
6,00	122,000	92,580	148,360	2,770	2,110	1,039301	218,439	0,954	1,049	0,081	12,942	No	0	Molto basso
6,20	126,400	95,019	146,444	2,771	2,113	1,025877	216,604	0,953	1,025	0,082	12,545	No	0	Molto basso
6,40	130,800	97,457	144,600	2,771	2,117	1,012961	214,840	0,951	1,002	0,082	12,175	No	0	Molto basso
6,60	135,200	99,896	142,824	2,772	2,120	1,00052	213,142	0,950	0,981	0,083	11,832	No	0	Molto basso
6,80	139,600	102,335	141,112	2,773	2,123	0,9885269	211,506	0,948	0,960	0,083	11,511	No	0	Molto basso
7,00	144,000	104,773	139,460	2,774	2,127	0,9769548	209,930	0,946	0,940	0,084	11,210	No	0	Molto basso
7,20	148,400	107,212	137,865	2,775	2,130	0,9657799	208,408	0,945	0,922	0,084	10,929	No	0	Molto basso
7,40	152,800	109,651	136,323	2,776	2,133	0,9549798	206,939	0,943	0,904	0,085	10,665	No	0	Molto basso
7,60	157,200	112,089	134,832	2,777	2,136	0,9445342	205,519	0,942	0,887	0,085	10,416	No	0	Molto basso
7,80	161,600	114,528	133,389	2,778	2,139	0,934424	204,145	0,940	0,871	0,086	10,182	No	0	Molto basso
8,00	166,000	116,967	131,991	2,778	2,142	0,9246317	202,816	0,939	0,856	0,086	9,961	No	0	Molto basso
8,20	170,400	119,405	130,636	2,779	2,145	0,915141	201,529	0,937	0,841	0,086	9,752	No	0	Molto basso
8,40	174,800	121,844	129,322	2,780	2,148	0,9059365	200,281	0,936	0,827	0,087	9,554	No	0	Molto basso
8,60	179,200	124,283	120,513	4,662	2,344	0,8970043	252,988	0,934	1,586	0,087	18,256	No	0	Molto basso
8,80	183,600	126,721	119,347	4,664	2,347	0,8883313	251,665	0,933	1,562	0,087	17,928	No	0	Molto basso
9,00	188,000	129,160	118,215	4,665	2,350	0,879905	250,379	0,931	1,540	0,087	17,616	No	0	Molto basso
9,20	192,400	131,599	117,115	4,667	2,352	0,8717141	249,128	0,928	1,518	0,088	17,342	No	0	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio = Molto basso

### Prova penetrometrica 68\_CPT

#### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unia volume (KN/mc)	Peso unia volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	3	18	20	0	0	2661,52	98	0
2		3	3,8	20	22	0	0	18068	83,36	0
3		3,8	12,6	19	21	0	0	1296	66,68	0
4		12,6	14	20	22	0	0	5926	281,45	0
5		14	15,4	20,5	22	0	0	14457	540,87	0
6		15,4	21,4	20,5	22	0	0	7335,37	323,61	0

Correzione per la magnitudo (MSF) 2,21

Rischio	Indice di liquefazione	Suscettibilità di liquefazione	Coefficiente di sicurezza Fs	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla punta corretta q <sub>c1</sub> (KPa)	Correzione per la pressione litorale efficace CQ	Indice di comportamento I <sub>c</sub>	Attrito laterale normalizzato F(%)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Pressione verticale effettiva (KPa)	Pressione litorale totale (KPa)	Profondità del p.c. (m)
Molto basso	0	No	9,504	0,065	0,619	0,976	179,589	1,331103	1,403	0,463	240,504	56,439	58,400	3,20
Molto basso	0	No	9,081	0,067	0,608	0,974	178,440	1,303244	1,411	0,463	235,470	58,877	62,800	3,40
Molto basso	0	No	8,700	0,069	0,598	0,972	177,253	1,277065	1,418	0,463	230,740	61,316	67,200	3,60
Molto basso	0	No	8,353	0,070	0,587	0,971	176,041	1,252403	1,424	0,463	226,284	63,755	71,600	3,80
Molto basso	0	No	3,423	0,072	0,246	0,969	121,255	1,515304	2,947	5,465	18,490	65,993	75,800	4,00
Molto basso	0	No	3,282	0,073	0,240	0,968	119,862	1,465588	2,960	5,484	17,822	68,232	80,000	4,20
Molto basso	0	No	3,155	0,074	0,235	0,966	118,537	1,41903	2,973	5,503	17,196	70,471	84,200	4,40
Molto basso	0	No	3,041	0,076	0,230	0,965	117,275	1,375339	2,985	5,522	16,609	72,709	88,400	4,60
Molto basso	0	No	2,937	0,077	0,225	0,963	116,071	1,334258	2,997	5,541	16,056	74,948	92,600	4,80
Molto basso	0	No	2,843	0,078	0,221	0,962	114,920	1,29556	3,009	5,560	15,536	77,187	96,800	5,00
Molto basso	0	No	2,757	0,079	0,217	0,960	113,820	1,259044	3,021	5,580	15,046	79,425	101,000	5,20
Molto basso	0	No	2,679	0,080	0,213	0,959	112,766	1,224529	3,032	5,600	14,582	81,664	105,200	5,40
Molto basso	0	No	2,607	0,080	0,210	0,957	111,755	1,191857	3,043	5,619	14,143	83,903	109,400	5,60

5,80	113,600	86,141	13,726	5,639	3,054	1,160882	110,785	0,956	0,206	0,081	2,540	No	0	Molto basso
6,00	117,800	88,380	13,331	5,659	3,065	1,131477	109,853	0,954	0,203	0,082	2,479	No	0	Molto basso
6,20	122,000	90,619	12,955	5,680	3,075	1,103525	108,957	0,953	0,200	0,083	2,422	No	0	Molto basso
6,40	126,200	92,857	12,598	5,700	3,085	1,07692	108,095	0,951	0,197	0,083	2,369	No	0	Molto basso
6,60	130,400	95,096	12,257	5,721	3,096	1,051568	107,264	0,950	0,195	0,084	2,320	No	0	Molto basso
6,80	134,600	97,335	11,932	5,741	3,106	1,027382	106,463	0,948	0,192	0,085	2,274	No	0	Molto basso
7,00	138,800	99,573	11,622	5,762	3,115	1,004284	105,691	0,946	0,190	0,085	2,231	No	0	Molto basso
7,20	143,000	101,812	11,325	5,783	3,125	0,9822018	104,945	0,945	0,187	0,086	2,191	No	0	Molto basso
7,40	147,200	104,051	11,041	5,804	3,135	0,9610696	104,225	0,943	0,185	0,086	2,153	No	0	Molto basso
7,60	151,400	106,289	10,769	5,826	3,144	0,9408275	103,529	0,942	0,183	0,087	2,117	No	0	Molto basso
7,80	155,600	108,528	10,508	5,847	3,153	0,9214205	102,855	0,940	0,181	0,087	2,084	No	0	Molto basso
8,00	159,800	110,767	10,258	5,869	3,162	0,9027979	102,204	0,939	0,179	0,087	2,053	No	0	Molto basso
8,20	164,000	113,005	10,017	5,890	3,171	0,8849133	101,573	0,937	0,177	0,088	2,023	No	0	Molto basso
8,40	168,200	115,244	9,786	5,912	3,180	0,8677234	100,962	0,936	0,176	0,088	1,995	No	0	Molto basso
8,60	172,400	117,483	9,564	5,934	3,189	0,8511887	100,370	0,934	0,174	0,088	1,969	No	0	Molto basso
8,80	176,600	119,721	9,350	5,957	3,198	0,8352723	99,796	0,933	0,172	0,089	1,943	No	0	Molto basso
9,00	180,800	121,960	9,144	5,979	3,206	0,8199403	99,239	0,931	0,171	0,089	1,920	No	0	Molto basso
9,20	185,000	124,199	8,945	6,002	3,215	0,8051609	98,699	0,928	0,169	0,089	1,900	No	0	Molto basso
9,40	189,200	126,437	8,754	6,025	3,223	0,790905	98,174	0,923	0,168	0,089	1,886	No	0	Molto basso
9,60	193,400	128,676	8,569	6,048	3,232	0,777145	97,665	0,918	0,167	0,089	1,873	No	0	Molto basso
9,80	197,600	130,915	8,390	6,071	3,240	0,7638556	97,170	0,912	0,165	0,089	1,862	No	0	Molto basso
10,00	201,800	133,153	8,218	6,094	3,248	0,7510133	96,690	0,907	0,164	0,089	1,851	No	0	Molto basso
10,20	206,000	135,392	8,051	6,117	3,256	0,7385954	96,222	0,902	0,163	0,088	1,841	No	0	Molto basso
10,40	210,200	137,631	7,889	6,141	3,264	0,7265816	95,768	0,896	0,162	0,088	1,832	No	0	Molto basso
10,60	214,400	139,870	7,733	6,165	3,272	0,7149523	95,326	0,891	0,161	0,088	1,823	No	0	Molto basso
10,80	218,600	142,108	7,582	6,189	3,280	0,7036895	94,897	0,886	0,159	0,088	1,815	No	0	Molto basso
11,00	222,800	144,347	7,435	6,213	3,287	0,692776	94,478	0,880	0,158	0,088	1,808	No	0	Molto basso
11,20	227,000	146,586	7,293	6,238	3,295	0,6821958	94,071	0,875	0,157	0,087	1,802	No	0	Molto basso
11,40	231,200	148,824	7,155	6,262	3,303	0,671934	93,675	0,870	0,156	0,087	1,796	No	0	Molto basso
11,60	235,400	151,063	7,021	6,287	3,310	0,6619763	93,289	0,864	0,156	0,087	1,790	No	0	Molto basso
11,80	239,600	153,302	6,891	6,312	3,318	0,6523094	92,913	0,859	0,155	0,087	1,786	No	0	Molto basso
12,00	243,800	155,540	6,765	6,337	3,325	0,6429208	92,547	0,854	0,154	0,086	1,782	No	0	Molto basso
12,20	248,000	157,779	6,642	6,363	3,332	0,6337986	92,191	0,848	0,153	0,086	1,778	No	0	Molto basso
12,40	252,200	160,018	6,523	6,388	3,340	0,6249317	91,843	0,843	0,152	0,086	1,775	No	0	Molto basso
12,60	256,400	162,256	6,407	6,414	3,347	0,6163095	91,504	0,838	0,151	0,085	1,772	No	0	Molto basso
12,80	260,800	164,695	34,398	4,968	2,722	0,6071836	149,686	0,832	0,392	0,085	4,611	No	0	Molto basso
13,00	265,200	167,134	33,870	4,972	2,727	0,5983242	148,849	0,827	0,387	0,085	4,570	No	0	Molto basso
13,20	269,600	169,572	33,357	4,976	2,732	0,5897195	148,030	0,822	0,382	0,084	4,531	No	0	Molto basso
13,40	274,000	172,011	32,858	4,980	2,737	0,5813589	147,230	0,816	0,377	0,084	4,494	No	0	Molto basso
13,60	278,400	174,450	32,374	4,984	2,742	0,5732318	146,447	0,811	0,372	0,083	4,459	No	0	Molto basso
13,80	282,800	176,888	31,903	4,987	2,747	0,565329	145,681	0,806	0,368	0,083	4,425	No	0	Molto basso
14,00	287,200	179,327	31,444	4,991	2,751	0,557641	144,932	0,800	0,363	0,083	4,394	No	0	Molto basso
14,20	291,600	181,766	107,232	3,818	2,306	0,7417273	211,179	0,795	0,956	0,082	11,624	No	0	Molto basso
14,40	296,000	184,204	106,519	3,819	2,308	0,7368011	210,443	0,790	0,947	0,082	11,571	No	0	Molto basso
14,60	300,400	186,643	105,821	3,821	2,310	0,7319717	209,721	0,784	0,938	0,081	11,522	No	0	Molto basso
14,80	304,800	189,082	105,137	3,822	2,312	0,7272362	209,013	0,779	0,929	0,081	11,476	No	0	Molto basso
15,00	309,200	191,520	104,465	3,823	2,314	0,7225913	208,319	0,774	0,921	0,081	11,433	No	0	Molto basso
15,20	313,600	193,959	103,806	3,824	2,316	0,7180343	207,638	0,768	0,913	0,080	11,393	No	0	Molto basso
15,40	318,000	196,398	103,160	3,825	2,318	0,7135624	206,969	0,763	0,905	0,080	11,356	No	0	Molto basso
15,60	322,400	198,836	35,270	4,614	2,692	0,5029265	145,258	0,757	0,365	0,079	4,609	No	0	Molto basso
15,80	326,800	201,275	34,821	4,617	2,696	0,496833	144,593	0,752	0,361	0,079	4,586	No	0	Molto basso
16,00	331,200	203,714	34,382	4,620	2,700	0,4908854	143,940	0,747	0,357	0,078	4,564	No	0	Molto basso
16,20	335,600	206,152	33,954	4,623	2,704	0,4850785	143,300	0,741	0,354	0,078	4,543	No	0	Molto basso
16,40	340,000	208,591	33,536	4,626	2,708	0,4794074	142,672	0,736	0,350	0,077	4,524	No	0	Molto basso
16,60	344,400	211,030	33,128	4,629	2,712	0,4738673	142,055	0,731	0,347	0,077	4,506	No	0	Molto basso
16,80	348,800	213,468	32,729	4,632	2,716	0,4684539	141,450	0,725	0,343	0,076	4,490	No	0	Molto basso
17,00	353,200	215,907	32,339	4,635	2,720	0,4631627	140,855	0,720	0,340	0,076	4,474	No	0	Molto basso
17,20	357,600	218,346	31,957	4,638	2,724	0,4579896	140,271	0,715	0,337	0,075	4,460	No	0	Molto basso
17,40	362,000	220,784	31,585	4,641	2,728	0,4529309	139,697	0,709	0,334	0,075	4,447	No	0	Molto basso

17,60	366,400	223,223	31,220	4,644	2,732	0,4479827	139,133	0,704	0,330	0,075	4,434	No	0	Molto basso
17,80	370,800	225,662	30,863	4,647	2,736	0,4431415	138,579	0,699	0,328	0,074	4,423	No	0	Molto basso
18,00	375,200	228,100	30,514	4,649	2,739	0,4384038	138,034	0,693	0,325	0,074	4,413	No	0	Molto basso
18,20	379,600	230,539	30,172	4,652	2,743	0,4337662	137,499	0,688	0,322	0,073	4,404	No	0	Molto basso
18,40	384,000	232,978	29,837	4,655	2,747	0,4292259	136,972	0,683	0,319	0,073	4,396	No	0	Molto basso
18,60	388,400	235,416	29,509	4,658	2,751	0,4247795	136,453	0,677	0,316	0,072	4,389	No	0	Molto basso
18,80	392,800	237,855	29,188	4,661	2,754	0,4204244	135,943	0,672	0,314	0,072	4,382	No	0	Molto basso
19,00	397,200	240,294	28,874	4,664	2,758	0,4161576	135,442	0,667	0,311	0,071	4,377	No	0	Molto basso
19,20	401,600	242,732	28,566	4,667	2,761	0,4119765	134,948	0,661	0,309	0,071	4,373	No	0	Molto basso
19,40	406,000	245,171	28,263	4,670	2,765	0,4078787	134,461	0,656	0,306	0,070	4,369	No	0	Molto basso
19,60	410,400	247,610	27,967	4,673	2,768	0,4038616	133,982	0,651	0,304	0,070	4,366	No	0	Molto basso
19,80	414,800	250,048	27,677	4,676	2,772	0,3999228	133,511	0,645	0,301	0,069	4,365	No	0	Molto basso
20,00	419,200	252,487	27,392	4,679	2,775	0,3960601	133,047	0,640	0,299	0,069	4,364	No	0	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio = Molto basso

### Prova penetrometrica 69\_CPT

#### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unia volume (KN/mc)	Peso unita volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	1,2	18	20	0	0	2137,84	126,5	0
2		1,2	1,8	20	22	0	0	12748	258,8	0
3		1,8	2,4	19	21	0	0	4216,85	187,3	0
4		2,4	4	20	22	0	0	2264,59	924,76	0
5		4	5	20,5	22	0	0	7100	604,08	0
6		5	6,4	20,5	22	0	0	12370	734,5	0
7		6,4	8,6	20,5	22	0	0	5901,64	420,7	0
8		8,6	10,2	21	23	0	0	20839	343,3	0

Correzione per la magnitudo (MSF) 2,21

Rischio	Indice di liquefazione	Susceptibilità di liquefazione	Coefficiente di sicurezza Fs	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla punta corretta qcl (KPa)	Correzione per la pressione liostatica efficace CQ	Indice di comportamento Ic	Attrito laterale normalizzato F(%)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Pressione verticale effettiva (KPa)	Pressione liostatica totale (KPa)	Profondità dal p.c. (m)
Molto basso	0	No	162,14	0,065	10,537	0,976	482,666	1,682407	3,420	41,974	37,067	59,439	61,400	3,20
Molto basso	0	No	146,25	0,067	9,769	0,974	470,544	1,6161	3,431	42,058	35,535	61,877	65,800	3,40
Molto basso	0	No	132,73	0,068	9,086	0,972	459,210	1,554823	3,442	42,142	34,119	64,316	70,200	3,60
Molto basso	0	No	121,11	0,070	8,475	0,971	448,585	1,498022	3,452	42,227	32,807	66,755	74,600	3,80
Molto basso	0	No	111,05	0,071	7,927	0,969	438,601	1,445226	3,462	42,312	31,587	69,193	79,000	4,00
Molto basso	0	No	50,578	0,073	3,676	0,968	338,138	1,396024	2,614	8,609	97,953	71,632	83,400	4,20
Molto basso	0	No	47,255	0,074	3,491	0,966	332,240	1,350062	2,622	8,615	94,669	74,071	87,800	4,40
Molto basso	0	No	44,304	0,075	3,322	0,965	326,667	1,30703	2,631	8,620	91,594	76,509	92,200	4,60
Molto basso	0	No	41,670	0,076	3,167	0,963	321,391	1,266656	2,639	8,626	88,709	78,948	96,600	4,80
Molto basso	0	No	39,306	0,077	3,025	0,962	316,387	1,228702	2,647	8,631	85,997	81,387	101,000	5,00
Molto basso	0	No	38,393	0,078	2,989	0,960	315,090	1,092225	2,405	5,989	135,108	83,825	105,400	5,20
Molto basso	0	No	37,115	0,079	2,921	0,959	312,592	1,076676	2,408	5,991	133,185	86,264	109,800	5,40
Molto basso	0	No	35,936	0,079	2,856	0,957	310,194	1,061773	2,412	5,993	131,341	88,703	114,200	5,60
Molto basso	0	No	34,845	0,080	2,794	0,956	307,889	1,047471	2,415	5,995	129,572	91,141	118,600	5,80
Molto basso	0	No	33,832	0,081	2,736	0,954	305,670	1,033733	2,419	5,997	127,873	93,580	123,000	6,00
Molto basso	0	No	32,890	0,082	2,681	0,953	303,533	1,020521	2,422	6,000	126,239	96,019	127,400	6,20
Molto basso	0	No	32,011	0,082	2,628	0,951	301,473	1,007803	2,425	6,002	124,665	98,457	131,800	6,40
Molto basso	0	No	15,104	0,083	1,249	0,950	232,478	0,991119	2,697	7,297	57,142	100,896	136,200	6,60
Molto basso	0	No	14,553	0,083	1,211	0,948	229,931	0,9677289	2,704	7,303	55,751	103,335	140,600	6,80

7,00	145,000	105,773	54,424	7,308	2,711	0,9454173	227,480	0,946	1,175	0,084	14,040	No	0	Molto basso
7,20	149,400	108,212	53,157	7,314	2,718	0,9241114	225,120	0,945	1,141	0,084	13,563	No	0	Molto basso
7,40	153,800	110,651	51,946	7,319	2,725	0,9037445	222,846	0,943	1,109	0,085	13,117	No	0	Molto basso
7,60	158,200	113,089	50,787	7,325	2,731	0,8842561	220,651	0,942	1,079	0,085	12,700	No	0	Molto basso
7,80	162,600	115,528	49,677	7,330	2,738	0,8655904	218,532	0,940	1,051	0,085	12,309	No	0	Molto basso
8,00	167,000	117,967	48,612	7,336	2,744	0,8476965	216,484	0,939	1,024	0,086	11,942	No	0	Molto basso
8,20	171,400	120,405	47,591	7,342	2,750	0,8305275	214,504	0,937	0,998	0,086	11,598	No	0	Molto basso
8,40	175,800	122,844	46,611	7,347	2,756	0,81404	212,587	0,936	0,973	0,086	11,273	No	0	Molto basso
8,60	180,200	125,283	45,668	7,353	2,762	0,7981943	210,730	0,934	0,950	0,087	10,966	No	0	Molto basso
8,80	184,800	127,921	44,749	1,662	1,878	0,8841549	215,338	0,933	1,009	0,087	11,608	No	0	Molto basso
9,00	189,400	130,560	43,851	1,663	1,881	0,8751747	213,622	0,931	0,987	0,087	11,326	No	0	Molto basso
9,20	194,000	133,199	42,975	1,663	1,884	0,8664627	211,958	0,928	0,966	0,087	11,074	No	0	Molto basso
9,40	198,600	135,837	42,148	1,663	1,887	0,8580059	210,343	0,923	0,945	0,087	10,864	No	0	Molto basso
9,60	203,200	138,476	41,368	1,664	1,889	0,8497918	208,775	0,918	0,926	0,087	10,667	No	0	Molto basso
9,80	207,800	141,115	40,625	1,664	1,892	0,8418094	207,251	0,912	0,908	0,087	10,479	No	0	Molto basso
10,00	212,400	143,753	39,917	1,664	1,895	0,8340477	205,771	0,907	0,890	0,086	10,301	No	0	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio = Molto basso

## RIBOLLA

**Parametri sismici sito**

Via **Ribolla Roccastrada**

Lat. **42.9715652** Long. **11.0345583** Alt.  m

Datum **WGS84** **Cerca zona**

**Parametri sismici**

Lat. (ED50) **42.97254** Long. (ED50) **11.035533**

Classe dell'edificio **II. Costruzioni il cui uso preveda norma...**

Coefficiente d'uso Cu **1**

Vita nominale **50** anni

Interpolazione **Media ponderata**

Stato limite		Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	TC [s]
Px	Operatività (SLO)	30	0.037	2.553	0.2
	Danno (SLD)	50	0.046	2.519	0.2
	Salvaguardia vita (SLV)	475	0.113	2.509	0.2
	Prevenzione collasso (SLC)	975	0.144	2.516	0.2
P1	Operatività (SLO)	30	0.035	2.556	0.2
	Danno (SLD)	50	0.044	2.545	0.2
	Salvaguardia vita (SLV)	475	0.101	2.551	0.2
	Prevenzione collasso (SLC)	975	0.128	2.547	0.2
P2	Operatività (SLO)	30	0.038	2.551	0.2

Periodo di riferimento per l'azione sismica **50**

**Calcola**

## PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso (Cu): 1  
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 42.9715600 [°]

Longitudine (WGS84): 11.0345600 [°]

Latitudine (ED50): 42.9725400 [°]  
 Longitudine (ED50): 11.0355300 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	23607	42.958740	11.030300	1592.66
2	23608	42.960170	11.098610	5313.58
3	23386	43.010150	11.096710	6499.71
4	23385	43.008720	11.028350	4065.03

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.035	2.556	0.212
SLD	50	0.044	2.545	0.229
SLV	475	0.101	2.551	0.274
SLC	975	0.128	2.547	0.282

#### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.038	2.551	0.217
SLD	50	0.048	2.495	0.245
SLV	475	0.122	2.467	0.272
SLC	975	0.157	2.483	0.277

#### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.040	2.549	0.220
SLD	50	0.052	2.486	0.245
SLV	475	0.134	2.457	0.270
SLC	975	0.170	2.485	0.276

#### Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.038	2.550	0.216
SLD	50	0.048	2.495	0.239
SLV	475	0.122	2.467	0.271
SLC	975	0.156	2.483	0.276

#### Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.037	2.553	0.214
SLD	50	0.046	2.519	0.236
SLV	475	0.113	2.509	0.273
SLC	975	0.144	2.516	0.279

## DATI GENERALI

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n. 617

Fattore sicurezza normativa 1,25

## FALDA

Profondità falda idrica 3,0 m

## DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0,15

Fattore amplificazione 2,631

Tipo Suolo: B-Sabbie, ghiaie molto addensate, argille molto consistenti Vs30=360-800

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1,2

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 5,5

Peak ground acceleration (PGA) 0,18

## Prova penetrometrica 23\_CPT

### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturato (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	1,8	18	20	0	0	3677,49	213,78	0
2		1,8	5,6	20	22	0	0	6173,28	202,99	0
3		5,6	8,8	19	21	0	0	4733,66	187,3	0

Correzione per la magnitudo (MSF) 2,21

Profondità dal p.c. (m)	Pressione liostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento Ic	Correzione per la pressione liostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
3,20	60,800	58,839	80,479	3,321	2,341	1,303673	167,911	0,976	0,520	0,053	9,759	No	0	Molto basso
3,40	65,200	61,277	78,862	3,323	2,347	1,277468	166,267	0,974	0,507	0,055	9,259	No	0	Molto basso
3,60	69,600	63,716	77,338	3,326	2,353	1,252783	164,717	0,972	0,496	0,056	8,822	No	0	Molto basso
3,80	74,000	66,155	75,899	3,328	2,359	1,229475	163,251	0,971	0,485	0,057	8,437	No	0	Molto basso
4,00	78,400	68,593	74,538	3,331	2,364	1,207422	161,862	0,969	0,474	0,059	8,095	No	0	Molto basso
4,20	82,800	71,032	73,247	3,333	2,369	1,186514	160,544	0,968	0,465	0,060	7,790	No	0	Molto basso
4,40	87,200	73,471	72,021	3,335	2,375	1,166656	159,291	0,966	0,456	0,061	7,516	No	0	Molto basso
4,60	91,600	75,909	70,855	3,338	2,380	1,147763	158,098	0,965	0,448	0,062	7,268	No	0	Molto basso
4,80	96,000	78,348	69,743	3,340	2,385	1,129759	156,959	0,963	0,440	0,062	7,042	No	0	Molto basso
5,00	100,400	80,787	68,683	3,343	2,389	1,112577	155,871	0,962	0,432	0,063	6,837	No	0	Molto basso
5,20	104,800	83,225	67,669	3,345	2,394	1,096155	154,830	0,960	0,425	0,064	6,649	No	0	Molto basso

5,40	109,200	85,664	66,699	3,347	2,399	1,08044	153,832	0,959	0,419	0,065	6,476	No	0	Molto basso
5,60	113,600	88,103	65,769	3,350	2,403	1,065382	152,876	0,957	0,412	0,065	6,316	No	0	Molto basso
5,80	117,800	90,341	49,803	4,058	2,547	1,052099	150,176	0,956	0,395	0,066	5,993	No	0	Molto basso
6,00	122,000	92,580	49,197	4,061	2,551	1,039301	149,441	0,954	0,390	0,066	5,871	No	0	Molto basso
6,20	126,200	94,819	48,613	4,065	2,555	1,026959	148,730	0,953	0,386	0,067	5,756	No	0	Molto basso
6,40	130,400	97,057	48,049	4,069	2,558	1,015046	148,042	0,951	0,382	0,068	5,649	No	0	Molto basso
6,60	134,600	99,296	47,504	4,073	2,562	1,003538	147,376	0,950	0,378	0,068	5,548	No	0	Molto basso
6,80	138,800	101,535	46,977	4,076	2,566	0,9924136	146,731	0,948	0,374	0,069	5,454	No	0	Molto basso
7,00	143,000	103,773	46,468	4,080	2,569	0,9816507	146,106	0,946	0,370	0,069	5,365	No	0	Molto basso
7,20	147,200	106,012	45,975	4,084	2,573	0,9712306	145,499	0,945	0,366	0,069	5,281	No	0	Molto basso
7,40	151,400	108,251	45,497	4,088	2,576	0,9611353	144,910	0,943	0,363	0,070	5,202	No	0	Molto basso
7,60	155,600	110,489	41,434	4,091	2,605	0,905064	143,942	0,942	0,357	0,070	5,094	No	0	Molto basso
7,80	159,800	112,728	40,574	4,095	2,612	0,8870904	142,851	0,940	0,351	0,070	4,980	No	0	Molto basso
8,00	164,000	114,967	39,748	4,099	2,619	0,8698167	141,796	0,939	0,345	0,071	4,873	No	0	Molto basso
8,20	168,200	117,205	38,953	4,103	2,625	0,8532029	140,774	0,937	0,339	0,071	4,772	No	0	Molto basso
8,40	172,400	119,444	38,187	4,106	2,632	0,8372118	139,784	0,936	0,334	0,071	4,676	No	0	Molto basso
8,60	176,600	121,683	37,450	4,110	2,638	0,8218091	138,824	0,934	0,329	0,072	4,586	No	0	Molto basso
8,80	180,800	123,921	36,740	4,114	2,644	0,8069629	137,893	0,933	0,324	0,072	4,500	No	0	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio = Molto basso

### Prova penetrometrica 27\_CPT

#### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	3,4	18	20	0	0	4505	229,47	0
2		3,4	4	20	22	0	0	8073,81	269,68	0
3		4	7,6	19	21	0	0	5214,19	198,09	0
4		7,6	9	20	22	0	0	8107,16	212,8	0

Correzione per la magnitudo (MSF) 2,21

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta q <sub>c1</sub> (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
3,20	58,000	56,039	60,180	5,160	2,568	1,335845	188,646	0,976	0,704	0,053	13,190	No	0	Molto basso
3,40	62,000	58,077	59,114	5,165	2,573	1,31219	187,160	0,974	0,690	0,055	12,542	No	0	Molto basso
3,60	66,400	60,516	103,787	3,368	2,273	1,285479	193,595	0,972	0,755	0,056	13,375	No	0	Molto basso
3,80	70,800	62,955	101,757	3,370	2,279	1,260335	191,551	0,971	0,734	0,058	12,704	No	0	Molto basso
4,00	75,200	65,393	99,842	3,372	2,284	1,236611	189,622	0,969	0,714	0,059	12,112	No	0	Molto basso
4,20	79,400	67,632	63,403	3,858	2,459	1,215973	162,805	0,968	0,481	0,060	8,009	No	0	Molto basso
4,40	83,600	69,871	62,379	3,861	2,464	1,196334	161,649	0,966	0,473	0,061	7,732	No	0	Molto basso
4,60	87,800	72,109	61,403	3,864	2,469	1,177617	160,545	0,965	0,465	0,062	7,482	No	0	Molto basso
4,80	92,000	74,348	60,472	3,867	2,473	1,159752	159,488	0,963	0,457	0,063	7,254	No	0	Molto basso
5,00	96,200	76,587	59,581	3,870	2,478	1,142677	158,476	0,962	0,450	0,064	7,046	No	0	Molto basso
5,20	100,400	78,825	58,729	3,874	2,483	1,126333	157,505	0,960	0,443	0,065	6,855	No	0	Molto basso
5,40	104,600	81,064	57,913	3,877	2,487	1,110672	156,573	0,959	0,437	0,065	6,679	No	0	Molto basso
5,60	108,800	83,303	57,129	3,880	2,491	1,095647	155,677	0,957	0,431	0,066	6,517	No	0	Molto basso
5,80	113,000	85,541	56,377	3,883	2,496	1,081215	154,814	0,956	0,425	0,067	6,367	No	0	Molto basso
6,00	117,200	87,780	55,653	3,886	2,500	1,067338	153,982	0,954	0,420	0,067	6,227	No	0	Molto basso
6,20	121,400	90,019	54,957	3,890	2,504	1,053983	153,181	0,953	0,414	0,068	6,097	No	0	Molto basso
6,40	125,600	92,257	54,286	3,893	2,508	1,041117	152,407	0,951	0,409	0,068	5,976	No	0	Molto basso

6,60	129,800	94,496	53,639	3,896	2,512	1,02871	151,659	0,950	0,404	0,069	5,863	No	0	Molto basso
6,80	134,000	96,735	53,015	3,899	2,515	1,016737	150,936	0,948	0,400	0,069	5,756	No	0	Molto basso
7,00	138,200	98,973	52,412	3,902	2,519	1,005173	150,236	0,946	0,395	0,070	5,657	No	0	Molto basso
7,20	142,400	101,212	51,829	3,906	2,523	0,9939942	149,559	0,945	0,391	0,070	5,563	No	0	Molto basso
7,40	146,600	103,451	51,265	3,909	2,526	0,9831803	148,902	0,943	0,387	0,071	5,474	No	0	Molto basso
7,60	150,800	105,689	50,719	3,912	2,530	0,972712	148,266	0,942	0,383	0,071	5,390	No	0	Molto basso
7,80	155,200	108,128	77,965	2,676	2,281	0,9616804	147,381	0,940	0,378	0,071	5,292	No	0	Molto basso
8,00	159,600	110,567	77,100	2,678	2,285	0,9510158	146,582	0,939	0,373	0,072	5,203	No	0	Molto basso
8,20	164,000	113,005	76,264	2,679	2,288	0,9406984	145,810	0,937	0,368	0,072	5,120	No	0	Molto basso
8,40	168,400	115,444	75,454	2,681	2,292	0,9307095	145,062	0,936	0,364	0,072	5,041	No	0	Molto basso
8,60	172,800	117,883	74,670	2,682	2,295	0,9210322	144,338	0,934	0,360	0,072	4,966	No	0	Molto basso
8,80	177,200	120,321	73,909	2,683	2,298	0,9116508	143,637	0,933	0,356	0,073	4,895	No	0	Molto basso
9,00	181,600	122,760	73,171	2,685	2,302	0,9025503	142,957	0,931	0,352	0,073	4,828	No	0	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio = Molto basso

Per le restanti porzioni di territorio comunale analizzate durante gli studi di Microzonazione Sismica non si presume, date le successioni geologiche rilevate e le litologie rinvenute, nonché il contesto idrogeologico ivi presente, la possibilità di possibili fenomeni di liquefazione; come ad esempio per l'area di studio di Sticciano Scalo laddove, come desumibile dai punti di indagine raccolti (stratigrafie dei pozzi 189269 e 189272), nei settori di fondovalle sono presenti litologie prevalentemente grossolane (ciottolami e ghiaie in matrice argilloso limosa) e una falda collocata in dette litologie a profondità comprese tra 11,0 e 11,4 m dal p.c..



### 3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

#### 3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO

Posto nel settore settentrionale della Provincia di Grosseto al confine con quella di Siena, il territorio comunale di Roccastrada si estende, su una superficie di 285 kmq tra la pianura della Maremma grossetana e le Colline Metallifere grossetane.

L'area confina amministrativamente la Provincia di Siena e i relativi comuni di Chiusdino e Monticiano, a est con il comune di Civitella Paganico, a sud-est con il comune di Campagnatico, a sud con il comune di Grosseto, a ovest con i comuni di Gavorrano e Massa Marittima e a nord-ovest con il comune di Montieri.



*Ubicazione del Comune di Roccastrada nella configurazione della Provincia di Grosseto*

Il capoluogo comunale è situato 379,0 m s.l.m. su una rupe di tufo che, da est, domina un tratto del corso del Fiume Lente; si trova al centro di un territorio che si sviluppa prevalentemente a quote collinari, seppur intervallato da conche e rilievi. L'altitudine minore si registra nel Pianetto di Sovana, presso l'omonima località, con quote attorno ai 270,0 metri, mentre le quote più elevate, di tipo montano, si registrano sulla vetta che sovrasta la frazione di Montevitozzo (926,0 m s.l.m.) e sul Monte Elmo (829,0 m s.l.m.), due rilievi che interrompono in modo netto il paesaggio collinare.

Dal punto di vista morfologico si tratta di un paesaggio molto variegato in cui è possibile delineare due parti morfologicamente collegate: un settore settentrionale caratterizzato da rilievi collinari e alto-collinari fino a quote di circa 800 metri s.l.m., con un idrografia fortemente sviluppata e un sistema vegetazionale rigoglioso e un settore meridionale caratterizzato prevalentemente da aree di pianura o dolcemente ondulate dove sono dominanti gli insediamenti agricoli.

I paesaggi e le associate varietà di forme sono da mettere in relazione con l'evoluzione geologico-strutturale antica e recente dell'area.

I lineamenti fisiografici principali vengono appresso riportati:

- la porzione settentrionale del territorio comunale è caratterizzata da una morfologia ondulata che delimita la parte alta della pianura maremmana iniziando laddove la piana di Ribolla incontra i primi rilievi collinari. Tra i rilievi di maggior interesse, con una quota altimetrica massima collocata in corrispondenza del M. Alto a 797 m s.l.m., si ricordano quelli dove sorgono gli abitati del capoluogo di Roccastrada (479 m s.l.m.), Roccatederighi (538 m s.l.m.), Sassofortino (575 m s.l.m.) e Montemassi (280 m s.l.m.), caratterizzati dall'essere costituiti da materiali di natura vulcanica variamente disarticolati da strutture tettoniche e rielaborati dall'azione degli agenti atmosferici.

In questo settore la vegetazione è molto variabile in quanto si passa da essenze arbustive dell'area di Roccastrada a vegetazione arborea con prevalenza dei castagneti (zona Roccatederighi – Sassofortino - Torniella).

- il settore meridionale è caratterizzato da una estesa pianura alluvionale, corrispondente alla parte alta della pianura maremmana, solcata dai corsi d'acqua provenienti dai settori collinari posti a nord e, talora, ondulata per la presenza di modesti rilievi costituiti da litologie appartenenti alle serie neogeniche. Le quote oscillano tra valori minimi di piana intorno a 30 metri s.l.m. a Nord di Braccagni e intorno ai 60 metri s.l.m. a Sud di Montemassi, e quelli massimi di circa 110 m s.l.m. in prossimità delle basse colline poste a Sud di Ribolla.

L'area è intensamente interessata dallo sviluppo di un gran numero di attività di natura agraria e artigianale.

### **3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NOTAZIONI STRATIGRAFICHE**

Il territorio comunale di Roccastrada risulta particolarmente interessante e complicato dal punto di vista geologico. Infatti è caratterizzato dalla presenza di terreni appartenenti a unità diverse che sono stati coinvolti in movimenti di sovrascorrimento legati alla orogenesi appenninica.

Nell'area in esame si possono distinguere due principali elementi morfostrutturali: la Dorsale Medio-Toscana, che rappresenta un alto strutturale ed i bacini neogenici impostati all'interno di depressioni tettoniche.

In particolare è riconoscibile un tratto di catena generatosi nell'intervallo Eocene superiore – Miocene inferiore per effetto della collisione fra il Margine europeo e la Microplacca Adria ed entrato in regime di post-collisionale a partire dalla fine del Miocene inferiore. In esse sono riconoscibili gli effetti di deformazioni verificatesi in momenti paleogeografici diversi, con polarità orogenetica verso l'avampaese adriatico.

I movimenti verificatesi durante gli eventi pre e sin-collisionali hanno contribuito alla costruzione di un edificio a falde che prevede la presenza, mediante contatti tettonici, al di sopra delle unità toscane (Unità delle Falda Toscana e Unità di Monticiano-Roccastrada), di ben quattro unità alloctone, delle quali le tre superiori appartengono al Dominio Ligure (Unità di Santa Fiora, Unità di Monteverdi Marittimo-Lanciaia e Unità ofiolitifera delle Argille a Palombini) mentre quella inferiore al Dominio Subligure (Unità delle Argille e Calcari).

Il corrugamento di queste unità si è verificato, procedendo dal bacino ligure verso l'avampaese adriatico, dal Cretaceo superiore all'Eocene superiore, fino cioè alla completa chiusura del Bacino Ligure. Gli eventi deformativi che cadono in questo intervallo di tempo sono indicati con il nome di “fasi liguri”. Nell'Oligocene si struttura, in corrispondenza del margine della placca adriatica, un sistema orogenico di “thrust-avanfossa”, che contraddistingue la fase collisionale. All'interno di tale sistema si sviluppa una sedimentazione, prevalentemente clastica e torbiditica, in bacini di avanfossa subsidenti, posti nelle zone di avampaese, ed in bacini minori, detti

bacini satelliti, a più debole subsidenza, posti sulla catena. Il sistema “thrust-avanfossa” nord-appenninico ha subito, dall'Oligocene al Quaternario, una migrazione verso l'avampaese, con spostamento verso est del depocentro deposizionale e graduale ricoprimento e corrugamento dei settori di avanfossa più occidentali. Gli eventi deformativi che coincidono con la fase collisionale vengono spesso indicati con il nome di “fasi appenniniche”.

Durante il Miocene inferiore si determina l'accavallamento delle unità subligure e liguri sul Dominio Toscano: quest'ultimo subisce un forte corrugamento e va a sovrapporsi al Dominio Umbro-Marchigiano.

L'area in esame si configura, quindi, nel Miocene inferiore, come un edificio a falde che sarà più tardi in gran parte smantellato dalla tettonica distensiva.

L'assetto strutturale attuale della Toscana Meridionale è dominato dalle deformazioni legate alla tettonica distensiva post-collisionale che nel Neogene e nel Quaternario, con l'inizio degli eventi deformativi in regime di distensione alla fine del Miocene inferiore, ha determinato il collasso e lo smembramento di questo ampio settore della catena nord-appenninica.

Si possono distinguere nella Toscana Meridionale due diversi eventi distensivi. Durante il primo evento, riferito ad un intervallo di tempo compreso tra il Miocene inferiore ed il Tortoniano superiore, si è verificata una delaminazione della crosta superiore ad opera di faglie dirette a basso angolo e a geometria complessa. Ne è derivata una situazione geometrica molto caratteristica, nota con il nome di “serie ridotta”, che consiste nella elisione di forti spessori di successione stratigrafica e nella diretta e anomala sovrapposizione delle Unità Liguri sulla formazione anidritica triassica o addirittura sui termini superiori dell'unità Monticiano-Roccastrada. Durante il secondo evento, che è riferito ad un intervallo di tempo compreso fra il Tortoniano superiore ed il pleistocene medio, si sono sviluppate faglie a geometria listrica che hanno dato origine ad un sistema di fosse tettoniche, subparallele, allungate in direzione NW-SE, la cui apertura non si è verificata contemporaneamente ma è proceduta gradualmente da occidente verso oriente.

Nella Toscana meridionale, quindi l'evoluzione sedimentaria neogenico-quadernaria è stata in gran parte condizionata da movimenti verticali della crosta, indotti dalla tettonica distensiva post-collisionale, con conseguenti variazioni relative del livello del mare.

A tale tettonica distensiva è legata la formazione dei bacini neogenici che con andamento appenninico si svilupparono all'interno di ampie depressioni tettoniche. Essi sono separati da strutture che hanno costituito per i bacini delle soglie, emerse o parzialmente sommerse, che hanno fortemente influenzato lo sviluppo delle successioni deposizionali, durante il susseguirsi degli eventi trasgressivi e regressivi che hanno scandito l'evoluzione paleogeografica della Toscana Meridionale durante il Miocene superiore – Pliocene. Dette successioni generalmente iniziano con depositi conglomeratici e sabbioso argillosi di ambiente fluvio-lacustre, a cui ha fatto seguito una deposizione marina, riferibile al Messiniano inferiore, limitata alla sola porzione posta ad ovest della Dorsale Medio Toscana, mentre nell'area ad est si avevano fenomeni di emersione.

Un ambiente continentale si instaura sia ad ovest che ad est della Dorsale nel Messiniano superiore con rispettivamente la deposizione di sedimenti di ambiente lacustre e deltizio-lacustre e sedimenti di solo ambiente lacustre.

Nel Pliocene inferiore si determina l'espansione del dominio marino in tutti i bacini, mentre la sedimentazione post-regressione pliocenica avviene prevalentemente in bacini lacustri isolati di limitata estensione.

Nei settori vallivi alle suddette formazioni si sovrappongono i terreni recenti di copertura costituiti dai depositi eluvio-colluviali, dai depositi detritici di versante, dalle alluvioni recenti e dai depositi alluvionali attuali.

In particolare il settore in esame è caratterizzato principalmente dalla presenza di depositi eluvio-colluviali, costituiti da materiale con elementi eterometrici prevalentemente fini in abbondante matrice sabbioso-limosa, derivanti da trasporto per ruscellamento e di depositi detritici di versante e di frana, costituiti da accumuli di materiale litoide eterometrico. Inoltre nei settori vallivi si riscontrano i depositi alluvionali recenti e attuali, costituiti da ciottolami in matrice limoso-sabbiosa con tessitura da clasto a matrice sostenuta, ghiaie, sabbie e limi talora variamente pedogenizzati

In corrispondenza dei settori urbanizzati si ha la presenza di terreni antropici di riporto.

La carta geologica, con riferimento agli elaborati contenuti nel supporto geologico-tecnico al Piano Strutturale, rappresenta la sintesi delle conoscenze geologiche dell'area. La sua redazione deriva dall'analisi della ricca documentazione cartografica disponibile in letteratura, verificata attraverso specifici sopralluoghi su affioramenti rappresentativi, effettuati anche allo scopo di documentare le scelte e le classificazioni adottate.

I dati geologici e geomorfologici sono stati estrapolati, come indicato nelle specifiche tecniche regionali e nazionali, sia da precedenti studi già eseguiti nel comprensorio comunale di Roccastrada, che da nuovi originali rilevamenti di dettaglio appositamente eseguiti nel corso del presente studio.

Per quanto riguarda il reperimento bibliografico di studi geologici e geomorfologici pregressi, ci si è riferiti alle seguenti indagini:

- Cartografia C.A.R.G. Regione Toscana (compresi originali d'Autore)
- Continuum Territoriale Geologico della Regione Toscana;
- Carta geologica e geomorfologica di supporto al Piano Strutturale di Roccastrada;
- Studi geologici e geomorfologici di dettaglio di supporto alla progettazione di opere pubbliche e private;
- Progetto IFFI (ISPRA).

Tutti i dati reperiti sono stati fra loro confrontati e "validati" mediante mirati percorsi di sopralluogo e rilevamenti originali, anche mirati alla realizzazione delle necessarie interpolazioni e interpretazioni geologiche, specialmente in corrispondenza delle aree coperte da terreno agrario, da boschi e da insediamenti urbani.

Nel presente lavoro si è adottata una rappresentazione cartografica basata sulle simbologie proposte dal progetto regionale VEL-DOCUP (Valutazione Effetti Locali) in ottemperanza alle indicazioni delle ICMS 2012.

Per quanto riguarda le sigle ed i cromatismi delle unità geologiche, in assenza di riferimenti specifici del suddetto progetto, si è fatto riferimento alle indicazioni del Servizio Geologico – ISPRA, che adotta una classificazione in unità litostratigrafiche per le rocce del substrato litoide ed un criterio genetico per la suddivisione dei depositi quaternari definiti ubiquitari (frane, depositi di versante, coltri detritiche ecc.).

La legenda delle unità geologiche proposta si basa, pertanto, sulle sigle ed i criteri CARG mantenendo i tradizionali riferimenti alla nomenclatura classica, ormai consolidata nella letteratura e nella cultura geologica dell'area in esame.

Appare opportuno precisare che questa carta tematica rappresenta uno strumento indispensabile per l'impostazione di studi sistematici o finalizzati a particolari problemi, come quello rappresentato dalla pianificazione urbanistica.

A corredo delle carte geologico-tecniche per la Microzonazione Sismica (Tavv. G.10/1, G.10/2, G.10/3 e G.10/4 in scala 1:5.000), per ciascun centro urbano di interesse, sono state realizzate alcune sezioni geologico-tecniche (Tav. G.13 in scala 1:2.500) rappresentative del modello geologico del sottosuolo. Tali sezioni sono state tracciate in modo tale da intersecare gli elementi strutturali e geomorfologici più rappresentativi anche in funzione delle condizioni di rischio sismico, nonché i rapporti stratigrafici più significativi per la valutazione della suscettibilità all'amplificazione sismica. Ciò ha permesso di rappresentare non solo il modello geologico-stratigrafico e strutturale locale, ma anche di mettere in evidenza le principali criticità legate al profilo dei versanti (scarpate con  $h = 10-20$  m o  $h > 20$  m, picchi isolati, zone di cresta, inclinazioni pendii elevate).

### **3.3 DESCRIZIONE DELLE FORMAZIONI**

In dettaglio, nell'area del Comune di Roccastrada, si ritrovano, dall'alto verso il basso stratigrafico e con nomenclatura congruente con il Progetto CARG (Cartografia Geologica Regione Toscana) e con il Continuum Territoriale Geologico della Regione Toscana, i seguenti depositi e formazioni:

#### **DEPOSITI ANTROPICI**

Sono terreni di origine antropica (h5) individuati nelle aree urbane dei centri abitati o in aree sottoposte a pregresse attività estrattive adesso abbandonate (h2).

Per quanto riguarda in particolare quest'ultima tipologia, in prossimità del centro abitato di Ribolla si ha la presenza di depositi, distribuiti essenzialmente in senso areale, che rappresentano i materiali di scarto relativi all'attività di coltivazione ed estrazione della lignite nelle miniere presenti nel comprensorio ed attive fino a qualche decennio fa.

Attualmente tali depositi si presentano nei campi coltivati frammisti a terreno agrario. Ciò che permette di distinguerli dai terreni circostanti è la caratteristica colorazione grigio-nerastra.

Tali depositi, in cui prevale lo stato sciolto o altamente incoerente, hanno spessori variabili.

#### **DEPOSITI QUATERNARI**

##### **DEPOSITI OLOCENICI**

Sono costituiti dalle coltri detritiche riconducibili a:

- coltri di frana (a1) (*Olocene*)
- depositi di versante (aa) e di falda (a3a) (*Olocene*)
- depositi di conoide alluvionale recente (*Olocene*)
- depositi alluvionali attuali (b) (*Olocene*)
- depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati (bn1) (*Olocene*)

- depositi eluvio-colluviali (b2a) (*Olocene*)

I depositi alluvionali attuali (b) sono i depositi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione, attraverso processi fluviali ordinari, costituiti da ghiaie, sabbie e limi e ghiaie e da depositi prevalentemente limoso sabbiosi nel caso delle piane alluvionali minori. Sono distinguibili depositi con prevalenti ghiaie e sabbie (\_gs), sabbie e limi (\_sl) e con solo sabbie (\_s).

I depositi alluvionali recenti, terrazzati o non terrazzati (bn1) sono riconducibili a depositi di piana alluvionale, costituiti prevalentemente da depositi sabbioso limosi e/o limoso argillosi con ciottolami e ghiaie dispersi nella matrice; talora variamente pedogenizzati. Sono distinguibili depositi con prevalenti ghiaie e sabbie (\_gs), sabbie e limi (\_sl), limi e argille (\_la) e con solo sabbie (\_s).

I corpi di frana e i depositi detritici (aa) di versante e di falda (a3a) sono costituiti da elementi eterometrici prevalentemente grossolani, dispersi in matrice sabbiosa e sabbioso limosa e si trovano accumulati per gravità lungo i versanti o ai piedi di scarpate.

I depositi eluvio-colluviali (b2a) sono costituiti da elementi eterometrici a granulometria minore del detrito di versante, in abbondante matrice sabbioso-limosa, derivanti dall'alterazione del substrato ed accumulati in posto dopo breve trasporto per ruscellamento e per gravità.

Inoltre vi sono depositi di conoide costituiti da depositi alluvionali recenti.

Infine si ha la presenza di depositi continentali a travertini di recente deposizione (fla).

#### DEPOSITI PLEISTOCENICI

##### Travertini continentali (flb) (Pleistocene)

Depositi continentali a travertini

##### Depositi alluvionali (bn2) (Pleistocene)

I depositi alluvionali riconducibili a depositi di piana alluvionale, costituiti prevalentemente da depositi ghiaioso sabbiosi e sabbioso limosi variamente pedogenizzati. Sono distinguibili depositi con prevalenti ghiaie e sabbie (\_gs), ghiaie, sabbie e limi (\_gsl) e sabbie e limi (\_sl).

### **FORMAZIONI NEOGENICHE DEL VERSANTE TIRRENICO DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE**

#### DEPOSITI CONTINENTALI RUSCINIANI E VILLAFRANCHIANI

##### Sabbie e conglomerati (VILe) (Rusciniano-Villafranchiano)

Ciottoli polimodali a tessitura prevalentemente clasto-sostenuta con abbondante matrice sabbioso-limosa e subordinate sabbie medio-grossolane, talora a laminazione piana o inclinata.

##### Argille e argille sabbiose lacustri e fluvio lacustri (VILc) (Rusciniano-Villafranchiano)

Argille e argille sabbiose lignitifere di color biancastro.

##### Sabbie e sabbie argillose (VILb) (Rusciniano-Villafranchiano)

Sabbie medio-fini e limi sabbioso argillosi giallastri massivi, talora laminati piani, di ambiente alluvionale.

##### Conglomerati (VILa) (Rusciniano-Villafranchiano)

Ciottoli polimodali a tessitura prevalentemente clasto-sostenuta con abbondante matrice sabbioso-limosa e subordinate sabbie medio-grossolane, talora a laminazione piana o inclinata.

#### DEPOSITI MARINI PLIOCENICI

##### Calcareniti e calciruditi bioclastiche (PLIc) (Zancleano - Piacenziano)

Calcarei detritico organogeni e calcilutiti bioclastiche di colore giallo, ben cementati e caratterizzati da una stratificazione piano-parallela

Sabbie e arenarie gialle (PLIs) (Zancleano - Piacenziano)

Sono costituite prevalentemente da areniti, sabbie e sabbie argillose di colore giallo e giallo ocraceo con localmente strati e rare lenti di ciottoli. Intercalati alle sabbie argillose si hanno strati di arenarie e sottili livelli di conglomerati che sfumano in sabbie color nocciola.

Argille azzurre (FAA) (Zancleano - Piacenziano)

Argille e argille siltose grigio azzurre, compatte, con intercalati orizzonti centimetrici di sabbie argillose scarsamente cementate. All'interno sono state suddivise le seguenti litologie: argille sabbiose, sabbie argillose e limi di colore variabile da nocciola a grigio (FAAb), olistostromi di materiale ligure (FAAc), sabbie risedimentate con granulometria variabile da fine a grossolana, con evidente gradazione degli elementi clastici (FAAe), calcari detritici organogeni costituiti prevalentemente da gusci di ostreidi (FAAi).

DEPOSITI LACUSTRI E LAGUNARI POST-EVAPORITICI MESSINIANI

Conglomerati poligenici (MESb) (Turoliano inferiore)

La formazione è costituita da conglomerati grano-sostenuti costituiti da clasti subarrotondati ed eterometrici. La matrice è sabbiosa o sabbioso argillosa ed è di colore avana.

Brecce e conglomerati ad elementi di Calcare Cavernoso (MESa) (Turoliano inferiore)

Si tratta di ruditi ad elementi brecciformi di Calcare Cavernoso, fortemente eterometriche, con alcuni blocchi alloctoni. L'insieme mal o non cementato presenta una matrice sabbiosa.

Argille e gessi del Fiume Era Morta – litofacies argilloso sabbiosa (EMO) (Messiniano superiore - Turoliano)

La litofacies argilloso sabbiosa è costituita da argille grigio nocciola e, in minor misura, di argille sabbiose e siltiti marnose grigio nocciola o giallo-ocra. Localmente si rinvencono lenti e livelli di ciottoli minuti, di natura prevalentemente calcarea, immersi in una matrice arenaceo-sabbiosa di colore giallo-ocra.

Argille e gessi del Fiume Era Morta - gessi (EMOg) (Messiniano superiore - Turoliano)

I gessi si presentano con struttura microcristallina (alabastro) di colore ceruleo, contenente sottili intercalazioni di argille grigie, a volte laminate più frequentemente massicce.

DEPOSITI MARINI PRE-EVAPORITICI MESSINIANI

Calcarei di Rosignano – membro calcareo (ROSb) (Messiniano inferiore)

Litologicamente è costituito da calcari, calcareniti e biocalciruditi di colore biancastro. A questi si associano, molto subordinatamente, strati di calcareniti e calcilutiti giallastre.

Formazione del Torrente Raquese – litofacies argillosa (RAQ) (Messiniano inferiore)

Si tratta di argille e argille sabbiose massicce color grigio, talvolta con intercalazioni di arenarie, conglomerati minuti e più raramente marne. Talora si rinvencono lenti di gesso.

Formazione del Torrente Raquese – gessi (RAQg) (Messiniano inferiore)

E' rappresentata da selenite e gessoareniti, o da alabastro. Il gesso selenitico si presenta in banchi dello spessore di alcuni metri, le gessoareniti, di colore grigio-nocciola e a grana media prevalente, affiorano in strati di limitato spessore (12-20 centimetri) accompagnate a livelli di argilla da millimetrici a decimetrici. L'alabastro di colore ceruleo e dall'aspetto nodulare, si presenta in banchi di spessore anche superiore al metro.

DEPOSITI LACUSTRI DEL TUROLIANO INFERIORE

Argille del Torrente Foschi (FOS) (Tortoniano superiore – Messiniano inferiore)



Essa è costituita da argille di colore grigio plumbeo e grigio nocciola, generalmente massicce, localmente siltose, spesso interessate da sottili intercalazioni di calcari marnosi color grigio; talvolta presentano piccoli ciottoli dispersi e lenti di conglomerati minuti, arenarie e marne siltitico argillitiche. Al loro interno si rinvencono frustoli carboniosi e straterelli di lignite.

Formazione del Torrente Sellate – membro conglomeratico (SLEc) (Tortoniano superiore – Messiniano inferiore)

Si presenta in pacchi di strati lenticolari e tabulari costituiti da conglomerati clasto-sostenuti a matrice arenacea. I clasti mostrano dimensioni generalmente comprese tra pochi centimetri e qualche decimetro e forma da arrotondata a subarrotondata, di natura calcarea e subordinatamente arenacea e diasprina.

Formazione del Torrente Sellate – membro arenaceo (SLEr) (Tortoniano superiore – Messiniano inferiore)

E' costituita da arenarie poco coerenti, di colore giallo-ocra, più raramente grigio, a granulometria da media a grossolana e gradazione sia normale che inversa. Strati dello spessore massimo di sessanta centimetri. Intercalati si ritrovano livelli e lenti di conglomerati generalmente costituiti da elementi minuti, eterogenei e ben elaborati di litotipi carbonatici, rocce ofiolitiche e diaspri.

## **FORMAZIONI DEL DOMINIO LIGURE**

### **UNITA' DI SANTA FIORA**

Formazione di Sillano (SIL) (Cretaceo superiore - Paleocene)

Argilliti e siltiti fogliettate, grigio scure, nerastre, rosse, marroni e verdastre, alternate a strati calcarei, calcarenitici e calcareo-marnosi torbiditici a grana fine, talora litografici, da sottili a molto spessi, di colore nocciola o giallastri all'alterazione, grigio chiari al taglio, talvolta con patina verdastra. Frequenti strati gradati calcarenitici da medio-fini a grossolane grigio-scuri, marroni all'alterazione. I livelli calcarei si presentano spesso con fatturazione ad incudine.

Flysch di Ottone (OMT) (Campaniano inferiore – Maastrichtiano inferiore)

Torbidite calcareo-marnosa grigio-scura, talvolta a base calcarenitica, in strati di spessore da qualche centimetro ad un paio di metri, con intercalazioni di marne siltose, argilliti e argilliti calcaree e subordinatamente arenarie fini e siltiti.

In particolare si rinvencono: a) calcari marnosi di colore grigio scuro, a grana in genere medio-fine, talvolta con base arenacea, solo raramente sono silicei, in strati di spessore variabile da centimetrico ad oltre tre metri; b) marne di colore grigio scuro o nero; c) areniti calcarifere grigio scure a grana da media a finissima in strati da pochi centimetri sino al metro; d) calcari a grana fine di colore grigio chiaro di spessore al massimo decimetrico; e) siltiti color grigio ed argilliti nere.

Brecce ad elementi ofiolitici (OMTa) (Coniaciano superiore - Campaniano inferiore)

Questa litofacies è costituita da brecce poligeniche, clastosostenute, con elementi di dimensioni variabili da alcuni millimetri ad alcuni metri (blocchi di ofioliti) provenienti dal complesso ofiolitifero; talvolta i clasti, in particolar modo quelli calcarei si presentano subarrotondati.

### **UNITA' OFIOLITIFERA DELLE ARGILLE A PALOMBINI**

Argille a Palombini (APA) (Aptiano superiore – Cenomaniano inferiore / medio)

La litofacies prevalente (APA) è costituita da argilliti e siltiti di colore grigio (fino al 55-80% del totale) e da calcari (di norma fino al 20-30% del totale, eccezionalmente fino al 45%).

Le argilliti di solito molto fissili si sfaldano in lastre o in aghetti ed hanno per lo più un colore grigio scuro. Le siltiti si presentano sempre laminate, talvolta gradate, di colore grigio al taglio fresco. I calcari sono a grana fine, di colore grigio, con elevato contenuto in silice e fratture riempite da calcite; talvolta è rilevabile la caratteristica forma d'erosione ad "incudine". Lo spessore medio degli strati calcarei è di 30 centimetri. Questi, seppur non frequentemente, si presentano laminati (con lamine per lo più piano-parallele) e gradati. Talora si rinvencono subordinatamente livelli di torbiditi pelitico arenacei. Tali arenarie sono gradate e laminate e possono avere contro-impronte dovute ad impatto.

Argille a Palombini – membro arenaceo (APAb) (*Aptiano superiore – Cenomaniano inferiore / medio*)

Il membro pelitico-arenaceo delle Argille a Palombini è costituito per il 70% da argilliti e siltiti e per il 30% da arenarie; eccezionalmente ci possono essere livelli di calcari silicei. Le argilliti e le siltiti hanno colorazione grigio-verdastra tendente al marrone e presentano una fissilità che favorisce la loro suddivisione in piccole scaglie e in prismetti, le arenarie presentano colore marrone chiaro all'alterazione e grigio-verde al taglio fresco e una granulometria variabile da media a fine con strati spessi da 10 cm a 1,5 metri con strutture sedimentarie quali laminazioni piano-parallele.

Formazione di Murlo (MUL) (*Cretaceo inferiore*)

È costituita da una monotona successione di argilliti marnose e marne, dalla tipica frattura amigdolare di colore da grigio verde ad ocrea (sulla superficie alterata), con intercalati calcari marnosi di colore variabile dal nocciola al grigio chiaro. Talora sono presenti intercalazioni di marne siltose e argilliti in spessori centimetrici e di calcari marnosi color grigio scuro.

Diaspri (DSA) (*base Oxfordiano medio / superiore – Kimmeridgiano, tetto Titoniano - Berriasiano*)

Litologicamente si compongono di strati sottili (5-10 cm) di radiolariti, per lo più di colore rosso, talora intensamente fratturati e sfaldati in prismi, e da sottilissimi interstrati di argilliti di colore rosso con venature verdi. La formazione mostra i caratteri di sedimento pelagico deposto direttamente su crosta oceanica.

Serpentiniti (PRN) (*Giurassico medio – Giurassico superiore*)

Si tratta di rocce peridotitiche serpentinizzate che costituiscono masse che sovente non conservano i rapporti primari con gli altri litotipi della serie magmatica ofiolitica e con la copertura sedimentaria e che, talora, si ritrovano come piccoli corpi lenticolari all'interno della formazione delle Argille a Palombini. Si tratta di rocce di colore variabile dal verde chiaro al verde molto scuro con tessitura massiccia o debolmente foliata. Talvolta sono visibili limitate porzioni a struttura cataclastica con elementi di dimensioni da centimetriche a decimetriche cementati da un fitto reticolato di vene di carbonato e/o di serpentino. Le associazioni mineralogiche sono in gran parte rappresentate da fasi riferibili al processo di serpentinizzazione (serpentino, Mg-Fe clorite e talco), in subordinate sono presenti relitti di olivina, ortopirosseno, clinopirosseno e spinello, con rapporti modalitici indicativi di originarie composizioni lherzolitiche.

Basalti (BRG) (*Giurassico medio – Giurassico superiore*)

I basalti si presentano di norma massicci, localmente brecciati da processi di autoclastesi, di colore grigio verde al taglio fresco e marrone-rossastro sulla superficie alterata per la presenza di ossidi di ferro; sono ben compatti e talora serpentinizzati. Le paragenesi mineralogiche primarie consistono di plagioclasio, clinopirosseno, minerali opachi, ilmenite e magnetite. La tessitura è generalmente ofitica a grana fine caratterizzata dalla presenza di feldspati (plagioclasio), immersi in una pasta di fondo grigia o verde scura.

Si rinvencono sovente fortemente tettonizzati e costituiti da brecce basaltiche in matrice sabbioso argillosa di colore marrone verdastro.

Gabbri (GBB) (Giurassico medio – Giurassico superiore)

Gabbri magnesiaci, raramente foliati o pegmatoidi, sono costituiti da rocce di colore verde chiaro e si caratterizzano per possedere una struttura granulare con cristalli di dimensioni intorno a 2-5 millimetri. Sono costituiti da una massa biancastra formata da plagioclasio nella quale sono immersi cristalli quasi lamellari di colore grigio-verde. La roccia risulta equigranulare a plagioclasio e pirosseno.

**FORMAZIONI DELLE UNITA' TOSCANE**

**UNITA' DELLA FALDA TOSCANA**

Calcare Cavernoso (CCA) (Triassico superiore)

Breccia tettonica ed autoclastica ad elementi calcarei o dolomitici, grigi, con tipica struttura a cellette, talvolta riempite da polvere grigia dolomitica (“cenerone”); raramente presenta una grossolana stratificazione.

Formazione anidritica di Burano (BUR) (Triassico superiore)

E' costituita da un'alternanza di anidriti, dolomie e dolomie calcaree. In subordine sono presenti calcari, calcari dolomitici, marne, argilliti e gessi. La formazione presenta strati di spessore variabile da pochi centimetri a qualche metro. L'anidrite è di colore bianca, nocciola, rosea o brunastra, è ben cristallizzata e spesso contiene sostanze argillose o bituminose diffuse o in sottilissimi livelletti. La dolomia è di colore nocciola, brunastra o nerastra. Normalmente è a grana finissima, microcristallina.

**UNITA' DI MONTICIANO - ROCCASTRADA**

Formazione di Vinca (VINc) – membro metacalcareo (Carnico - Norico)

Metacalcari e metacalcari dolomitici spesso nodulari e brecciati, livelli di calcescisti e filladi carbonatiche.

Formazione di Vinca (VINb) – membro dolomitico (Carnico - Norico)

Dolomie grigio scure e rosate con subordinati livelli di filladi, quarziti e metaconglomerati.

Quarziti del Monte Serra (QMS) (Carnico)

Si tratta di quarziti biancastre ben stratificate in banchi da centimetrici a decimetrici, alternate a metarenarie, metasiltiti e anageniti minute, anche esse color chiaro, e talora livelli conglomeratici. Talora si rinvengono sottili intercalazioni filladiche violacee.

Formazione della Verruca (VEU) (Ladinico superiore - Carnico)

Questa formazione di depositi terrigeni è costituita da filladi e filladi quarzitiche a grana fine, di colore violetto, talvolta con plaghe clorotiche verdastre; si alternano a metaconglomerati in prevalenza quarzosi di colore rosato e a filladi scure.

Formazione della Verruca (VEUa) (Ladinico superiore - Carnico)

Si tratta di conglomerati di origine fluviale contenenti clasti arrotondati in prevalenza quarzosi, spesso di colore rosato, in matrice quarzitico filladica di colore da grigio verde a violacea.

Filladi nere e quarziti (FNE) (Ladinico superiore - Carnico)

Si tratta di filladi muscovitiche e muscovitico-quarzitiche grigio-scure, spesso grafitiche, localmente con livelli di metarenarie grigie a patina d'alterazione giallastra e metaconglomerati.

Arenarie di Poggio al Carpino (CRP) (Permiano superiore)

Filladi muscovitiche, quarziti filladiche e metaconglomerati.

Calcari di Sant'Antonio (TNI) (Moscoviano)

Calcari bioclastici

Formazione del Farma (FRM) (Moscoviano)

Filladi e metarenarie torbiditiche con intercalazioni di conglomerati, brecce e metacalcari.

Formazione di Carpineta (CPE) (Viseano superiore - Namuriano)

Siltiti color scuro e filladi con olistoliti carbonatici.

Dolomie ad Orthoceras (OTHa) (Siluriano - Devoniano)

Filladi grafitose nere, dolomie ad Orthoceras color grigio, calcari nodulari e rare liditi e metarenarie.

## **ROCCE IGNEE**

Rioliti (RIO) (Pliocene medio – Pliocene superiore)

Si tratta di vulcaniti riolitiche di composizione felsica, con tessitura da afanitica a porfirica. È composta solitamente da quarzo, feldspato alcalino e plagioclasio. A volte si possono trovare anche biotite e pirosseno.

### **3.4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE**

Da un punto di vista geomorfologico il territorio comunale è talora interessato sia da forme e processi di erosione idrica e del pendio, sia da forme e processi dovuti a gravità, nonché da forme di origine artificiale (antropica).

Per quanto riguarda la prima tipologia sono presenti forme di denudazione ed erosione (orlo di scarpata fluviale o di terrazzo, orlo rimodellato di scarpata o debole rottura di pendio aree soggette ad erosione superficiale). Tra la forme e i processi dovuti a gravità si ha la presenza di forme di denudazione (aree in frana e aree instabili per soliflusso generalizzato).

Infine si hanno forme antropiche (artificiali) costituite da orli di scarpata di origine antropica, argini artificiali, rilevati stradali e ferroviari, cave.

Il territorio del Comune di Roccastrada è, come già accennato, caratterizzato dalla presenza di zone mediamente acclivi accanto ad altre dalla morfologia decisamente più dolce; queste differenze, così come le diverse forme prodotte dagli agenti esogeni ed endogeni, sono in relazione alla diversa natura del substrato geologico.

L'indagine geomorfologica si propone, attraverso un'analisi delle forme del paesaggio, di individuare i processi morfogenetici che agiscono nell'area e che nel loro insieme costituiscono la dinamica morfologica.

Senza dubbio questa caratterizzazione fornisce un'ampia gamma di informazioni (dagli aspetti puramente fisici all'assetto delle forme naturali ed antropiche), ma nell'ambito della pianificazione territoriale lo scopo da perseguire è quello di valutare i processi di maggiore rilievo e la loro influenza sull'ambiente.

E' importante sottolineare che dalla lettura geomorfologia del territorio si devono ricavare non solo le informazioni sulle situazioni di degrado in atto, ma anche le correlazioni fra i vari elementi del paesaggio, che consentono di prevedere le dinamiche evolutive dell'ambiente.

La potenzialità previsionale geomorfologica deve venire usata e sviluppata nel modo più opportuno per ottenere una migliore gestione del territorio.

Lo studio geomorfologico del territorio, infatti, fornisce una grande quantità di informazioni utili per valutare lo stato della dinamica morfologica dell'area e per prevedere la sua evoluzione nel periodo immediatamente successivo allo studio stesso.

La carta geomorfologica, con riferimento agli elaborati contenuti nel supporto geologico-tecnico al Piano Strutturale, è redatta in base ad osservazioni stereoscopiche di aerofotogrammi diacronici relativi a differenti voli eseguiti in periodi successivi, congiuntamente all'analisi critica dei documenti presenti per l'area di interesse, alla comparazione tra dati provenienti da diverse fonti e in base alla verifica puntuale mediante il rilevamento sul campo.

I documenti presi in esame consistono nelle cartografie del piano strutturale vigente al momento dei rilievi, i dati geomorfologici forniti dal Servizio Geologico – ISPRA, la banca dati frane ed i dati geomorfologici della Regione Toscana (BD\_Frane, BD\_Geom), la banca dati frane ISPRA (Progetto IFFI), riferimenti conoscitivi del S.I.T.P. (provincia di Grosseto) relativamente agli approfondimenti monografici “Catasto delle frane e elenco aree in dissesto geomorfologico” e “Studio dei dissesti attivi della Provincia di Grosseto”.

Le notazioni ricavate dalla fotointerpretazione appositamente svolta e quelle ricavate dai dati bibliografici sono state verificate in campagna ed integrate a mezzo rilevamento geomorfologico

Prima di passare all'analisi dei processi morfogenetici ed alle relative forme, è opportuno specificare la distinzione che è stata adottata in cartografia per quanto riguarda le forme attive e quiescenti e le forme inattive. E' da sottolineare che la chiave interpretativa adottata è stata scelta in base agli obiettivi da raggiungere, ossia ottenere uno strumento valido per valutare lo stato del territorio ed individuare dove intervenire per risanare o prevenire eventuali dissesti e dove, invece, prevedere nuove espansioni urbanistiche.

Per **fenomeni “attivi”** si intendono quelli in continua evoluzione, le cui dinamiche e modificazioni possono essere registrate in breve intervallo temporale; si tratta quindi di fenomeni che non hanno raggiunto condizioni di equilibrio. Questi possono alternare periodi di massima dinamica a periodi di inattività temporanea generalmente legati al ciclo stagionale. Si citano ad esempio l'azione erosiva delle acque incanalate, oppure fenomeni legati alla dinamica gravitativa sui versanti del tipo "soliflusso", che mostrano diversa velocità nei vari periodi dell'anno.

Le **forme “quiescenti”** sono quelle la cui evoluzione non è legata al ciclo stagionale, ma si sviluppa secondo tempi di ricorrenza più lunghi. Infatti tali fenomenologie, pur non avendo raggiunto una situazione di equilibrio o stabilità, possono rimanere temporaneamente inattive anche per lunghi periodi come nel caso delle “paleofrane con tracce di instabilità”. Gran parte di tali frane non ha subito sostanziali evoluzioni negli ultimi anni, ma è facilmente prevedibile che riverificandosi eventi meteorici con precipitazioni superiori alla media, si possano verificare riprese nell'attività dinamica di tali frane. Tali forme, durante il periodo di inattività, mostrano comunque indicatori tali da far ritenere una più o meno prossima ripresa del movimento.

Le **forme “inattive”** comprendono quelle fenomenologie che hanno raggiunto uno stato di equilibrio tale da far ritenere improbabili nuove evoluzioni in senso dinamico. Per tali forme non è quindi più attivo il processo morfogenetico che le ha innescate, né esistono indizi tali da far prevedere una successiva dinamica evolutiva, se non in seguito all'insorgere di nuovi fattori scatenanti.

Sulla carta geomorfologica e sulla geologico tecnica sono stati riportati tutti quei fenomeni geomorfologici che possono avere una particolare importanza ai fini dell'analisi della stabilità delle aree in esame e della valutazione degli effetti della risposta sismica locale.

In particolare sono state individuate:

- *forme, processi e depositi gravitativi di versante;*
- *forme, processi e depositi per acque correnti superficiali;*
- *forme, processi e depositi antropici e manufatti.*

Si procede ad una breve descrizione sistematica.

#### **Forme, processi e depositi gravitativi di versante**

Le principali forme di pendio comprendono le superfici e le scarpate di origine strutturale o litologica, le scarpate di degradazione, i ruscellamenti diffusi, i movimenti franosi, distinti ove possibile nelle varie parti che li compongono (nicchia di distacco, corpo della frana e zona di accumulo) ed i movimenti di massa generalizzati.

##### **Movimenti franosi**

Sono stati suddivisi nelle parti che li compongono: nicchia di distacco/coronamento di frana/scarpata di frana, corpo della frana, zona d'accumulo. La nicchia di distacco o corona di frana, di facile individuazione in carta perché caratterizzata quasi sempre da una forma arcuata, separa a monte del fenomeno la massa in frana da quella stabile con esposizione del substrato; il corpo della frana è costituito dall'insieme dei terreni mobilizzati sottostanti la zona di distacco fino alla zona d'accumulo; la zona d'accumulo presenta struttura caotica e forma variabile a seconda della tipologia del processo e delle caratteristiche litologiche dei terreni coinvolti.

Per quanto concerne la dinamica sono state individuate:

- frane attive (**F**);
- paleofrane con tracce di instabilità o frane quiescenti (**Fq**) che evidenziano fenomeni gravitativi avvenuti in tempi passati e che mostrano chiari segni di instabilità quali contropendenze e rotture di pendio;
- paleofrane o frane antiche stabilizzate (**Fs**) avvenute in tempi passati, riconoscibili per la loro morfologia, ma tali da poter essere considerate al momento non attive. L'equilibrio così raggiunto può essere turbato, specie in funzione dei terreni presenti, da interventi antropici di modifica dei profili.

##### **Aree molto instabili per franosità diffusa**

Sono zone in cui è stata rilevata la presenza di più fenomeni franosi di svariata dimensione e tipologia; si è pertanto provveduto alla delimitazione del settore comprendente tutti i fenomeni in atto (**Fd**).

##### **Aree instabili per soliflusso generalizzato**

Sono stati individuati su tratti di versante con evidenti indizi di instabilità (dossi, contropendenze, lacerazioni, ecc.) talvolta singolarmente cartografabili, ma in altri casi interessanti anche vaste porzioni di versante. Mobilizzano, generalmente, limitati spessori di coltre alteritica e/o livelli di terreno coltivo. Talora sono innescati o favoriti da intensa attività antropica.

#### **Forme, processi e depositi per acque correnti superficiali**

##### **Ruscellamento diffuso**

Forme dovute ad erosione idrica superficiale in rigagnoli o foliare, periodicamente obliterate da pratiche agricole; si innescano nella parte superiore e mediana degli stessi e provocano un progressivo assottigliamento del suolo. A seconda dell'intensità e della diffusione areale caratterizzano "aree soggette ad erosione profonda" o settori "soggetti ad erosione superficiale".

##### **Erosione lineare o incanalata**

Incisioni vallive con versanti ripidi e simmetrici, generalmente prive di depositi alluvio-colluviali, sede di deflusso di acque sia permanente che temporaneo che mostrano incisioni in continuo approfondimento.

#### **Orli di scarpata fluviale o di terrazzo in erosione**

Brusche rotture di pendio al margine di superfici terrazzate; indicano fenomeni erosivi fluviali in terreni alluvionali più antichi.

#### **Erosioni laterali di sponda**

Attività erosive esercitate dai corsi d'acqua sulle sponde, in particolare in corrispondenza delle anse; tali processi possono causare, a lungo andare, crolli di entità cospicua in aree ritenute ad alta stabilità perché pianeggianti.

#### **Alveo con tendenza all'approfondimento (erosione incanalata)**

Incisioni vallive con versanti ripidi e simmetrici, generalmente prive di depositi alluvio-colluviali, sede di deflusso di acque sia permanente che temporaneo che mostrano incisioni in continuo approfondimento.

### **Forme, processi e depositi antropici e manufatti**

#### **Le forme ed i processi antropici**

Si tratta di forme dovute all'azione dell'uomo sul territorio, quindi rientrano in questa categoria un'ampia gamma di interventi: cave attive o inattive, dighe, rilevati e laghetti artificiali e in generale tutte le aree che per una qualsiasi ragione sono state manipolate dall'uomo.

Gli elaborati del tematismo "carta geomorfologica" come sopra descritti, sulla cui base è stata realizzata la "cartografia di pericolosità geologica" (ex Reg. Reg. 53/R), hanno costituito elemento conoscitivo di base per l'istruttoria da parte della Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale finalizzata alla revisione della cartografia di pericolosità geomorfologica del PAI del Bacino del Fiume Ombrone ai sensi degli artt. 24 e 25 delle Norme di Piano dello stesso PAI Ombrone. L'esito di tale istruttoria attesta la conformità di tali elaborazioni alle perimetrazioni di PAI come modificate dalla stessa Autorità di Bacino Distrettuale nel giugno 2018.

### **3.5 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E NOTAZIONI IDROGEOLOGICHE**

I lineamenti idrografici principali vengono appresso riportati:

- la porzione settentrionale del territorio comunale è caratterizzata da un reticolo poco gerarchizzato e con una struttura generalmente dendritica. I corsi d'acqua della fascia più a nord della porzione in esame sono affluenti del Fiume Farma che rappresenta l'elemento idrografico più importante di questa parte di settore. Mentre nella fascia più a sud, di questo settore, i corsi d'acqua tendono a svilupparsi e scorrere da nord verso sud, per poi attraversare la pianura alluvionale di Ribolla e Sticciano e andarsi ad immettere nel Fiume Bruna che caratterizza il settore sud-occidentale del Comune di Roccastrada. Tra questi si ricordano il Torrente Follonica, il Torrente Ribolla, il Torrente Asina, il Torrente Bay e il Torrente Rigo.
- la rete idrografica da monte verso valle si mostra, nel settore meridionale, piuttosto semplice con percorsi dapprima subparalleli e successivamente sinuosi e spesso interrotti da canalizzazioni artificiali.

Da un punto di vista idrogeologico e della vulnerabilità degli acquiferi, la ricostruzione dell'assetto idrogeologico è stata finalizzata alla individuazione dei corpi idrici sotterranei, alla definizione della loro

configurazione e degli schemi di circolazione idrica sotterranea e alle tutele cui sottoporre la risorsa idropotabile per pubblica utilità.

La Carta Idrogeologica e della Vulnerabilità degli Acquiferi, con riferimento agli elaborati contenuti nel supporto geologico-tecnico al Piano Strutturale, rappresenta in funzione delle classi di vulnerabilità una zonazione del territorio che in base alle caratteristiche litologiche dei terreni superficiali definisce la possibilità di penetrazione e diffusione in profondità di un inquinante idroveicolato. Infatti la vulnerabilità di un acquifero è definita come la propensione di un corpo idrico sotterraneo a subire una contaminazione.

Uno dei criteri principali da seguire nella realizzazione di questo tematismo consiste nel distinguere le formazioni sulla base della diversa permeabilità dei litotipi costituenti, ma vanno accuratamente valutati anche il grado di fratturazione ed i fenomeni di alterazione che possono localmente modificare l'originaria permeabilità.

In relazione a ciò e viste gli indirizzi trattati nel PTCP della Provincia di Grosseto relativamente alla corretta gestione e tutela, al fine della programmazione e pianificazione urbanistica delle risorse idriche del sottosuolo, si è ritenuto attenersi allo schema classificativo contenuto nella "legenda unificata per le carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei" contenuta negli approfondimenti monografici "raccolta schemi e tabelle per la redazione della carta della vulnerabilità degli acquiferi del S.I.T.P. (della provincia di Grosseto) come dettagliato nella "scheda 3.B – Indirizzi per la tutela della risorsa idrica" dello stesso P.T.C.P. di Grosseto. Sono infatti state definite le seguenti sei classi di vulnerabilità (da estremamente elevata a bassa e nulla) seguendo i criteri sotto esposti:

- **VULNERABILITÀ DA ESTREMAMENTE ELEVATA AD ELEVATA:** falda libera in materiali alluvionali (da grossolani a medi) senza alcuna protezione, falda libera in materiali alluvionali con corsi d'acqua sospesi rispetto alla piezometrica media della falda, falda libera in materiali alluvionali con campi pozzi deprimenti la piezometrica, rete acquifera in materiali carbonatici a carsismo completo ed altamente sviluppato e rete acquifera in calcari fessurati ma con indice carsico basso o nullo con piezometrica media poco profonda (< 50 m dal p.c.).

- **VULNERABILITÀ ALTA:** falda o rete acquifera, in pressione, semi-libera o libera, protetta in superficie da una copertura poco permeabile, rete acquifera in calcari fessurati ma con indice carsico basso o nullo con piezometrica media profonda (> 50 m dal p.c.), rete acquifera in dolomie fessurate e poco carsificate con piezometrica media poco profonda (< 50 m dal p.c.) e rete e falda acquifera in vulcaniti e in rocce ignee intrusive molto tettonizzate.

- **VULNERABILITÀ MEDIA:** rete acquifera in dolomie fessurate e poco carsificate con piezometrica media profonda (> 50 m dal p.c.), falda acquifera in sabbie più o meno fini, rete acquifera in arenarie più o meno fessurate ed in conglomerati a cemento non carbonatico, rete acquifera e /o corpi idrici multifalda (alternanza di flysch arenacei e calcarei), falda idrica in materiali morenici con materiali prevalentemente grossolani e corpi idrici multifalda in piroclastiti sciolte.



- **VULNERABILITA' DA BASSA A NULLA:** Rete acquifera in arenarie più o meno fessurate ed in conglomerati a cemento non carbonatico, rete acquifera in rocce ignee intrusive normalmente fessurate, Rete acquifera e /o corpi idrici multifalda (alternanza di flysch arenacei e calcarei), complessi marnosi ed argillosi (flysch, argille sovracconsolidate) praticamente privi di circolazione sotterranea, falda idrica in materiali morenici con materiali prevalentemente fini, complessi sedimentari a grana fine (argille, limi, torbe) praticamente privi di circolazione sotterranea, corpi idrici multifalda in piroclastiti sciolte, complessi sedimentari metamorfosati e/o tettonizzati (argille varicolori), complessi metamorfici di epizona (filladi) privi di circolazione idrica e aree con circolazione idrica nelle fratture delle rocce metamorfiche di meso-catazona.

La porzione settentrionale del territorio comunale risulta caratterizzata prevalentemente da classi di vulnerabilità bassa e alta, quest'ultima principalmente in corrispondenza dei depositi di natura riolitica intensamente tettonizzati, e secondariamente da classi di vulnerabilità media e solo in maniera molto minore da classe di vulnerabilità elevata. La porzione centrale del territorio comunale risulta pressoché equamente distribuita tra le classi di vulnerabilità alta, media e bassa, mentre risulta meno presente, in particolare nella porzione occidentale la classe di vulnerabilità elevata. Infine la porzione meridionale del territorio comunale risulta rappresentata principalmente dalle classi di vulnerabilità media e bassa, con classi di vulnerabilità alta e/o elevata in corrispondenza delle aree attorno all'abitato di Sticciano Scalo e nell'estrema porzione sud-orientale del territorio comunale.

In particolare per quanto riguarda i centri abitati ricadono in classe di vulnerabilità alta il nucleo dell'abitato di Roccastrada che sorge sulla rupe riolitica e il settore di più recente espansione abitativa a sud-ovest del centro storico, il centro storico di Roccatederighi e i centri abitati di Sassofortino, Sticciano Scalo, dei Piloni, del centro storico di Torniella; in classe di pericolosità media gli abitati di Ribolla, le restanti porzioni dell'abitato di Roccastrada e Montelattaia; infine, in classe di pericolosità bassa le restanti porzioni degli abitati di Torniella e Roccatederighi, l'area del Madonnino e l'abitato storico di Sticciano.

### **3.6 ACCLIVITA' DEI VERSANTI**

La carta delle pendenze, con riferimento agli elaborati contenuti nel supporto geologico-tecnico al Piano Strutturale, è realizzata tramite analisi del Modello Digitale dell'Elevazione (DEM) a 2 metri di risoluzione. Il DEM di dettaglio viene ottenuto dalla topografia CTR a scala 1:10.000 in ambiente GIS tramite la funzione Natural Neighborhood previa trasformazione in dati puntuali di tutti gli elementi dotati di informazioni altimetriche.

La realizzazione della carta altimetrica da dati in formato vector a dato in formato raster con valori di tipo float è stata seguita poi dalla trasformazione ponderata in dato raster di tipo integer.

La scelta delle classi non è ovviamente casuale ma deriva dal riconoscimento sperimentale di alcuni valori limite in funzione di specifiche finalità operative.

In particolare si definiscono le seguenti soglie:

- fino al 15 % non si hanno in genere controindicazioni in termini di stabilità dei versanti, anche se tali zone rappresentano una percentuale minima del territorio in aree collinari e montuose;

- dal 15 % al 25 % si possono verificare stati di instabilità dinamica in litologie costituite da sabbie sciolte, argille e limi soffici e detriti, se in presenza di falda superficiale; la soglia del 25 % rappresenta inoltre il limite delle coltivazioni intensive di tipo meccanizzato con trattrici a ruote in agricoltura;
- dal 25 % al 35 % rappresenta l'estremo limite per l'impiego di mezzi meccanici in agricoltura (trattrici a cingoli); possono inoltre verificarsi dissesti nelle litologie sopra elencate anche non in presenza di acqua;
- oltre il 35 % questa classe caratterizza versanti molto acclivi nei quali possono verificarsi crolli o distacchi se in presenza di rocce poco cementate, alterate o fessurate sia per fenomeni fisici (gelo-disgelo) che tettonici (zone intensamente fratturate e/o milonitizzate).

La carta delle pendenze rappresenta, pertanto, uno strumento di primaria importanza anche perché con il progressivo aumento delle pendenze, a parità di condizioni litotecniche e giaciture, si ha un aumento del grado di instabilità di una pendice.

Una maggiore inclinazione del versante favorisce inoltre l'erosione superficiale, con trasporto a valle del materiale detritico asportato da parte delle acque di corrivazione; per contro una inclinazione minore della pendice favorisce i processi chimico-fisici di alterazione del substrato roccioso con formazione di suolo, data la maggiore permanenza delle acque di ristagno.

#### 4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per effettuare gli studi di MS si è provveduto alla raccolta e all'archiviazione organizzata di dati pregressi (vedi Tavv. G.08/1, G.08/2, G.08/3 e G.08/4 in scala 1:5.000 – carta delle indagini, oltre al fascicolo di indagini eseguite da Enki s.r.l. di Firenze).

Le Carte delle indagini mostra, nel dettaglio per ciascuna delle frazioni indagate, l'ubicazione di tutte le indagini eseguite precedentemente al presente studio reperibili da fonti “bibliografiche” e/o banche dati, nonché l'ubicazione delle indagini geofisiche all'uopo realizzate su indicazione del Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica come supporto al presente studio di Microzonazione Sismica di 1° Livello (vedi certificazioni ed allegati forniti dalla ditta ENKI s.r.l.).

La raccolta dei dati esistenti si è basata sull'acquisizione di stratigrafie relative a pozzi e sondaggi, di certificati di prove penetrometriche dinamiche e statiche, di saggi geognostici significativamente profondi, di indagini geofisiche (prove di sismica a rifrazione, MASW e HVSR).

Si citano di seguito le fonti di reperimento dei dati raccolti a compendio dello studio di interpretazione stratigrafica per la ricostruzione del modello di sottosuolo (dati di base da bibliografia):

- Carta dei dati di base di supporto al Piano Strutturale del Comune di Roccastrada;
- Studi geologici e geomorfologici di dettaglio, commissionati dalla Amministrazione Comunale, a supporto alla progettazione di opere di opere pubbliche e/o interventi infrastrutturali;
- Data base della Regione Toscana delle indagini di sottosuolo;
- Data base della Provincia di Grosseto – Mappa dei Pozzi e delle Derivazioni relativamente a informazioni dei pozzi idrici;
- Data base ISPRA relativamente a stratigrafie di pozzi idrici profondi;
- Archivi comunali in merito alle pratiche urbanistiche, edilizie e lavori pubblici.

La nomenclatura delle diverse tipologie di indagine ubicate sulla CTR, è stata definita sulla base delle indicazioni riportate al par. 1.1.1. degli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica”.

Per la predisposizione del presente di *studio di Microzonazione Sismica* è stato necessario realizzare una specifica campagna di indagini geofisiche la cui distribuzione all'interno delle frazioni ed ubicazione in relazione alle problematiche da indagare è stata concordata con i funzionari del Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica:

- n. 8 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde SH, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  nel sottosuolo;
- n. 7 prospezioni di sismica attiva frequenziale con tecnica di tipo MASW per la valutazione del  $V_{s30}$ ;
- n. 47 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtrempi (HVSR), e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, per determinare l'eventuale comportamento amplificativo del terreno.

Si fornisce il dettaglio delle indagini appositamente eseguite nel mese di giugno 2014 – maggio 2018 (ditta ENKI s.r.l., con la loro suddivisione nelle varie frazioni, a corredo del presente studio. La distribuzione ed ubicazione di tali indagini all'interno delle frazioni in relazione alle problematiche da indagare è mostrata nelle sopra citate cartografie, mentre per le risultanze si rimanda agli elaborati ed allegati forniti dalla ENKI s.r.l..

<b>Id indagine</b>	<b>Località</b>	<b>Rifrazione P+Sh</b>	<b>MASW</b>	<b>HVSR</b>
1_HVSR	ROCCASTRADA - Capoluogo			X
2_HVSR				X
3_HVSR				X
4_HVSR				X
5_HVSR				X
6_HVSR				X
7_HVSR				X
8_HVSR				X
9_HVSR				X
10_SR		X		
11_MASW			X	
12_HVSR	ROCCATEDERIGHI			X
13_HVSR				X
14_HVSR				X
15_HVSR				X
16_HVSR				X
17_HVSR				X
18_SR		X		
19_HVSR	SASSOFORTINO			X
20_HVSR				X
21_HVSR				X
22_HVSR				X
23_HVSR				X
24_SR		X		
25_MASW			X	
26_HVSR	MONTEMASSI			X
27_HVSR				X
28_HVSR				X
29_HVSR				X
30_HVSR	RIBOLLA			X
31_HVSR				X
32_HVSR				X
33_HVSR				X
34_HVSR				X
35_HVSR				X
36_HVSR				X
37_HVSR				X
38_SR		X		
39_MASW			X	
40_SR		X		

41_MASW			X	
42_HVSR	MADONNINO			X
43_HVSR				X
44_HVSR				X
77_HVSR	STICCIANO SCALO			X
78_HVSR				X
79_HVSR				X
80_HVSR				X
81_HVSR				X
82_HVSR				X
83_SR		X		
84_MASW			X	
85_SR		X		
86_MASW			X	
87_HVSR	STICCIANO			X
88_HVSR				X
89_HVSR	PILONI			X
90_HVSR	TORNIELLA			X
91_HVSR				X
92_HVSR				X
93_SR		X		
94_MASW			X	

Nel novero delle indagini condotta da Enki s.r.l. sono inoltre state eseguite apposite prove penetrometriche CPT in località Il Madonnino.

Per ogni misura HVSR, è stata attribuita una delle seguenti 3 classi di appartenenza (vedi allegata relazione della ditta ENKI s.r.l.):

Classe A: registrazione affidabile ed interpretabile che può essere utilizzata anche da sola;

Classe B: registrazione sospetta da utilizzare con cautela ed in presenza di altre misure ottenute nelle vicinanze;

Classe C: registrazione scadente e di difficile interpretazione.

In fase di elaborazione del presente supporto si è provveduto all’invio al Settore Prevenzione Sismica della Regione Toscana dei dati di registrazione delle misure HVSR al fine della loro validazioni “di qualità” e dichiarazione di accettabilità.

Per ciascuna delle frazioni indagate, nel seguito del presente rapporto in cui si descrivono le caratteristiche rilevate per ogni centro urbano studiato, si fornisce indicazione della Classe di qualità ottenuta applicando la “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS, i cui criteri e dati di input sono riassunti nella sotto riportata tabella 1 e i cui “range” di accettabilità sono indicati nel seguente abaco per le classi A, B e C.

CLASSE	VALORI	INDICAZIONI
--------	--------	-------------

<b>A</b>	<b><math>\geq 75 \%</math></b>	Carta di livello 1 di ottima qualità
<b>B</b>	<b>50 % - 74 %</b>	Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri
<b>C</b>	<b>25 % - 49 %</b>	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
<b>D</b>	<b><math>\leq 25 \%</math></b>	Carta di livello 1 di scarsa qualità: non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICMS08 e Linee Guida Regione Toscana

Parametro	Peso Parametro	Indicatore (peso=0.33)	Valutazione indicatore (punteggio)			
			Nulla (0)	Bassa (0.33)	Media (0.66)	Alta (1)
Carta geologico - tecnica	1	Anno rilevamento	No data	< 2000		> 2000
		Progetto	No data	Altro	Allegato piano urbanistico	Ad hoc
		Scala rilevamento	No data	50.000-26.000	25.000-11.000	10.000-2.000
Sondaggi a distruzione	0.50	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Sondaggi a carotaggio continuo	1	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Indagini geofisiche	0.50	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Percentuale indagini che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio	0.25	Numero di prove	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Misure delle frequenze del sito	0.75	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Classe di affidabilità misure (Albarelli et alii)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%

Nella Carta delle frequenze (Tavv. G.09/1, G.09/2, G.09/3 e G.09/4) si riportano le informazioni ottenute (frequenza e ampiezza del picco di risonanza, classe di appartenenza) dall'interpretazione delle misure di rumore sismico eseguite nelle aree urbanizzate del comune di Roccastrada assoggettate alla presente indagine.

Per ogni misura è stata ottenuta la curva del rapporto H/V del segnale sismico acquisito, sulla quale sono stati eventualmente individuati picchi di risonanza per un certo valore di frequenza.

Tale cartografia riassume e fornisce indicazioni qualitative sulla classe di frequenza fondamentale allo scopo di distinguere:

- aree caratterizzate da assenza di fenomeni di risonanza significativi (ad esempio nessun massimo relativo significativo di  $f_0$  nell'intervallo 0,1-20Hz);
- aree caratterizzate da presenza di fenomeni di risonanza, distinguendo fra:
  - spessori attesi > di 100 m (indicativamente con  $f_0 < 1$ ),
  - spessori compresi fra 100 e 50 m (indicativamente con  $1\text{Hz} < f_0 < 2\text{Hz}$ ),
  - spessori compresi fra 50 e 30 m (indicativamente con  $2\text{Hz} < f_0 < 3\text{Hz}$ ),
  - spessori compresi fra 30 e 20 m (indicativamente con  $3\text{Hz} < f_0 < 5\text{Hz}$ ),
  - spessori compresi fra 20 e 10 m (indicativamente con  $5\text{ Hz} < f_0 < 8\text{Hz}$ ),
  - spessori compresi fra 10 e 5 m (indicativamente con  $8\text{ Hz} < f_0 < 20\text{Hz}$ ),
  - spessori minori di 5 m (indicativamente con  $f_0 > 20\text{Hz}$ ).

Il range significativo a cui fare riferimento per la valutazione della suscettibilità all'amplificazione sismica di un sito è circa 1-10 Hz. Picchi con frequenze di circa 1-2 Hz sono rappresentativi mediamente di contrasti di impedenza sismica collocati a profondità dell'ordine di qualche centinaia di metri. Frequenze di risonanza, invece, comprese nell'intervallo 8-12 Hz sono rappresentative di limiti stratigrafici, esistenti tra coperture detritiche e substrato roccioso, la cui profondità è dell'ordine di qualche metro (mediamente compresa tra 0 e 10 m).

Per la rappresentazione dei risultati, sono stati considerati i seguenti intervalli di frequenza (Hz):

- nessuna risonanza
- 0,1 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,5
- 2,5 - 5,0
- 5,0 - 7,5
- 7,5 - 10,0
- 10,0 - 15,0
- 15,0 - 20,0

Al fine di riportare in carta il dato relativo all'ampiezza del picco fondamentale, sono stati considerati i seguenti intervalli di ampiezza:

- nessuna risonanza
- 1,1 – 2,0
- 2,0 – 3,0
- 3,0 – 5,0
- > 5,0

Ogni coppia di valori (frequenza/ampiezza) individuati, è stato riportato in apposita tabella sulla relativa cartografia di ubicazione indagini.

Per la valutazione dell'entità del contrasto d'impedenza sismica, individuato con l'interpretazione delle misure di rumore, si è fatto riferimento al seguente criterio di classificazione:

- per ampiezze  $< 3$ , il contrasto d'impedenza sismico è basso
- per ampiezze  $> 3$ , il contrasto d'impedenza sismico è elevato (alto).

Tale discriminazione è stata applicata solo a valori di ampiezza riferite al picco principale.

Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione allegata al presente documento redatta dall'impresa realizzatrice delle indagini sismiche (vedi allegati ditta ENKI s.r.l.).

L'entità del contrasto di impedenza sismica non è stato riportato direttamente sulla carta delle frequenze, ma sulle colonne stratigrafiche del modello geologico di sottosuolo, mostrate sulla carta delle MOPS e sulle sezioni geologiche.

Tale elaborato ha il duplice scopo di fornire un adeguato strumento per la predisposizione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica di livello 1, ma anche offrire una indicazione delle profondità di investigazione per i successivi livelli superiori di MS. L'utilizzo della tabella di confronto tra lo spessore di copertura stimato e la frequenza fondamentale del terreno, riportata nel lavoro di *Albarello ed alii, 2010.*, costituisce un valido ausilio. Utilizzando questa tabella, infatti, è quindi possibile ottimizzare i costi ed evitare eventuali indagini geognostiche spinte a profondità eccessive o al contrario a profondità insufficienti a raggiungere il contrasto di impedenza sismico principale.

Una sintetica descrizione delle risultanze delle misure di rumore sismico effettuate con tecnica HVSr presso le aree di indagine nel territorio comunale di Roccastrada è riportata nel seguito del presente rapporto in cui si descrivono le caratteristiche rilevate per ogni frazione studiata.

Da un punto di vista litologico tecnico e geotecnico, con riferimento alla Carta litologico tecnica e dei dati di base contenuta nel supporto geologico-tecnico al Piano Strutturale e realizzata secondo il criterio indicato dall'Associazione Geotecnica Italiana, riveduto e riadattato su scala regionale, le varie litologie riconosciute sono state suddivise in base alla coesione e al grado di addensamento.

Questa carta tematica è stata realizzata, per tutta l'estensione del territorio comunale, accorpando i terreni che possono manifestare comportamento meccanico omogeneo in "unità litotecniche" distinte. Per cui sono stati inseriti nella stessa unità litotecnica quei litotipi che presentano caratteristiche tecniche simili, indipendentemente dalla formazione geologica a cui appartengono, dalla posizione stratigrafica, dai relativi rapporti geometrici, seguendo quindi solamente il criterio del comportamento meccanico omogeneo.

La cartografia litologico-tecnica è stata realizzata attraverso l'analisi critica dei documenti presenti per l'area di interesse e la comparazione tra dati provenienti da diverse fonti, tra cui i risultati delle indagini geognostiche disponibili sul territorio, in combinazione con la carta geologica a scala 1:10.000.



La suddivisione delle classi litotecniche è stata effettuata secondo i criteri descritti dal progetto regionale VEL-DOCUP in ottemperanza alle indicazioni delle ICMS 2008.

Ad integrazione della descrizione geologica relativa a ciascuna formazione, individuata e distinta nelle zone di studio, è stata quindi definita la classe di appartenenza ad “unità litologico-tecnica – U.L.T.” secondo le indicazioni formulate dal Programma VEL.

Le "unità litologico tecniche", cui si fa riferimento per le formazioni geologiche riscontrate nelle aree indagate, sono state distinte in gruppi principali in base alle diverse successioni di terreni che li caratterizzano uniformandosi alla *“Legenda per la definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.)”* del programma regionale VEL *“Istruzioni tecniche per le indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche per la valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana”*.

Di seguito si riporta brevemente la descrizione delle varie “unità litologico-tecniche” con il dettaglio delle varie formazioni geologiche che a ciascuna di esse si è ritenuto far corrispondere.

#### **Unità litologico tecnica A**

Si tratta di materiali lapidei costituiti da un unico litotipo. Questo raggruppamento comprende una unica unità litologico tecnica cartografata secondo i seguenti criteri:

- **Unità litologico-tecnica A:** rocce lapidee massicce non stratificate o con bancate di spessore superiore a 3 ml. Sono riconducibili a tale unità i depositi basaltici (BRG), i gabbri (GBB), le breccie ofiolitiche a cemento carbonatico (OFI), le peridotiti serpentizzate (PRN), le rioliti (RIO).

#### **Unità litologico tecnica B**

Si tratta di materiali lapidei stratificati o costituiti da alternanze di diversi litotipi con rapporto lapideo/pelite variabile. Questo raggruppamento comprende una unità litologico tecniche cartografate secondo i seguenti criteri:

- **Unità litologico-tecnica B2:** rocce stratificate costituite da un unico litotipo lapideo o da un litotipo prevalente (> 90%), con strati da medi a sottili. Sono riconducibili a tale unità le formazioni geologiche dei travertini di età olocenica (f1a) e pleistocenica (f1b), le marne della Formazione di Murlo (MUL), i Calcari e le calciruditi dei depositi marini pre-evaporitici messiniani (ROSb), i Calcari bioclastici carboniferi (TNI).

- **Unità litologico-tecnica B3:** alternanze ordinate di livelli lapidei e pelitici, con materiale lapideo > 75%. Sono riconducibili a tale unità le formazioni geologiche dei Diaspri (DSD), del Flysch di Ottone (OMT), delle Quarziti del Monte Serra (QMS), le dolomie e i metacalcari della Formazione di Vinca (VINb e VINc).

- **Unità litologico-tecnica B4:** alternanze ordinate di livelli lapidei e pelitici, con materiale pelitico compreso tra 25% e 75%. Sono riconducibili a tale unità la Formazione anidritica di Burano (BUR), le Arenarie di Poggio al Carpino (CRP), la Formazione del Farma (FRM), le Dolomie ad Orthodera (OTHa).

- **Unità litologico-tecnica B5:** alternanze ordinate di livelli lapidei e pelitici, con materiale lapideo < 75%. Ne fanno parte le unità geologiche delle Argille a Palombini (APA) e delle Argille a Palombini in litofacies arenacea (APAb), le argille e i livelli di gesso dei depositi lacustri e lagunari post-evaporitici messiniani (EMO e EMOg), le Filladi nere e Quarziti (FNE), le Argille con intercalazioni di arenarie e conglomerati di età Turoliano inferiore

(FOS), le litofacies argillose con lenti di gessi dei depositi marini pre-evaporitici messiniani (RAQ e RAQg), la Formazione di Sillano (SIL), la Formazione della Verruca in facies filladica.

- **Unità litologico-tecnica Bc:** alternanze disordinate di livelli lapidei e pelitici. Ne fa parte la Formazione di Carpineta (CPE), la litofacies olistostromica dei depositi marini pliocenici (FAAc).

#### **Unità litologico tecnica C**

Si tratta di materiali granulari cementati. In questa U.L.T. sono comprese rocce e rocce deboli costituite da materiale prevalentemente granulare con grado di cementazione medio basso, che presentano caratteristiche intermedie fra quelle delle rocce e quelle dei terreni in s.s..

Possono rientrare in questa U.L.T. anche le rocce lapidee intensamente degradate ed alterate (es. blocchi di arenaria "Macigno" in matrice sabbiosa residuale poco cementata). Le breccie ed i conglomerati ad elevato grado di cementazione possono essere considerati rocce lapidee e pertanto ricadono nell'U.L.T. A. Le arenarie molto cementate ricadono nell'U.L.T. A o B. Le sabbie ed il detrito grossolano non cementato ricadono, fra i materiali di copertura, nell'U.L.T. E. Il limite fra l'U.L.T. C e l'U.L.T. E può essere considerato convenzionalmente corrispondente ad un numero di colpi della prova Spt uguale a 50.

- **Unità litologico-tecnica C1:** conglomerati e breccie casto-sostenuti. Ricadono in questa unità le unità geologiche del Calcare Cavernoso (CCA), delle Breccie ad elementi ofiolitici appartenenti al Flysch di Ottone (OMTa), la Formazione della Verruca in facies metaconglomeratica (VEUa).

- **Unità litologico-tecnica C2:** conglomerati e breccie matrice-sostenuti. Ricadono in questa unità i depositi lacustri e lagunari post-evaporitici messiniani in facies conglomeratica e brecciata (MESa e MESb), le sabbie e arenarie gialle dei depositi pliocenici marini (PLIs), i conglomerati dei depositi lacustri del Turoliano inferiore (SLEc).

- **Unità litologico-tecnica C3:** sabbie cementate e arenarie deboli. Ricadono in questa unità i depositi marini pliocenici in litofacies sabbiosa (FAAe) e calcareo detritico organogena (FAAi), le sabbie e arenarie dei depositi lacustri del Turoliano inferiore (SLer), i calcareniti e le calciruditi dei depositi marini pliocenici (PLIc).

#### **Unità litologico tecnica D**

Si tratta di materiali coesivi consistenti. In questa U.L.T. sono compresi i terreni coesivi con consistenza elevata. La consistenza può essere stimata mediante prove manuali o mediante misura della resistenza alla penetrazione con penetrometro tascabile e/o scissiometro.

Le argilliti e le siltiti ricadono nella U.L.T. B. Le argille e i limi poco consistenti ricadono nell'Unità F. Il limite tra U.L.T. D e U.L.T. F può essere considerato convenzionalmente corrispondente ad un valore di resistenza a compressione uniassiale (non drenata) pari a 250 kPa.

- **Unità litologico-tecnica D2:** argille prevalenti. Ricadono in questa unità i depositi marini pliocenici in facies argillosa e argilloso sabbiosa (FAA e FAAb).

#### **Unità litologico tecnica E**

Vi sono compresi i terreni con stato di addensamento da addensato a sciolto costituiti da materiali granulari non cementati o con lieve grado di cementazione. Per le varie granulometria può essere valutato lo stato di addensamento mediante prove manuali. Le sabbie, le breccie ed i conglomerati con grado di cementazione medio

basso ricadono nella unità “C”. Il limite fra le unità litologiche “C” ed “E” può essere considerato convenzionalmente corrispondente ad un numero di colpi della prova Spt uguale a 50.

- **Unità litologico-tecnica E:** materiali granulari non cementati. Si tratta di materiali granulari eterogenei ed eterometrici. Ne fanno parte i detriti di falda (a3a).

- **Unità litologico-tecnica E1:** ciottoli e blocchi (elementi lapidei con dimensioni superiori ai 60 mm). Si tratta di materiali granulari generalmente grossolani. Ne fanno parte i depositi continentali rusciniani e villafranchiani in facies conglomeratica (VILa) e sabbioso conglomeratica (VILe).

- **Unità litologico-tecnica E2:** ghiaie (elementi lapidei compresi mediamente tra 2 - 60 mm). Si tratta di materiali granulari generalmente grossolani. Ne fanno parte i depositi alluvionali attuali con prevalenti ghiaie e sabbie (b\_gs), i depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati con prevalenti ghiaie e sabbie (bn1\_gs), i depositi alluvionali pleistocenici con prevalenti ghiaie e sabbie (bn2\_gs).

- **Unità litologico-tecnica E3:** sabbie (granuli di dimensioni comprese tra 2 mm e 0.06 mm). Si tratta di materiali granulari a prevalente composizione sabbiosa. Ne fanno parte i depositi continentali rusciniani e villafranchiani in facies sabbiosa e sabbioso argillosa (VILb) e sabbioso conglomeratica (VILe), i depositi alluvionali attuali con prevalenti sabbie (b\_s), i depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati con prevalenti sabbie (bn1\_s), i depositi alluvionali pleistocenici con prevalenti sabbie (bn2\_s), i depositi alluvionali pleistocenici con prevalenti ghiaie, sabbie e limi (bn2\_gsl).

#### **Unità litologico tecnica F**

In questa U.L.T. sono compresi i terreni coesivi a bassa consistenza.

La consistenza può essere stimata mediante prove manuali o mediante la misura della resistenza alla penetrazione con penetrometro e/o scissiometro tascabile.

I terreni a consistenza elevata sono classificati nell'U.L.T. D. Il limite tra U.L.T. D e U.L.T. F può essere considerato convenzionalmente corrispondente ad un valore di resistenza a compressione uniassiale (non drenata) pari a 250 kPa.

- **Unità litologico-tecnica F:** limi e argille. Si tratta di materiali granulari eterogenei ed eterometrici. Ne fanno parte i depositi riferibili ai corpi di frana, ai depositi di versante (aa).

- **Unità litologico-tecnica F1:** limi prevalenti. Ricadono in questa unità i depositi di conoide, i depositi eluvio-colluviali (b2a), i depositi alluvionali attuali con prevalenti sabbie e limi (b\_sl), i depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati con prevalenti sabbie e limi (bn1\_sl), i depositi alluvionali pleistocenici con prevalenti sabbie (bn2\_gs).

- **Unità litologico-tecnica F2:** argille prevalenti. Ricadono in questa unità i depositi continentali rusciniani e villafranchiani in facies argillosa e argilloso sabbiosa (VILc), i depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati con prevalenti ghiaie e sabbie (bn1\_la).

I depositi antropici, data la loro eterogeneità granulometrica non sono stati attribuiti a una specifica Unità Litologico Tecnica ma vengono evidenziati nella cartografia con una specifica simbologia e sigla (h).

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

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”.

In sintesi, il processo è indirizzato e finalizzato alla definizione del minimo numero di parametri necessari a fornire una ricostruzione di Unità Omogenee, cioè quelle unità caratterizzate da valori simili dei parametri rilevanti ai fini dello studio. Il processo prevede di passare da unità strettamente litologiche a unità caratterizzate da parametri geotecnici e geofisici simili.

In particolare, si devono definire per le diverse unità:

- le geometrie e i limiti superiori, laterali e inferiori; in particolare, è importante stabilire il rapporto stratigrafico tra i terreni di copertura e il substrato geologico, per definire l'andamento morfologico del tetto del substrato geologico sepolto;
- l'assetto strutturale degli ammassi rocciosi ed eventualmente delle formazioni fortemente sovracconsolidate e/o cementate;
- le proprietà fisiche e meccaniche, sebbene secondo le loro intrinseche variazioni e valutazioni di incertezza;
- la posizione delle falde acquifere e le loro eventuali oscillazioni, con definizione delle condizioni idrodinamiche e di pressione interstiziale.

Il processo di costruzione del modello del sottosuolo è partito, quindi, dalla ricostruzione dell'assetto geologico-geomorfologico e strutturale dell'area indagata, effettuato sia mediante cartografie già a disposizione e redatte in passato, come la Carta Geologica Regionale (1:10.000), la Carta Geologica del P.R.G., ecc..., sia attraverso un'inedita revisione con rilievi di campagna.

Tutta l'informazione geologica acquisita, coadiuvata dai dati geotecnici e geofisici, è stata tradotta in un modello, sintetizzato nelle Carte Geologico Tecniche, fornite in scala 1:5.000, riguardanti i settori del territorio del Comune di Roccastrada scelti per gli studi di Microzonazione Sismica.

L'insieme dei dati geologici finalizzati a definire modelli del sottosuolo, particolarmente inerenti alla Microzonazione Sismica, hanno consentito di:

- distinguere il substrato geologico dai terreni di copertura;
- definire le loro geometrie;
- individuare, nei terreni di copertura, le aree soggette a fenomeni di instabilità dei versanti;
- individuare le criticità geomorfologiche.

Ai dati di superficie sono stati aggiunti i dati prelevati in profondità con le indagini geognostiche:

- successioni litostratigrafiche;
- contatto terreni di copertura – substrato geologico.

Inoltre, come riportato al precedente capitolo sono stati trattati i dati e gli aspetti di carattere geotecnico e geofisico delle varie UO riconosciute.

## **6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE**

La finalità delle indagini geotecniche negli studi di Microzonazione Sismica è pervenire alla conoscenza dettagliata dello stato del sito e dei terreni presenti nell'area in funzione di un evento sismico attraverso lo studio delle condizioni naturali del terreno in situ mediante indagini geognostiche, prove geotecniche in situ e di laboratorio e di indagini geofisiche, 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.

Il programma delle indagini geotecniche va perciò commisurato sia al problema nonché ai modelli di calcolo di analisi numerica.

Pertanto, ad esempio, dovranno essere eseguite specifiche indagini per la valutazione della velocità delle onde sismiche, indagini per la caratterizzazione dinamica dei terreni finalizzate alla definizione dell'analisi di risposta sismica locale, indagini in situ per la valutazione del potenziale di liquefazione, indagini finalizzate alla determinazione dei parametri residui in caso di analisi di stabilità di pendii.

Inoltre dovranno essere implementate le conoscenze relative ai parametri geotecnici desunti da indagini in situ e di laboratorio.

Oltre alle prove geotecniche e indagini in situ dovranno essere implementate le prove geofisiche finalizzate sia alla ricostruzione sismostratigrafica del territorio (i.e. mediante l'esecuzione di indagini di sismica a rifrazione in onde P) sia alla determinazione dei valori di  $V_s$  (i.e. indagini Down-Hole, Masw, ecc...).

Infine, data la categoria granulometrica del fondo, in prima analisi (lettura ed interpretazione delle descrizioni presenti nelle stratigrafie) sembrerebbero esclusi fenomeni di liquefazione. Le indagini geotecniche di cui si è accennato in precedenza (prove CPT, analisi granulometriche, limiti di Atterberg, ecc...) dovranno chiarire e garantire l'eventuale assenza di questa tipologia permanente di deformazione in caso di sisma.

## **7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI**

Per una completa ed esaustiva trattazione delle indagini geofisiche svolte, della loro elaborazione e dei risultati conseguiti si rimanda alle allegate “Indagini geofisiche integrate di caratterizzazione sismica propedeutiche alla redazione di cartografie di microzonazione sismica e MOPS” redatte dalla ditta ENKI s.r.l. e contenenti le indagini geofisiche svolte, nel novero del presente studio, per la caratterizzazione sismica e propedeutiche alla redazione della cartografia MOPS.

## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Gli studi di Microzonazione Sismica Comunale (di seguito MS) svolti per il Comune di Roccastrada nell'ambito del presente supporto geologico alla revisione del Piano Strutturale sono stati condotti secondo le indicazioni formulate dal Settore Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica nel rispetto degli "Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica Nazionale" (di seguito ICMS) e delle specifiche tecniche regionali per la microzonazione sismica approvate con Deliberazione di G.R.T. n. 261/2011.

Nei citati ICMS vengono definite le procedure, le metodologie di analisi al fine di individuare e caratterizzare le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità.

Nello specifico la MS individua e caratterizza:

- Le **Zone Stabili**, sono zone nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- Le **Zone Stabili Suscettibili di Amplificazione Locali**, sono le zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- Le **Zone di Attenzione per Instabilità**, sono le zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali e sovrapposizione di differenti fenomeni di instabilità).

Per la definizione delle zone e della loro perimetrazione si rimanda a quanto definito al par. 1.1.3 degli standard di rappresentazione ICMS (versione 4.0b dell'ottobre 2015).

Gli studi di MS rivestono una notevole importanza nella pianificazione territoriale, fornendo una base conoscitiva della pericolosità sismica locale, al fine di stabilire gerarchie di pericolosità utili per la programmazione di interventi di riduzione del rischio sismico a varie scale, orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti, definire gli interventi ammissibili in una determinata area, programmare le indagini e i livelli di approfondimento, stabilire orientamenti, modalità e priorità di intervento nelle aree urbanizzate.

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

In particolare possono essere predisposti i seguenti livelli:

- il **livello 1** è un livello propedeutico ai successivi studi di MS, che consiste esclusivamente in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della carta delle "Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)";
- il **livello 2** è un livello successivo in cui si introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee mediante metodologie di analisi numerica di tipo semplificato (abachi regionalizzati, modellazione 1D, leggi

empiriche) e l'esecuzione di ulteriori e più mirate indagini. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della "Carta di Microzonazione Sismica";

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

Per l'attuale supporto alla revisione del Piano Strutturale di Roccastrada **sono stati eseguiti pertanto studi di livello 1.**

Ciascuno dei livelli di approfondimento prevede una serie di adempimenti come sotto elencati e dettagliati nella tabella riassuntiva al fine della definizione del quadro conoscitivo minimo che debba essere raggiunto per ogni livello sulla scorta delle indicazioni contenute negli ICMS:

- la realizzazione di opportune indagini geologiche, geofisiche e geotecniche al fine di definire il quadro conoscitivo;
- l'effettuazione di opportune analisi ed elaborazioni;
- la predisposizione di risultati finali.

<b>INDAGINI MINIME</b>	Raccolta di tutti i dati pregressi esistenti nell'area: rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, indagini geofisiche, sondaggi e stratigrafie desunte da pozzi; Rilevamenti geologici di controllo sul terreno; Nuove indagini: Esecuzione di ulteriori indagini geofisiche e geotecniche, qualora la raccolta dei dati pregressi non consenta la ricostruzione di un quadro conoscitivo sufficientemente attendibile rispetto agli obiettivi del livello 1; Misura passiva del rumore ambientale, mediante tecnica a stazione singola.
<b>ANALISI ED ELABORAZIONI</b>	Sintesi dei dati e delle cartografie disponibili; Rilettura, sintesi dei dati ed eventuali nuovi rilievi geologici.
<b>PRODOTTI FINALI</b>	Carta delle indagini (sia esistenti che di nuova realizzazione); Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica almeno alla scala 1:5.000-1.10.000; Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) almeno alla scala 1:5.000-1.10.000; Relazione tecnica illustrativa della carta MOPS; Carta delle frequenze fondamentali dei depositi.

*Sintesi del quadro conoscitivo del livello 1*

Questo livello può quindi essere caratterizzato essenzialmente in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico.

Le finalità degli studi di MS di livello 1 sono:

- individuare qualitativamente le aree che necessitano di approfondimenti;
- definire le tipologie di effetti attesi;
- individuare il modello geologico di sottosuolo preliminare.

Il principale elaborato previsto in questo livello è la **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)**. Questa carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in



relazione all'acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geognostici e di alcune tipologie di dati geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.). Di particolare importanza a questo scopo risulta la ricostruzione del modello geologico-tecnico dell'area, l'individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido (ovvero dei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti) accompagnata da una stima approssimativa della loro profondità rispetto al piano di campagna (del tipo: "qualche metro", "una decina di metri", "alcune decine di metri", "oltre i 100 metri"), una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso (del tipo: "alto" o "basso"). Di particolare importanza sarà l'individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte potenzialmente in grado di causare inversioni della velocità di propagazione delle onde di taglio ed effetti di RSL bi- e tri-dimensionali.

Pertanto, per acquisire tali informazioni di tipo semiquantitativo al fine di consentire la predisposizione della cartografia delle *Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)* si è provveduto alla acquisizione, oltre alle informazioni già previste al par. 1.1.3 degli ICMS, dei risultati di indagini geofisiche utili alla ricostruzione geometrica dei corpi sepolti (sismica a rifrazione, ERT, gravimetria, ecc.) e alla individuazione di eventuali contrasti di impedenza sismica e possibili fenomeni di risonanza (campagne di misura delle frequenze naturali di sito da vibrazioni ambientali o da terremoti).

Per meglio rappresentare queste caratteristiche la carta dovrà essere corredata da sezioni geolitologiche rappresentative della situazione lito-stratigrafica e strutturale presente.

Attraverso questo livello, quindi, sarà possibile:

- la definizione delle caratteristiche litologiche e geometriche delle unità geologiche del sottosuolo;
- l'individuazione delle aree a minore pericolosità locale (zone stabili);
- l'individuazione delle aree per le quali sono necessari ulteriori livelli di approfondimento;
- definire il livello di approfondimento richiesto nelle aree che necessitano di approfondimenti;
- la programmazione di indagini di approfondimento, sulla base delle diverse tipologie di effetti attesi.

Per la indicazioni tecniche cui attenersi per la predisposizione delle **cartografie delle indagini e delle cartografie delle Microzonazione Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)** si rimanda ai par. 1.1.1, 1.1.2 e 1.1.3 degli ICMS in cui vengono presentate le procedure di riferimento per la realizzazione delle suddette carte.

## **8.1 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE**

Gli studi di MS devono essere concentrati in corrispondenza dei centri urbani maggiormente significativi che l'Amministrazione Comunale ha individuato di concerto con la Struttura Regionale deputata. Tali aree coincidono necessariamente con le zone del territorio comunale occupate da insediamenti abitativi, industriali e/o elementi antropici di interesse e sono state, pertanto, sottoposte a studi e indagini specifiche finalizzate alla redazione delle carte di dettaglio con rilievo in scala 1:2.000 e restituzione grafica ed "editing" in scala 1:5.000 (Carta delle indagini, Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica, Carta delle frequenze, Carta delle MOPS, Carta della pericolosità sismica) previste per gli studi di microzonazione sismica di 1° Livello.

Nel dettaglio per il supporto alla presente “Variante al Piano Strutturale” l’Amministrazione Comunale di Roccastrada ha attivato, per proprio conto, indagini sismiche in loco e studi di Microzonazione Sismica di 1° livello sulle sei principali frazioni di seguito elencate:

- 1 – Roccastrada (capoluogo)
- 2 - Sassofortino
- 3 - Roccatederighi
- 4 - Ribolla
- 5 – Montemassi
- 6 – Polo produttivo/commerciale del Madonnino
- 7 – Sticciano e Sticciano Scalo
- 8 – Piloni e Torniella

Al fine di una migliore rappresentazione delle strutture geologiche e delle fenomenologie geomorfologiche, i tematismi cartografici allestiti sono inoltre stati estesi a quelle porzioni di territorio in adiacenza ai centri urbani.

## **8.2 CARTA DELLE INDAGINI E CARTA DELLE FREQUENZE**

Le Carte delle indagini (Tavv. G.08/1, G.08/2, G.08/3 e G.08/4 in scala 1:5.000 – carta delle indagini, oltre al fascicolo di indagini eseguite da Enki s.r.l. di Firenze) mostrano, nel dettaglio per ciascuna delle frazioni indagate, l’ubicazione di tutte le prove eseguite precedentemente al presente studio reperibili da fonti “bibliografiche” e/o banche dati, nonché l’ubicazione delle indagini geofisiche appositamente realizzate nel novero dello svolgimento delle attività di cui al presente studio di microzonazione sismica di 1° livello (cfr. relazione collazionata in apposito fascicolo unitamente alle certificazioni ed elaborazione grafiche e tabellari delle prove stesse).

La nomenclatura delle diverse tipologie di indagine ubicate sulla CTR, è stata definita sulla base delle indicazioni riportate al par. 1.1.1. degli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica”.

Nella Carta delle frequenze (Tavv. G.09/1, G.09/2, G.09/3 e G.09/4) si riportano le informazioni ottenute (frequenza e ampiezza del picco di risonanza, classe di appartenenza) dall’interpretazione delle misure di rumore sismico eseguite nelle aree urbanizzate del comune di Roccastrada assoggettate alla presente indagine.

Per ogni misura è stata ottenuta la curva del rapporto H/V del segnale sismico acquisito, sulla quale sono stati eventualmente individuati picchi di risonanza per un certo valore di frequenza.

Tale cartografia riassume e fornisce indicazioni qualitative sulla classe di frequenza fondamentale allo scopo di distinguere:

- aree caratterizzate da assenza di fenomeni di risonanza significativi (ad esempio nessun massimo relativo significativo di  $f_0$  nell’intervallo 0,1-20Hz);
- aree caratterizzata da presenza di fenomeni di risonanza, distinguendo fra:
- spessori attesi > di 100 m (indicativamente con  $f_0 < 1$ ),

- spessori compresi fra 100 e 50 m (indicativamente con  $1\text{Hz} < f_0 < 2\text{Hz}$ ),
- spessori compresi fra 50 e 30 m (indicativamente con  $2\text{Hz} < f_0 < 3\text{Hz}$ ),
- spessori compresi fra 30 e 20 m (indicativamente con  $3\text{Hz} < f_0 < 5\text{Hz}$ ),
- spessori compresi fra 20 e 10 m (indicativamente con  $5\text{Hz} < f_0 < 8\text{Hz}$ ),
- spessori compresi fra 10 e 5 m (indicativamente con  $8\text{Hz} < f_0 < 20\text{Hz}$ ),
- spessori minori di 5 m (indicativamente con  $f_0 > 20\text{Hz}$ ).

Il range significativo a cui fare riferimento per la valutazione della suscettibilità all'amplificazione sismica di un sito è circa 1-10 Hz. Picchi con frequenze di circa 1-2 Hz sono rappresentativi mediamente di contrasti di impedenza sismica collocati a profondità dell'ordine di qualche centinaia di metri. Frequenze di risonanza, invece, comprese nell'intervallo 8-12 Hz sono rappresentative di limiti stratigrafici, esistenti tra coperture detritiche e substrato roccioso, la cui profondità è dell'ordine di qualche metro (mediamente compresa tra 0 e 10 m).

Per la rappresentazione dei risultati, sono stati considerati i seguenti intervalli di frequenza (Hz):

- nessuna risonanza
- 0,1 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,5
- 2,5 - 5,0
- 5,0 - 7,5
- 7,5 - 10,0
- 10,0 - 15,0
- 15,0 - 20,0

Al fine di riportare in carta il dato relativo all'ampiezza del picco fondamentale, sono stati considerati i seguenti intervalli di ampiezza:

- nessuna risonanza
- 1,1 – 2,0
- 2,0 – 3,0
- 3,0 – 5,0
- > 5,0

Ogni coppia di valori (frequenza/ampiezza) individuati, è stato riportato in apposita tabella sulla relativa cartografia di ubicazione indagini.

Per la valutazione dell'entità del contrasto d'impedenza sismica, individuato con l'interpretazione delle misure di rumore, si è fatto riferimento al seguente criterio di classificazione:

- per ampiezze < 3, il contrasto d'impedenza sismico è basso
- per ampiezze > 3, il contrasto d'impedenza sismico è elevato (alto).

Tale discriminazione è stata applicata solo a valori di ampiezza riferite al picco principale.

Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione allegata al presente documento redatta dall'impresa realizzatrice delle indagini sismiche (vedi allegati ditta ENKI s.r.l.).

L'entità del contrasto di impedenza sismica non è stato riportato direttamente sulla carta delle frequenze, ma sulle colonne stratigrafiche del modello geologico di sottosuolo, mostrate sulla carta delle MOPS e sulle sezioni geologiche.






Tale elaborato ha il duplice scopo di fornire un adeguato strumento per la predisposizione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica di livello 1, ma anche offrire una indicazione delle profondità di investigazione per i successivi livelli superiori di MS. L'utilizzo della tabella di confronto tra lo spessore di copertura stimato e la frequenza fondamentale del terreno, riportata nel lavoro di *Albarello ed alii, 2010.*, costituisce un valido ausilio. Utilizzando questa tabella, infatti, è quindi possibile ottimizzare i costi ed evitare eventuali indagini geognostiche spinte a profondità eccessive o al contrario a profondità insufficienti a raggiungere il contrasto di impedenza sismico principale.

Una sintetica descrizione delle risultanze delle misure di rumore sismico effettuate con tecnica HVSR presso le aree di indagine nel territorio comunale di Roccastrada è riportata nel seguito del presente rapporto in cui si descrivono le caratteristiche rilevate per ogni frazione studiata.

### **8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA**

La carta geologico tecnica è stata redatta in scala 1:5.000 (tav. G.10/1, G.10/2, G.10/3 e G.10/4) e rappresenta, secondo quanto previsto dalle norme ICMS (versione 4.0b dell'ottobre 2015), l'elaborato di compendio di tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche) necessarie alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).

Le unità geologico-litologiche vengono distinte tra terreni di copertura, con spessore minimo di 3,0 m, e substrato geologico rigido o non rigido, per giungere ad una standardizzazione delle informazioni relative agli aspetti geologici e litotecnici. La suddivisione dei litotipi in classi predefinite permette, così, di identificare situazioni litostratigrafiche potenzialmente suscettibili di amplificazione locale o di instabilità. Le tipologie dei terreni di copertura in base alle caratteristiche litologiche e i relativi codici corrispondenti vengono descritti utilizzando l'Unified Soil Classification System (ASTM, 1985, modificato) come di seguito presentato:

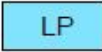



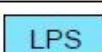
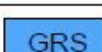

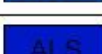








Terreni di copertura		
	RI	Terreni contenenti resti di attività antropica
	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie
	GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
	GM	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
	GC	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla
	SW	Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose
	SP	Sabbie pulite con granulometria poco assortita
	SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
	SC	Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla
	OL	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità
	OH	Argille organiche di media-alta plasticità, limi organici
	MH	Limi inorganici, sabbie fini, Limi micacei o diatomitici
	ML	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
	CL	Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
	CH	Argille inorganiche di alta plasticità, argille grasse
	PT	Torbe ed altre terre fortemente organiche

*Legenda della Carta Geologico Tecnica: terreni di copertura*

<b>Ambiente vulcanico</b>	
Colate/spandimenti/cupole/domi/dicchi/coni lavici	la
Coni scorie/ceneri	sc
Coltri ignimbritiche	ig
Lahar (colate di fango)	lh
<b>Ambiente di versante</b>	
Falda detritica	fd
Conoide detritica	cd
Conoide di deiezione	cz
Eluvi/colluvi	ec
<b>Ambiente fluvio - lacustre</b>	
Argine/barre/canali	es
Piana deltizia	dl
Piana pedemontana	pd
Bacino (piana) intramontano	in
Conoide alluvionale	ca
Terrazzo fluviale	tf
Lacustre	lc
Palustre	pa
Piana inondabile	pi
<b>Ambiente carsico</b>	
Riempimento di dolina/karren/vaschetta/sinkhole	do
Forme costruite presso sorgenti	so
Forme costruite in canyon carsici	cy
Croste calcaree	cc
<b>Ambiente glaciale</b>	
Morena	mr
Deposito fluvio glaciale	fg
Deposito lacustre glaciale	fl
Till	ti
<b>Ambiente eolico</b>	
Duna eolica	de
Loess	ls
<b>Ambiente costiero</b>	
Spiaggia	sp
Duna costiera	dc
Cordone litoraneo	cl
Terrazzo marino	tm
Palude/laguna/stagno/lago costiero	pl
Altro ambiente	zz

*Legenda della Carta Geologico Tecnica: ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura*

Le unità del substrato geologico vengono definite tenendo conto della tipologia (lapideo, granulare cementato, coesivo sovraconsolidato, alternanza di litotipi), della stratificazione (qualora esistente) e del grado di fratturazione (secondo una valutazione qualitativa).

Substrato geologico		
	LP	Lapideo
	GR	Granulare cementato
	CO	Coesivo sovraconsolidato
	AL	Alternanza di litotipi
	LPS	Lapideo, stratificato
	GRS	Granulare cementato, stratificato
	COS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato
	ALS	Alternanza di litotipi, stratificato
	SFLP	Lapideo fratturato / alterato
	SFGR	Granulare cementato fratturato / alterato
	SFCO	Coesivo sovraconsolidato fratturato / alterato
	SFAL	Alternanza di litotipi fratturato / alterato
	SFLPS	Lapideo, stratificato fratturato / alterato
	SFGRS	Granulare cementato, stratificato fratturato / alterato
	SFCOS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato / alterato
	SFALS	Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato

*Legenda della Carta Geologica Tecnica: substrato geologico*

In tale cartografia sono stati riportati gli elementi tettonico strutturali (faglie e strutture tettoniche certe o presunte con relativo stato di attività, stratificazioni) e gli elementi geologico e idrogeologici puntuali derivanti dai dati di base (profondità del substrato geologico raggiunto da sondaggio o pozzo, profondità di sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato geologico, profondità della falda).

Inoltre vengono fornite indicazioni relativamente alle fenomenologie di instabilità di versante (tipologia di instabilità e stato di attività), per le cui definizioni riguardanti lo stato di attività dei versanti il riferimento è il progetto IFFI. Infine vengono presentate le forme morfologiche di superficie e sepolte.

Di seguito si riporta brevemente la descrizione delle varie “unità geologico-tecniche” individuate con il dettaglio delle varie formazioni geologiche che a ciascuna di esse si è ritenuto far corrispondere.

#### **Terreni di copertura**

- **Unità geologico-tecnica RI:** corrisponde ai terreni di riporto contenenti resti di attività antropica (h2).

- **Unità geologico-tecnica GWes:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre (argine/barre/canali). A questi corrispondono i depositi alluvionali attuali con prevalenti ghiaie e sabbie (b\_gs).
- **Unità geologico-tecnica GMes:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre (argine/barre/canali). A questi corrispondono i depositi alluvionali di età pleistocenica con prevalenti ghiaie, sabbie e limi (bn2\_gsl).
- **Unità geologico-tecnica GMec:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico di versante (eluvi / colluvi). A questi corrispondono i depositi eluvio-colluviali (b2a).
- **Unità geologico-tecnica GMfd:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico di versante (falda detritica). A questi corrispondono i depositi appartenenti ai detriti di versante (aa) e ai detriti di falda (a3a).
- **Unità geologico-tecnica GMca:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre (conoide alluvionale). A questi corrispondono i depositi appartenenti alle Sabbie e conglomerati di età rusciniana e villafranchiana (VILe).
- **Unità geologico-tecnica GMdl:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre (piana deltizia). A questi corrispondono i depositi appartenenti ai Conglomerati di età rusciniana e villafranchiana (VILa).
- **Unità geologico-tecnica SMes:** si tratta di terreni costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre (argine/barre/canali). A questi corrispondono i depositi alluvionali pleistocenici con prevalenti sabbie e limi (bn2\_sl).
- **Unità geologico-tecnica SMdl:** si tratta di terreni costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre (piana deltizia). A questi corrispondono i depositi appartenenti alle Sabbie e sabbie argillose di età rusciniana e villafranchiana (VILb).
- **Unità geologico-tecnica MLes:** si tratta di terreni costituiti da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di ambiente genetico fluvio lacustre (argine/barre/canali). A questi corrispondono i depositi alluvionali recenti, terrazzati o non terrazzati con prevalenti limi e argille (bn1\_la).
- **Unità geologico-tecnica CLtf:** si tratta di terreni costituiti da argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di ambiente genetico fluvio lacustre (terrazzo fluviale). A questi corrispondono i depositi appartenenti alle Argille e argille sabbiose di età rusciniana e villafranchiana (VILc).
- **Unità geologico-tecnica CLsp/tm:** si tratta di terreni costituiti da argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di ambiente genetico costiero (spiaggia – terrazzo marino). A questi corrispondono i depositi appartenenti alle Argille e argille siltose plioceniche (FAA).

Per quanto riguarda i corpi di frana, questi sono stati riportati nelle cartografia secondo quanto previsto alla figure 1.1.2-5 delle norme ICMS (versione 4.0b dell'ottobre 2015, evidenziando per ciascun corpo la sua natura (qualora riscontrabile) e lo stato di attività.

#### **Substrato geologico**



- **Unità geologico-tecnica LP:** corrisponde al substrato geologico costituito da formazioni lapidee. A questa unità appartengono le lenti di gesso di età messiniana (EMOg e RAQg), le peridotiti serpentinite (PRN), i basalti (BRG), i gabbri (GBB), le Breccie ad elementi ofiolitici (OMTa), il Calcare Cavernoso (CCA) e i metaconglomerati appartenenti alla Formazione della Verruca (VEUa).
- **Unità geologico-tecnica LPS:** corrisponde al substrato geologico costituito da formazioni lapidee, stratificate. A questa unità appartengono i depositi riferibili ai Calcari e calciruditi di età messiniana (ROSb), ai diaspri (DSA), al Flysch di Ottone (OMT), ai termini dolomitici della Formazione di Vinca (VINb), alle Quarziti di Monte Serra (QMS), alle filladi della Formazione della Verruca (VEU).
- **Unità geologico-tecnica GRS:** corrisponde al substrato geologico costituito da depositi granulari cementati, stratificati. A questa unità appartengono le Breccie e conglomerati e i Conglomerati poligenici di età messiniana (MESa e MESb), e i Conglomerati e paraconglomerati e le Sabbie e arenarie lacustri di età turoliana (SLEc e SLer).
- **Unità geologico-tecnica COS:** corrisponde al substrato geologico costituito da depositi coesivi sovraconsolidati, stratificati. A questa unità appartengono i depositi delle Argille e argille sabbiose di età messiniana (RAQ) e le Argille con intercalazioni di arenarie e conglomerati di età turoliana (FOS).
- **Unità geologico-tecnica ALS:** corrisponde al substrato geologico costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. A questa unità appartengono i depositi delle Argille a Palombini (APA e APAb) e delle Marne di età cretacea (MUL).
- **Unità geologico-tecnica SFLP:** corrisponde al substrato geologico costituito da formazioni lapidee fratturate e/o alterate. A questa unità appartengono i depositi riolitici (RIO).
- **Unità geologico-tecnica SFGRS:** corrisponde al substrato geologico granulare cementato, stratificato, fratturato e/o alterato. A questa unità appartengono i terreni fratturati e alterati appartenenti alle Breccie e conglomerati e i Conglomerati poligenici di età messiniana (MESa e MESb), e i Conglomerati e paraconglomerati e le Sabbie e arenarie lacustri di età turoliana (SLEc e SLer).
- **Unità geologico-tecnica SFCOS:** corrisponde al substrato geologico coesivo sovraconsolidato, stratificato, fratturato e/o alterato. A questa unità appartengono i terreni fratturati e alterati appartenenti ai depositi delle Argille e argille sabbiose di età messiniana (RAQ) e le Argille con intercalazioni di arenarie e conglomerati di età turoliana (FOS).
- **Unità geologico-tecnica SFALS:** corrisponde al substrato geologico costituito da un'alternanza di litotipi stratificati fratturati e alterati. A questa unità sono riferibili i terreni fratturati e alterati appartenenti alle Argille a Palombini (APA e APAb) e delle Marne di età cretacea (MUL).

Di seguito viene riportata una tabella comparativa delle classi di attribuzione, per ciascun deposito lito-stratigrafico o formazione geologica, della cartografia litotecnica di supporto alla Revisione generale al Piano Strutturale, e della cartografia geologico-tecnica per la microzonazione sismica, secondo le norme ICMS 2013.

<b>SIGLA FORMAZIONE</b>	<b>NOME FORMAZIONE</b>	<b>UNITA' LITOTECNICA (VEL)</b>	<b>UNITA' GEOLOGICO- TECNICA (ICMS)</b>
h2	depositi antropici di riporto	depositi antropici	RI
b_gs	depositi alluvionali attuali con prevalenti ghiaie e sabbie	E2	GWes

bn1_la	depositi alluvionali recenti, terrazzati o non terrazzati con prevalenti limi e argille	F2	MLes
bn2_gsl	depositi alluvionali pleistocenici con prevalenti ghiaie, sabbie e limi	E3	GMes
bn2_sl	depositi alluvionali pleistocenici con prevalenti sabbie e limi	F1	SMes
b2a	depositi eluvio-colluviali	F1	GMec
aa	depositi di versante	F	GMfd
a3a	detriti di falda	E	GMfd
a1	corpi di frana	E / F	corpi di frana
RIO	Rioliti	A	LP SFLP se alterato/fratturato
VILe	Sabbie e conglomerati	E1 / E3	GMca
VILc	Argille e argille sabbiose	F2	CLtf
VILb	Sabbie e sabbie argillose	E3	SMdl
VILa	Conglomerati	E1	GMdl
FAA	Argille e argille siltose	D2	CLsp/tm
MESa	Brecce e Conglomerati	C2	GRS SFGRS se alterato/fratturato
MESb	Conglomerati poligenici	C2	GRS SFGRS se alterato/fratturato
EMOa	Lenti di gessi	B5	LP
ROsb	Clacari e calciruditi	B2	LPS
RAQ	Argille e argille sabbiose	B5	COS SFCOS se alterato/fratturato
RAQg	Lenti di gessi	B5	LP
FOS	Argille con intercalazioni di arenarie e conglomerati	B5	COS SFCOS se alterato/fratturato
SLEc	Conglomerati e paraconglomerati	C2	GRS SFGRS se alterato/fratturato
SLEr	Sabbie e arenarie	C3	GRS SFGRS se alterato/fratturato
APA	Argille a Palombini	B5	ALS SFALS se alterato/fratturato
APAb	Argille a Palombini, membro arenaceo	B5	ALS SFALS se alterato/fratturato
MUL	Marne	B2	ALS SFALS se alterato/fratturato
DSA	Diaspri	B3	LPS
PRN	Peridotiti serpentinite	A	LP
BRG	Basalti	A	LP
GBB	Gabbri	A	LP
OMT	Flysch di Ottone	B3	LPS
OMTa	Brecce ad elementi ofiolitici	C1	LP
CCA	Calcare Cavernoso	C1	LP

VINb	Formazione di Vinca, dolomiti	B3	LPS
QMS	Quarziti di Monte Serra	B3	LPS
VEU	Formazione della Verruca, filladi	B5	LPS
VEUa	Formazione della Verruca, metaconglomerati	C1	LP

#### 8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

La “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” rappresenta l’elaborato cartografico fondamentale degli studi di microzonazione sismica di livello 1. Scopo della realizzazione di tale elaborato è la definizione di zone ad eguale comportamento sismico. La produzione della carta MOPS è basata sulla sintesi delle informazioni di carattere geologico, geomorfologico, litotecnico-tecnico e sismico desunti dalle cartografie tematiche realizzate per lo studio di microzonazione e i “dati di base raccolti” quali stratigrafie e certificazioni di prove penetrometriche, analisi di laboratorio e indagini sismiche per la definizione della velocità delle onde P e SH e misure di frequenza caratteristica dei terreni. Inoltre, al fine di valutare l’influenza degli aspetti topografici di versate, si sono tenute in considerazione le caratteristiche cliviometriche dei luoghi deducibili dalla cartografia ufficiale C.T.R. della Regione Toscana.

Per classificare le aree in esame si è stato fatto riferimento (come da paragrafo 1.1.3 degli ICMS) alle seguenti categorie di microzone:

- **zone stabili**
- **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**
- **zone di attenzione per le instabilità.**

Le **zone stabili** sono quelle nelle quali si ipotizza che non si verifichino significativi fenomeni di amplificazione sismica (presenza di substrato geologico/sismico in affioramento) e per le quali, perciò, in caso di evento sismico, sono attesi scuotimenti equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità sismica di base dell’INGV. Considerando che la pericolosità sismica di base di un sito è definita sull’ipotesi di substrato litoide affiorante su superficie pianeggiante o con inclinazione inferiore a 15°, rientrano nella classe delle zone stabili tutte quelle aree che presentano substrato roccioso in affioramento (con eventuale copertura costituita dalla coltre di alterazione con spessore massimo di 3 m) e per le quali si abbiano condizioni di bassa fratturazione dell’ammasso ( $J_v \leq 10-15$ ), nonché inclinazione del pendio  $< 15^\circ$ . Inoltre, qualora studi pregressi evidenzino una velocità di propagazione delle onde S nei primi 30 m di sottosuolo inferiore a 800 m/s, il substrato affiorante può non essere considerato substrato sismico, ma solamente geologico. La numerazione delle zone stabili è progressiva a partire dalla n.1 fino alla n. K.

Le **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** sono le aree nelle quali si presume che, in presenza di sisma, si possano verificare fenomeni di amplificazione sismica. Sono caratterizzate o dalla presenza solamente di substrato roccioso affiorante con caratteristiche strutturali e/o topografiche e/o sismiche tali da non permettere la delimitazione di una zona stabile, oppure dall’esistenza di coperture riconducibili a depositi di origine alluvionale, a coltri detritiche di versante (detriti di versante, depositi eluvio-colluviali, frane), a depositi di origine antropica. La numerazione è progressiva a partire da k+1 fino a n.

Le **zone di attenzione per le instabilità** sono le zone per le quali, in caso di terremoto, si ipotizza si possano manifestare deformazioni permanenti del sottosuolo. I fenomeni deformativi individuati dagli ICMS come causa dell'evento sismico sono:

- **instabilità di versante (frane attive, quiescenti, inattive)**
- **liquefazione**
- **cedimenti differenziali**
- **faglie attive e capaci**

Le **instabilità di versante** sono legate all'attivazione di nuove frane o alla riattivazione di frane quiescenti o antiche stabilizzate. Le tipologie di movimenti sulla base delle quali possono essere discriminate le frane sono: crollo o ribaltamento, scorrimento, colata, frana complessa.

La **liquefazione** è legata alla presenza di materiali granulari sciolti riconducibili a sabbie, sabbie e limi, sabbie e ghiaie. Inoltre si considerano terreni potenzialmente liquefacibili, quelli nei quali la superficie piezometrica della falda freatica superficiale o di falde confinate più profonde si trovi ad una profondità da p.c.  $\leq 15$  m. Comunque per gli aspetti legati alla liquefacibilità dei terreni, gli aspetti di cui tenere conto sono quelli indicati al par. 7.11.3.4 delle NTC 2018 (per le quali sicuramente la natura granulometrica, la profondità della falda e la magnitudo attesa costituiscono i principali fattori predisponenti) e gli ulteriori approfondimenti riportati al par. 3.1.3 degli ICMS.

I **cedimenti differenziali** sono attesi lungo le zone di contatto tra unità geologiche aventi caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (es. depositi alluvionali su substrato roccioso). Tale differenza si traduce in una diversa risposta sismica, la quale può indurre, in caso di terremoto, cedimenti significativi, soprattutto nei terreni presenti a ridosso del contatto stratigrafico. Le zone di instabilità per cedimenti differenziali possono perciò essere rappresentate tramite buffer.

Le **faglie attive e capaci** sono faglie per le quali si ipotizza che:

- si siano mosse almeno una volta negli ultimi 40.000 anni
- che potenzialmente manifestano deformazioni che si possono propagare fino in superficie.

Come descritto negli ICMS, le potenziali faglie attive da inserire nella cartografia geologica-geomorfologica devono essere confermate da studi di geologia strutturale di comprovata validità. Inoltre l'identificazione di eventuali faglie capaci, deve essere eseguita facendo riferimento allo studio ITHACA dell'INGV, con il quale è stato realizzato un archivio delle faglie capaci presenti sul territorio italiano. Anche nel caso di instabilità per faglie attive e capaci, come per i cedimenti differenziali, si tende a definire un buffer in corrispondenza della lineazione tettonica.

Al fine di integrare le informazioni acquisite con la definizione delle microzone, la carta delle MOPS riporta le morfologie che hanno rilevanza ai fini dell'amplificazione sismica (**forme di superficie e forme/elementi sepolti**). Tali morfologie sono riconducibili a forme deposizionali come conoidi alluvionali e falde detritiche, ma anche a forme di versante quali orli di scarpata morfologica con  $10 < h < 20$  m e  $h > 20$  m, creste e picchi isolati (cocuzzoli), forme fluviali come orli di terrazzi fluviali con  $10 < h < 20$  m e  $h > 20$  m, forme erosive (scarpate e valli) e carsiche (cavità) sepolte.

Nel proseguo sono descritte le risultanze relative alla elaborazione dei vari tematismi cartografici e della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica per ciascun centro urbano analizzato.

Per ogni singola frazione sono state identificate e definite, secondo lo schema riassuntivo di seguito riportato, le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e le zone di attenzione per instabilità presenti nelle aree investigate dal presente studio nel territorio comunale (come presentate nelle Tavv. G.11/1, G.11/2, G.11/3 e G.11/4 in scala 1:5.000).

Lo studio di microzonazione sismica di livello 1 dei centri urbani del territorio comunale di Roccastrada ha evidenziato che potenzialmente sono individuabili zone stabili, definite come quelle zone laddove sia presente un substrato affiorante (di natura LP e/o LPS) senza la presenza di ulteriori fattori che potessero comportare una qualche suscettibilità nei confronti dell'amplificazione sismica (fattore strutturale e/o fattore topografico).

Infatti, nei settori di interesse, anche laddove è stata riscontrata la presenza di un substrato roccioso di tipo ALS, GRS e/o COS in affioramento e/o sub-affiorante si è ritenuto opportuno e cautelativo considerare la presenza di una zona di fratturazione e/o di alterazione, che interessa uno spessore inferiore ai 10,0 m.

Pertanto detti areali, non riferibili ad un substrato geologico prettamente e/o tipicamente fratturato in quanto il grado di fratturazione e/o alterazione si ipotizza interessare solamente una porzione superficiale dell'ammasso roccioso, sono stati, in via cautelativa, classificati fra le zone stabili suscettibili di amplificazione locale.

Inoltre è stato considerato come substrato geologico lapideo fratturato/alterato (SFLP) l'insieme dei depositi lapidei appartenenti alle litologie riferibili alla formazione delle Rioliti. Anche in questo caso la zona è stata inserita tra quelle stabili suscettibili di amplificazione locale.

Inoltre, si precisa, che la differenziazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale in funzione delle classi di pendenza è stata sviluppata solamente laddove siamo in presenza di un substrato geologico e non in presenza di terreni di copertura o in presenza depositi riferibili a un substrato geologico sovrastanti terreni di copertura (come ad esempio nel caso degli ammassi riolitici poggianti sui depositi di copertura di età pliocenico-pleistocenica).

### **Zone stabili**

#### **ID      Descrizione Zona**

Substrato lapideo (LP),  $i < 15^\circ$ , c.i. basso.

Substrato lapideo, stratificato (LPS),  $i < 15^\circ$ , c.i. basso.

Substrato lapideo (LP), spessore 5,0 – 80,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS),  $i < 15^\circ$ , c.i. basso.

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

#### **ID      Descrizione Zona**

**Z1** Substrato lapideo (LP),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso.

**Z2** Substrato lapideo, stratificato (LPS),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso.

**Z3** Substrato lapideo (LP), spessore 5,0 – 80,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso.

**Z4** Substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), spessore 3,0 – 30,0 m, su depositi di copertura costituiti da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (ca), c.i. basso.

**Z5** Substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), spessore 3,0 – 20,0 m, su depositi di coperture costituiti da litotipi di natura argilloso limosa (CL) di ambiente fluvio lacustre (tf), c.i. basso.

- Z6** Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i < 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z7** Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z8** Substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato granulare cementato stratificato (GRS),  $i < 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z9** Substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato granulare cementato stratificato (GRS),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z10** Substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato granulare cementato stratificato (GRS), spessore 5,0 - 30,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su Substrato stratificato costituito dall'alternanza di litotipi (ALS),  $i < 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z11** Substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato granulare cementato stratificato (GRS), spessore 5,0 - 30,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su Substrato stratificato costituito dall'alternanza di litotipi (ALS),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z12** Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS),  $i < 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z13** Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z14** Copertura costituita da litotipi di natura argilloso limosa (CL) di ambiente fluvio lacustre (tf) e costiero (sp / tm), c.i. basso.
- Z15** Copertura costituita da litotipi di natura argilloso limosa (CL) di ambiente costiero (sp/tm), spessore 5,0 - 20,0 m, su Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS), c.i. alto.
- Z16** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (dl), spessore 2,0 - 10,0 m, su Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS), c.i. basso.
- Z17** Copertura costituita da litotipi di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente fluvio lacustre (dl), c.i. basso.
- Z18** Copertura costituita da litotipi di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente fluvio lacustre (dl, es), spessore 3,0 - 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS), c.i. alto.
- Z19** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (ca), c.i. basso.
- Z20** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd, ec) e fluvio lacustre (es), spessore 3,0 - 25,0 m, su Substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), c.i. basso.
- Z21** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd, ec), spessore 3,0 - 15,0 m, su Substrato lapideo (LP), c.i. alto.
- Z22** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd), spessore 3,0 - 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS), c.i. basso.
- Z23** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd), spessore 3,0 - 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS), c.i. alto.
- Z24** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd), spessore 3,0 - 7,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), c.i. basso.
- Z25** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd), spessore 3,0 - 15,0 m, su Substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato granulare cementato stratificato (GRS), c.i. basso.
- Z26** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd), spessore 3,0 - 15,0 m, su Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS), c.i. alto.
- Z27** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd), spessore 2,0 - 15,0 m, su litotipi di natura argilloso limosa (CL) di ambiente fluvio lacustre (tf), c.i. basso.
- Z28** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd), spessore 3,0 - 15,0 m, su litotipi di natura argilloso limosa (CL) di ambiente costiero (sp / tm), spessore 5,0 - 20,0 m, su Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS), c.i. alto.
- Z29** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd), spessore 3,0 - 15,0 m, su litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (dl), spessore 5,0 - 20,0 m, su Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS), c.i. basso.

- Z30** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd, ec), spessore 3,0 – 15,0 m, su litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (ca), c.i. basso.
- Z31** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (ec), spessore 3,0 – 10,0 m, su litotipi di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente fluvio lacustre (dl), spessore 2,0 – 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS), c.i. alto.
- Z32** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (ec), spessore 3,0 – 10,0 m, su litotipi di natura argilloso limosa (CL) di ambiente fluvio lacustre (tf), c.i. basso.
- Z33** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (ec), spessore 3,0 – 10,0 m, su litotipi di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente fluvio lacustre (dl), c.i. basso.
- Z34** Copertura costituita da litotipi di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 3,0 – 5,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su Substrato stratificato costituito dall'alternanza di litotipi (ALS), c.i. basso.
- Z35** Copertura costituita da litotipi di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0 – 20,0 m, su Substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato granulare cementato stratificato (GRS), fratturato,  $i < 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z36** Copertura costituita da litotipi di natura limoso argillosa (ML) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0 – 20,0 m, su Substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato granulare cementato stratificato (GRS), c.i. basso.
- Z37** Copertura costituita da litotipi di natura limoso argillosa (ML) di ambiente fluvio lacustre (es), c.i. basso.
- Z38** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso sabbiosa (GW) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0 – 20,0 m, su Substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato granulare cementato stratificato (GRS), c.i. basso.
- Z39** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso sabbiosa (GW) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0 – 20,0 m, su Substrato lapideo (LP), c.i. basso.
- Z40** Copertura costituita da litotipi di natura argilloso limosa (CL) di ambiente costiero (sp/tm), spessore 5,0 – 30,0 m, su Substrato lapideo (LP), c.i. alto.
- Z41** Substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), spessore 3,0 – 40,0 m, su depositi di copertura costituiti da litotipi di natura argilloso limosa (CL) di ambiente costiero (sp/tm), spessore 10,0-20,0 m, su Substrato lapideo (LP), c.i. basso.
- Z42** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd), spessore 3,0 – 15,0 m, su litotipi di natura argilloso limosa (CL) di ambiente costiero (sp/tm), spessore 10,0-20,0 m, su Substrato lapideo (LP), c.i. alto.
- Z43** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd), spessore 3,0 – 15,0 m, su Substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), spessore 3,0 – 40,0 m, su depositi di copertura costituiti da litotipi di natura argilloso limosa (CL) di ambiente costiero (sp/tm), su Substrato lapideo (LP), c.i. basso.
- Z44** Substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), spessore 3,0 – 40,0 m, su Substrato lapideo (LP),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z45** Substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), spessore 3,0 – 40,0 m, Substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato granulare cementato stratificato (GRS),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z46** Substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP),  $i < 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z47** Substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z48** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd, ec), spessore 3,0 – 15,0 m, su fratturato/alterato (SFLP), c.i. alto.
- Z49** Substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su Substrato stratificato costituito dall'alternanza di litotipi (ALS),  $i < 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z50** Substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su Substrato stratificato costituito dall'alternanza di litotipi (ALS),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso.
- Z51** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd, ec) e fluvio lacustre (es), spessore 3,0 – 25,0 m, su Substrato lapideo (LP), c.i. basso.
- Z52** Terreni di riporto (RI), spessore 3,0 - 10,0 m, su Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0 – 10,0 m, su Substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), spessore 3,0 - 5,0 m, su Substrato granulare cementato stratificato (GRS), c.i. basso.

- Z53** Terreni di riporto (RI), spessore 1,0 - 5,0 m, su Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente fluvio lacustre (es), c.i. basso.
- Z54** Terreni di riporto (RI), spessore 1,0 - 5,0 m, su Copertura di natura limoso argillosa (ML) di ambiente fluvio lacustre (es), c.i. basso.
- Z55** Terreni di riporto (RI), spessore 1,0 - 5,0 m, su Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso sabbiosa (GW) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0 – 20,0 m, su Substrato lapideo (LP), c.i. basso.
- Z56** Terreni di riporto (RI), spessore 1,0 - 5,0 m, su Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd, ec) e fluvio lacustre (es), spessore 3,0 – 25,0 m, su Substrato lapideo (LP), c.i. basso.

#### **Zone di attenzione per le instabilità**

<b>ID</b>	<b>Descrizione Zona</b>
<b>ZAFR1....n</b>	Instabilità di versante per frana (con indicato il numero della zona stabile suscettibile di amplificazione locale a cui il corpo franoso è sovrastante).
<b>ZALQ</b>	Liquefazioni
<b>ZACD</b>	Cedimenti differenziali / crollo di cavità sotterranee / sinkhole.
<b>ZAID</b>	Sovrapposizione di instabilità differenti.

### **8.5 CONSIDERAZIONI RELATIVE AGLI APPROFONDIMENTI CONDOTTI SULLE VARIE PORZIONI DI TERRITORIO INDAGATE**

Si raccolgono nel presente capitolo considerazioni riassuntive in merito agli aspetti relativi alle indagini eseguite e alla definizione delle MOPS per ciascuna area oggetto di approfondimento, unitamente a considerazioni in merito alla possibilità di esclusione del fenomeno di liquefazione.

#### **ROCCASTRADA – Capoluogo**

(Vedi tavv. G.08/3, G.09/3, G.10/3 e G.11/3)

##### ***Inquadramento morfologico, idrografico e geomorfologico***

Il nucleo storico di Roccastrada occupa la sommità di una rupe riolitica, con quote altimetriche che raggiungono i 480,0 – 490,0 m s.l.m., mentre la porzione più moderna del Capoluogo si è sviluppata nelle porzioni circostanti il rilievo roccioso ove la morfologia collinare presenta un andamento decisamente più dolce. Pertanto, il settore su cui sorge l'area storica dell'abitato del capoluogo presenta una acclività medio-alta dei versanti (pendenze generalmente comprese tra 25% e 45%), mentre le pendenze diminuiscono (pendenze comprese generalmente tra 10% e 25%) nei settori collinari ai piedi della rupe riolitica, caratterizzati da morfologie più dolci in concomitanza con la presenza di depositi argilloso-sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi.

Riguardo all'aspetto idrografico dell'intera area, i corsi d'acqua defluiscono con andamento a raggiera rispetto all'alto morfologico su cui si colloca l'abitato e tra questi nel settore occidentale dell'area si ricordano il Fosso Ribolgiani, il Fosso del Ramerino, il Fosso del Poderino e il Fosso del Bogo, mentre nel settore orientale il Fosso delle Tombarelle e il Fosso Belardi.

Da un punto di vista geomorfologico l'elemento di maggiore rilevanza che interessa l'area in questione è il distretto franoso denominato del “Chiusone” che occupa il settore occidentale dell'abitato di Roccastrada e si estende verso valle a partire dalla linea di crinale, rappresentata dall'allineamento del rilievo de “Le Rocche” con Corso Roma.

Il distretto franoso è caratterizzato da una pendenza media compresa tra il 12% ed il 17%, tranne nella fascia che circonda il coronamento ove il terreno si presenta maggiormente acclive. Inoltre, all'interno del distretto franoso si rinvennero estese porzioni dell'ammasso riolitico che marcano scarpate e dossi. Scendendo verso



valle, il terreno in frana, tra alternate ondulazioni e contropendenze, si incunea in una stretta vallecchia delimitata da due rilievi collinari marcatamente acclivi sul fianco sud-occidentale.

La frana del “Chiusone” si estende su una superficie di circa 25 ha; la corona di frana si colloca alla quota di 475,0 m s.l.m., mentre il piede si incunea in uno stretto solco vallivo dopo un dislivello di circa 105,0 m ed una lunghezza di 830,0 m.

Il teatro di frana è caratterizzato dalla giustapposizione di due corpi principali la cui dinamica rappresenta l'attività residua di una paleofrana generatasi in condizioni morfoclimatiche passate.

Il movimento gravitativo attivo è probabilmente riconducibile a due fasi:

- scorrimento traslativo lungo la linea di massima pendenza del corpo inferiore, cioè quello che si sviluppa dal piede sud-occidentale della rupe de “Le Rocche” alla sottostante valle ove si incunea l'unghia di frana;
- conseguente roto-traslazione antioraria del corpo superiore, quello che ingloba la placca riolitica della “Colonia” sino a lambire verso monte il crinale su cui corre la viabilità principale del Capoluogo, per perdita del confinamento inferiore.

Le due porzioni di frana sono presumibilmente separate da uno scalino morfologico alla quota della superficie di scorrimento marcato in superficie dalla presenza di una vistosa superficie di controscarpata formatasi lungo Via della Fonte.

Più in generale, il contesto geomorfologico dell'area in frana, specialmente nel corpo inferiore, è caratterizzato dalla presenza di numerosi coronamenti secondari alternati ad ondulazioni morfologiche e contropendenze che riconducono globalmente il dissesto ad un fenomeno di scoscendimenti multipli le cui superfici di distacco convergono su di un unico piano di scorrimento basale localizzato in una fascia di taglio posta ad una profondità variabile dai 30,0 ai 40,0 metri.

L'entità del movimento franoso, riferibile alla massa della paleofrana, è estremamente rilevante. E' stimato che siano coinvolti volumi di terreno intorno a 7.500.000 mc e la misura degli spostamenti cumulati è valutabile dalla dislocazione della placca riolitica della “Colonia” che, rispetto ai due lembi rocciosi laterali de “Le Rocche” e del “Piazzale Biagioni”, risulta abbassata e avanzata verso valle di almeno 60,0 m.

L'abitato coinvolto dal dissesto evidenzia lesioni sulle strutture degli edifici, mentre le costruzioni collocate perimetralmente ai coronamenti principali risultano soggette a fenomeni fessurativi in relazione alla tendenza retrogressiva della nicchia di distacco.

Infine, l'attività dei fenomeni gravitativi risulta macroscopicamente evidente nei forti rigonfiamenti recentemente formati nella zona di piede, nelle lacerazioni del terreno che degrada verso il Fosso del Poderino e nella parte medio-terminale del corpo franoso a cavallo del Fosso Ribolgiani.

Pertanto le forme di instabilità presenti sono: a) dissesti interessanti materiali litoidi; b) dissesti interessanti materiali limoso-argillosi e sabbioso-ghiaiosi.

Nel primo caso si manifestano le seguenti attività:

- aggravamento delle condizioni di stabilità dell'ammasso roccioso de “Le Rocche” per cedimento del terreno di appoggio con allentamento del sistema fessurativo e possibilità di rotolamento e caduta libera di volumi rocciosi, di scivolamento e ribaltamento di blocchi a geometria prismatica, colonnare o lastriforme e di scivolamento di volumi litoidi a geometria cuneiforme.
- instabilità della scarpata sud-orientale della placca riolitica della “Colonia” per distacco di blocchi rocciosi coinvolti da superfici di taglio profonde connesse al movimento principale. Il detrito di tale dissesto risulta

spingente sulle strutture di un edificio vistosamente ruotato per l'abbassamento del suolo di fondazione antistante.

Nel secondo caso, invece:

- l'intero versante, anche se non interessato da movimenti generalizzati, risulta soggetto a fenomeni di deformazione che si manifestano con evidenti rigonfiamenti, abbassamenti e lacerazioni del terreno.

Data l'urbanizzazione della porzione medio-sommitale dell'area in frana numerosi edifici ed infrastrutture riportano gli effetti di tali fenomeni presentando vistose deformazioni e lesioni correlabili a:

- cedimenti per abbassamento del terreno di fondazione;
- cedimenti differenziali per diversa reazione del terreno di fondazione in relazione alla eterogeneità del sottosuolo per la presenza di corpi rigidi e materiali plastici;
- trazioni determinate dalla traslazione disomogenea della struttura coinvolta nel movimento franoso;
- tagli per la propagazione nelle strutture delle superfici di scorrimento che scompongono la massa franata.

### ***Inquadramento geologico***

L'area su cui sorge l'abitato del Capoluogo è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili ad una serie stratigrafica dove si distinguono chiaramente tre complessi.

In basso si rinviene il substrato triassico le cui rocce sono notevolmente piegate ed hanno subito in vario grado l'azione del metamorfismo. Trasgressivo sulle rocce del substrato affiora il complesso dei depositi pliocenici marini e ancora sovrastanti il complesso dei depositi continentali rusciniani e villafranchiani.

Infine, si rinviene la copertura vulcanica molto frazionata in numerosi lembi.

Il substrato triassico è costituito dalla Formazione della Verruca (VEU e VEUA), dalle Quarziti del Monte Serra (QMS) e dal Calcare Cavernoso (CCA) e dalla Formazione anidritica di Burano (BUR).

Il Complesso dei terreni marini del Pliocene medio, trasgressivi sul substrato, è rappresentato dalle Argille e argille siltose (FAA), mentre il complesso dei depositi continentali rusciniani e villafranchiani è rappresentato, partendo dal basso, da:

- conglomerati a vario grado di cementazione alternantisi a calcari detritico-organogeni (VILa);
- sabbie, arenarie fogliettate, sabbie limose ed argillose e argille limose (VILb);
- argille e argille con letti di sabbie (VILc);
- sabbie e limi ricchi in ciottoli e breccie eterometriche (VILe).

Il Complesso delle rocce ignee è rappresentato da vulcaniti riolitiche (RIO) che, con affioramenti discontinui e di estensione variabile, occupano la zona compresa fra Roccastrada e Torniella. Le vulcaniti riolitiche sono presenti in placche prismatiche fortemente fessurate.

Sulla base della definizione dell'età assoluta le vulcaniti di Roccastrada sono riferibili a 2.3 MA, ossia di poco precedenti al limite tra Pliocene medio/Pliocene superiore.

Stratigraficamente questo complesso è posto al di sopra del Complesso dei terreni marini e lacustri.

Al di sopra dei suddetti complessi nei settori collinari si collocano i depositi di copertura recente riconducibili ai corpi di frana (a1), ai depositi eluvio-colluviali (b2a), ai depositi di versante (aa) e ai detriti di falda (a3a).

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per il Capoluogo sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 64 sondaggi geognostici a carotaggio continuo di cui n. 28 strumentati con tubo piezometrico e n. 7 strumentato con canna inclinometrica, con le relative risultanze stratigrafiche e talora analisi geotecniche di laboratorio;
- n. 1 sondaggio a distruzione di nucleo con relativa ricostruzione stratigrafica;
- n. 14 prove penetrometriche di cui n. 9 prove penetrometriche statiche e n. 5 prove penetrometriche dinamiche;
- n. 13 indagini di sismica a rifrazione con onde P e Sh;
- n. 3 indagine sismica con tecnica Masw.

In corrispondenza dell'abitato del Capoluogo sono inoltre stata effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 1 prova sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh, n. 3 prospezioni di sismica con tecnica MASW e in n. 9 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico pre-pliocenico presente in un ampio intorno dell'abitato di Roccastrada risulta costituito dalle formazioni appartenenti al Dominio Toscano e in particolare alle Unità Metamorfiche Toscane rappresentate dalla Formazione della Verruca in facies metaconglomeratica (VEUa) e filladica (VEU) e dalle Quarziti di Monte Serra (QMS). In particolare le prime affiorano in prossimità dell'area del cimitero comunale e delle località Case Barbieri e Casa Castagna, nonché a sud del corso del Fosso del Ramerino, mentre le Quarziti di Monte Serra (QMS) affiorano presso la località Cangiolino e l'area del depuratore comunale.

I restanti settori dei rilievi collinari presenti nell'area in esame sono contraddistinti principalmente dai depositi di origine continentale di età rusciniiana-villafranchiana e secondariamente dai depositi marini di età pliocenica. In particolare i depositi pliocenici marini sono rappresentati dalla formazione delle Argille e argille siltose grigio azzurre (FAA) presenti in affioramento presso le località Casa Teriana, Casa del Falco e Casettone e a sud del corso del Fosso del Ramerino, mentre i depositi continentali rusciniiani e villafranchiani affiorano estesamente nei settori collinari attorno alle rupe delle “Rocche” e interessano i settori di nuovo insediamento abitativo di Roccastrada. I settori collinari ad est dell'abitato di Roccastrada e anche in corrispondenza dell'abitato stesso sono costituiti dai depositi sabbiosi e conglomeratici (VILe), mentre i settori collinari ad ovest dell'abitato sono principalmente costituiti dalle litologie appartenenti ai depositi argillosi e argilloso sabbiosi (VILc) e alle sabbie e sabbie argillose (VILb).

Gli alti morfologici su cui si colloca tra gli altri, il nucleo abitativo storico di Roccastrada sono, invece, geologicamente costituiti dalle rocce ignee rappresentate dalle vulcaniti riolitiche (RIO).

Nei settori collinari i suddetti litotipi sono sormontati da spessori di depositi di origine eluvio-colluviale (b2a), detritica di versante (aa) e detritica di falda (a3a). Inoltre nelle fasce collinari si ha la presenza di areali interessati da spessori di depositi riferibili a coltri di frana (a1).

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura recenti sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GMec (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente genetico di versante - eluvi/colluvi) i depositi eluvio-colluviali (b2a), all'unità GMfd (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente genetico di versante – falda detritica) i terreni riferibili ai depositi di versante (aa) e ai detriti di falda (a3a).

Per quanto riguarda i terreni di copertura di età pliocenica e pleistocenica sono state eseguite le seguenti attribuzioni:

- all'unità geologico-tecnica GMca (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre – conoide alluvionale) i terreni riferibili alle Sabbie e Conglomerati dei depositi continentali rusciniani e villafranchiani (VILe);
- all'unità geologico-tecnica CLtf (argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di ambiente genetico da fluvio lacustre – terrazzo fluviale) i terreni riferibili alle Argille e argille sabbiose dei depositi continentali rusciniani e villafranchiani (VILc);
- all'unità geologico-tecnica SMdl (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre – piana deltizia) i terreni riferibili alle Sabbie e sabbie argillose dei depositi continentali rusciniani e villafranchiani (VILb);
- all'unità geologico-tecnica CLsp-tm (argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di ambiente genetico costiero – spiaggia e terrazzo marino) i terreni riferibili alle Argille e argille siltose dei depositi marini pliocenici (FAA);

Per quanto riguarda i terreni del substrato geologico sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica LPS (substrato lapideo stratificato) i litotipi riconducibili alle Quarziti di Monte Serra (QMS) e all'unità geologico-tecnica LP (substrato lapideo) i litotipi riconducibili alle Rioliti (RIO) e ai metaconglomerati della Formazione della Verruca (VEUa).

#### ***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area in esame caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al dettaglio precedentemente illustrato e da n. 9 misure HVSR di cui n. 5 classificate in classe A1, n. 3 classificate in A2 e n. 1 classificate in B1 si ricava una valutazione di qualità pari a 68,5 che la colloca in classe di accettabilità B.

#### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato del Capoluogo sono state eseguite n. 9 misure di sismica passiva con metodo HVSR (1\_HVSR, 2\_HVSR, 3\_HVSR, 4\_HVSR, 5\_HVSR, 6\_HVSR, 7\_HVSR, 8\_HVSR e 9\_HVSR) nell'ambito dello studio in oggetto.

Tra le registrazioni 1\_HVSR, 2\_HVSR, 3\_HVSR, 4\_HVSR, e 5\_HVSR eseguite nel settore settentrionale dell'area di indagine in corrispondenza dei terreni riferibili alle Sabbie e Conglomerati dei depositi continentali rusciniani e villafranchiani (VILe), le registrazioni 1\_HVSR e 3\_HVSR hanno mostrato un alto contrasto di impedenza (ampiezze rispettivamente di 3,24 e 3,35) con una frequenza del picco principale rispettivamente di 8,73 Hz e 2,17 Hz, che denotano un contrasto a profondità rispettivamente di circa 10,0 m dal p.c. e 50,0 m dal p.c..

Un basso contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo (ampiezze rispettivamente di 2,68, 2,22 e 1,56) è stato invece registrato nelle prove 2\_HVSR, 4\_HVSR e 5\_HVSR, con  $f_0$  rispettivamente uguale a 17,66 Hz, 4,08 Hz e 4,84 Hz (profondità compresa nel primo caso tra 5,0 e 10,0 m da p.c. e tra 20,0 e 30,0 m nei secondi due casi).

La differenza tra i risultati delle prove è probabilmente da riferirsi alla disomogeneità e discontinuità laterale dei depositi continentali sabbioso conglomeratici, che possono talora presentare, a differenti profondità dal p.c., livelli conglomeratici talora cementati che presentano caratteristiche di maggiore rigidità.

Nella medesima litologie, ma nel settore meridionale dell'area di indagine sono state svolte n. 3 indagini HVSR (7\_HVSR, 8\_HVSR e 9\_HVSR). La prova 7\_HVSR ha presentato un basso contrasto di impedenza (ampiezza = 2,93) a profondità di circa 5,0 m dal p.c. ( $f(0) = 19,38$ ), mentre le prove 8\_HVSR e 9\_HVSR hanno presentato un basso contrasto di impedenza (ampiezze rispettivamente di 1,93 e 2,45) a profondità comprese tra 50,0 e 100,0 m dal p.c..

Un basso contrasto di impedenza sismica a profondità maggiori di 100,0 m dal p.c. (ampiezza di 2,2 con  $f(0) = 0,86$ ) è stato riscontrato dalla prova 6\_HVSR eseguita in corrispondenza dei depositi riolitici (RIO) poggianti sulle Sabbie e Conglomerati dei depositi continentali rusciniani e villafranchiani (VILe).

Nel settore settentrionale dell'area investigata, in prossimità della indagine 2\_HVSR, è stata eseguita n. 1 indagine di sismica a rifrazione (10\_SR), che ha mostrato la presenza di tre sismostrati di cui il primo dello spessore massimo di circa 2,0 - 4,0 m con Vs comprese tra 159 e 179 m/s, un secondo dello spessore compreso tra 5,0 e 10,0 m con Vs comprese tra 404 e 504 m/s e un terzo ed ultimo sismostrato con Vs comprese tra 482 e 768 m/s.

In corrispondenza della prova 10\_SR è stata eseguita una prova Masw (11\_MASW) che ha mostrato la presenza di due sismostrati superficiali interessanti i primi 5,9 m di profondità con Vs comprese tra 156 e 276 m/s, a cui segue un terzo sismostrato dello spessore di 5,9 m con Vs = 415 m/s, un quarto sismostrato dello spessore di 4,2 m con Vs = 654 m/s e, infine, un quinto sismostrato investigato per 14,0 m con Vs = 874 m/s; da cui si ricava un valore di Vs30 = 454 m/s (categoria di sottosuolo B).

Presso la località Il Pesciatino sono state svolte n. 3 indagini di sismica a rifrazione (63\_SR, 64\_SR e 72\_SR) e n. 2 prove Masw (62\_MASW e 66\_MASW).

In corrispondenza delle prove 63\_SR (che presenta due sismostrati aventi il primo lo spessore di circa 5,0 m e Vp comprese tra 428 e 467 m/s e il secondo Vp comprese tra 1369 e 1586 m/s) e 64\_SR (che presenta due sismostrati aventi il primo lo spessore di circa 5,0 m e Vp comprese tra 436 e 462 m/s e il secondo Vp comprese tra 1578 e 1802 m/s) è stata svolta una prova Masw (62\_MASW) che ha mostrato la presenza di due sismostrati superficiali interessanti i primi 5,1 m di profondità con Vs comprese tra 128 e 189 m/s, a cui seguono ulteriori due sismostrati dello spessore di 2,2 m con Vs comprese tra 430 e 472 m/s, e ulteriori quattro sismostrati, sino al raggiungimento della profondità di 30,0 m dal p.c. con Vs comprese tra 499 e 526 m/s.

In corrispondenza delle prove 72\_SR (che presenta tre sismostrati aventi il primo lo spessore compreso tra circa 1,0 e 4,0 m e Vs = 154 m/s, il secondo uno spessore compreso tra circa 4,0 e 8,0 m e Vs = 258 m/s e il terzo con Vs = 373 m/s) è stata svolta una prova Masw (66\_MASW) che ha mostrato la presenza di tre sismostrati superficiali interessanti i primi 5,4 m di profondità con Vs comprese tra 188 e 221 m/s, a cui segue un quarto sismostrato dello spessore di 1,6 m con Vs = 399 m/s, e ulteriori due sismostrati, dello spessore complessivo di 2,5 m con Vs comprese tra 225 e 229 m/s, a cui segue un sismostrato dello spessore di un metro con Vs = 517 m/s. Infine a partire dalla profondità di 10,9 m dal p.c. si ha un ultimo sismostrato con Vs = 345 m/s; da cui si ricava un valore di Vs30 = 313 m/s (categoria di sottosuolo C).

Nell'estremo settore meridionale dell'area di indagine è stata svolta l'indagine 65\_MASW che ha mostrato la presenza di tre sismostrati di cui il primo dello spessore variabile tra 3,0 e 6,2 m con Vs comprese tra 190 e 256 m/s, un secondo sismostrato dello spessore variabile tra 8,7 e 10,2 m con Vs comprese tra 320 e 378 m/s e un terzo ed ultimo sismostrato con Vs comprese tra 449 e 485 m/s; da cui si ricava un valore di Vs30 = 370 m/s (categoria di sottosuolo C).

Nel settore ad ovest dell'abitato di Roccastrada, in corrispondenza della frana storica del “Chiusone” sono state eseguite n. 10 indagini di sismica a rifrazione (52\_SR, 53\_SR, 54\_SR, 55\_SR, 56\_SR, 57\_SR, 58\_SR, 59\_SR, 60\_SR, 61\_SR, e 62\_SR).

L'indagine 52\_SR ha mostrato la presenza di n. 4 sismostrati, di cui il primo dello spessore compreso tra 2,0 e 8,0 m con Vs comprese tra 131 e 176 m/s, un secondo dello spessore compreso tra 2,0 e 15,0 m con Vs comprese tra 204 e 268 m/s, un terzo sismostrato dello spessore compreso tra 12,0 e 20,0 m con Vs comprese tra 339 e 425 m/s e un quarto e ultimo sismostrato con Vs comprese tra 490 e 720 m/s.

Le indagini 53\_SR, 54\_SR, 55\_SR, 56\_SR, 57\_SR, 58\_SR, 59\_SR, 60\_SR, 61\_SR, e 62\_SR hanno mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore compreso tra i 2,0 e i 10,0 m con Vp massime di 1000 m/s, di un secondo sismostrato che raggiunge la profondità variabile tra 20,0 e 30,0 m dal p.c. con Vp massime di 1800 m/s e un terzo sismostrato con  $V_p > 1800$  m/s.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili**

- aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo (LP), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della facies metaconglomeratica della Formazione della Verruca (VEUa).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nel settore nord-orientale dell'area di indagine in corrispondenza del cimitero comunale.

- aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della formazione delle Quarziti di Monte Serra (QMS).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nell'estrema porzione meridionale dell'area di indagine.

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

- **zona 1:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo (LP), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della facies metaconglomeratica della Formazione della Verruca (VEUa).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata nel settore nord-orientale dell'area di indagine in corrispondenza del cimitero comunale.

- **zona 2:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della formazione delle Quarziti di Monte Serra (QMS).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata nell'estrema porzione meridionale dell'area di indagine.

- **zona 4:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), appartenente al complesso riolitico (RIO) dello spessore compreso tra 3,0 e 30,0 m, poggiante sui depositi di copertura di età plio-pleistocenica (VILe) a litologia prevalentemente ghiaioso limosa (GMca); basso c.i..

Sulla scorta delle indagini di sismica passiva in possesso (6\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in corrispondenza della placca riolitica su cui sorge il nucleo antico di Roccastrada ("Le Rocche") e della placca della "Colonia".

- **zona 5:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), appartenente al complesso riolitico (RIO) dello spessore compreso tra 3,0 e 20,0 m, poggiante sui depositi di copertura di età plio-pleistocenica (VILc) a litologia prevalentemente argilloso limosa (CLtf); basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in corrispondenza della placca riolitica della "Colonia".

- **zona 14:** questa zona comprende le aree nelle quali affiorano o sono sub-affioranti i depositi di copertura di età plio-pleistocenica (VILc) e pliocenica (FAA) a litologia prevalentemente argilloso limosa (CLtf e CLsp/tm); basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nel settore occidentale e sud-orientale, a sud della località il Terzo, dell'area di indagine.

- **zona 17:** questa zona comprende le aree nelle quali affiorano o sono sub-affioranti i depositi di copertura di età plio-pleistocenica (VILb) a litologia prevalentemente sabbioso limosa (SMdl); e basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nel settore sud-occidentale dell'area di indagine in corrispondenza del corso del Fosso di Ribolgiani.

- **zona 18:** questa zona comprende le aree nelle quali affiorano o sono sub-affioranti i depositi di copertura di età plio-pleistocenica (VILb) a litologia prevalentemente sabbioso limosa (SMdl), poggianti su un substrato lapideo stratificato (LPS) riconducibile alla presenza della formazione delle Quarziti di Monte Serra (QMS); basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in una porzione del settore meridionale dell'area di indagine.

- **zona 19:** questa zona comprende le aree nelle quali affiorano o sono sub-affioranti i depositi di copertura di età plio-pleistocenica (VILe) a litologia prevalentemente ghiaioso limosa (GMca);  $i < 15^\circ$  e basso c.i..

Sulla scorta delle indagini di sismica passiva in possesso (1\_HVSR, 2\_HVSR, 3\_HVSR, 4\_HVSR, 5\_HVSR, 7\_HVSR, 8\_HVSR e 9\_HVSR), sebbene le indagini 1\_HVSR e 3\_HVSR abbiano fornito ampiezze di poco  $> 3$ , non si presume nel suo insieme la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona comprende la maggior parte delle aree collinari in corrispondenza dell'abitato di Roccastrada e nella fascia orientale dell'area di indagine.

- **zona 21:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi eluvio-colluviali (b2a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMec), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, poggianti su un substrato lapideo (LP) appartenente alla formazione delle Quarziti del Monte Serra (QMS); alto c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nella porzione meridionale dell'area di indagine.

- **zona 22:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi detritici di versante e/o di falda (aa e a3a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMfd), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, poggianti su un substrato lapideo stratificato (LPS) rappresentato dalle Quarziti di Monte Serra (QMS); basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nell'estrema porzione meridionale dell'area di indagine.

- **zona 27:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi detritici di versante e/o di falda (aa e a3a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMfd), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, poggianti su depositi di copertura di età plio-pleistocenica (VILc) a litologia prevalentemente argilloso limosa (CLtf); basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nella porzione occidentale dell'area di indagine.

- **zona 30:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi eluvio-colluviali (b2a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMec), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, poggianti su depositi di copertura di età plio-pleistocenica (VILe) a litologia prevalentemente ghiaioso limosa (GMca); basso c.i..

Sulla scorta delle indagini di sismica passiva in possesso (8\_HVSR e 9\_HVSR) e della successione stratigrafica rilevata, non si presume nel suo insieme la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona si riconosce in alcuni settori limitati all'interno della zona 19, laddove si ha la presenza di coperture eluvio colluviali (b2a).

- **zona 31:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi eluvio-colluviali (b2a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMec), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, poggianti su depositi di copertura di età plio-pleistocenica (VILb) a litologia prevalentemente sabbioso limosa (SMdl), dello spessore compreso tra 2,0 e 15,0 m, a loro volta poggianti su un substrato lapideo stratificato (LPS) riconducibile alla presenza della formazione delle Quarziti di Monte Serra (QMS); e alto c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nella porzione meridionale dell'area di indagine.

- **zona 32:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi eluvio-colluviali (b2a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMec), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, poggianti su depositi di copertura di età plio-pleistocenica (VILc) a litologia prevalentemente argilloso limosa (CLtf); basso c.i..



Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nel settore occidentale dell'area di indagine.

- **zona 33**: questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi eluvio-colluviali (b2a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMec), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, poggianti su depositi di copertura di età plio-pleistocenica (VILb) a litologia prevalentemente sabbioso limosa (SMdl); basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nel settore sud-occidentale dell'area di indagine.

#### **Zone di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....n)** sono state discriminate considerando l'ordine di rappresentazione indicato al paragrafo 1.1.3-3 degli ICMS e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura (coperture eluvio-colluviali, coperture detritiche, coltri di frana, e coperture di età plio-pleistocenica) e il substrato lapideo stratificato e non (Rioliti – RIO, Quarziti di Monte Serra – QMS e Formazione della Verruca – VEUa) sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Le zone sono state individuate tracciando un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta in questo caso, pertanto, una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso, in accordo con gli indirizzi e criteri, non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Infine sono state evidenziate le aree dove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

### **SASSOFORTINO**

(Vedi tavv. G.08/2, G.09/2, G.10/2 e G.11/2)

#### ***Inquadramento morfologico, idrografico e geomorfologico***

L'abitato di Sassofortino si colloca in un settore di alta collina a quote altimetriche comprese tra 550,0 e 600,0 m s.l.m., che presenta pendenze generalmente comprese tra 10% e 25%, con settori a maggiore acclività (generalmente compresi tra il 25% e il 45%) presenti nell'area a nord della Strada Comunale Panoramica San Martino, laddove il substrato geologico è caratterizzato dalla presenza di litotipi di natura ignea riolitica, a differenza delle altre aree dove i litotipi sono riferibili ai depositi meno consistenti di età miocenica e pliocenico-pleistocenica.

Riguardo all'aspetto idrografico dell'area, i corsi d'acqua presenti nel settore meridionale defluiscono con andamento da nord verso sud e tra questi si ricordano il Rio Rigomale, il Fosso Verolla, il Fosso Rigualdo e il Fosso del Tamburino, mentre il settore settentrionale è caratterizzato dal corso, con andamento circa ovest-est, del Torrente Bai.

Da un punto di vista geomorfologico l'area è interessata dalla presenza di alcuni corpi di frana quiescenti il maggiore dei quali si colloca nella porzione settentrionale dell'area di indagine interessando la S.P. di Meleto.

#### ***Inquadramento geologico***

L'area su cui sorge l'abitato di Sassofortino è caratterizzata dalla presenza di coperture riferibili a depositi di versante (aa) e a detriti di falda (a3a) al di sopra di terreni riconducibili alle serie mioceniche, plioceniche e

pleistoceniche. In particolare per quanto riguarda i depositi miocenici sono affioranti o presenti al di sotto delle coltri detritiche le formazioni appartenenti ai depositi lacustri del Turoliano inferiore (Argille con intercalazioni di arenarie e conglomerati – FOS), ai depositi marini pre-evaporitici messiniani (Calcarei e calciruditi – ROSb, Argille e argille sabbiose - RAQ, Lenti di gessi - RAQg), ai depositi lacustri e lagunari post-evaporitici messiniani (Lenti di gessi – EMOG); mentre per quanto riguarda le formazioni marine di età pliocenica sono presenti le litologie appartenenti alle Argille e argille siltose grigio azzurre (FAA) e relativamente ai depositi continentali rusciniani e villafranchiani i litotipi della facies conglomeratica (VILa).

I settori di territorio morfologicamente più elevati presenti nel settore nord-occidentale dell'area di indagine, a monte del tracciato della Strada Comunale Panoramica San Martino, sono contraddistinti dalla presenza del complesso delle rocce ignee rappresentate dalle vulcaniti riolitiche (RIO) di età pliocenica medio – superiore. Stratigraficamente questo complesso è posto al di sopra del Complesso dei terreni marini e lacustri.

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per il Capoluogo sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 9 prove penetrometriche di cui n. 2 prove penetrometriche statiche e n. 7 prove penetrometriche dinamiche.

In corrispondenza dell'abitato di Sassofortino sono inoltre state effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 1 prova sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh, n. 1 prospezione di sismica con tecnica MASW e in n. 6 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico presente in un ampio intorno dell'abitato di Sassofortino risulta costituito dalle formazioni appartenenti alle serie mioceniche, plioceniche e pleistoceniche.

In particolare la formazione delle Argille con intercalazioni di arenarie e conglomerati (FOS) appartenenti ai depositi lacustri del Turoliano inferiore costituiscono il substrato geologico dei terreni presenti ad ovest di Capo Pagiano, in corrispondenza del corso del Rio Rigomale. I depositi marini pre-evaporitici messiniani (Calcarei e calciruditi – ROSb, Argille e argille sabbiose - RAQ, Lenti di gessi – RAQg) costituiscono il substrato geologico del settore a nord e ad est dell'abitato di Sassofortino, nonché dell'abitato tra il nucleo storico e Capo Pagiano e a sud di questo. I depositi lacustri e lagunari post-evaporitici messiniani rappresentati dai soli gessi (EMOG) interessano i terreni a sud-ovest dell'abitato di Sassofortino interessando il tracciato della S.P. del Peruzzo e il corso del Fosso Verolla.

Le Argille e argille siltose grigio azzurre (FAA) appartenenti alle formazioni marine di età pliocenica rappresentano il substrato geologico su cui poggia gran parte del nucleo storico di Sassofortino, mentre i depositi plio-pleistocenici di natura prevalentemente conglomeratica (VILa) sono presenti nel solo settore sud-orientale in corrispondenza della località Cavina.

Il settore nord-occidentale dell'area in esame, contraddistinto dalle pendici meridionali del poggio di Sassoforte presenta un substrato geologico costituito dal complesso delle rocce ignee rappresentate dalle vulcaniti riolitiche (RIO) di età pliocenica medio – superiore, poggiante al di sopra dei terreni marini e lacustri.

In ampi settori i suddetti litotipi sono sormontati da spessori di depositi detritici di versante (aa), detritici di falda (a3a) e di coltri di frana (a1).

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura recenti sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GMfd (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente genetico di versante – falda detritica) i terreni riferibili ai depositi di versante (aa) e ai detriti di falda (a3a).

Per quanto riguarda i terreni di copertura di età pliocenica e pleistocenica sono state eseguite le seguenti attribuzioni:

- all'unità geologico-tecnica GMdl (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre – piana deltizia) i terreni riferibili ai Conglomerati dei depositi continentali rusciniani e villafranchiani (VILa);
- all'unità geologico-tecnica CLsp-tm (argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di ambiente genetico costiero – spiaggia e terrazzo marino) i terreni riferibili alle Argille e argille siltose dei depositi marini pliocenici (FAA).

Relativamente ai terreni del substrato geologico sono state eseguite le seguenti attribuzioni:

- all'unità geologico-tecnica LPS (substrato lapideo stratificato) i litotipi riferibili ai Calcari e calciruditi (ROSb) di età messiniana;
- all'unità geologico-tecnica LP (substrato lapideo) i litotipi riconducibili alle lenti di gesso di età messiniana (EMOg e RAQg);
- all'unità geologico-tecnica COS (coesivo sovraconsolidato stratificato) i litotipi riconducibili alle Argille e argille sabbiose (RAQ) di età messiniana e alle Argille con intercalazioni di arenarie e conglomerati (FOS) di età turoliana.
- all'unità geologico-tecnica SFLP (substrato lapideo, fratturato / alterato) i litotipi riconducibili ai depositi riolitici (RIO);

### ***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area in esame caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al dettaglio precedentemente e da n. 5 misure HVSR di cui n. 3 classificate in classe A1 e n. 2 classificate in B1 si ricava una valutazione di qualità pari a 50,1 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato del Capoluogo sono state eseguite n. 5 misure di sismica passiva con metodo HVSR (19\_HVSR, 20\_HVSR, 21\_HVSR, 22\_HVSR e 23\_HVSR) nell'ambito dello studio in oggetto.

Le registrazioni hanno mostrato nella loro totalità alti contrasti di impedenza (ampiezze rispettivamente di 4,11, 3,26, 5,52, 7,29 e 5,09) con frequenze del picco principale di 4,30 Hz, 3,42 Hz, 5,27 Hz, 3,69 Hz e 12,92 Hz, che indicano contrasti a profondità comprese tra 20,0 e 30,0 m dal p.c., ad eccezione della prova 23\_HVSR dove il valore di  $f(0)$  indica un contrasto di impedenza a profondità minori e comprese tra 5,0 e 10,0 m dal p.c.. Tuttavia le prove indicherebbero, sulla scorta del quadro geologico dell'area, che detto contrasto avviene al passaggio tra i depositi di copertura superficiale e il substrato miocenico e/o riolitico o tra le coperture plio-pleistoceniche e il substrato miocenico stesso.

In prossimità dell'indagine 21\_HVSR sono state inoltre eseguite una indagine di sismica a rifrazione (24\_SR) e una prova sismica di tipo Masw (25\_MASW).

L'indagine 24\_SR ha mostrato la presenza di tre sismostrati di cui il primo dello spessore massimo di circa 2,0 m con Vs comprese tra 146 e 169 m/s, un secondo dello spessore compreso tra 5,0 e 15,0 m con Vs comprese tra 205 e 224 m/s e un terzo ed ultimo sismostrato con Vs comprese tra 384 e 627 m/s.

La prova Masw (11\_MASW) ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 3,5 m con Vs = 135 m/s, un secondo sismostrato dello spessore di 5,1 m con Vs = 255 m/s, un terzo e un quarto sismostrato dello spessore complessivo di 10,5 m e Vs comprese tra 422 e 456 m/s e, infine, un quinto sismostrato con Vs = 597 m/s; da cui si ricava un valore di Vs30 = 347 m/s (categoria di sottosuolo C).

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili**

- aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS) con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della formazione dei Calcari e delle Calciruditi (ROSb).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata ad ovest dell'area cimiteriale.

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

- **zona 2:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della formazione dei Calcari e delle Calciruditi (ROSb).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata ad ovest dell'area cimiteriale.

- **zona 12:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Le litologie sono riferibili alle formazioni mioceniche delle Argille con intercalazioni di arenarie e conglomerati (FOS) e delle Argille e argille sabbiose (RAQ)

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nella porzione sud-occidentale dell'area di studio e a nord dell'area cimiteriale.

- **zona 13:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Le litologie sono riferibili alle formazioni mioceniche delle Argille con intercalazioni di arenarie e conglomerati (FOS) e delle Argille e argille sabbiose (RAQ)

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata a nord dell'area cimiteriale.

- **zona 15:** questa zona comprende le aree nelle quali affiorano o sono sub-affioranti i depositi di copertura di età pliocenica (FAA) a litologia prevalentemente argilloso limosa (CLsp-tm), dello spessore compreso tra 5,0 e 20,0 m, poggianti su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS),  $i < 15^\circ$  e alto c.i.. I termini del substrato sono riferibili alla formazione miocenica delle Argille e argille sabbiose (RAQ).

Sulla scorta delle indagini di sismica passiva in possesso (19\_HVSR e 22\_HVSR) si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nella porzione sud-orientale in prossimità della località Cavina e a nord dell'abitato di Sassofortino in corrispondenza del campo sportivo.

- **zona 16:** questa zona comprende le aree nelle quali affiorano o sono sub-affioranti i depositi di copertura di età plio-pleistocenica (VILa) a litologia prevalentemente ghiaioso limosa (GMdl), dello spessore compreso tra 2,0 e 10,0 m, poggianti su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS),  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. I termini del substrato sono riferibili alla formazione miocenica delle Argille e argille sabbiose (RAQ).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nella porzione sud-orientale in prossimità della località Cavina.

- **zona 18:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Le litologie del substrato sono riferibili alle formazioni mioceniche delle Argille con intercalazioni di arenarie e conglomerati (FOS) e delle Argille e argille sabbiose (RAQ)

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata a nord dell'area cimiteriale.

- **zona 23:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi detritici di falda (a3a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMfd), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, poggianti su un substrato lapideo (LP), rappresentato da gessi (EMOa);  $i < 15^\circ$  e alto c.i..

Sulla scorta della successione stratigrafica rilevata, si presume nel suo insieme la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in corrispondenza dell'area cimiteriale.

- **zona 26:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi detritici di falda (a3a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMfd), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, poggianti su un substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS), alto c.i.. I termini del substrato sono riferibili alla formazione miocenica delle Argille e argille sabbiose (RAQ).

Sulla scorta delle indagini di sismica passiva in possesso (23\_HVSR) si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona interessa il settore occidentale dell'abitato di Sassofortino e l'estremo settore nord-orientale dell'abitato stesso in corrispondenza di Case Cannello.

- **zona 28:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi detritici di falda (a3a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMfd), dello spessore compreso tra 2,0 e 15,0 m, poggianti sui depositi di copertura di età pliocenica (FAA) a litologia prevalentemente argilloso limosa (CLsp-tm), dello spessore compreso tra 5,0 e 20,0 m, a loro volta sovrastanti un substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, poggiante su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS); alto c.i.. I termini del substrato sono riferibili alla formazione miocenica delle Argille e argille sabbiose (RAQ).

Sulla scorta delle indagini di sismica passiva in possesso (21\_HVSR e 22\_HVSR) si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona interessa la maggior parte dell'abitato di Sassofortino.

- **zona 29:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi detritici di falda (a3a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMfd), dello spessore compreso tra 2,0 e 15,0 m, poggianti sui depositi di copertura di età plio-pleistocenica (VILa) a litologia prevalentemente ghiaioso limosa (GMdl), dello spessore compreso tra 5,0 e 20,0 m, a loro volta sovrastanti un substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, poggiante su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS); basso c.i.. I termini del substrato sono riferibili alla formazione miocenica delle Argille e argille sabbiose (RAQ).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nella porzione sud-orientale in prossimità della località Cavina e a sud di Capo Pagiano.

- **zona 29:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi detritici di falda (a3a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMfd), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, poggianti sui depositi di copertura di età plio-pleistocenica (VILa) a litologia prevalentemente ghiaioso limosa (GMdl), dello spessore compreso tra 5,0 e 20,0 m, a loro volta sovrastanti un substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS), spessore 3,0 - 5,0 m, poggiante su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS); basso c.i.. I termini del substrato sono riferibili alla formazione miocenica delle Argille e argille sabbiose (RAQ).

- **zona 46:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza delle rocce ignee appartenenti al complesso riolitico (RIO).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nel settore nord-occidentale dell'area di indagine in corrispondenza del versante meridionale del poggio di Sassoforte.

- **zona 47:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza delle rocce ignee appartenenti al complesso riolitico (RIO).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata nel settore nord-occidentale dell'area di indagine in corrispondenza del versante meridionale del poggio di Sassoforte.

- **zona 48**: questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi detritici di falda (a3a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMfd), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, poggianti su un substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza delle rocce ignee appartenenti al complesso riolitico (RIO).

Sulla scorta delle indagini di sismica passiva in possesso (20\_HVSR) non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona interessa il settore nord-occidentale dell'abitato di Sassofortino.

#### **Zone di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....n)** sono state discriminate considerando l'ordine di rappresentazione indicato al paragrafo 1.1.3-3 degli ICMS e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura (coperture eluvio-colluviali, coperture detritiche, coltri di frana, e coperture di età plio-pleistocenica) e il substrato lapideo stratificato e non (Calcari e calciruditi – ROSb, Rioliti – RIO, Lenti di gesso – EMOg e RAQg) sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Le zone sono state individuate tracciando un areale ("buffer") di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta in questo caso, pertanto, una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso, in accordo con gli indirizzi e criteri, non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Infine sono state evidenziate le aree dove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAIID)**.

#### **ROCCATEDERIGHI**

(Vedi tavv. G.08/2, G.09/2, G.10/2 e G.11/2)

#### ***Inquadramento morfologico, idrografico e geomorfologico***

Il nucleo storico di Roccatederighi occupa la sommità di una rupe riolitica, con quote altimetriche che raggiungono circa i 560,0 m s.l.m., mentre la porzione più moderna del Capoluogo si è sviluppata nelle porzioni a nord del rilievo roccioso ove la morfologia collinare presenta un andamento decisamente più dolce. Pertanto, il settore su cui sorge l'area storica dell'abitato del capoluogo presenta una acclività medio-alta dei versanti (pendenze generalmente comprese tra 25% e 45%, ma anche superiori al 45%), laddove il substrato geologico è caratterizzato dalla presenza di litotipi di natura ignea riolitica (Rioliti - RIO), mentre le pendenze diminuiscono (pendenze comprese generalmente tra 10% e 25%) nei restanti settori collinari, laddove i litotipi sono riferibili alle formazioni del Dominio Ligure Interno (Argille a Palombini – APA e APAb, Formazione di Murlo - MUL, Diaspri – DSA, Peridotiti serpentinite - PRN, Basalti - BRG e Gabbri - GBB).

Riguardo all'aspetto idrografico dell'intera area, i corsi d'acqua presentano un andamento prevalentemente da nord verso sud e tra questi si ricordano, ad ovest dell'abitato di Roccatederighi, il Torrente Asina con i suoi affluenti, tra cui il Fosso Martinaccio e il Fosso delle Cerbaie, mentre ad est del paese il Fosso Rigovilla con i suoi affluenti, tra cui il Fosso delle Conce.

Da un punto di vista geomorfologico l'area è interessata dalla presenza di alcuni distretti franosi costituiti da corpi di frana attivi e quiescenti tra cui si ricorda quello presente lungo il versante occidentale dell'alto

morfologico su cui insiste il centro abitato o quello, costituito da più corpi coalescenti presente, nella porzione a nord dell'abitato di Roccatederighi in corrispondenza del Fosso Martinaccio e che interessa l'area cimiteriale.

In particolare quest'ultimo distretto franoso è caratterizzato da un'ampia diffusione di fenomenologie gravitative marcate da più corpi di frana sia attivi che quiescenti, che si sviluppano su di un fronte di circa 70,0 m.

Il corpo di frana maggiore raggiunge una lunghezza di circa 150,0 m con un dislivello di 36,0 m compreso tra le quote di 520,0 m s.l.m. e 484,0 m s.l.m.. Si tratta di una frana attiva a carattere essenzialmente roto-traslativo che si esplica con spessori da 12,0 a 8,0 m. Questa impatta con il coronamento la struttura cimiteriale ove i muri perimetrali si presentano lesionati e dislocati dal movimento franoso. Il suolo mostra evidenti deformazioni con accentuati abbassamenti e le sepolture e le alberature presenti risultano fortemente ruotate verso valle.

### ***Inquadramento geologico***

L'area su cui sorge l'abitato di Roccatederighi è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili ad una serie stratigrafica dove si distinguono chiaramente tre complessi.

In basso si rinviene il substrato appartenente al Dominio Ligure Interno. Trasgressivo sulle rocce del substrato affiora il complesso dei depositi continentali miocenici e, infine, si rinviene la copertura vulcanica molto frazionata in numerosi lembi.

Il substrato appartenente al Dominio Ligure Interno è contraddistinto da un basamento costituito dalle Peridotiti serpentizzate (PRN), dai Basalti (BRG) e dai Gabbri (GBB) e dalle formazioni di copertura quali le Argille a Palombini (APA e APAb), Formazione di Murlo (MUL) e i Diaspri (DSA).

Il Complesso dei terreni continentali miocenici, trasgressivi sul substrato, è rappresentato dalla formazione dei Conglomerati e paraconglomerati (SLEc) appartenenti ai depositi lacustri del Turoliano inferiore.

Il Complesso delle rocce ignee è rappresentato da vulcaniti riolitiche (RIO) che, con affioramenti discontinui e di estensione variabile, occupano la zona della rocca su cui si erge il nucleo storico di Roccatederighi e in un'ampia fascia ad andamento circa nord-est/sud-ovest che dalla località Costa Ombrosa si estende sino al corso del Fosso Rigovilla.

In accordo con quanto definito per le rioliti di Roccastrada, l'età assoluta delle vulcaniti di Roccatederighi sono riferibili a 2.3 MA, ossia di poco precedenti al limite tra Pliocene medio/Pliocene superiore.

Stratigraficamente questo complesso è posto al di sopra dei terreni appartenenti al Dominio Ligure Interno.

Al di sopra dei suddetti complessi nei settori collinari si collocano i depositi di copertura recente riconducibili ai corpi di frana (a1), ai depositi eluvio-colluviali (b2a), ai depositi di versante (aa) e ai detriti di falda (a3a).

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per il territorio di Roccatederighi sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con le relative risultanze stratigrafiche e talora analisi geotecniche di laboratorio;
- n. 4 prove penetrometriche dinamiche;
- n. 2 indagini di sismica a rifrazione con onde P e Sh;
- n. 3 indagine sismica con tecnica Masw;
- n. 3 tomografie geoelettriche.



In corrispondenza dell'abitato di Roccatederighi sono inoltre state effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 1 prova sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh e in n. 6 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico pre-neogenico presente in un ampio intorno dell'abitato di Roccatederighi risulta costituito dalle formazioni appartenenti al Dominio Ligure Interno e in particolare all'Unità Ofolitifera delle Argille a Palombini rappresentate dalle formazioni del basamento quali le Peridotiti serpentinite (PRN), i Basalti (BRG) e i Gabbri (GBB) e dalle formazioni della copertura quali le Argille a Palombini (APA e APAb), la Formazione di Murlo (MUL) e i Diaspri (DSA).

In particolare i depositi del basamento affiorano in una fascia con andamento circa nord-sud che interessa l'area cimiteriale e la porzione nord-orientale dell'edificio di Sassofortino; in particolare gran parte dei terreni sono rappresentati dalla formazione dei Basalti (BRG), su cui sorge tra le altre l'area cimiteriale e gli insediamenti abitativi lungo e nei dintorni del settore orientale di Via Roma, mentre secondariamente affiorano i Gabbri (GBB), interessando l'area di Via le Cortine e di Via del Canale, e le Peridotiti Serpentinite (PRN), che affiorano marginalmente in lembi isolati a nord dell'area cimiteriale.

Per quanto riguarda i depositi delle coperture liguri le Argille a Palombini in facies tipica (APA) affiorano e costituiscono, in contatto strutturale con i depositi del basamento, i terreni su cui sorge la porzione occidentale dell'abitato di Roccatederighi, ad eccezione del nucleo storico che si insedia su una placca riolitica poggiante a profondità anche superiori ai 100,0 m dal p.c. sulle stesse Argille a Palombini (APA). Le Argille a Palombini in facies arenacea (APAb) affiora, invece, in una fascia limitata in corrispondenza della località Le Coste, dove, ad ovest di questa e sino alla località Le Conce, affiorano i termini riferibili alla Formazione di Murlo (MUL). Infine i Diaspri (DSA) interessano una fascia ad andamento nord-est/sud-ovest collocata tra l'abitato di Roccatederighi e la placca riolitica su cui sorge la località Costa Ombrosa.

Il Complesso dei terreni continentali miocenici, trasgressivi sul substrato, è rappresentato dalla formazione dei Conglomerati e paraconglomerati (SLEc) appartenenti ai depositi lacustri del Turoliano inferiore, che affiorano in una fascia a sud della località Le Coste.

Gli alti morfologici su cui si colloca tra gli altri, il nucleo abitativo storico di Roccatederighi sono, invece, geologicamente costituiti dalle rocce ignee rappresentate dalle vulcaniti riolitiche (RIO).

Nei settori collinari i suddetti litotipi sono sormontati da spessori di depositi di origine eluvio-colluviale (b2a), detritica di versante (aa) e detritica di falda (a3a). Inoltre nelle fasce collinari si ha la presenza di areali interessati da spessori di depositi riferibili a coltri di frana (a1).

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura recenti sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica SMes (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre – argine/barre/canali) i terreni riferibili ai depositi alluvionali pleistocenici con prevalenti sabbie e limi (bn2\_sl), all'unità GMec (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente genetico di versante - eluvi/colluvi) i depositi eluvio-colluviali (b2a) e

all'unità GMfd (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente genetico di versante – falda detritica) i terreni riferibili ai depositi di versante (aa) e ai detriti di falda (a3a).

Relativamente ai terreni del substrato geologico sono state eseguite le seguenti attribuzioni:

- all'unità geologico-tecnica LPS (substrato lapideo stratificato) i litotipi riferibili ai Diaspri (DSA);
- all'unità geologico-tecnica LP (substrato lapideo) i litotipi riconducibili alle Peridotiti serpentizzate (PRN), ai Basalti (BRG) e ai Gabbri (GBB);
- all'unità geologico-tecnica ALS (alternanza di litotipi stratificati) i litotipi riconducibili alle Argille a Palombini in facies tipica (APA) e nel membro arenaceo (APAb) e alla Formazione di Murlo (MUL);
- all'unità geologico-tecnica GRS (granulare cementato stratificato) i litotipi riconducibili ai Conglomerati e paraconglomerati (SLEc) di età turoliana;
- all'unità geologico-tecnica SFLP (substrato lapideo, fratturato / alterato) i litotipi riconducibili ai depositi riolitici (RIO).

***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area in esame caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al dettaglio precedentemente e da n. 6 misure HVSR di cui n. 1 classificate in classe A1, n. 3 classificate in classe A2, n. 1 classificate in B1 e n. 1 classificata in B2, si ricava una valutazione di qualità pari a 60,3 che la colloca in classe di accettabilità B.

***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato del Capoluogo sono state eseguite n. 6 misure di sismica passiva con metodo HVSR (12\_HVSR, 13\_HVSR, 14\_HVSR, 15\_HVSR, 16\_HVSR e 17\_HVSR) nell'ambito dello studio in oggetto.

Le registrazioni hanno mostrato nella loro totalità bassi contrasti di impedenza (ampiezze rispettivamente di 1,98, 2,90, 2,29, 1,66, 1,58 e 2,85) con frequenze del picco principale di 5,89 Hz, 5,77 Hz, 3,52 Hz, 3,91 Hz, 5,78 Hz e 5,44 Hz, che indicano contrasti a profondità comprese tra 10,0 e 30,0 m dal p.c..

In prossimità dell'indagine 15\_HVSR sono state inoltre eseguite una indagine di sismica a rifrazione (18\_SR) e una prova sismica di tipo Masw (45\_MASW).

L'indagine 18\_SR ha mostrato la presenza di tre sismostrati di cui il primo dello spessore massimo di circa 2,0 m con Vs comprese tra 398 e 528 m/s, un secondo dello spessore compreso tra 6,0 e 12,0 m con Vs comprese tra 564 e 592 m/s e un terzo ed ultimo sismostrato con Vs comprese tra 821 e 1131 m/s.

La prova Masw (45\_MASW) ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 2,0 m con Vs = 745 m/s, un secondo sismostrato dello spessore di 6,0 m con Vs comprese tra 457 e 572 m/s, un terzo dello spessore di 2,0 m e Vs = 691 m/s, un quarto dello spessore di 2,0 m con Vs = 843 m/s, un quinto dello spessore di 2,0 m con Vs = 988 m/s e un sesto sismostrato dello con Vs compreso tra 1114 e 1221 m/s.

Inoltre nel settore del cimitero sono state eseguite n. 2 indagini di sismica a rifrazione (70\_SR e 71\_SR), n. 2 indagini tipo Masw (72\_MASW e 73\_MASW) e n. 3 tomografie geoelettriche (74\_ERT, 75\_ERT e 76\_ERT).

L'indagine 70\_SR ha mostrato la presenza di cinque sismostrati di cui il primo dello spessore compreso tra 5,0 e 10,0 m con Vs massima di 350 m/s, un secondo dello spessore compreso tra 10,0 e 15,0 m con Vs massima di 550 m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 5,0 con Vs massima di 700 m/s, un quarto sismostrato dello spessore di 5,0 m con Vs massima di 900 m/s, e successivamente un quinto sismostrato con Vs > 900 m/s.

La prova Masw (72\_MASW) accoppiata all'indagine 70\_SR, ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 3,3 m con  $V_s = 159$  m/s, un secondo sismostrato dello spessore di 3,2 m con  $V_s = 191$  m/s, un terzo dello spessore di 4,6 m e  $V_s = 275$  m/s, un quarto dello spessore di 6,9 m con  $V_s = 324$  m/s e un quinto, investigato per uno spessore di 12,0 m con  $V_s = 680$  m/s; da cui si ricava un valore di  $V_{s30} = 323$  m/s (categoria di sottosuolo C).

L'indagine 71\_SR ha mostrato la presenza di quattro sismostrati di cui il primo dello spessore di 5,0 con  $V_p$  massima di 800 m/s, un secondo dello spessore di 5,0 m con  $V_s$  massima di 2000 m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 5,0 con  $V_s$  massima di 3000 m/s e un quarto sismostrato, presente oltre i 15,0 m dal p.c. con  $V_s > 3000$  m/s.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili**

- aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo (LP), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza delle formazioni del basamento del Dominio Ligure Interno quali le Peridotiti serpentinite (PRN), i Basalti (BRG) e i Gabbri (GBB).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata principalmente in corrispondenza del settore nord-orientale dell'abitato di Roccatederighi e presso l'area cimiteriale.

- aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della formazione dei Diaspri (DSA).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in alcuni settori all'interno di una fascia ad andamento nord-est/sud-ovest collocata tra l'abitato di Roccatederighi e la placca riolitica su cui sorge la località Costa Ombrosa.

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

- **zona 1:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo (LP), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza delle formazioni del basamento del Dominio Ligure Interno quali le Peridotiti serpentinite (PRN), i Basalti (BRG) e i Gabbri (GBB).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata principalmente a nord-est dell'abitato di nuova edificazione e in alcuni lembi isolati presso l'area cimiteriale.

- **zona 2:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della formazione dei Diaspri (DSA).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata in alcuni settori all'interno di una fascia ad andamento nord-est/sud-ovest collocata tra l'abitato di Roccatederighi e la placca riolitica su cui sorge la località Costa Ombrosa.

- **zona 6:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza dei litotipi riconducibili alle Argille a Palombini in facies tipica (APA) e nel membro arenaceo (APAb) e alla Formazione di Murlo (MUL).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in corrispondenza della porzione occidentale dell'abitato di Roccatederighi, ad eccezione del nucleo storico e in una fascia tra le località le Coste e le Conce.

- **zona 7:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza dei litotipi riconducibili alle Argille a Palombini in facies tipica (APA) e nel membro arenaceo (APAb) e alla Formazione di Murlo (MUL).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata in una fascia a nord-ovest dell'abitato di Roccatederighi, in un isolato settore in corrispondenza del Fosso di Rigovilla nella porzione meridionale dell'area di studio, e in alcune fasce tra le località le Coste e le Conce.

- **zona 10:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), spessore 3,0 - 5,0 m, su un substrato granulare cementato stratificato (GRS), riconducibili alla presenza di litotipi attribuibili ai Conglomerati e paraconglomerati (SLEc) di età turoliana, poggianti su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su Substrato stratificato costituito dall'alternanza di litotipi (ALS), riconducibili al membro arenaceo delle Argille a Palombini (APAb); il substrato si presenta generalmente fratturato; con  $i < 15^\circ$  e basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in corrispondenza della località le Coste.

- **zona 11:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), spessore 3,0 - 5,0 m, su un substrato granulare cementato stratificato (GRS), riconducibili alla presenza di litotipi attribuibili ai Conglomerati e paraconglomerati (SLEc) di età turoliana, poggianti su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su Substrato stratificato costituito dall'alternanza di litotipi (ALS), riconducibili al membro arenaceo delle Argille a Palombini (APAb); il substrato si presenta generalmente fratturato; con  $i > 15^\circ$  e basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata in corrispondenza della località Le Coste.

- **zona 20:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi detritici di versante e/o di falda (aa e a3a) ed eluvio-colluviali (b2a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMfd, GMec), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, poggianti su un substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), con basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza delle rocce ignee appartenenti al complesso riolitico (RIO).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nell'estrema porzione orientale dell'area di indagine, in alcuni isolati settori ad est della località Costa Ombrosa e in corrispondenza di un settore limitato a nord di Podere Le Conce.

- **zona 21:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi detritici di versante e/o di falda (aa e a3a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMfd), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, poggianti su un substrato lapideo (LP), con basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza delle formazioni del basamento del Dominio Ligure Interno quali le Peridotiti serpentizzate (PRN), i Basalti (BRG) e i Gabbri (GBB).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in un settore isolato nella porzione meridionale dell'area di indagine.

- **zona 22:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi detritici di versante e/o di falda (aa e a3a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMfd), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, poggianti su un substrato lapideo stratificato (LPS), fratturato, rappresentato dalla formazione dei Diaspri (DSA); basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in alcune piccole area nella porzione centrale dell'area di indagine.

- **zona 24:** Copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd), spessore 3,0 – 7,0 m, su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), riconducibili riconducibili alle Argille a Palombini (APA), al membro arenaceo delle Argille a Palombini (APAb) e alla Formazione di Murlo (MUL); c.i. basso.

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in alcune limitate aree lungo il versante ad ovest dell'abitato di Roccatederighi, nell'estremo settore orientale dell'area di indagine ad est della località Le Coste, in altre aree limitate nella porzione meridionale dell'area di studio.

- **zona 25:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi detritici di versante e/o di falda (aa e a3a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMfd), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, poggianti su un substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), spessore 3,0 - 5,0 m, su un substrato

granulare cementato stratificato (GRS), riconducibili alla presenza di litotipi attribuibili ai Conglomerati e paraconglomerati (SLEc) di età turoliana, con basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata ad est della località le Coste.

- **zona 34:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi alluvionali di età pleistocenica (bn2\_sl) a prevalente composizione sabbioso limosa (SMes), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, poggianti su un substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati fratturato/alterato (SFALS), a sua volta su un substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati (ALS), riconducibili alle Argille a Palombini (APA); basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in un limitato areale in corrispondenza del corso del Fosso di Rigovilla.

- **zona 46:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza delle rocce ignee appartenenti al complesso riolitico (RIO).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in alcuni settori della porzione orientale dell'area di studio e attorno al nucleo storico dell'abitato di Roccatederighi.

- **zona 47:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza delle rocce ignee appartenenti al complesso riolitico (RIO).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata in corrispondenza del nucleo storico dell'abitato di Roccatederighi e nel settore orientale dell'area di studio.

- **zona 49:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo (LP), poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su substrato stratificato costituito dall'alternanza di litotipi (ALS), con  $i < 15^\circ$  e c.i. basso. Il substrato lapideo è riconducibile alla presenza delle rocce ignee riolitiche (RIO) mentre i termini del substrato costituito dall'alternanza di litotipi è riferibile alle Argille a Palombini in facies tipica (APA).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in corrispondenza del nucleo storico dell'abitato di Roccatederighi.

#### **Zone di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....n)** sono state discriminate considerando l'ordine di rappresentazione indicato al paragrafo 1.1.3-3 degli ICMS e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura (coperture eluvio-colluviali, coperture detritiche e coltri di frana) e il substrato lapideo stratificato e non (Rioliti – RIO, Peridotiti serpentizzate - PRN, Basalti - BRG, Gabbri - GBB e Diaspri - DSA) e tra quest'ultimo e il substrato costituito dall'alternanza di litotipi stratificati a prevalente composizione argillitica e marnosa (Argille a Palombini – APA e APAb, Formazione di Murlo – MUL) sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Le zone sono state individuate tracciando un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta in questo caso, pertanto, una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso, in accordo con gli indirizzi e criteri, non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Infine sono state evidenziate le aree dove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

## MONTEMASSI

(Vedi tavv. G.08/3, G.09/3, G.10/3 e G.11/3)

### ***Inquadramento morfologico, idrografico e geomorfologico***

Il nucleo storico di Montemassi occupa la sommità di una rupe litoide, con quote altimetriche che raggiungono circa i 285,0 m s.l.m., circondata da settori a morfologia collinare leggermente più dolce.

Pertanto, il settore su cui sorge l'abitato presenta una acclività medio-alta dei versanti (pendenze generalmente comprese tra 25% e 45%, ma anche superiori al 45%), laddove affiorano i termini riferibili all'Unità di Santa Fiora del Dominio Ligure Esterno (Flysch di Ottone – OMT e Breccie ad elementi ofiolitici – OMTa), mentre le pendenze diminuiscono (pendenze comprese generalmente tra 10% e 35%) nei restanti settori collinari, laddove i litotipi sono riferibili alle formazioni del Dominio Ligure Interno (Argille a Palombini – APA).

Riguardo all'aspetto idrografico dell'intera area, i corsi d'acqua presentano un andamento a raggiera rispetto all'alto morfologico su cui sorge il centro abitato, tra cui si ricorda il Rio Maggiori e il Fosso Risciglioni.

Da un punto di vista geomorfologico l'area è interessata dalla presenza di alcuni distretti franosi costituiti da corpi di frana quiescenti, che tuttavia non interessano direttamente l'alto morfologico su cui sorge Montemassi, la cui vetta è definita da scarpate morfologiche non attive con altezze generalmente superiori a 20,0 m.

### ***Inquadramento geologico***

L'area su cui sorge l'abitato di Montemassi è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili all'Unità di Santa Fiora del Dominio Ligure Esterno rappresentata dal Flysch di Ottone (OMT) e dalle Breccie ad elementi ofiolitici (OMTa). Questi sono in contatto tettonico mediante sovrascorrimento con i terreni, presenti nella porzione settentrionale dell'area di indagine, riconducibili all'Unità Ofiolitifera delle Argille a Palombini del Dominio Ligure Interno rappresentate dalle Argille a Palombini (APA).

Al di sopra dei suddetti complessi nei settori collinari si collocano i depositi di copertura recente riconducibili ai corpi di frana (a1) e ai depositi di versante (aa).

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per il territorio di Montemassi sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 1 indagine sismica con tecnica Masw.

In corrispondenza dell'abitato di Montemassi sono inoltre state effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 4 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico su cui sorge l'abitato di Montemassi risulta costituito dalle formazioni appartenenti al Dominio Ligure Interno e in particolare all'Unità di Santa Fiora rappresentate dal Flysch di Ottone (OMT) e dalle Breccie ad elementi ofiolitici (OMTa). In particolare le Breccie ad elementi ofiolitici (OMTa) rappresentano il substrato su cui sono collocate le abitazioni del paese mentre il Flysch di Ottone (OMT) rappresenta l'appoggio delle Breccie stesse e costituisce i terreni dei rilievi collinari al piede della rupe di Montemassi, in particolare nella porzione ad ovest e sud-ovest della rupe. I terreni e i rilievi collinari posti a nord della rupe di Montemassi, come ad esempio in corrispondenza dell'area cimiteriale, sono costituiti dalle Argille a Palombini (APA) facenti parte dall'Unità Ofiolitifera delle Argille a Palombini del Dominio Ligure Interno. I due domini sono messi in contatto attraverso una struttura tettonica, che ha portato le Argille a Palombini (APA) a sovrascorrere sul Flysch di Ottone (OMT) e sulle Breccie ad elementi ofiolitici (OMTa).

Talora i suddetti litotipi sono sormontati da spessori di depositi di origine detritica di versante (aa). Inoltre in alcuni settori si ha la presenza di areali interessati da spessori di depositi riferibili a coltri di frana (a1).

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura recenti sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GMfd (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente genetico di versante – falda detritica) i terreni riferibili ai depositi di versante (aa).

Relativamente ai terreni del substrato geologico sono state eseguite le seguenti attribuzioni:

- all'unità geologico-tecnica LPS (substrato lapideo stratificato) i litotipi riferibili al Flysch di Ottone (OMT);
- all'unità geologico-tecnica LP (substrato lapideo) i litotipi riconducibili alle Breccie ad elementi ofiolitici (OMTa);
- all'unità geologico-tecnica ALS (alternanza di litotipi stratificati) i litotipi riconducibili alle Argille a Palombini (APA).

### ***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area in esame caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al dettaglio precedentemente e da n. 4 misure HVSr classificate in classe A2, si ricava una valutazione di qualità pari a 46,0 che la colloca in classe di accettabilità C.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato del Capoluogo sono state eseguite n. 6 misure di sismica passiva con metodo HVSr (26\_HVSr, 27\_HVSr, 28\_HVSr e 29\_HVSr) nell'ambito dello studio in oggetto.

Le registrazioni (27\_HVSr, 28\_HVSr e 29\_HVSr) eseguite in corrispondenza delle Breccie ad elementi ofiolitici (OMTa) hanno mostrato nella loro totalità bassi contrasti di impedenza (ampiezze rispettivamente di 1,57, 1,42 e 2,04) con frequenze del picco principale rispettivamente di 3,75 Hz, 3,67 Hz e 6,25 Hz, che indicano



contrasti a profondità comprese rispettivamente tra 20,0 e 30,0 m dal p.c., 10,0 e 20,0 m dal p.c. e oltre i 100 m dal p.c..

La prova 26\_HVSR, eseguita in corrispondenza dei terreni riferibili al Flysch di Ottone (OMT) ha ricavato un basso contrasto di impedenza ( $A_0 = 1,57$ ) a profondità comprese tra 20,0 e 30,0 m dal p.c. ( $f_0 = 3,75$  Hz).

A sud-est dell'area cimiteriale in prossimità del passaggio tettonico tra le Argille a Palombini (APA) e il Flysch di Ottone (OMT) è stata eseguita la prova Masw 46\_MASW. Questa ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di circa 1,0 – 2,0 m con Vs comprese tra 121 e 169 m/s, un secondo sismostrato dello spessore di circa 5,0 m con Vs comprese tra 395 e 475 m/s e un terzo con Vs comprese tra 688 e 731 m/s; da cui si ricava un valore di  $V_{s30} = 548$  m/s (categoria di sottosuolo B).

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili**

- aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza del Flysch di Ottone (OMT).

Sulla scorta delle prove eseguite (26\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in alcuni settori collinari ai piedi dell'alto morfologico su cui sorge l'abitato di Montemassi e in particolare a sud-ovest dello stesso.

- aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo (LP), poggiante su un substrato lapideo stratificato (LPS);  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato lapideo (LP) interessato dalla zona in questione sono le Breccie ad elementi ofiolitici (OMTa) mentre il substrato lapideo stratificato (LPS) è riconducibile alla presenza del Flysch di Ottone (OMT).

Sulla scorta delle prove eseguite (27\_HVSR e 28\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in alcuni settori in corrispondenza dell'alto morfologico su cui sorge l'abitato di Montemassi e ai piedi dello stesso lungo il versante sud-orientale.

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

- **zona 2:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza del Flysch di Ottone (OMT).

Sulla scorta delle prove eseguite (26\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata in alcuni settori collinari ai piedi dell'alto morfologico su cui sorge l'abitato di Montemassi.

- **zona 3:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo (LP), fratturato poggiante su un substrato lapideo stratificato (LPS);  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato lapideo (LP) interessato dalla zona in questione sono le Breccie ad elementi ofiolitici (OMTa) mentre il substrato lapideo stratificato (LPS) è riconducibile alla presenza del Flysch di Ottone (OMT).

Sulla scorta delle prove eseguite (29\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona interessa la quasi totalità dell'alto morfologico su cui sorge l'abitato di Montemassi.

- **zona 6:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su un substrato costituito da un'alternanza stratificata di litotipo (ALS), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza dei litotipi riferibili alle Argille a Palombini (APA).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nei rilievi collinari a nord dell'alto morfologico di Montemassi come ad esempio in corrispondenza dell'area cimiteriale.

- **zona 7:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su un substrato costituito da un'alternanza stratificata di litotipo (ALS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza dei litotipi riferibili alle Argille a Palombini (APA).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata nei rilievi collinari a nord (in particolare nord-ovest) dell'alto morfologico di Montemassi.

- **zona 24:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi detritici di versante e/o di falda (aa e a3a) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMfd), dello spessore compreso tra 2,0 e 7,0 m, poggianti su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS), spessore 3,0 - 10,0 m, su un substrato costituito da un'alternanza stratificata di litotipo (ALS); il substrato è riconducibile alle Argille a Palombini (APA); basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nel settore settentrionale dell'area indagata.

#### **Zone di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....n)** sono state discriminate considerando l'ordine di rappresentazione indicato al paragrafo 1.1.3-3 degli ICMS e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura (coperture eluvio-colluviali, coperture detritiche e coltri di frana) e il substrato lapideo stratificato e non (Brecce ad elementi ofiolitici (OMTa) e Flysch di Ottone (OMT).) e tra questi e il substrato costituito dall'alternanza di litotipi stratificati a prevalente composizione argillitica e marnosa (Argille a Palombini – APA e APAb, Formazione di Murlo – MUL) sono delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Le zone sono state individuate tracciando un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta in questo caso, pertanto, una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso, in accordo con gli indirizzi e criteri, non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Infine sono state evidenziate le aree dove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

## RIBOLLA

(Vedi tavv. G.08/1, G.09/1, G.10/1 e G.11/1)

### ***Inquadramento morfologico, idrografico e geomorfologico***

L'abitato di Ribolla si colloca in un settore pressoché pianeggiante o di bassa collina a quote altimetriche comprese tra 45,0 e 70,0 m s.l.m., che presenta pendenze generalmente comprese tra 0% e 10%, con settori a maggiore acclività (generalmente compresi tra il 15% e il 25%) presenti nell'area del Serbatoio e di Case Poggio Moretto, laddove affiora il substrato geologico caratterizzato dalla presenza di litotipi di natura conglomeratica di età miocenica.

Riguardo all'aspetto idrografico dell'intera area, i corsi d'acqua principali sono il Torrente Follonica, che definisce il limite occidentale dell'abitato di Ribolla, con i suoi affluenti tra cui il Torrente Ribolla e il Fosso Vallone - Fosso Raspolino. Questi, così come i corsi d'acqua minori, tra cui si ricordano il Fosso Rigazzi il Rio Pietrose e il Fosso Buco, scorrono generalmente dai quadranti settentrionali a quelli meridionali e, quindi, dai settori collinari a quelli vallivi.

Da un punto di vista geomorfologico l'area, data la sua collocazione morfologica, non è interessata da particolare fenomenologie ad eccezione di piccoli corpi di frana quiescenti lungo i versanti settentrionali di Poggio Moretto. Evidenze morfologiche vengono definite dall'attività antropica che ha interessato l'intero areale con la presenza di scavi e riporti dovuti all'attività di discarica di cave e miniere.

### ***Inquadramento geologico***

L'area su cui sorge l'abitato di Ribolla è caratterizzata principalmente dalla presenza di coperture riferibili principalmente ai depositi alluvionali pleistocenici con prevalenti sabbie e limi (bn2\_sl). In corrispondenza dei corsi fluviali si ha la presenza di depositi alluvionali recenti, terrazzati o non terrazzati con prevalenti litologie limose e argillose (bn1\_la). Infine il settore settentrionale dell'abitato di Ribolla, tra Via Montemassi e l'area cimiteriale e i settori collinari di Poggio Moretto presentano terreni riferibili ai depositi lacustri e lagunari post-evaporitici di età messiniana rappresentati dai Conglomerati poligenici (MESb). Questi costituiscono il substrato geologico dei depositi alluvionali superficiali presenti nel territorio di Ribolla.

Gran parte dei settori esterni all'abitato di Ribolla sono interessati dalla presenza di terreni antropici di riporto derivanti dall'attività di cava e miniera. Ad est dell'abitato di Ribolla in prossimità del Fosso Raspolino, all'interno dei terreni di discarica si ha la presenza di un laghetto con depositi alluvionali attuali con prevalenti ghiaie e sabbie (b\_gs).

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per il Capoluogo sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con le relative risultanze stratigrafiche e talora analisi geotecniche di laboratorio;
- n. 27 prove penetrometriche di cui n. 7 prove penetrometriche statiche e n. 20 prove penetrometriche dinamiche;
- n. 4 indagine sismica con tecnica Masw.

In corrispondenza dell'abitato di Ribolla sono inoltre stata effettuata ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 2 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh, in n. e indagini sismiche di tipo Masw e in n. 5 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico presente in un ampio intorno dell'abitato di Ribolla risulta composto dalle formazioni appartenenti ai depositi lacustri e lagunari post-evaporitici di età messiniana rappresentati dai Conglomerati poligenici (MESb), che costituiscono i rilievi del settore settentrionale dell'area in esame tra l'area cimiteriale e Case Poggio Moretto.

Su questi poggiano i depositi alluvionali recenti presenti in corrispondenza degli attuali corsi fluviali (bn1\_la) e dei laghetti alluvionali (b\_gs) e pleistocenici (bn2\_sl) che interessano, quest'ultimi, l'intera piana alluvionale su cui sorge l'abitato di Ribolla.

Gran parte dei settori esterni all'abitato di Ribolla sono interessati dalla presenza di terreni antropici di riporto derivanti dall'attività di cava e miniera (h2) poggianti sui depositi alluvionali pleistocenici e a loro volta sui depositi lacustri e lagunari post-evaporitici di età messiniana (MESb).

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura recenti sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GWes (ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie di ambiente fluvio-lacustre – argine/barre/canali) i terreni riferibili ai depositi alluvionali attuali con prevalenti ghiaie e sabbie (b\_gs), all'unità MLes (Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di ambiente fluvio-lacustre – argine/barre/canali), all'unità SMes (Sabbie limose e miscela di sabbia e limo di ambiente fluvio-lacustre – argine/barre/canali). Inoltre si ha l'unità geologico tecnica RI (Terreni contenenti resti di attività antropica) relativa ai depositi antropici di riporto.

Relativamente ai terreni del substrato geologico sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica SFGRS (granulare cementato, stratificato, fratturato / alterato) i litotipi riferibili ai Conglomerati poligenici (MESb).

### ***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area in esame caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al dettaglio precedentemente e da n. 8 misure HVSr di cui n. 5 classificate in classe A1, n. 2 classificate in A2 e n. 1 classificata in B2, si ricava una valutazione di qualità pari a 52,1 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato di Ribolla sono state eseguite n. 8 misure di sismica passiva con metodo HVSr (30\_HVSr, 31\_HVSr, 32\_HVSr, 33\_HVSr, 34\_HVSr, 35\_HVSr, 36\_HVSr e 37\_HVSr) nell'ambito dello studio in oggetto.

Le registrazioni (30\_HVSr, 33\_HVSr, 35\_HVSr e 37\_HVSr) eseguite in corrispondenza dei depositi alluvionali pleistocenici con prevalenti sabbie e limi (bn2\_sl) hanno mostrato nella loro totalità bassi contrasti di impedenza (ampiezze rispettivamente di 2,24, 2,13, 2,89, e 1,85) con frequenze del picco principale di 3,66 Hz,

4,69 Hz, 2,89 Hz e 1,53 Hz, indicanti nei primi due casi contrasti di impedenza a profondità comprese tra 20,0 e 30,0 m dal p.c. e negli ultimi due contrasti a profondità rispettivamente di 30,0 e 50,0 m dal p.c. e tra 50,0 e 100,0 m dal p.c..

Le prove (31\_HVSR e 32\_HVSR) eseguite in corrispondenza dei depositi lacustri e lagunari post-evaporitici di età messiniana rappresentati dai Conglomerati poligenici (MESb) hanno mostrato nella loro totalità bassi contrasti di impedenza (ampiezze rispettivamente di 1,52 e 2,37) con frequenze del picco principale rispettivamente di 3,73 Hz e 2,56 Hz, indicanti nel primo caso contrasti di impedenza a profondità comprese tra 20,0 e 30,0 m dal p.c. e nel secondo caso un contrasto a profondità comprese tra 30,0 e 50,0 m dal p.c..

Infine le prove (34\_HVSR e 36\_HVSR) eseguite sui terreni di riporto (h2) poggianti sui terreni attribuibili ai Conglomerati poligenici (MESb) hanno nel primo caso mostrato un alto contrasto di impedenza ( $A_0 = 3,03$ ) a profondità comprese tra 30,0 e 50,0 m dal p.c. ( $f_0 = 2,45$  Hz), mentre nel secondo un basso contrasto di impedenza ( $A_0 = 2,89$ ) a profondità comprese tra 30,0 e 50,0 m dal p.c. ( $f_0 = 2,89$  Hz).

La prova Masw (47\_MASW) eseguita in corrispondenza del cimitero comunale ha mostrato la presenza di cinque sismostrati di cui il primo dello spessore di 4,6 m con  $V_s = 261$  m/s, un secondo dello spessore di 5,2 m con  $V_s = 223$  m/s, un terzo dello spessore di 4,2 m con  $V_s = 445$  m/s, un quarto dello spessore di 3,5 m con  $V_s = 439$  m/s e un quinto ed ultimo con  $V_s = 631$  m/s; da cui si ricava un valore di  $V_{s30} = 383$  m/s (categoria di sottosuolo B).

La prova Masw (48\_MASW) eseguita a nord di Via della Collacchia ha mostrato la presenza di tre sismostrati di cui il primo dello spessore di 1,0 m con  $V_s = 197$  m/s, un secondo dello spessore di 7,0 m con  $V_s = 333$  m/s e un terzo con  $V_s = 664$  m/s; da cui si ricava un valore di  $V_{s30} = 475$  m/s (categoria di sottosuolo B).

In un settore collocato presso i campi sportivi tra le prove 34\_HVSR e 36\_HVSR sono state eseguite l'indagine sismica 40\_SR associata alla prova Masw 41\_MASW.

L'indagine 40\_SR ha mostrato la presenza di tre sismostrati di cui il primo dello spessore compreso tra 1,0 e 6,0 m con  $V_s$  comprese tra 271 e 285 m/s, un secondo dello spessore compreso tra 10,0 e 18,0 m con  $V_s$  comprese tra 301 e 387 m/s e un terzo ed ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 478 e 599 m/s.

La prova Masw (41\_MASW) ha mostrato la presenza di cinque sismostrati di cui il primo dello spessore di 5,0 m con  $V_s = 250$  m/s, un secondo dello spessore di 4,8 m con  $V_s = 293$  m/s, un terzo dello spessore di 6,1 m con  $V_s = 421$  m/s, un quarto dello spessore di 6,1 m con  $V_s = 506$  m/s e un quinto e ultimo, investigato per 9,7 m con  $V_s = 606$  m/s; da cui si ricava un valore di  $V_{s30} = 397$  m/s (categoria di sottosuolo B).

Nel settore pedecollinare in corrispondenza della strada che conduce al Serbatoio sono state eseguite l'indagine sismica 38\_SR associata alla prova Masw 39\_MASW.

L'indagine 38\_SR ha mostrato la presenza di tre sismostrati di cui il primo dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m con  $V_s$  comprese tra 294 e 328 m/s, un secondo dello spessore compreso tra 18,0 e 20,0 m con  $V_s$  comprese tra 438 e 520 m/s e un terzo ed ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1024 e 1869 m/s.

La prova Masw (39\_MASW) ha mostrato la presenza di cinque sismostrati di cui il primo dello spessore di 6,9 m con  $V_s = 305$  m/s, un secondo dello spessore di 5,5 m con  $V_s = 535$  m/s, un terzo dello spessore di 4,5 m con  $V_s = 500$  m/s, un quarto dello spessore di 6,0 m con  $V_s = 630$  m/s e un quinto e ultimo, investigato per 7,0 m con  $V_s = 12121$  m/s; da cui si ricava un valore di  $V_{s30} = 523$  m/s (categoria di sottosuolo B).

In prossimità dell'indagine 37\_HVSR è stata inoltre eseguita una prova sismica di tipo Masw (49\_MASW).

La prova Masw (49\_MASW) ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 3,3 m con  $V_s = 170$  m/s, un secondo sismostrato dello spessore di 2,7 m con  $V_s = 350$  m/s, un terzo sismostrato dello spessore di

5,2 m con  $V_s = 179$  m/s e un quarto sismostrato dello spessore investigato di 23,8 m e  $V_s = 1107$  m/s; da cui si ricava una categoria di sottosuolo E.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

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

- **zona 8:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato granulare cementato stratificato, fratturato/alterato (SFGRS) su un substrato granulare cementato stratificato (GRS), riconducibili alla presenza di litotipi attribuibili ai Conglomerati poligenici (MESb) di età messiniana;  $i < 15^\circ$  basso c.i..

Sulla scorta delle prove eseguite (31\_HVSR e 32\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in corrispondenza dei rilievi del settore settentrionale dell'area in esame tra l'area cimiteriale e Case Poggio Moretto.

- **zona 9:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato granulare cementato stratificato, fratturato/alterato (SFGRS) su un substrato granulare cementato stratificato (GRS), riconducibili alla presenza di litotipi attribuibili ai Conglomerati poligenici (MESb) di età messiniana; con  $i > 15^\circ$  e basso c.i..

Sulla scorta delle prove eseguite (31\_HVSR e 32\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata in un settore limitato a nord di Via di Montemassi.

- **zona 35:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi alluvionali pleistocenici (bn2\_sl) a prevalente composizione sabbioso limosa (SMes), dello spessore compreso tra 5,0 e 20,0 m, poggianti su un substrato granulare cementato stratificato, fratturato/alterato (SFGRS) a sua volta su un substrato granulare cementato stratificato (GRS), riconducibili alla presenza di litotipi attribuibili ai Conglomerati poligenici (MESb) di età messiniana; e basso c.i..

Sulla scorta delle prove eseguite (30\_HVSR, 33\_HVSR, 35\_HVSR e 37\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona interessa la maggior parte della pianura alluvionale su cui sorge l'abitato di Ribolla.

- **zona 36:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi alluvionali recenti (bn1\_la) a prevalente composizione sabbioso limosa (MLes), dello spessore compreso tra 5,0 e 20,0 m, poggianti su un substrato granulare cementato stratificato, fratturato/alterato (SFGRS) a sua volta su un substrato granulare cementato stratificato (GRS), riconducibili alla presenza di litotipi attribuibili ai Conglomerati poligenici (MESb) di età messiniana; basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona si riconosce in corrispondenza dei corsi fluviali che interessano la pianura alluvionale su cui sorge l'abitato di Ribolla.

- **zona 38:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi alluvionali recenti (b\_gs) a prevalente composizione ghiaioso sabbiosa (GWes), dello spessore compreso tra 5,0 e 20,0 m, poggianti su un substrato granulare cementato stratificato, fratturato/alterato (SFGRS) a sua volta su un substrato granulare cementato stratificato (GRS), riconducibili alla presenza di litotipi attribuibili ai Conglomerati poligenici (MESb) di età messiniana; basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona si riconosce in corrispondenza del laghetto presente nell'estremo settore sud-orientale dell'area indagata.

- **zona 51**: questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti terreni di riporto antropico (h2), dello spessore di 2,0 -10,0 m poggianti sui depositi alluvionali pleistocenici (bn2\_sl) a prevalente composizione sabbioso limosa (SMes), dello spessore compreso tra 5,0 e 10,0 m, poggianti su un substrato granulare cementato stratificato, fratturato/alterato (SFGRS) a sua volta su un substrato granulare cementato stratificato (GRS), riconducibile alla presenza di litotipi attribuibili ai Conglomerati poligenici (MESb) di età messiniana; basso c.i.. Sulla scorta delle prove eseguite (34\_HVSR e 36\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona interessa la maggior parte dei settori esterni all'abitato di Ribolla a sud dell'abitato stesso.

#### **Zone di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....n)** sono state discriminate considerando l'ordine di rappresentazione indicato al paragrafo 1.1.3-3 degli ICMS e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

Inoltre, come desumibile dalle verifiche, riportate nel seguente paragrafo 9.7, effettuate sulla scorta dei risultati di specifiche indagini geognostiche (prove penetrometriche Cpt) non si riconoscono zone con terreni liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

### **MADONNINO**

(Vedi tavv. G.08/3, G.09/3, G.10/3 e G.11/3)

#### ***Inquadramento morfologico, idrografico e geomorfologico***

L'area del Madonnino si colloca in un settore pianeggiante a quote altimetriche comprese tra 15,0 e 25,0 m s.l.m., che presenta pendenze pressoché nulle e comprese tra 0% e 5%, con settori a maggiore acclività (compresi tra il 5% e il 15%) in corrispondenza del rilevato stradale della Via Aurelia.

Riguardo all'aspetto idrografico dell'intera area, i corsi d'acqua principali sono il Fosso Frassinaia che taglia in due l'area d'indagine con andamento circa nord-est/sud-ovest, e il Fosso Sparapane che con andamento circa nord-sud e confluenndo con il Fosso Frassinaia genera il Fosso Beccarello. Infine il limite orientale dell'area, che definisce anche il limite del territorio comunale è definito dal corso denominato Il Fossone.

Da un punto di vista geomorfologico l'area, data la sua collocazione morfologica, non presenta fenomenologie geomorfologiche di rilievo.

#### ***Inquadramento geologico***

L'area del Madonnino è caratterizzata dalla presenza dei depositi alluvionali recenti, terrazzati o non terrazzati con prevalenti litologie limose e argillose (bn1\_la) e dai depositi alluvionali pleistocenici con prevalenti sabbie e limi (bn2\_sl).

#### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per il Capoluogo sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo con la relativa risultanza stratigrafica e talora analisi geotecniche di laboratorio;
- n. 1 stratigrafie derivante da terebrazione di pozzo per acqua;
- n. 15 prove penetrometriche di cui n. 14 prove penetrometriche statiche e n. 1 prove penetrometriche dinamiche;
- n. 3 indagine sismica con tecnica Masw.

In corrispondenza dell'area del Madonnino sono inoltre stata effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 3 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSR).

Inoltre sono state eseguite specificatamente n. 3 prove penetrometriche statiche, denominate 68\_CPT, 69\_CPT e 70\_CPT, finalizzate alla verifica alla liquefazione dei terreni presenti nell'area di interesse.

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato di gran parte dell'area del Madonnino investigata è caratterizzata dalla presenza dei depositi alluvionali recenti, terrazzati o non terrazzati con prevalenti litologie limose e argillose (bn1\_la), mentre a nord del corso del Fosso Sparapane il substrato è costituito dai depositi alluvionali pleistocenici con prevalenti sabbie e limi (bn2\_sl).

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura recenti sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica MLes (Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di ambiente fluvio-lacustre – argine/barre/canali), all'unità SMes (Sabbie limose e miscela di sabbia e limo di ambiente fluvio-lacustre – argine/barre/canali). Inoltre si ha l'unità geologico tecnica RI (Terreni contenenti resti di attività antropica) relativa ai depositi antropici di riporto presenti in corrispondenza dei rilevati stradali.

### ***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area in esame caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al dettaglio precedentemente e da n. 3 misure HVSR classificate in classe A1 si ricava una valutazione di qualità pari a 50,7 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'area del Madonnino sono state eseguite n. 3 misure di sismica passiva con metodo HVSR (42\_HVSR, 43\_HVSR e 44\_HVSR) nell'ambito dello studio in oggetto.

Le registrazioni eseguite in corrispondenza dei depositi alluvionali recenti, terrazzati o non terrazzati con prevalenti litologie limose e argillose (bn1\_la) hanno mostrato nel caso delle prove 42\_HVSR e 44\_HVSR bassi contrasti di impedenza (ampiezze rispettivamente di 2,80 e 2,88) con frequenze del picco principale di 1,94 Hz e 2,48 Hz, indicanti contrasti di impedenza rispettivamente a profondità di circa 100 m dal p.c. e comprese tra 30,0 e 50,0 m dal p.c.. La prova 43\_HVSR ha, invece, mostrato un alto contrasto di impedenza ( $A_0 = 3,22$ ) a profondità superficiali comprese tra 5,0 e 10,0 m dal p.c. ( $f_0 = 15,78$  Hz), da correlarsi a una probabile disomogeneità litologica locale e superficiale.



Nel settore interessato dai depositi alluvionali recenti, terrazzati o non terrazzati con prevalenti litologie limose e argillose (bn1\_la) sono state eseguite n.3 indagini sismiche di tipo Masw (67\_MASW, 68\_MASW e 69\_MASW).

La prova Masw (67\_MASW) ha mostrato la presenza di tre sismostrati di cui il primo dello spessore di 5,0 m con  $V_s = 250$  m/s, un secondo dello spessore di 13,0 m con  $V_s$  comprese tra 250 e 400 m/s e un terzo sismostrato, investigato per 12,0 m con  $V_s$  comprese tra 750 e 800 m/s.

La prova Masw (68\_MASW) eseguita in prossimità del tracciato della Via Aurelia ha mostrato la presenza di quattro sismostrati di cui il primo dello spessore di 3,0 - 4,0 m con  $V_s = 140$  m/s, un secondo dello spessore di 2,0 - 6,0 m con  $V_s = 190$  m/s, un terzo dello spessore di 3,0 - 8,0 m con  $V_s$  compreso tra 240 e 299 m/s, e un quarto e ultimo sismostrato con  $V_s = 340$  m/s.

La prova Masw (69\_MASW) ha mostrato la presenza di cinque sismostrati di cui il primo dello spessore di 5,0 m con  $V_s = 200$  m/s, un secondo dello spessore di 4,0 m con  $V_s = 350$  m/s, un terzo dello spessore di 10,0 m con  $V_s = 450$  m/s, un quarto dello spessore di 8,0 m con  $V_s = 650$  m/s e un quinto con  $V_s = 1300$  m/s; da cui si ricava un valore di  $V_{s30} = 362$  m/s.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

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

- **zona 17:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi alluvionali pleistocenici (bn2\_sl) a prevalente composizione sabbioso limosa (SMes), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona interessa il settore nord-occidentale dell'area investigata a nord del corso del Fosso Sparapane e in un limitato settore in corrispondenza dello svincolo della Via Aurelia.

- **zona 37:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi alluvionali recenti (bn1\_la) a prevalente composizione sabbioso limosa (MLes);  $i < 15^\circ$  e basso c.i..

Sulla scorta delle prove eseguite (42\_HVSR, 43\_HVSR e 44\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona costituisce la maggior parte dei terreni dell'area di interesse.

- **zona 52:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti terreni di riporto antropico (h2), dello spessore di 2,0 -10,0 m poggianti sui depositi alluvionali pleistocenici (bn2\_sl) a prevalente composizione sabbioso limosa (SMes);  $i < 15^\circ$  e basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona interessa i rilevati stradali in corrispondenza del tracciato della Via Aurelia.

- **zona 53:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti terreni di riporto antropico (h2), dello spessore di 2,0 -10,0 m poggianti sui depositi alluvionali recenti (bn1\_la) a prevalente composizione sabbioso limosa (MLes);  $i < 15^\circ$  e basso c.i..

Sulla scorta delle prove eseguite (42\_HVSR, 43\_HVSR e 44\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona interessa i rilevati stradali in corrispondenza del tracciato della Via Aurelia.

#### **Zone di attenzione per instabilità**

Come desumibile dalle verifiche, riportate nel seguente paragrafo 9.7, effettuate sulla scorta dei risultati di specifiche indagini geognostiche (prove penetrometriche Cpt) non si riconoscono zone con terreni liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

## STICCIANO e STICCIANO SCALO

(Vedi tavv. G.08/4, G.09/4, G.10/4 e G.11/4)

### ***Inquadramento morfologico, idrografico e geomorfologico***

L'abitato di Sticciano si colloca all'apice di un rilievo che raggiunge i circa 320,0 m s.l.m., con pendenze pressoché sempre superiori al 15%, ma che generalmente superano il 25%.

Da un punto di vista geomorfologico l'area, tuttavia, non presenta fenomenologie geomorfologiche di rilievo, ad eccezione di un settore interessato da fenomenologia franosa quiescente lungo il versante occidentale del rilievo medesimo.

L'area di Sticciano Scalo si colloca in un settore pressoché pianeggiante a quote altimetriche comprese tra 40,0 e 65,0 m s.l.m., con pendenze pressoché nulle e comprese tra 0% e 5%, con settori a maggiore acclività (compresi tra il 5% e il 15%) in corrispondenza della viabilità che conduce a Sticciano e a sud degli impianti sportivi in direzione del Poggio Val di Serra.

Da un punto di vista geomorfologico l'area, data la sua collocazione morfologica, non presenta fenomenologie geomorfologiche di rilievo, se non la presenza di un frana stabilizzata in corrispondenza del versante settentrionale del poggio Val di Serra.

### ***Inquadramento geologico***

L'area di Sticciano è caratterizzata dalla presenza dei terreni riferibili alle Unità Toscane Metamorfiche del Dominio Toscano, in particolare delle Quarziti di Monte Serra (QMS) e della Formazione della Verruca nella facies filladica quarzitico muscovitica con intercalazioni di metaconglomerati (VEU).

I litotipi appartenenti alla Formazione della Verruca si rinvennero anche nei rilievi che costituiscono i territori tra Sticciano e Sticciano Scalo, dove, più propriamente i rilievi collinari sono costituiti dai termini del Dominio Toscano riferibili alla formazione del Calcere Cavernoso (CCA), che costituisce il substrato litoide su cui sorge l'abitato di Sticciano Scalo. Su questi vi è la presenza di spessori metrici di depositi alluvionali pleistocenici (bn2\_gsl), depositi alluvionali recenti, terrazzati o non terrazzati (bn1\_gs) e alluvionali attuali (b\_gs).

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per l'area di Sticciano e di Sticciano Scalo sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 2 stratigrafie derivante da terebrazione di pozzo per acqua;
- n. 1 prova penetrometrica dinamica;
- n. 1 indagine sismica con tecnica Masw.

In corrispondenza dell'area di Sticciano e di Sticciano Scalo sono inoltre state effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare nell'area di Sticciano Scalo è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 6 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni

ambientali (HVSr), n. 2 indagini di sismica a rifrazione in onde P e Sh e n. 2 indagine sismica con tecnica Masw.

Nell'area di Sticciano sono, invece, state svolte n. 2 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato di gran parte dell'area di Sticciano investigata è caratterizzata dalla presenza dei depositi riferibili alle Unità Toscane Metamorfiche e, in particolare, delle Quarziti di Monte Serra (QMS) e della Formazione della Verruca nella facies filladica quarzitico muscovitica con intercalazioni di metaconglomerati (VEU). Queste ultime costituiscono il substrato della maggior parte dell'abitato di Sticciano e la totalità dei settori collinari ad oriente dell'abitato, nonché la quasi totalità di quelli a nord e a sud dell'abitato storico stesso. I termini riferibili alle Quarziti di Monte Serra (QMS) rappresentano i litotipi presenti in corrispondenza della porzione occidentale dell'abitato di Sticciano e dei relativi versanti occidentali.

L'abitato di Sticciano si colloca sui depositi alluvionali pleistocenici a prevalente granulometria ghiaioso sabbioso limosa (bn2\_gsl) con subordinati settori interessati dalla presenza di depositi alluvionali attuali a prevalente granulometria ghiaioso sabbioso (b\_gs). Questi poggiano sui termini del Dominio Toscano riferibili alla formazione del Calcare Cavernoso (CCA), che costituiscono i primi rilievi collinari a est dell'abitato. Spostandosi verso est i termini del Calcare Cavernoso (CCA) vengono sostituiti dalle filladi quarzitico muscovitiche con intercalazioni di metaconglomerati della Formazione della Verruca (VEU), con cui sono in contatto mediante sovrapposizione tettonica sottrattiva a basso angolo.

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura recenti sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GWes (Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre – argine/barre/canali) i depositi alluvionali attuali con prevalenti ghiaie e sabbie (b\_gs) e all'unità geologico-tecnica GMes (Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre – argine/barre/canali) i depositi alluvionali di età pleistocenica con prevalenti ghiaie, sabbie e limi (bn2\_gsl).

Per quanto riguarda i terreni riferibili al substrato geologico sono attribuiti all'unità geologico-tecnica LPS (substrato lapideo stratificato) i litotipi riferibili alle Quarziti di Monte Serra (QMS) e alle filladi della Formazione della Verruca (VEU).

Inoltre si ha l'unità geologico tecnica RI (Terreni contenenti resti di attività antropica) relativa ai depositi antropici di riporto presenti in corrispondenza dei rilevati stradali e/o arginali.

### ***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area di Sticciano e Sticciano Scalo caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al dettaglio precedentemente e da n. 8 misure HVSr di cui n. 2 classificate in classe A1 e n. 6 classificate in classe A2 classificate in classe A2 si ricava una valutazione di qualità pari a 54,1 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'area di Sticciano sono state eseguite n. 2 misure di sismica passiva con metodo HVSR (87\_HVSR e 88\_HVSR) nell'ambito dello studio in oggetto.

Entrambe le registrazioni eseguite in corrispondenza dei termini litoidi appartenenti sia alla Formazione della Verruca che alle Quarziti di Monte Serra non hanno mostrato la presenza di picchi significativi.

Nel settore di Sticciano Scalo sono state eseguite n. 6 misure di sismica passiva con metodo HVSR (77\_HVSR, 78\_HVSR, 79\_HVSR, 80\_HVSR, 81\_HVSR e 82\_HVSR) nell'ambito dello studio in oggetto.

Le indagini 80\_HVSR e 81\_HVSR, eseguite nei settori collinari, non hanno presentato picchi significativi, mentre le altre prove, eseguite nelle aree pianeggianti, hanno mostrato, ad eccezione della prova 78\_HVSR ( $A_0 = 3,35$  con  $f_0 = 3,34$  Hz) bassi contrasti di impedenza a profondità comprese tra 30,0 e 40,0 m dal p.c. ( $f_0$  compresi tra 2,34 e 2,89 Hz).

In corrispondenza della prova 77\_HVSR è stata eseguita anche una indagine di sismica a rifrazione (83\_SR) e una indagine Masw (84\_MASW).

L'indagine 83\_SR ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di ca. 3,0 m con Vs comprese tra 473 e 478 m/s, un secondo dello spessore variabile tra 8,0 e 20,0 m con Vs comprese tra 688 e 741 m/s e un terzo e ultimo sismostrato con Vs comprese tra 766 e 1471 m/s.

La prova Masw (84\_MASW) ha mostrato la presenza di cinque sismostrati di cui il primo dello spessore di 1,64 m con Vs = 316 m/s, un secondo dello spessore di 9,49 m con Vs = 611 m/s, un terzo dello spessore di 10,09 m con Vs = 497 m/s, un quarto dello spessore di 13,09 m con Vs = 542 m/s, e un quinto sismostrato, investigato per circa 6,0 m, con Vs = 1372 m/s.

In corrispondenza dell'area cimiteriale sono state, inoltre, eseguite una indagine di sismica a rifrazione (85\_SR) e una indagine Masw (86\_MASW).

L'indagine 85\_SR ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore compreso tra 1,0 e 5,0 m con Vs comprese tra 137 e 152 m/s, un secondo dello spessore variabile tra 10,0 e 15,0 m con Vs comprese tra 471 e 533 m/s e un terzo e ultimo sismostrato con Vs comprese tra 565 e 1064 m/s.

La prova Masw (86\_MASW) ha mostrato la presenza di cinque sismostrati di cui il primo dello spessore di 4,84 m con Vs = 189 m/s, un secondo dello spessore di 5,05 m con Vs = 297 m/s, un terzo dello spessore di 6,0 m con Vs = 445 m/s, un quarto dello spessore di 3,28 m con Vs = 828 m/s, e un quinto sismostrato, investigato per circa 17,0 m, con Vs = 1091 m/s.

Presso la prova 80\_HVSR è stata eseguita l'indagine 95\_MASW, che ha mostrato una Vs30 = 396 m/s.

Infine, presso l'abitato di Sticciano è stata eseguita l'indagine 96\_MASW che ha mostrato la presenza di tre sismostrati di cui il primo dello spessore di 8,9 m con Vs = 673 m/s, un secondo dello spessore di 5,3 m con Vs = 1017 m/s e un terzo sismostrato, investigato per circa 16,0 m, con Vs = 1103 m/s, da cui si ricava un Vs30 = 916 m/s.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili**

- aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della Formazione della Verruca in facies filladica (VEU).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in una porzione isolata nell'estremo settore sud-orientale dell'area di indagine.

- aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LP), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della formazione del Calcare Cavernoso (CCA).

Sulla scorta delle prove eseguite (81\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata nei rilievi collinari ad est dell'abitato di Sticciano Scalo.

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

- **zona 2:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza Formazione della Verruca in facies filladica (VEU) e delle Quarziti di Monte Serra (QMS).

Sulla scorta delle prove eseguite (87\_HVSR e 88\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona interessa l'interezza del rilievo su cui sorge l'abitato di Sticciano e un limitato settore presso la porzione sud-orientale dell'area di studio di Sticciano Scalo.

- **zona 3:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo (LP), rappresentato dalla formazione del Calcare Cavernoso (CCA), poggiante su un substrato lapideo stratificato (LPS), rappresentato dalla Formazione della Verruca in facies filladica (VEU);  $i > 15^\circ$  e basso c.i..

Sulla scorta della successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona si riconosce in un settore presso la porzione sud-orientale dell'area di studio di Sticciano Scalo.

- **zona 39:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi alluvionali attuali (b\_gs) a prevalente composizione ghiaioso sabbiosa (GWes), dello spessore di 5,0 – 20,0 m, poggianti su un substrato lapideo (LP) contraddistinto dalla formazione del Calcare Cavernoso (CCA);  $i < 15^\circ$  e basso c.i..

Sulla scorta della successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Si riconosce in corrispondenza dei corsi d'acqua presenti nell'area di indagine.

- **zona 51:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti depositi alluvionali pleistocenici (bn2\_gsl) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMes), dello spessore di 3,0 – 25,0 m, poggianti su un substrato lapideo (LP) contraddistinto dalla formazione del Calcare Cavernoso (CCA);  $i < 15^\circ$  e basso c.i..

Sulla scorta delle prove eseguite (77\_HVSR, 79\_HVSR, e 82\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Si riconosce in corrispondenza della maggior parte dei settori pianeggianti su cui sorge l'abitato di Sticciano.

- **zona 55:** questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti terreni di riporto antropico (RI), spessore 1,0 - 5,0 m, su depositi alluvionali attuali (b\_gs) a prevalente composizione ghiaioso sabbiosa (GWes), dello spessore di 5,0 – 20,0 m, poggianti su un substrato lapideo (LP) contraddistinto dalla formazione del Calcare Cavernoso (CCA);  $i < 15^\circ$  e basso c.i..

Sulla scorta della successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Si riconosce in corrispondenza dei rilevati arginali dei corsi d'acqua presenti nell'area di indagine.

- **zona 56**: questa zona comprende le aree nelle quali sono presenti terreni di riporto antropico (RI), spessore 1,0 - 5,0 m, su depositi alluvionali pleistocenici (bn2\_gsl) a prevalente composizione ghiaioso limosa (GMes), dello spessore di 3,0 – 25,0 m, poggianti su un substrato lapideo (LP) contraddistinto dalla formazione del Calcare Cavernoso (CCA);  $i < 15^\circ$  e basso c.i..

Sulla scorta della successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Si riconosce in corrispondenza del rilevato ferroviario della Ferrovia Grosseto-Roma che corre con andamento circa nord-sud nella porzione occidentale dell'area di indagine.

#### **Zone di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....n)** sono state discriminate considerando l'ordine di rappresentazione indicato al paragrafo 1.1.3-3 degli ICMS e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura (coperture alluvionali, coperture eluvio-colluviali, coperture detritiche e coltri di frana) e il substrato lapideo stratificato e non (Formazione della Verruca – VEU, Calcare Cavernoso – CCA) sono delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Le zone sono state individuate tracciando un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta in questo caso, pertanto, una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso, in accordo con gli indirizzi e criteri, non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Infine sono state evidenziate le aree dove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

#### **TORNIELLA e PILONI**

(Vedi tavv. G.08/4, G.09/4, G.10/4 e G.11/4)

#### ***Inquadramento morfologico, idrografico e geomorfologico***

I nuclei storici degli abitati di Torniella e Piloni si collocano in corrispondenza di aree altimetricamente elevate in corrispondenza dell'affioramento di rocce di natura riolitica. In particolare l'abitato di Piloni raggiunge i 440,0 m s.l.m., mentre quello di Torniella i circa 475,0 m s.l.m.. Le aree di nuova edificazione si collocano in settori a quote minori, laddove le pendenze sono più dolci e in corrispondenza dei depositi terrigeni pliocenici.

Pertanto, il settore su cui sorge il nucleo storico dell'abitato di Torniella presenta una acclività medio-alta dei versanti (pendenze generalmente comprese tra 25% e 45%), mentre le pendenze diminuiscono (pendenze comprese generalmente tra 10% e 25%) nei settori collinari attorno alla rupe riolitica, caratterizzati da morfologie più dolci in concomitanza con la presenza di depositi argilloso-sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi. Il settore di Piloni presenta generalmente pendenze lievemente più dolci, comprese tra 5% e 25%, ma con settori a maggior acclività, in particolare subito ad est dell'abitato stesso, con pendenze che possono raggiungere il 45%.

Riguardo all'aspetto idrografico dell'intera area, il corso d'acqua principale è rappresentato dal Fosso Rigualdo che scorre ad est dei settori di interesse e in cui convogliano i fossi minori provenienti dal settore orientale dell'area in esame. Ad ovest della stessa l'impluvio principale è rappresentato dal Fosso delle Capanne.

Da un punto di vista geomorfologico l'elemento di maggiore rilevanza che interessa l'area in questione è il distretto franoso, con stato di attività quiescente, che interessa la porzione centrale dell'area in esame e il settore dell'area cimiteriale, in particolare.

### ***Inquadramento geologico***

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili ad una serie stratigrafica dove si distinguono chiaramente tre complessi.

In basso si rinviene il substrato triassico su cui poggiano il complesso dei messiniani e quello dei depositi pliocenici marini. Infine, si rinviene la copertura vulcanica molto frazionata in numerosi lembi.

Il substrato triassico è costituito dalla Formazione della Verruca (VEUa), e della Formazione di Vinca in facies dolomiti (VINb).

I depositi messiniani sono costituiti da depositi di Breccie e Conglomerati (MESa); mentre il Complesso dei terreni marini del Pliocene medio, trasgressivi sul substrato, è rappresentato dalle Argille e argille siltose (FAA)

Il Complesso delle rocce ignee è rappresentato da vulcaniti riolitiche (RIO) che, con affioramenti discontinui e di estensione variabile, occupano la zona compresa fra Roccastrada e Torniella. Le vulcaniti riolitiche sono presenti in placche prismatiche fortemente fessurate. Sulla base della definizione dell'età assoluta le vulcaniti di Roccastrada sono riferibili a 2.3 MA, ossia di poco precedenti al limite tra Pliocene medio/Pliocene superiore.

Stratigraficamente questo complesso è posto al di sopra del Complesso dei terreni marini e lacustri.

Al di sopra dei suddetti complessi nei settori collinari si collocano i depositi di copertura recente riconducibili ai corpi di frana (a1) e ai depositi di versante (aa).

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per l'area di Torniella e Piloni sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 7 prove penetrometriche di cui n. 2 prove penetrometriche statiche e n. 5 prove penetrometriche dinamiche;
- n. 3 indagini di sismica a rifrazione con onde P e Sh;
- n. 5 indagine sismica con tecnica Masw.

In corrispondenza degli abitati di Piloni e Torniella sono inoltre state effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 1 prova sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh, n. 1 prospezione di sismica con tecnica MASW e in n. 4 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico pre-miocenico presente in un ampio intorno dell'abitato di Roccastrada risulta costituito dalle formazioni appartenenti al Dominio Toscano e in particolare alle Unità Metamorfiche Toscane rappresentate dalla Formazione della Verruca (VEUa) e della Formazione di Vinca in facies dolomitica (VINb). In particolare le prime affiorano ampiamente nel settore a est dell'area cimiteriale, dove in un limitato settore affiorano anche i litotipi dolomitici.

I depositi messiniani, rappresentati da Breccie e Conglomerati (MESa) affiorano in una fascia ad andamento circa nord-est/sud-ovest a nord-est dell'abitato di Piloni.

I restanti settori dei rilievi collinari presenti nell'area in esame sono contraddistinti principalmente dai depositi di origine marini di età pliocenica. In particolare i depositi pliocenici marini sono rappresentati dalla formazione delle Argille e argille siltose grigio azzurre (FAA), che rappresentano, ad esempio il substrato dei settori tra le

località Fontana e La Casetta, poco a nord di Piloni, e la porzione meridionale dell'abitato di Torniella, e dei settori dove presente l'area cimiteriale e il campo sportivo.

Gli alti morfologici su cui si colloca tra gli altri, il nucleo abitativo storico di Torniella sono, invece, geologicamente costituiti dalle rocce ignee rappresentate dalle vulcaniti riolitiche (RIO).

Nei settori collinari i suddetti litotipi sono sormontati da spessori di depositi detritici di versante (aa). Inoltre nelle fasce collinari si ha la presenza di areali interessati da spessori di depositi riferibili a coltri di frana (a1).

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura recenti sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GMfd (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente genetico di versante – falda detritica) i terreni riferibili ai depositi di versante (aa).

Per quanto riguarda i terreni di copertura di età pliocenica sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica CLsp-tm (argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di ambiente genetico costiero – spiaggia e terrazzo marino) i terreni riferibili alle Argille e argille siltose dei depositi marini pliocenici (FAA).

Per quanto riguarda i terreni del substrato geologico sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica LPS (substrato lapideo stratificato) i litotipi riconducibili alla Formazione di Vinca in facies dolomitica (VINb), all'unità geologico-tecnica LP (substrato lapideo) i litotipi riconducibili ai metaconglomerati della Formazione della Verruca (VEUa) e all'unità geologico-tecnica SFGRS (substrato granulare stratificato fratturato/alterato) i litotipi riconducibili alle Breccie e Conglomerati (MESa) di età miocenica.

### ***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area in esame caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al dettaglio precedentemente illustrato e da n. 4 misure HVSR, di cui n. 1 classificata in classe A1 e n. 3 classificata in A2, si ricava una valutazione di qualità pari a 53,4 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato di Piloni è stata eseguita n. 1 misura di sismica passiva con metodo HVSR (89\_HVSR) nell'ambito dello studio in oggetto. La registrazione, eseguita in corrispondenza dei depositi riolitici ha presentato un'ampiezza di 2,23 con  $f_0 = 2,94$  Hz.

A est della località La Casetta, in corrispondenza dei depositi della Formazione del Verrucano (VEUa) è stata eseguita la prova 90\_HVSR che non ha mostrato picchi significativi.

In corrispondenza del centro storico di Torniella è stata eseguita n. 1 misura di sismica passiva con metodo HVSR (91\_HVSR) nell'ambito dello studio in oggetto. La registrazione, eseguita in corrispondenza dei depositi riolitici ha presentato un'ampiezza di 2,31 con  $f_0 = 2,54$  Hz.

Infine nel settore di nuova urbanizzazione a sud del nucleo storico di Piloni, è stata eseguita n. 1 misura di sismica passiva con metodo HVSR (92\_HVSR) nell'ambito dello studio in oggetto. La registrazione, eseguita in corrispondenza dei terreni riferibili alle Argille e argille siltose dei depositi marini pliocenici (FAA) ha presentato alti contrasti ( $A_0 = 4,68$ ) a frequenze di picco di 3,52 Hz, presumibilmente al passaggio tra i depositi pliocenici e il sottostante substrato appartenente alla Formazione della Verruca (VEUa).



In corrispondenza della località La Fornace sono state eseguite l'indagine di sismica a rifrazione 93\_SR con associata la prova Masw (94\_MASW).

La prima ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 2,0-5,0 m avente  $V_s$  compresa tra 172 e 180 m/s, un secondo dello spessore di 10,0-20,0 m con  $V_s$  compresa tra 304 e 355 m/s, e un terzo e ultimo sismostrato avente  $V_s$  compresa tra 684 e 1036 m/s.

L'indagine 94\_MASW ha, invece, mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 3,76 m con  $V_s = 206$  m/s, un secondo dello spessore di 9,1 m con  $V_s = 374$  m/s, un terzo dello spessore di 6,49 m con  $V_s = 503$  m/s, un quarto sismostrato dello spessore di 10,1 m con  $V_s = 752$  m/s e un quinto ed ultimo sismostrato, investigato per circa 6,0 m con  $V_s = 1254$  m/s.

In corrispondenza della porzione occidentale dell'abitato di Piloni è stata eseguita l'indagine sismica 96\_SR, che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 1,0 m con  $V_s$  comprese tra 83 e 89 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 1,0-2,0 m con  $V_s$  comprese tra 144 e 211 m/s, e un terzo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 917 e 1717 m/s.

Presso la località Fontana sono state eseguite n. 2 indagini di sismica a rifrazione (97\_SR e 98\_SR) e n. 2 indagini sismiche di tipo Masw (99\_MASW e 101\_MASW).

Le indagini 97\_SR e 98\_SR hanno mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 1,0-2,5 m con  $V_s$  comprese tra 200 e 250 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 1,0-3,0 m con  $V_s$  comprese tra 450 e 500 m/s, e un terzo sismostrato con  $V_s$  maggiori di 800 m/s.

Associata a queste è stata eseguita l'indagine 99\_MASW che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore compreso tra 3,9 e 7,8 m con  $V_s$  comprese tra 391 e 436 m/s, di un secondo sismostrato dello spessore compreso tra 4,4 e 13,0 m con  $V_s$  comprese tra 479 e 611 m/s e di un terzo sismostrato dello spessore investigato compreso tra 9,5 e 18,0 m con  $V_s$  comprese tra 655 e 870 m/s; da cui si ricava una  $V_{s30} = 577,5$  m/s.

L'indagine 101\_MASW che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore compreso tra 2,0 e 4,7 m con  $V_s$  comprese tra 232 e 392 m/s, di un secondo sismostrato dello spessore compreso tra 4,1 e 5,0 m con  $V_s$  comprese tra 320 e 512 m/s e di un terzo sismostrato dello spessore investigato compreso tra 16,0 e 23,0 m con  $V_s$  comprese tra 838 e 1280 m/s.

Poco a nord dell'area cimiteriale è stata eseguita l'indagine 100\_MASW che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore compreso tra 1,1 e 2,8 m con  $V_s$  comprese tra 160 e 199 m/s, di un secondo sismostrato dello spessore compreso tra 2,2 e 4,6 m con  $V_s$  comprese tra 187 e 254 m/s, di un terzo sismostrato dello spessore compreso tra 3,2 e 6,0 m con  $V_s$  comprese tra 262 e 315 m/s, e di un quarto sismostrato dello spessore investigato compreso tra 20,0 e 21,0 m con  $V_s$  comprese tra 403 e 448 m/s; da cui si ricava una  $V_{s30} = 339,25$  m/s.

Presso il campo sportivo di Torniella è stata eseguita l'indagine 102\_MASW che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore compreso tra 1,2 e 3,1 m con  $V_s$  comprese tra 129 e 161 m/s, di un secondo sismostrato dello spessore compreso tra 1,7 e 5,1 m con  $V_s$  comprese tra 183 e 260 m/s, di un terzo sismostrato dello spessore compreso tra 4,2 e 5,9 m con  $V_s$  comprese tra 275 e 336 m/s, e di un quarto sismostrato dello spessore investigato compreso tra 18,0 e 20,0 m con  $V_s$  comprese tra 514 e 654 m/s; da cui si ricava una  $V_{s30} = 375,75$  m/s.

Infine a nord del nucleo storico di Torniella è stata eseguita l'indagine 103\_MASW che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore compreso tra 2,8 e 5,4 m con  $V_s$  comprese tra 152 e 247 m/s, di un

secondo sismostrato dello spessore compreso tra 5,0 e 12,4 m con Vs comprese tra 259 e 390 m/s, e di un terzo sismostrato dello spessore investigato compreso tra 12,0 e 21,0 m con Vs comprese tra 501 e 652 m/s.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili**

- aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo (LP), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della facies metaconglomeratica della Formazione della Verruca (VEUa).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in un limitato settore dell'estrema porzione nord-occidentale dell'area di indagine.

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

- **zona 1:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo (LP), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della facies metaconglomeratica della Formazione della Verruca (VEUa).

Sulla scorta delle indagini di sismica passiva in possesso (90\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata in un ampio settore ad est dell'area cimiteriale e delle località La Casetta e Fontana.

- **zona 2:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della Formazione di Vinca in facies dolomitica (VINb).

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo. Data l'inclinazione dei versanti si possono manifestare fenomeni di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

La zona viene individuata in un limitato settore ad est dell'area cimiteriale.

- **zona 9:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), dello spessore 3,0 - 5,0 m, su substrato granulare cementato stratificato (GRS), appartenenti alle Breccie e conglomerati di età miocenica (MESa);  $i > 15^\circ$ , c.i. basso.

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in corrispondenza di una fascia ad andamento circa nord-est/sud-ovest a nord-est dell'abitato di Piloni.

- **zona 40:** questa zona comprende le aree nelle quali affiorano o sono sub-affioranti i depositi di copertura di età pliocenica (FAA) a litologia prevalentemente argilloso limosa (CLtf e Clsp/tm), dello spessore di 5,0 - 30,0 m, su substrato lapideo (LP); c.i. alto.

Sulla scorta delle indagini di sismica passiva in possesso (92\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona rappresenta la maggior parte della porzione centrale dell'area in esame tra le località di Piloni e Torniella. Inoltre si riconosce in un settore a est dell'abitato di Piloni.

- **zona 41:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), appartenente al complesso riolitico (RIO), dello spessore compreso tra 3,0 e 40,0 m, poggianti sui depositi di copertura di età pliocenica (FAA) a litologia prevalentemente argilloso limosa (CLsp/tm), dello spessore di 10,0 – 20,0 m, su substrato lapideo (LP), appartenente alla presenza della facies metaconglomeratica della Formazione della Verruca (VEUa); c.i. basso.

Sulla scorta delle indagini di sismica passiva in possesso (89\_HVSR e 91\_HVSR) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in corrispondenza del nucleo storico di Torniella, dell'abitato di Piloni e delle colline circostanti e di un ampio settore a sud-ovest dell'area del campo sportivo.

- **zona 42:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha una copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd), spessore 3,0 – 15,0 m, poggianti sui depositi di copertura di età pliocenica (FAA) a litologia prevalentemente argilloso limosa (CLsp/tm), dello spessore di 10,0 – 20,0 m, su substrato lapideo (LP), appartenente alla presenza della facies metaconglomeratica della Formazione della Verruca (VEUa); c.i. basso.

Data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in un ampio settore a nord dell'abitato di Torniella e in alcuni limitati settori a ovest della località Fontana e dell'area cimiteriale.

- **zona 43:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha una copertura costituita da litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd), spessore 3,0 – 15,0 m, poggianti su un substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), appartenente al complesso riolitico (RIO), dello spessore compreso tra 3,0 e 40,0 m, poggianti sui depositi di copertura di età pliocenica (FAA) a litologia prevalentemente argilloso limosa (CLsp/tm), dello spessore di 5,0 – 30,0 m, su substrato lapideo (LP), appartenente alla presenza della facies metaconglomeratica della Formazione della Verruca (VEUa); c.i. basso.

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in un isolato settore a est dell'abitato di Piloni.

- **zona 44:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), appartenente al complesso riolitico (RIO), dello spessore compreso tra 3,0 e 40,0 m, poggianti su substrato lapideo (LP), appartenente alla presenza della facies metaconglomeratica della Formazione della Verruca (VEUa); c.i. basso.

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in un isolato settore a nord dell'abitato di Piloni.

- **zona 45:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo fratturato/alterato (SFLP), appartenente al complesso riolitico (RIO), dello spessore compreso tra 3,0 e 40,0 m, poggianti su un substrato granulare cementato, stratificato fratturato/alterato (SFGRS), dello spessore 3,0 - 5,0 m, su substrato granulare cementato stratificato (GRS), appartenenti alle Brecce e conglomerati di età miocenica (MESa); c.i. basso.

Data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

La zona viene individuata in un isolato settore a nord-est dell'abitato di Piloni.

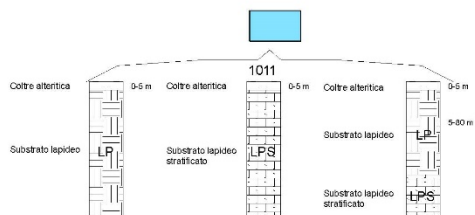
#### **Zone di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....n)** sono state discriminate considerando l'ordine di rappresentazione indicato al paragrafo 1.1.3-3 degli ICMS e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

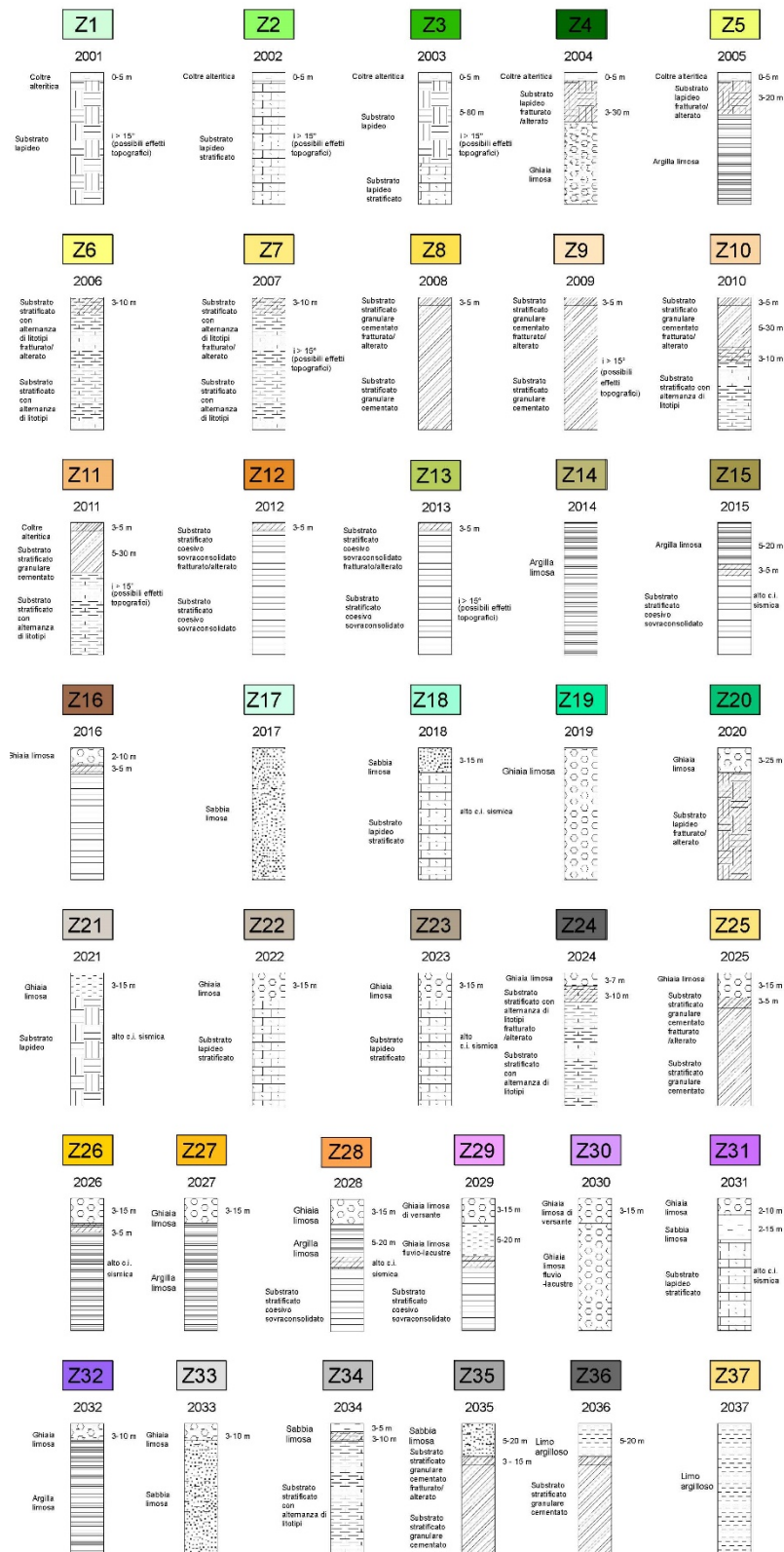
In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura (coperture eluvio-colluviali, coperture detritiche, coltri di frana, e coperture di età pliocenica) e il substrato lapideo stratificato e non (Rioliti – RIO, Formazione di Vinca - VINb e Formazione della Verruca – VEUa) sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Le zone sono state individuate tracciando un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta in questo caso, pertanto, una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso, in accordo con gli indirizzi e criteri, non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

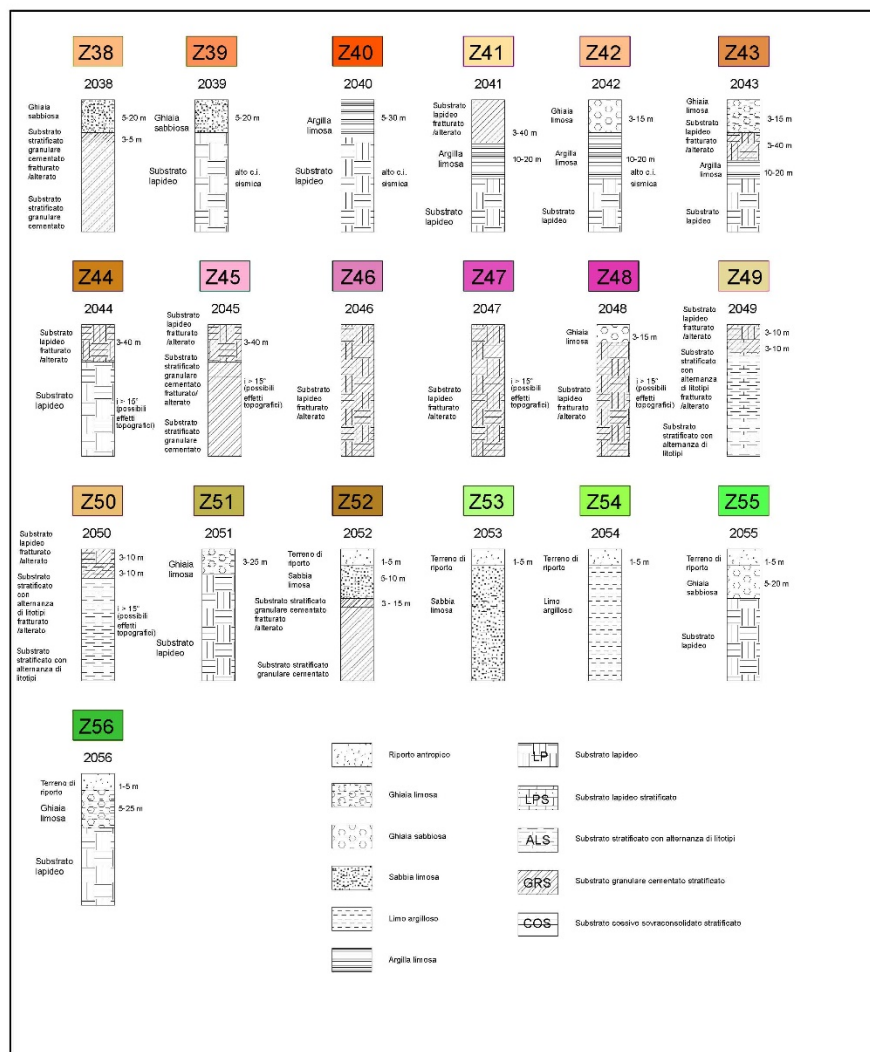
Infine sono state evidenziate le aree dove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

## Zone stabili



## Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali





ZONE DI INSTABILITA'	
Zone di instabilità di versante	
Zona di attenzione per Faglie Attive e Capaci	
Zona di attenzione per sovrapposizione di Instabilità Differenti	
Zona di attenzione per Cedimenti Differenziali	
Zona di attenzione per Liquefazione	

## **9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI**

Come già ampiamente trattato nel precedente capitolo 2, relativo agli eventi sismici di riferimento, il territorio comunale di Roccastrada ha registrato nel passato episodi sismici anche di importante intensità; tuttavia non sono stati storicamente registrati particolari danni a opere civili e/o infrastrutture.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- Albarello D. (2013) - I dati di rumore ambientale per la MS di Livello I - Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, 22-23 maggio 2013.
- Albarello D. (2013) - La risposta sismica locale. Seminario ODG – Fermo, 11 Ottobre 2013.
- Albarello D. (2013) - Sismica passiva con tecniche a stazione singola e antenna. Seminario ODG – Fermo, 11 Ottobre 2013.
- Albarello D. (2013) - Misure di rumore ambientale. Corso di microzonazione sismica e valutazione della risposta sismica locale per la ricostruzione post-terremoto.
- Albarello D. & Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola – Supplemento alla rivista trimestrale *Ingegneria Sismica* – Anno XXVIII, n. 2.
- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M. M. & Boschi E. (2008) - DISS - Database of Individual Seismogenic Sources.
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell’OPCM 13 novembre 2010, n. 3907) (2017) - Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.0 - Roma, ottobre 2015.
- Gruppo di Lavoro MS (2008) - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd.
- Gruppo di Lavoro MS–AQ (2010) - Microzonazione sismica per la ricostruzione dell’area aquilana. Regione Abruzzo – Dipartimento della Protezione Civile, L’Aquila, 3 vol. e Cd-rom.
- Meletti C., Valensise G. (2004) - Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo - Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Pacitti P. (2018) - Atti del Corso di formazione con partecipazione obbligatoria sulle specifiche tecniche di MS per i professionisti incaricati e loro collaboratori. OCDPC 344/2016 – DDPS 20/2018 – Banca Dati e Carte di Microzonazione Sismica: Standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Ancona, 05 Giugno 2018.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della protezione civile, Ufficio rischio sismico e vulcanico (2012) - Classificazione sismica al 2012 Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell’Ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3274.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B. & Gasperini P. (2016) - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 Release v1.5 2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12 - Guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique oh ambient vibrations measurements, processing and interpretation.



## 11. ALLEGATI

- Tav. G.08/1 Carta delle indagini – Ribolla (scala 1:5.000)
- Tav. G.08/2 Carta delle indagini – Roccatederighi e Sassofortino (scala 1:5.000)
- Tav. G.08/3 Carta delle indagini – Roccastrada, Montemassi e Madonnino (scala 1:5.000)
- Tav. G.08/4 Carta delle indagini – Sticciano, Sticciano Scalo, Torniella e Piloni (scala 1:5.000)
- Tav. G.09/1 Carta delle frequenze – Ribolla (scala 1:5.000)
- Tav. G.09/2 Carta delle frequenze – Roccatederighi e Sassofortino (scala 1:5.000)
- Tav. G.09/3 Carta delle frequenze – Roccastrada, Montemassi e Madonnino (scala 1:5.000)
- Tav. G.09/4 Carta delle frequenze – Sticciano, Sticciano Scalo, Torniella e Piloni (scala 1:5.000)
- Tav. G.10/1 Carta geologico tecnica per la M.S. – Ribolla (scala 1:5.000)
- Tav. G.10/2 Carta geologico tecnica per la M.S. – Roccatederighi e Sassofortino (scala 1:5.000)
- Tav. G.10/3 Carta geologico tecnica per la M.S. – Roccastrada, Montemassi e Madonnino (scala 1:5.000)
- Tav. G.10/4 Carta geologico tecnica per la M.S. – Sticciano, Sticciano Scalo, Torniella e Piloni (scala 1:5.000)
- Tav. G.11/1 Carta delle MOPS – Ribolla (scala 1:5.000)
- Tav. G.11/2 Carta delle MOPS – Roccatederighi e Sassofortino (scala 1:5.000)
- Tav. G.11/3 Carta delle MOPS – Roccastrada, Montemassi e Madonnino (scala 1:5.000)
- Tav. G.11/4 Carta delle MOPS – Sticciano, Sticciano Scalo, Torniella e Piloni (scala 1:5.000)
- Tav. G.13 Sezioni geologico tecniche con indicazione zone Mops (scala 1:2.500)
- Indagini geofisiche di caratterizzazione sismica e propedeutiche alla redazione di cartografie di microzonazione sismica Mops - ditta ENKI s.r.l.:
  - Relazione tecnica e certificazioni delle prove
  - Tav. 01 Carta delle indagini
  - Tav. 02 Carta delle frequenze
  - Tav. 03 Carta di dettaglio indagini

Firenze, giugno 2018

---

Prof. Geol. Eros Aiello

---

Dott. Geol. Gabriele Grandini