



COMUNE DI SAN GIULIANO TERME  
PROVINCIA DI PISA



Committente / Proprietà :  
**FONDAZIONE CASA CARDINALE MAFFI ONLUS**  
Sede Legale : Via Don Pietro Parducci, n.1 - 57023 - San Pietro in Palazzi - Cecina (LI)

PROGETTO : REALIZZAZIONE DI UNA RESIDENZA SANITARIA  
ASSISTENZIALE NELLA FRAZIONE DI MEZZANA, IN VIA TONIOLO  
SCHEDA NORMA COMPARTO N.18 - UTOE 35 : COLIGNOLA-MEZZANA

**PERMESSO DI COSTRUIRE**



**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA SULLE INDAGINI E SISMICA**

(D.M. 17/01/2018, D.P.G.R.T. n.36/R del 09/07/2009, Piano Operativo e Regolamento Urbanistico del Comune di San Giuliano Terme, Piano di Gestione del Rischio Alluvioni "P.G.R.A." del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale - D.P.C.M. 27/10/2016, L.R. n.41 del 24/07/2018)

Dott. Geol. Luca Pignatelli

Luglio 2020



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

## INDICE

PREMESSA	Pag.5
RIFERIMENTI NORMATIVI	Pag.7
<b>1 - RELAZIONE GEOLOGICA</b>	<b>Pag.8</b>
1.1 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE E URBANISTICO DELL'AREA	pag.8
1.2 - DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	Pag.10
1.3 - CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' E FATTIBILITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA VIGENTI PER IL COMPARTO N.18 – UTOE 35 COLIGNOLA-MEZZANA	Pag.13
1.3.1 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA A LIVELLO DI PIANO OPERATIVO COMUNALE	Pag.13
1.3.2 - PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI FLUVIALI AI SENSI DEL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (P.G.R.A.)	Pag.14
1.3.3 - FATTIBILITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA A LIVELLO DI PIANO OPERTAIVO COMUNALEREGLAMENTO URBANISTICO COMUNALE	Pag.15
1.4 - INQUADRAMENTO TETTONICO, GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO, LITO-STRATIGRAFICO, IDROGEOLOGICO E IDRAULICO DELL'AREA	Pag.18
1.4.1 - LINEAMENTI TETTONICI	Pag.18
1.4.2 - LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI GENERALI	Pag.24
1.4.2.1 - LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI LOCALI	Pag.25
1.4.3 - LINEAMENTI GEOLOGICI	Pag.27
1.4.4 - LINEAMENTI LITO-STRATIGRAFICI	Pag.28
1.4.5 - LINEAMENTI IDROGEOLOGICI	Pag.29
1.4.5.1 - ACQUIFERO SUPERFICIALE	Pag.29
1.4.5.2 - ACQUIFERI PROFONDI	Pag.30
1.4.5.3 - RILIEVO DELLA FALDA NEL SOTTOSUOLO LOCALE	Pag.30
1.4.5.4 - VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA LOCALE	Pag.32
1.4.6 - LINEAMENTI IDRAULICI	Pag.32
1.5 - INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU	Pag.33
1.5.1 - PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU E CPT	Pag.36
1.5.1.1 - PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU	Pag.36
1.5.1.2 - GENERALITA' SULLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU	Pag.37
1.5.1.3 - PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT	Pag.41
1.5.1.4 - GENERALITA' SULLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT	Pag.42
1.5.2 - SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO	Pag.44
1.5.3 - STRATIGRAFIA RISULTANTE DAI SONDAGGI S1 E S2	Pag.45
1.5.4 - PICCOLE ERUZIONI DI GAS E DI ACQUA MISTA A SABBIA	Pag.47
1.6 - ANALISI E PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO SUI CAMPIONI DI TERRENO PRELEVATI NEI SONDAGGI S1 E S2	Pag.52
1.6.1 - CLASSIFICAZIONE DEI CAMPIONI SU BASE GRANULOMETRICA	Pag.52
1.6.2 - CARATTERISTICHE FISICHE DEI CAMPIONI	Pag.53
1.6.3 - CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI IN BASE AI LIMITI DI ATTERBERG E AGLI INDICI DI PLASTICITA' E DI CONSISTENZA	Pag.53
1.6.3.1 - DEFINIZIONE DEI LIMITI DI ATTERBERG	Pag.53
1.6.3.2 - DEFINIZIONE DEGLI INDICI DI PLASTICITA', DI CONSISTENZA E DI LIQUIDITA'	Pag.55
1.6.3.3 - CONTENUTO DI ACQUA, LIMITI DI ATTERBERG, INDICI DI PLASTICITA', DI CONSISTENZA E DI LIQUIDITA' DEI CAMPIONI	Pag.57
1.6.4 - INDICE DI ATTIVITA' COLLOIDALE DEI CAMPIONI	Pag.58
1.6.5 - CLASSIFICAZIONE DEI CAMPIONI SULLA BASE DELLA CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE – USCS	Pag.61
1.6.6 – RESISTENZA DEI CAMPIONI DA POCKET PENETROMETER E VANE TEST	Pag.63
1.6.7 - PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO DEI CAMPIONI	Pag.64
1.6.7.1 - PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO NON DRENATA	Pag.64
1.6.7.2 - PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO EFFICACI	Pag.65
1.6.8 - PARAMETRI DI DEFORMABILITA' DEI CAMPIONI	Pag.65
1.7 - MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE PER LIVELLI LITOLOGICI ASSIMILABILI AD OMOGENEI	Pag.66

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

## 2 - RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI Pag.76

2.1 - MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE E PARAMETRI GEOTECNICI Pag.76

## 3 - RELAZIONE SISMICA Pag.80

3.1 - ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9 DEL TERRITORIO ITALIANO Pag.80

3.1.1 - ZONA SISMOGENETICA DI APPARTENENZA DEL COMUNE  
DI SAN GIULIANO TERME Pag.80

3.1.2 - MAGNITUDO ATTESA DI RIFERIMENTO PER IL COMUNE  
DI SAN GIULIANO TERME DA ZS9 Pag.85

3.2 - DATABASE SISMICO DISS 3.2.1 (INGV) Pag.88

3.2.1 - SORGENTI SISMOGENETICHE INDIVIDUALI Pag.92

3.2.2 - SORGENTI SISMOGENETICHE COMPOSITE Pag.93

3.3 - DETERMINAZIONE DELLA MAGNITUDO ATTESA TRAMITE L'ANALISI  
DI DISAGGREGAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA Pag.94

3.4 - STORIA SISMICA DEL COMUNE DI SAN GIULIANO TERME Pag.99

3.5 - PERICOLOSITA' SISMICA DEL TERRITORIO ITALIANO Pag.100

3.6 - CLASSIFICAZIONE E PERICOLOSITA' SISMICA DEL COMUNE  
DI SAN GIULIANO TERME Pag.102

3.6.1 - CLASSIFICAZIONE E PERICOLOSITA' SISMICA A LIVELLO NAZIONALE Pag.102

3.6.2 - CLASSIFICAZIONE E PERICOLOSITA' SISMICA A LIVELLO REGIONALE Pag.103

3.7 - CARATTERISTICHE DELLE OPERE IN PRESENZA DI AZIONI SISMICHE Pag.108

3.7.1 - CLASSE D'USO Pag.108

3.7.2 - VITA NOMINALE Pag.108

3.7.3 - COEFFICIENTE D'USO Pag.109

3.7.4 - PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA Pag.109

3.7.5 - CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO IN PRESENZA  
DI AZIONI SISMICHE Pag.110

3.8 - PERICOLOSITA' SISMICA E AZIONI SISMICHE Pag.111

3.8.1 - STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITA' DI SUPERAMENTO Pag.111

3.9 - GENERALITA' SULLE CATEGORIE DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE Pag.113

3.10 - INDAGINI SISMICHE IN SITU Pag.115

3.10.1 - INDAGINE SISMICA DOWN HOLE Pag.115

3.10.1.2 - GENERALITA' SULL'INDAGINE SISMICA DOWN HOLE Pag.116

3.10.1.3 - CARATTERISTICHE DELL'ATTREZZATURA Pag.116

3.10.1.4 - MODALITA' OPERATIVE Pag.119

3.10.2 - CARATTERISTICHE DELL'INDAGINE DOWN HOLE IN OGGETTO Pag.119

3.10.3 - ELABORAZIONE DELLE REGISTRAZIONI DELL'INDAGINE DOWN HOLE  
IN OGGETTO Pag.120

3.10.4 - MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO PER IL SOTTOSUOLO  
LOCALE Pag.121

3.10.5 - DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE Pag.123

3.10.6 - PARAMETRI ELASTO-MECCANICI DINAMICI DERIVATI DAI VALORI  
DELLA  $V_p$  E  $V_s$  OTTENUTE DA INDAGINI SISMICHE IN SITU pag.124

3.10.7 - STIMA DEI PARAMETRI ELASTO-MECCANICI DINAMICI MEDI  
DEI SISMO-STRATI DEL MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO Pag.129

3.10.7 - INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR A STAZIONE SINGOLA Pag.130

3.10.7.1 - GENERALITA' SULL'INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR Pag.130

3.10.7.2 - MODI DI VIBRARE DEI TERRENI Pag.130

3.10.8 - ESITI DELL'INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR Pag.133

3.10.9 - MODI DI VIBRARE DELLE STRUTTURE Pag.133

3.11 - SINTESI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI SISMICHE DOWN HOLE E HVSR  
E CONFRONTO CON I DATI LITO-STRATIGRAFICI Pag.134

3.12 - CATEGORIA TOPOGRAFICA E COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE  
TOPOGRAFICA DEL SITO Pag.135

3.13 - AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA Pag.137

3.14 - QUADRO RIASSUNTIVO DEI PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI  
PER LA DEFINIZIONE DELLO SPETTRO DI PROGETTO Pag.138

3.15 - LIQUEFAZIONE DEI TERRENI Pag.140

3.15.1 - FATTORI PREDISponentI E SCATENANTI LA LIQUEFAZIONE Pag.141

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

### 3.15.2 - VERIFICA NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Pag.142

## 4 - CONCLUSIONI GENERALI

Pag.146

## TAVOLE ALLEGATE

### TAVOLA N°1 :

- COROGRAFIA GENERALE, SCALA 1:25.000
- INQUADRAMENTO TERRITORIALE, SCALA 1:10.000;
- ESTRATTO DEL REGOLAMENTO URBANISTICO COMUNALE - P.O.C. (Scheda Norma Comparto N.18 - UTOE 35 Colignola-Mezzana);
- SOVRAPPOSTO C.T.R.-ORTOFOTO REGIONE TOSCANA;
- QUADRO CONOSCITIVO SULLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' E FATTIBILITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA VIGENTI PER IL COMPARTO N.18 :
  - ESTRATTI CARTE DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA DI SUPPORTO AL PIANO OPERATIVO COMUNALE (P.O.C.);
  - SCHEDA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA DEL COMPARTO N.18 (da Allegato 1c del P.O.C.);
- ESTRATTO CARTA DELLA PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI DEL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI FLUVIALI (PGRA) DEL DISTRETTO IDROGRAFICO APPENNINO SETTENTRIONALE;
- QUADRO CONOSCITIVO SULLE CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E SISMICHE DEL COMPARTO N.18 :
  - ESTRATTI CARTA GEOMORFOLOGICA E CARTA DELLE MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) DELL'INDAGINI GEOLOGICO-TECNICA DI SUPPORTO AL PIANO OPERATIVO COMUNALE;
- ESTRATTO CARTA DELLA VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA DEL P.T.C. DELLA PROVINCIA DI PISA;

### TAVOLA N°2 :

- PLANIMETRIA - PIANTE PIANO TERRA STATO DI PROGETTO CON UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE, SCALA 1:100, (da Tavola di Progetto - Arch. Mauro Ciampa);
- UBICAZIONE AREA D'INTERVENTO, EDIFICIO IN PROGETTO E INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE, SU FOTO SATELLITARE GOOGLE MAPS (NON IN SCALA);
- DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA :
  - POSTAZIONI INDAGINI;
  - FENOMENI ERUTTIVI DI GAS E DI ACQUA MISTA A SABBIA AVVENUTI NEL CORSO DI ALCUNE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE;

### TAVOLA N°3 :

- UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE;
- MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE PER LIVELLI LITOLOGICI ASSIMILABILI AD OMOGENEI :
  - SEZIONI LITOLOGICO-TECNICHE 1-1' 2-2', SCALA 1:100;
- GRAFICI SOVRAPPOSTI DELLA RESISTENZA DI PUNTA  $q_t$  e  $q_c$  DELLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU E CPT;
- TABELLA RIEPILOGATIVA DEGLI ESITI DELLE ANALISI GRANULOMETRICHE SUI CAMPIONI INDISTURBATI PRELEVATI LUNGO IL SONDAGGIO S1;
- PROFILO VERTICALE DELLA VELOCITA' DELLE ONDE SISMICHE "P" ED "S" ( $V_p$ ,  $V_s$ );

### TAVOLA N°4 :

- UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE;
- MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE PER LIVELLI LITOLOGICI ASSIMILABILI AD OMOGENEI :
  - SEZIONI LITOLOGICO-TECNICHE 1-1' 2-2', SCALA 1:100;
- QUADRO RIEPILOGATIVO DEGLI ESITI DELLE ANALISI E PROVE DI LABORATORIO SUI CAMPIONI INDISTURBATI DI TERRENO C1-S1, C2-S1, C3-S1, C4-S1, C1-S2;



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

- CLASSIFICAZIONE DEI CAMPIONI IN BASE :
  - ALLA CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE - USCS;
  - ALLA CARTA DI ATTIVITA' DI SKEMPTON;
  - ALLA CARTA DI ATTIVITA' DI VAN DER MERWE;
- PROFILO VERTICALE DELLA VELOCITA' DELLE ONDE SISMICHE "P" E "S" E PARAMETRI ELASTO-MECCANICI DINAMICI MEDI DEI SISMO-STRATI DERIVATI DA  $V_p$  E  $V_s$ ;
- CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO D'INTERVENTO :
  - MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO PER IL SOTTOSUOLO LOCALE;
  - CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE;
  - CATEGORIA TOPOGRAFICA;
  - COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA;

#### **APPENDICE SEPARATA**

*(vedi Documento a parte di accompagnamento alla presente Relazione)*

- PROFILI LITO-STRATIGRAFICI DEI SONDAGGI S1 E S2 CON DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLE RISPETTIVE CAROTE DI TERRENO NELLE CASSETTE CATALOGATRICI;
- ELABORATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU (CPTU1, CPTU2, CPTU3) E CPT (CPT1, CPT2);
- CERTIFICATI DEL LABORATORIO GEOTECNICO;
- RAPPORTO SULL'INDAGINE SISMICA DOWN HOLE NEL FORO DEL SONDAGGIO S1;
- RAPPORTO SULL'INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR A STAZIONE SINGOLA;
- REPORT RIEPILOGATIVO DEI PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI DI RIFERIMENTO PER IL SITO D'INTERVENTO (da software on line Parametri Sismici di Geostru – Geostru.com);

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

## PREMESSA

Su incarico della Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus è stata redatta la presente relazione a supporto della richiesta del Permesso di Costruire di un edificio con destinazione a Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) da realizzare in un'area posta nel Comune di San Giuliano Terme (PI), nella frazione di Mezzana, in via Toniolo.

L'area d'intervento, di proprietà della suddetta Fondazione, è identificata dal Comparto N.18 dell'UTOE 35 Colignola-Mezzana regolamentato dalla relativa Scheda Norma contenuta nell'Allegato 1b del Piano Operativo Comunale (P.O.C.) di San Giuliano Terme.

Per dimensioni volumetriche il fabbricato in progetto, avendo un volume lordo di circa 15.500,00 mc, rientra nella Classe d'Indagine n.4, come definita all'art.7, comma 3 del D.P.G.R.T. n.36/R del 09/07/2009, che comprende le opere di volume lordo maggiore di 6.000,00 mc.

Trattandosi di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) l'edificio è, altresì, da considerarsi "rilevante" ai sensi dell'Allegato A, colonna B, punto 2, lettera h, della Delibera G.R.T. n.663 del 20/05/2019 "Approvazione delle Linee Guida di prima applicazione delle disposizioni in materia di costruzioni in zone sismiche di cui all'art.3 del D.L. 18 aprile 2019, n.32", che ha abrogato l'Allegato A del D.P.G.R.T. n.36/R/2009, nel quale, comunque, le RSA erano già classificate come edifici che possono assumere "rilevanza" in relazioni alla conseguenze di un eventuale collasso.

La relazione è quindi supportata da indagini geognostiche e sismiche eseguite in situ adeguate alla Classe d'Indagine n.4 e al carattere di "rilevanza" dell'opera, nonché alle prescrizioni del Piano Operativo Comunale in riferimento alle condizioni di Pericolosità Geologica e Sismica Elevata e di Fattibilità Geologica e Sismica Condizionata che contraddistinguono il comparto in questione.

Questo studio è diviso in tre parti denominate :

- Relazione Geologica,
- Relazione Geotecnica sulle Indagini,
- Relazione Sismica,

i cui contenuti sono di seguito sintetizzati.

Nella Relazione Geologica sono descritti gli aspetti generali di natura tettonica, geologica, geomorfologica, lito-stratigrafica e idrogeologica che caratterizzano l'area in oggetto, indicate le locali condizioni di pericolosità geologica, idraulica e sismica e le corrispondenti fattibilità riferite all'intervento previsto, desunte dagli elaborati cartografici dell'Indagine Geologico-Tecnica di supporto al Piano Operativo Comunale e dal Regolamento Urbanistico Comunale (Norme Tecniche di Attuazione) attualmente vigente. Altresì, è riportata la pericolosità da alluvioni fluviali del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni "P.G.R.A." del Distretto Idrografico

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Appennino Settentrionale, tenendo di conto a questo riguardo anche i disposti della L.R. n.41 del 24/07/2018 in materia di rischio di alluvioni. Infine, sulla base delle risultanze delle indagini geognostiche eseguite in situ è stato ricostruito il modello geologico del sottosuolo locale, imprescindibile per la definizione del modello geotecnico.

La Relazione Geotecnica sulle Indagini contiene il modello geotecnico del tratto di sottosuolo investigato con le indagini ed i parametri geotecnici caratteristici dei terreni ivi presenti, di riferimento per le verifiche geotecniche della fondazione dell'edificio che saranno svolte dal progettista delle strutture nella successiva fase di progetto esecutivo.

Nella Relazione Sismica sono state condotte analisi finalizzate alla definizione della pericolosità sismica di base del sito, della storia sismica del Comune di San Giuliano Terme e della magnitudo attesa del terremoto di scenario, con riferimento ai dati e cataloghi di sismicità e alle mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale prodotte dall'I.N.G.V. (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e dal Settore Sismica della Regione Toscana, considerando la normativa nazionale e regionale vigente in questa materia. Inoltre, tramite opportune indagini sismiche eseguite in situ, è stato ricostruito l'assetto sismo-stratigrafico di riferimento per il sottosuolo locale, valutata la presenza di eventuali contrasti di impedenza sismica significativi ai fini progettuali e definita la frequenza naturale di risonanza del terreno, altro parametro importante per la progettazione. Altresì, sono stati determinati i parametri e coefficienti sismici che insieme alla categoria di sottosuolo di fondazione, ricavata dal modello sismo-stratigrafico, concorrono alla definizione dell'azione sismica di progetto secondo l'approccio semplificato consentito dal D.M. 17/01/2018. Per ultimo, è stata svolta un'analisi rivolta a valutare se i terreni presenti nel sottosuolo locale, per caratteristiche litologico-granulometriche, idrogeologiche (presenza di falda) e geotecniche, sono suscettibili del fenomeno della liquefazione in relazione alle caratteristiche sismiche del sito (accelerazione massima attesa  $A_{max}$  e magnitudo di riferimento per il Comune di San Giuliano Terme).

Il progetto è corredato anche da uno specifico Studio Idraulico esteso all'intero Comparto n.18, redatto da altro tecnico incaricato dalla Committenza, nel quale sono stati definiti i criteri e gli interventi per la messa in sicurezza idraulica delle opere edilizie previste dal progetto e dimostrato che questi interventi non comportano un aggravio delle condizioni di pericolosità idraulica nelle zone circostanti l'area in oggetto, in ottemperanza alla prescrizioni della L.R.T. n.41/2018 e del Piano Operativo Comunale a riguardo delle locali condizioni di pericolosità idraulica.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

## RIFERIMENTI NORMATIVI

- I riferimenti normativi considerati per la stesura di questa relazione sono i seguenti :
- Indagine Geologico-Tecnica di supporto Piano Operativo Comunale (P.O.C.);
  - Regolamento Urbanistico Comunale – Norme Tecniche di Attuazione del P.O.C.;
  - Scheda Norma del Comparto N.15 UOTE 35 Colignola – Mezzana (allegato 1b del P.O.C.);
  - Scheda Norma di Fattibilità Geologica del Comparto N.15 UOTE 35 Colignola – Mezzana (allegato 1c del P.O.C.)
  - Piano di Gestione del Rischio Alluvioni “P.G.R.A.” del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale, relativamente al bacino del F.Arno (Direttiva 2007/60/CE, D.Lgs. 49/2010, D.Lgs.152/2006, D.Lgs. 219/2010, D.P.C.M. 27/10/2016);
  - L.R.T. n.41 del 24/07/2018 “Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d’acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010 n.49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e gestione dei rischi alluvioni). Modifiche alla L.R. 80/2015 e alla L.R. 65/2014”;
  - D.P.G.R.T. n.36/R del 09/07/2009 “Regolamento di Attuazione dell’articolo 117, commi 1 e 2 della L.R. 3 gennaio 2005 n.1 – Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico”;
  - D.M. 17/01/2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”;
  - Delibera G.R.T. n.663 del 20/05/2019 “Approvazione delle Linee Guida di prima applicazione delle disposizioni in materia di costruzioni in zone sismiche di cui all’art.3 del D.L. 15 aprile 2019, n.32”;
  - O.P.C.M. n.3316 del 02/10/2003;
  - O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003;
  - O.P.C.M. n.3333 del 23/01/2004;
  - O.P.C.M. n.3379 del 05/11/2004;
  - O.P.C.M. n.3431 del 03/05/2005;
  - O.P.C.M. n.3467 del 13/10/2005;
  - O.P.C.M. n.3519 del 28/14/2006;
  - D.G.R.T. n.878 del 08/10/2012 “Aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale”;
  - Del.G.R.T. n.421 del 26 maggio 2014 “Aggiornamento dell’allegato 1 (elenco comuni) e dell’allegato 2 (mappa) della Del.G.R.T. n.878 del 08 ottobre 2012, recante “Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell’O.P.C.M. n.3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14/01/2008 – Revoca della Del.G.R.T n.431/2006” e cessazione di efficacia dell’elenco dei Comuni a Maggior Rischio Sismico della Toscana (D.G.R.T. n.841/2007)”;
  - D.P.G.R.T. n.58/R del 22/10/2012.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

## 1 - RELAZIONE GEOLOGICA

### 1.1 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE E URBANISTICO DELL'AREA

Il Comparto N.18 è ubicato all'interno dell'UTOE 35 Colignola-Mezzana e si colloca al margine sudorientale dell'abitato di Mezzana e della medesima UTOE, lungo via G. Toniolo, nelle immediate vicinanze della locale Parrocchia di Santa Maria Assunta e della esistente RSA di proprietà della Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus, compresa nel medesimo comparto e operativa già da molti anni.

L'area è posta nel contesto della pianura alluvionale dell'Arno, in destra idrografica del fiume, dal cui piede dell'argine destro il lato sud dista come minimo circa 30 m.

Nell'ambito del progetto la nuova RSA sarà realizzata nella porzione di comparto attualmente costituita da terreno agricolo libero da ingombri edilizi che si estende a sudest della attuale RSA fino a via di Tolone, che in questa zona rappresenta il limite dell'UTOE 35 separandolo dalle zone agricole-rurali esterne all'UTOE stessa (figura n.1 seguente).

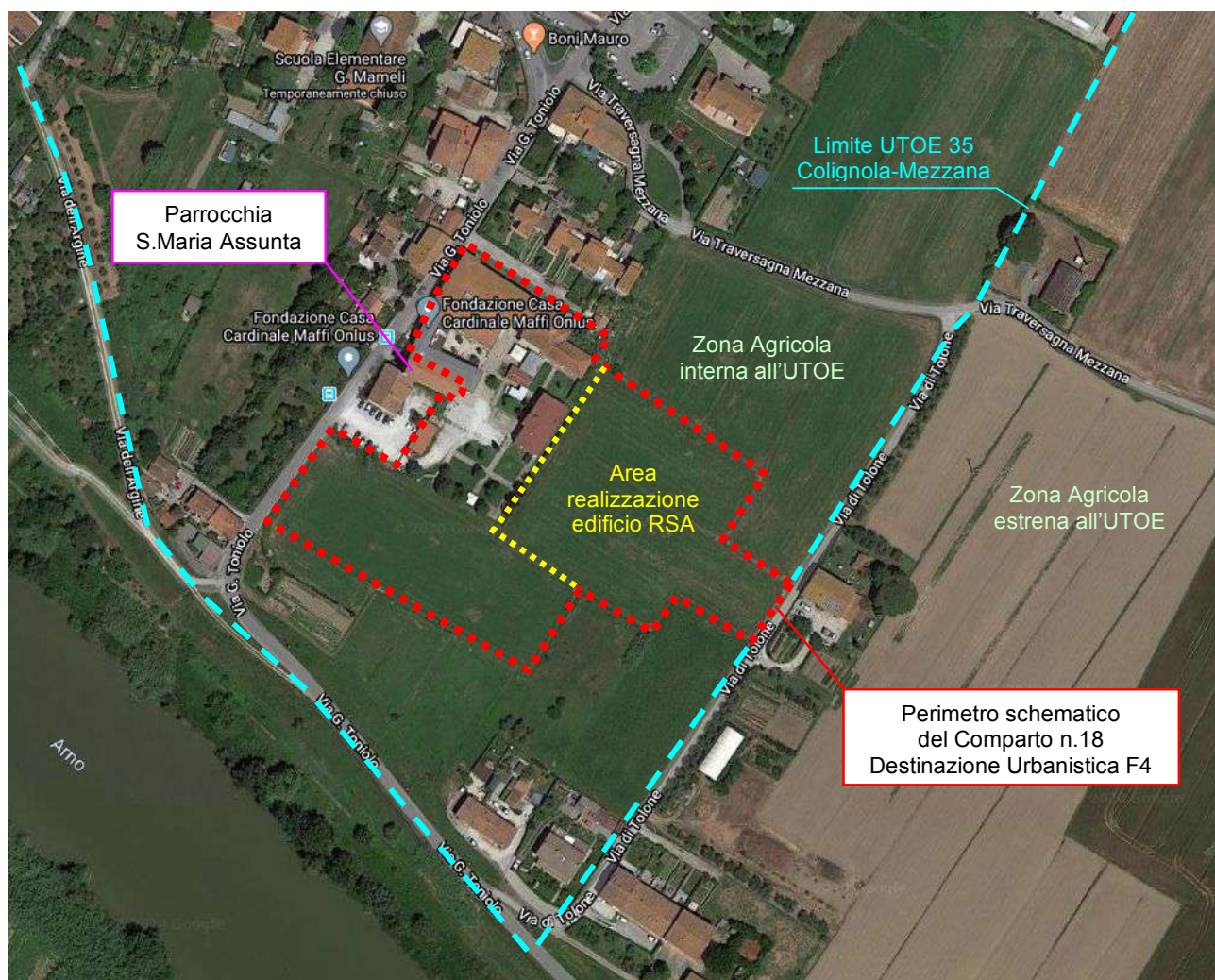


Figura n.1 : Ubicazione Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola-Mezzana (da foto satellitare Google Maps).



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Dal punto di vista urbanistico, dalla Scheda Norma del Comparto N.18 del P.O.C. risulta quanto segue :

- ⇒ *Destinazione Urbanistica* : Servizi di interesse generale a carattere privato "F4";
- ⇒ *Strumento di Attuazione* : Progetto Unitario Convenzionato;
- ⇒ *Superficie del Comparto* : Superficie Totale (ST) = 17.000,00 mq;
- ⇒ *Parametri Urbanistici* : Superficie coperta (SC) = 4.000,00 mq, H<sub>max</sub> = 7,50 m;
- ⇒ *Funzioni Ammesse* : Riqualficazione del complesso esistente e ampliamento della struttura per differenziazione delle attività socio-sanitarie, quali: Residenze per anziani (RSA) Residenza per disabili (RSD), Strutture residenziali a carattere comunitario per persone a rischio sociale, Comunità alloggio protetta, Comunità familiari, ecc.;
- ⇒ *Interventi Ammessi* : Interventi funzionali allo sviluppo, al potenziamento e adeguamento del Complesso esistente. Ristrutturazione Edilizia (E) ricostruttiva dell'esistente e nuova realizzazione di strutture fino a 8.000,00 mq di superficie utile (SU) complessiva;
- ⇒ *Standard Urbanistici* : Dovranno essere ritrovati spazi a standard urbanistici così come previsto dalla legislazione vigente e dallo Strumento Urbanistico Comunale per le singole destinazioni;
- ⇒ *Condizioni alla trasformazione* : Titolo IV, Capo III delle N.T.A. del P.O.C. – Condizioni alla trasformazione;
- ⇒ *Orientamenti per la formazione del progetto* : Il progetto dovrà relazionarsi con il contesto nel rispetto di un ambiente in parte storicizzato e in parte a stretto contatto con il territorio rurale. Fondamentale altresì è la salvaguardia e qualificazione della Chiesa. I nuovi edifici dovranno avere caratteristiche formali, tipologiche e architettoniche tali da garantire un corretto inserimento paesaggistico. Gli interventi di nuova piantumazione a verde dovranno tener conto delle relazioni spaziali e percettive con il contesto a contorno, nonché della peculiarità delle specie da porre in essere.



Figura n.2 : Estratto cartografico Scheda Norma Comparto N.18 - UTOE 35 Colignola-Mezzana del P.O.C.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Nella Tavola n.1 allegata sono riportati gli estratti cartografici di riferimento per l'area riguardanti quanto sopra detto.

## 1.2 - DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

L'intervento, come detto in precedenza, consiste nella costruzione di un edificio adibito a Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella porzione di comparto compresa tra la RSA esistente e via di Tolone che rappresenta il confine sudorientale del comparto stesso.

L'immobile in progetto ha una pianta a forma di "L" aperta verso l'Arno (sud-sudest) con le due ali disposte parallelamente e perpendicolarmente a via G.Toniolo e via di Tolone e sarà realizzato in vicinanza alla attuale struttura RSA con il lato più lungo allineato ad essa in modo da sembrarne una sua prosecuzione verso sudest.

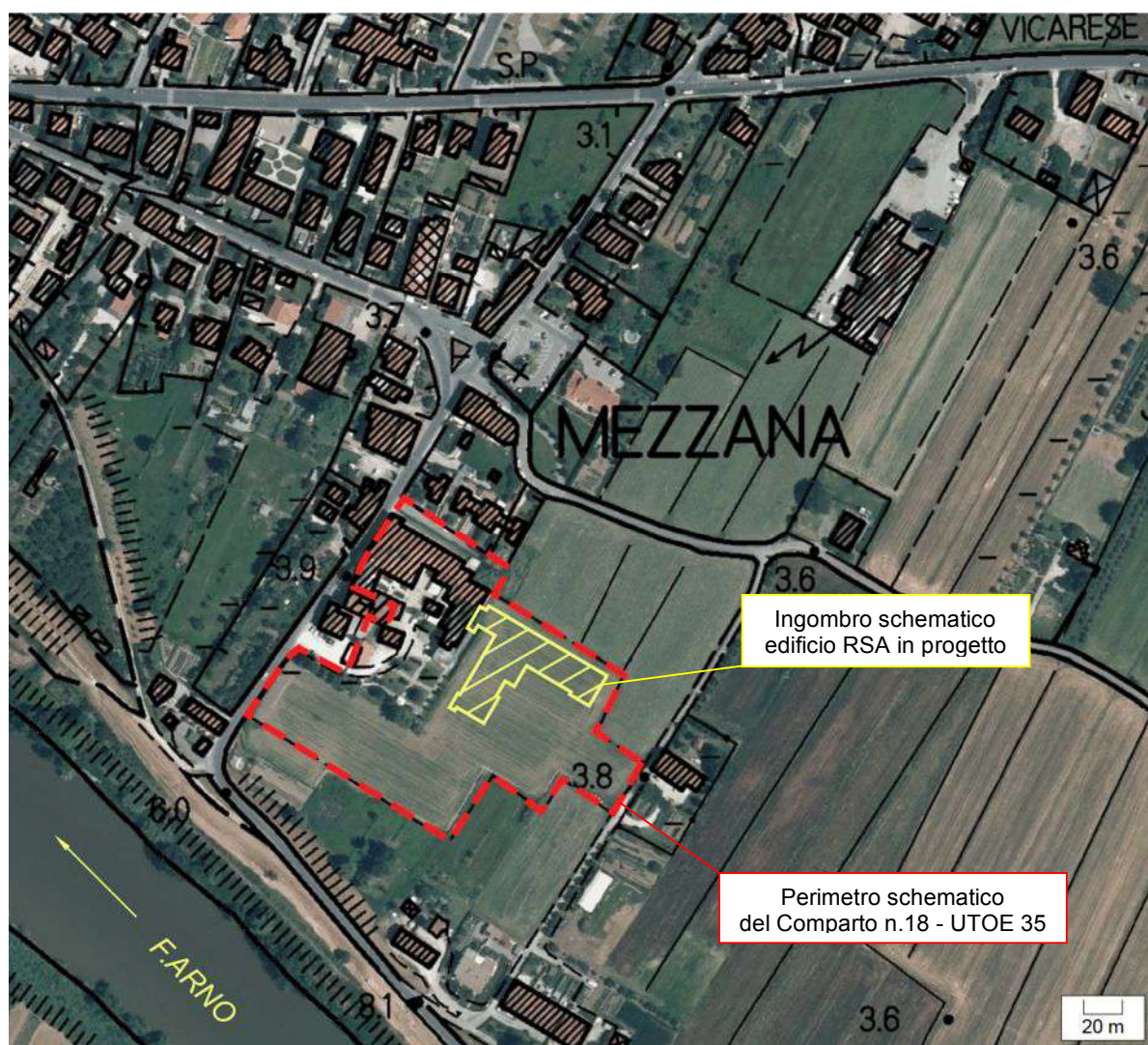


Figura n.3 : Ubicazione nuovo edificio RSA in progetto (sovrapposto CTR - Ortofoto Regione Toscana).



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

L'ala di lunghezza minore, con direzione NE-SO, è lunga circa 54 m e larga circa 19 m; mentre quella di dimensioni maggiori, con direzione NO-SE, ha invece una lunghezza di circa 69 m e larghezza di circa 17,50 m.



Figura n.4 : Planimetria generale copertura, non in scala (da Tavola di Progetto – Arch. Mauro Ciampa)

L'edificio si eleverà con due piani fuori terra (P.T. e P.P.), senza locali interrati/seminterrati, nei quali saranno ricavate le camere per gli ospiti/residenti, la mensa, gli spazi a comune-soggiorni, i servizi igienici, gli spogliatoi per gli operatori sanitari, gli ambulatori medici, le infermerie, la palestra e tutti gli altri servizi annessi e connessi all'attività svolta da questa struttura.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Solamente nella zona di raccordo tra le due ali del fabbricato (spigolo nordovest) è presente un ulteriore piano di superficie notevolmente minore rispetto al resto dell'opera. In questa zona è previsto uno dei due accessi principali all'edificio, da via Toniolo, con ascensore interno.

La superficie coperta complessiva è pari a 1.771,00 mq, il volume è di poco superiore ai 15.000,00 mc, l'altezza massima fuori terra al colmo del tetto, di tipo piano, della parte a due piani è di 9,00 m e della parte a tre piani è di 11,80 m. In corrispondenza dell'altro accesso, da via di Tolone, è previsto un altro ascensore interno e l'altezza fuori terra dell'edificio qui raggiunge 10,70 m.

I due ingressi principali saranno protetti da pensiline ed il piano di calpestio del piano terra del fabbricato sarà rialzato di +1,00 m rispetto al terreno esterno circostante.

Lungo entrambe le ali dell'immobile saranno realizzate delle rampe a pendenza variabile dal 3% all'8% e posizionati accessi secondari.

Il progetto sarà completato con la sistemazione degli spazi a verde esterni, con piantumazione di specie arboree consone al locale contesto paesaggistico, dove saranno realizzati un percorso carrabile interno, con accessi da via Toniolo e da via di Tolone, ed i parcheggi pertinenziali.

Per ulteriori dettagli e approfondimenti si rimanda agli elaborati di progetto redatti dall'Arch. Mauro Ciampa – Architetti Associati Ciampa, dai quali è stato ripreso quanto sopra detto e la Tavola della Planimetria delle Coperture, non in scala, della figura n.3 precedente.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

### 1.3 - CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' E FATTIBILITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA VIGENTI PER IL COMPARTO N.18 - UTOE 35 COLIGNOLA-MEZZANA

#### 1.3.1 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA A LIVELLO DI PIANO OPERATIVO COMUNALE

Dalle Carte della Pericolosità Geologica, Idraulica e Sismica dell'Indagine Geologico-Tecnica di supporto al vigente e recente Piano Operativo Comunale (P.O.C.), redatte ai sensi del D.P.G.R.T. n.53/R del 25/10/2011, e dalla Scheda Norma di Fattibilità Geologica del Comparto N.18 - UTOE 35 Colignola-Mezzana, di cui all'Allegato 1c del P.O.C., i cui estratti di riferimento sono riportati nella Tavola n.1 allegata, risulta che l'area d'intervento è caratterizzata dalle seguenti condizioni di pericolosità :

⇒ PERICOLOSITA' GEOLOGICA : Classe G.3 - Pericolosità Elevata. Si riferisce sostanzialmente alla presenza di terreni alluvionali argilloso limosi e limoso argillosi, talora organici/torbosi, di prevalente scarsa consistenza, che con discreti spessori caratterizzano il sottosuolo locale, ed al fatto che il comparto è soggetto a subsidenza, fenomeno che caratterizza gran parte del territorio comunale della pianura registrato tramite misure interferometriche satellitari del moto del suolo (*persitent scattered* ERS, ENVISAT e CSK).

⇒ PERICOLOSITA' IDRAULICA : Classe I.3 - Pericolosità Elevata, definita sulla base dello Studio Idraulico di supporto al P.O.C., nella quale rientrano le aree fragili per eventi alluvionali con tempo di ritorno  $Tr$  compreso tra 30 e 200 anni ( $30 < Tr < 200$  anni). Dalla Scheda Norma del Comparto N.18 i battenti idrici massimo, minimo e medio attesi nell'area d'intervento per eventi esondativi con  $Tr = 200$  anni, derivati dal suddetto Studio Idraulico, risultano :

➤ battente minimo = 0 cm;

➤ battente massimo = 49 cm;

➤ battente medio = 13 cm;

e la *magnitudo idraulica*, determinata dalla combinazione tra il battente e la velocità dell'acqua di esondazione (velocità della corrente), è *moderata*.

La *magnitudo idraulica moderata* si riferisce alle zone dove il battente idrico di esondazione è inferiore o uguale 0,5 m e la velocità della corrente è inferiore o uguale a 1 m/s (art.2, comma 1, lettere h, h1 della L.R.T. n.41/2018).



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

⇒ PERICOLOSITA' SISMICA : Classe S.3 - Pericolosità Elevata,. Questa classe deriva dalla Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS) di cui è dotato il P.O.C., ed è stata attribuita a tutte quelle zone suscettibili di instabilità e di amplificazione stratigrafica dovute a eventi sismici non ricadenti nella classe S.4 (Pericolosità Sismica Molto Elevata). Per il comparto in oggetto si riferisce alla presenza sia di terreni potenzialmente suscettibili di liquefazione per composizione granulometrica, che dalla suddetta Carta delle MOPS risultano interessare la parte occidentale del comparto, sia di terreni alluvionali attuali e recenti di prevalente scarsa consistenza, quindi suscettibili di amplificazione stratigrafica, ed anche al fatto che essa è soggetta a subsidenza diffusa (da misure interferometriche satellitari).

### 1.3.2 - PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI FLUVIALI AI SENSI DEL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (P.G.R.A.)

Per quanto riguarda la pericolosità da alluvionali fluviali, la cartografia del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni Fluviali "P.G.R.A." del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale, che costituisce un vincolo sovraordinato, relativa al bacino del F.Arno in cui rientra il Comparto n.18, mostra che esso ricade all'interno della perimetrazione di un'area contraddistinta dalla *Classe P2 di Pericolosità da Alluvioni*, equivalente ad una *Pericolosità Media* (vedi estratto cartografico di riferimento per l'area in Tavola n.1 allegata).

Questa classe corrisponde ad una *media probabilità di alluvioni* ai sensi della Direttiva 2007/60/CE e allo *scenario di alluvioni poco frequenti* del D.Lgs. n.49/2010, e comprende le aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $Tr$  maggiore di 30 anni e minore/uguale di 200 anni ( $30 < Tr \leq 200$  anni), come definita all'art.6 della Disciplina del P.G.R.A. del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale.

Al riguardo, la L.R.T. n.41 del 24/07/2018 in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi di acqua detta specifiche condizioni e prescrizioni per gli interventi ricadenti nella Classe di Pericolosità P2, ossia nello scenario di alluvioni poco frequenti.

Per le analisi di questi aspetti si rimanda allo Studio Idraulico, redatto da altro tecnico, che è parte integrante degli elaborati di progetto, dove è stato valutato il livello di rischio atteso, proposti gli accorgimenti tecnici-progettuali da adottare per garantire le condizioni di sicurezza idraulica dell'intervento e verificato il non aggravio delle condizioni di pericolosità idraulica nelle zone circostanti al comparto in seguito alla realizzazione della trasformazione edilizia nella sua globalità.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

### 1.3.3 - FATTIBILITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA A LIVELLO DI PIANO OPERATIVO COMUNALE

Le condizioni di Fattibilità delle trasformazioni/interventi sotto gli aspetti geologico, idraulico e sismico, sono definite in relazione alle caratteristiche di pericolosità geologica, idraulica e sismica dell'area dove è previsto l'intervento stesso.

Per il Comparto N.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana in oggetto è stata redatta una specifica Scheda Norma di Fattibilità Geologica contenuta nell'Allegato 1c del Piano Operativo Comunale (P.O.C.), nella quale sono riportate le pericolosità e fattibilità che lo contraddistinguono ed indicate le limitazioni e prescrizioni da ottemperare ai fini progettuali-realizzativi, che riassumiamo di seguito.

#### **SCHEDA NORMA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA DEL COMPARTO N.18 - UTOE N.35 COLIGNOLA - MEZZANA** (Allegato 1c - Schede Norma di Fattibilità Geologica del P.O.C. di San Giuliano Terme)

CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' E FATTIBILITA' (ai sensi del D.P.G.R. n.53/R/2011)

PERICOLOSITA'	CLASSE	NOTE	FATTIBILITA'
Geologica	G3 - Pericolosità Elevata	Subsidenza	F3 - Condizionata
Idraulica	I3 - Pericolosità Elevata	30 < Tr < 200 anni (*)	F4 - Limitata
Sismica	S3 - Pericolosità Elevata	Subsidenza, liquefazione	F3 - Condizionata

(\*) : da Studio Idraulico di supporto al P.O.C.

Al riguardo, nelle more dell'art. 11.9 delle dell'Allegato M (Relazione Geologico-Tecnica) del P.O.C. e del punto 3.1 del D.P.G.R.T. n.53/R del 25/11/2011 :

⇒ *la Classe di Fattibilità F.3 - Fattibilità Condizionata* si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi, o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi. Sono richieste indagini di dettaglio condotte a livello di "area complessiva" sia come supporto alla redazione di strumenti urbanistici attuativi che nel caso sia ipotizzato un intervento diretto. L'esecuzione di quanto previsto dai risultati di tali indagini in termini di interventi di attenuazione del rischio idraulico, bonifica, miglioramento dei terreni e/o tecniche fondazionali particolari devono costituire condizioni da recepire all'interno della richiesta del titolo abilitativi occorrente.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

⇒ la Classe di Fattibilità F.4 – Fattibilità Limitata si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza individuati e definiti in sede di redazione del Regolamento Urbanistico Comunale, sulla base di studi, dati da attività di monitoraggio e verifiche atte a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.

#### NORMATIVA SOVRAORDINATA

P.G.R.A. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni	P2 – Pericolosità Media (scenario di alluvioni poco frequenti)
---	---

#### BATTENTI IDRICI PER EVENTI CON $T_r = 200$ ANNI (cm)

Battente minimo	0
Battente massimo	49
Battente medio	13

da Studio Idraulico di supporto al P.O.C.

#### RIFERIMENTI PER LA L.R.T. N.41/2018 IN MATERIA DI RISCHIO IDRAULICO

Area interna al perimetro del territorio urbanizzato	Alluvioni poco frequenti	Magnitudo moderata
---	--------------------------	--------------------

#### LIMITAZIONI E PRESCRIZIONI PER IL COMPARTO N.18

Oltre alle condizioni di Fattibilità dettate dalle normative sovraordinate (P.G.R.A.) e dal D.P.G.R.T. n.53/R/2011, di cui all'art.39 delle N.T.A. del P.O.C., le ulteriori indicazioni e prescrizioni da tenere in considerazione e rispettare ai fini progettuali, basate sulle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrauliche e sismiche puntuali del sito sono :

#### ⇒ FATTIBILITA' GEOLOGICA E SISMICA CONDIZIONATA (F3)

*Le indagini geologiche e sismiche dovranno essere mirate oltre che alla caratterizzazione geotecnica dei terreni, anche all'individuazione degli spessori e delle variazioni laterali dei depositi alluvionali.*

*La campagna geognostica dovrà essere finalizzata anche alla caratterizzazione granulometrica dei terreni, al fine di acquisire tutti i dati utili alla ricostruzione della geometria dei litotipi con differente composizione granulometrica ed alla definizione della necessità o meno di procedere all'esecuzione di verifiche nei confronti del fenomeno della liquefazione.*

*In merito alle problematiche da subsidenza, il progetto delle nuove edificazioni deve valutare la necessità di proporre misure di attenuazione del rischio quali accorgimenti costruttivi e fondazioni speciali.*

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

#### ⇒ FATTIBILITA' IDRAULICA LIMITATA (F4)

*In quest'area gli interventi ammessi e le relative modalità sono dettate dal Capo III della L.R. n.41/2018.*

*Il battente idrico massimo atteso corrisponde a circa 49 cm, mentre la media del battente, calcolata per l'intera area è molto più ridotta e compresa entro 13 cm.*

*L'esatta quota di sicurezza dovrà essere dettagliata in funzione del posizionamento degli interventi all'interno del comparto, a partire dal battente idrico rappresentato nelle cartografie di riferimento dello studio idraulico e dettagliato nel "grid" a disposizione sul sito comunale. A tale battente dovrà essere aggiunto un idoneo franco di sicurezza che non potrà essere inferiore a 20 cm.*

*Gli interventi non devono comportare l'aggravio delle condizioni di rischio al contorno, nel rispetto dei criteri indicati all'art.8 della L.R. n.41/2018.*

*La compensazione è richiesta solo per i volumi sottratti alla naturale esondazione per eventi con Tr fino a 200 anni.*

*Nelle tavole progettuali dovrà essere dettagliata la regimazione delle acque meteoriche affluenti sul lotto e dovranno essere adottati accorgimenti in grado di mantenere la funzionalità del recapito finale nel rispetto dell'invarianza idraulica ed eliminare eventuali situazioni di fragilità.*

Gli aspetti e problematiche inerenti la Fattibilità Idraulica Limitata (F4) e le soluzioni tecnico-progettuali mirate a garantire la sicurezza idraulica dell'intervento nel rispetto delle prescrizioni e indicazioni riportate nella suddetta Scheda Norma di Fattibilità, dell'art. 39 delle N.T.A. del P.O.C. e della L.R. n.41/2018, come detto in precedenza, sono argomento dello Studio Idraulico redatto da altro tecnico a cui si rimanda per prenderne visione.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

## 1.4 - INQUADRAMENTO TETTONICO, GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO, LITO-STRATIGRAFICO, IDROGEOLOGICO E IDRAULICO DELL'AREA

### 1.4.1 - LINEAMENTI TETTONICI

L'area d'intervento si colloca nella Pianura di Pisa, ovvero nella bassa pianura alluvionale dell'Arno che comprende anche gran parte del territorio di pianura del Comune di San Giuliano Terme.

La Pianura di Pisa deve la sua origine alla tettonica distensiva agente in direzione NE-SO che nel periodo tardo Miocene-Pleistocene ha interessato il versante occidentale dell'Appennino Settentrionale, compresi le Alpi Apuane, i Monti Pisani e i Monti d'Oltre Serchio, già sollevati, in risposta all'apertura del Mar Tirreno e alla rotazione antioraria del sistema avanfossa-avanpaese (foredeep-foreland system) della catena Appenninica (Della Rocca B., Mazzanti R., Pranzini E., 1987; Mazzanti R., 2000; Pascucci V., 2005; Sarti G. et alii, 2015).

L'intensa attività tettonica distensiva, iniziata nel Miocene superiore (tardo Tortonian - Messiniano, circa 7-8 milioni di anni fa), ha prodotto un assottigliamento crostale, con deformazioni di tipo duttile, via via sempre più spinto fino a provocarne la rottura, causando, conseguentemente, lo sprofondamento di ampi settori di crosta che sono scivolati in profondità tramite lo sviluppo di sistemi di faglie normali (dirette), parallele tra loro e alla catena appenninica ed allineate in direzione appenninica NO-SE, generatisi in risposta a questo persistente stato di deformazione distensiva (figure n.4, n.5, n.6, n.7 e n.8 nelle pagine seguente). Lungo queste superfici di faglia i blocchi crostali hanno subito importanti movimenti verticali verso il basso che localmente sono superiori ai 3,0-4,0 km.

In ragione di questi eventi tettonici in tutto il territorio della Toscana si è venuto a formare un complesso di morfostrutture negative (*graben* o *fosse tettoniche*), in corrispondenza degli sprofondamenti crostali, note come Bacini Neogenici e Quaternari, alternate ad alti morfostrutturali (*horst* o *pilastrini tettonici*) rappresentati dai blocchi crostali non scivolati e rimasti emergenti, delimitati su entrambi i lati da tali sistemi di faglie normali.

Una delle morfostrutture negative è il *graben Versiliese-Pisano*, anche detto *bacino Versiliese-Pisano*, sul quale nella zona centro-meridionale di ampiezza maggiore si è imposta la Pianura di Pisa, ovvero la bassa pianura e costiera dell'Arno, e a nord, nel tratto più stretto, la pianura costiera della Versilia fino al confine con la Liguria.

Tra le morfostrutture positive rientrano invece la Dorsale Peri-Tirrenica, la Dorsale Medio Toscana e la Dorsale Chianti-Cetona.

Tutte queste morfostrutture, negative e positive, risultano attraversate trasversalmente da una serie di lineamenti tettonici con caratteri di trascorrenza (faglie trascorrenti), orientati in direzione antiappenninica NE-SO, che ne hanno dislocato la continuità longitudinale, sperando quindi settori ad evoluzione tettonica e paleogeografica differente.



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Di questi, l'allineamento Livorno-Sillaro (LS) borda il limite meridionale del *bacino Versiliese-Pisano* al piede dei Monti Livornesi e delle Colline Livornesi e Pisane (figura n.5).

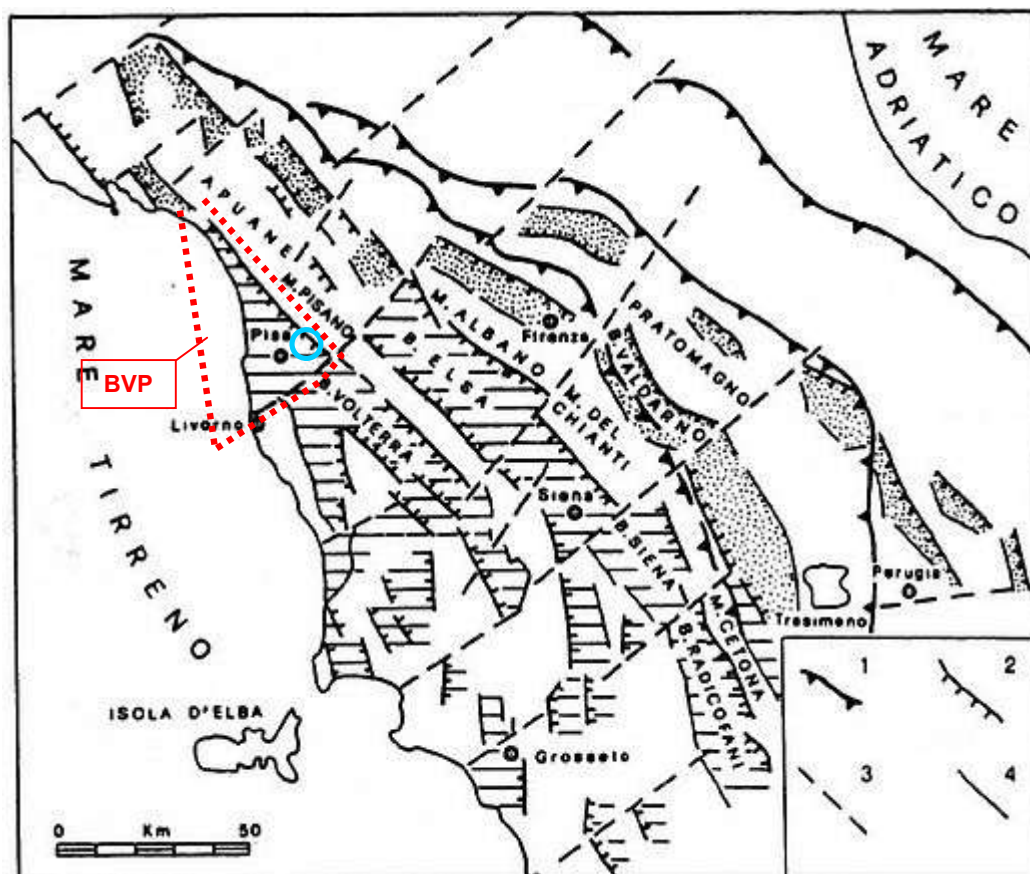


Figura n.5 : Schema dei bacini neogenici e quaternari del versante tirrenico dell'Appennino Settentrionale. 1 : fronti di sovrascorrimento, 2 : faglie normali (dirette) con direzione appennica NO-SE, 3 : lineamenti tettonici trasversali con direzione NE-SO (faglie trascorrenti), 4 : faglie normali secondarie. In rigato i bacini mio-pliocenici con depositi prevalentemente marini; in puntinato i bacini plio-pleistocenici con depositi continentali (Autori Vari, 1992). BVP : Bacino Versiliese-Pisano.

Il *bacino Versiliese-Pisano* ha una forma sub-triangolare allungata in direzione NO-SE, con apice settentrionale incuneato nella zona più a nord dell'alta Versilia addentrandosi nella valle del F. Magra nel tratto terminale (foce) del fiume, ed ha un lunghezza di circa 85 km e larghezza alla base meridionale di circa 40 km.

Esso è delimitato lateralmente ad est-nordest all'allineamento Alpi Apuane - Monti d'Oltre Serchio - Monti Pisani, ad ovest-nordovest dalla Dorsale di Viareggio sommersa dal mare e a sud-sudovest dalla Dorsale sommersa della Meloria (secche della Meloria), dai Monti e Colline Livornesi e dai Monti di Casciana Terme (Mazzanti e Pasquinucci, 1983; Pascucci V., 2005; Sarti G. et alii, 2015).

Questo bacino, tra quelli di origine tettonica estensionale della Toscana, è l'unico che si sviluppa in parte in mare ed in parte in ambiente continentale (figure n.6, n.7, n.8, n.9).

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

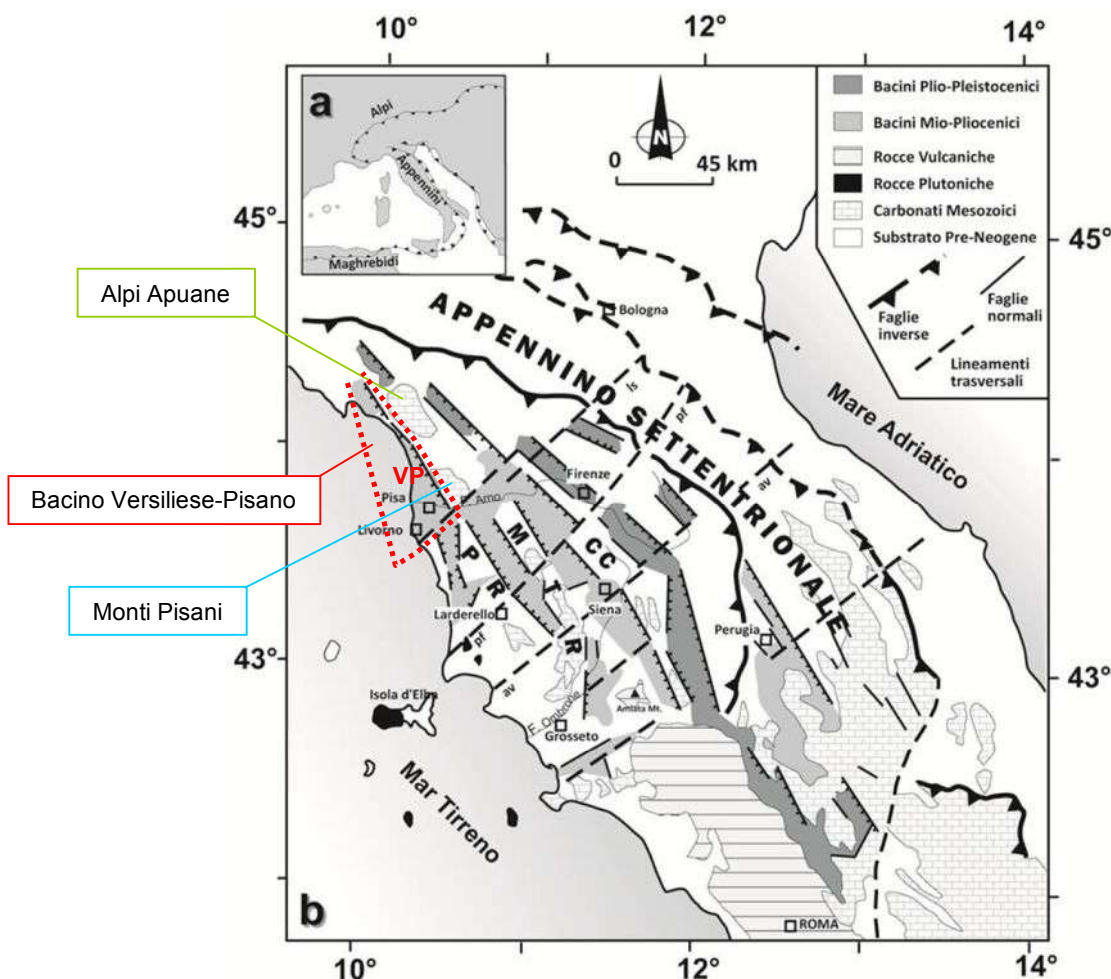


Figura n.6 : Localizzazione dei bacini neogenici-quaternari del versante occidentale dell'Appennino Settentrionale e delle principali strutture associate. Lineamenti tettonici principali : longitudinali con direzione appenninica NO-SE (faglie normali, linee nere con i dentini); trasversali NE-SO (faglie trascorrenti, in tratteggio nero). Av : Arbia-Marecchia; Is : Livorno-Sillaro; pf : Piombino-Faenza; PR : Dorsale Peri-Tirrenica; MTR : Dorsale Medio Toscana; CC : Dorsale Chianti-Cetona (Capezzuoli E., 2013).



Figura n.7 : Schema tettonico del Bacino Versiliese-Pisano (Mazzanti e Pasquinucci, 1983, modificato).

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

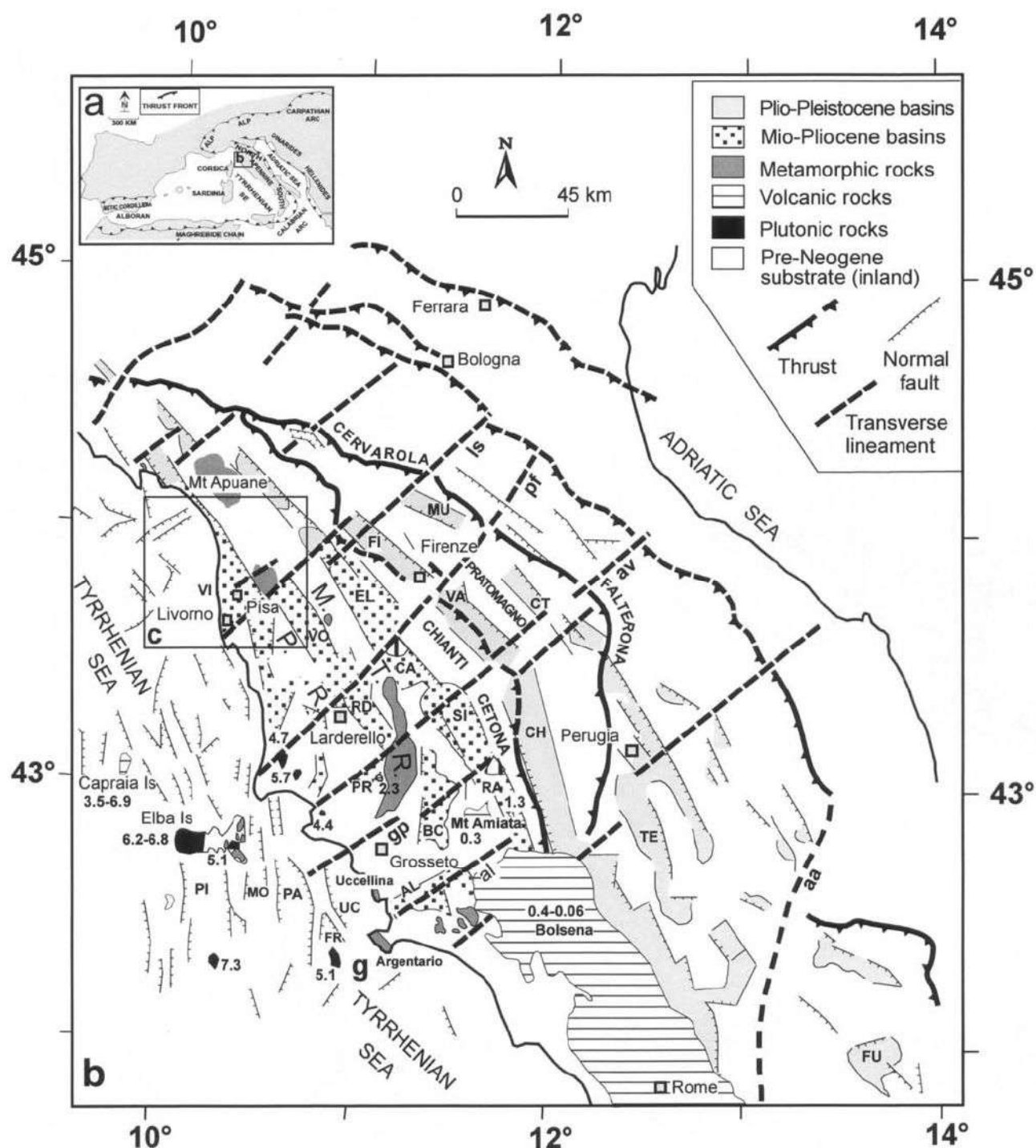


Figura n.8 : Mappa schematica strutturale. Bacini Neogenici-Quaternari : AL - Albenga, BC - Baccinello, CA - Casinò, CH - Chianti, CT - Cetona, Casentino, EL - Elsa, FI - Firenze, FR - Formiche, FU - Fucino, MO - Montecristo, MU - Mugello, PA - Punta Ala, PI - Pianosa, RA - Radicofani, RD - Radicondoli, SI - Siena, TE - Tiberino, UC - Uccellina, VA - Valdarno, VI - Viareggio/Pisa, VO - Volterra. Lineamenti Trasversali : aa : Olevano-Antròdoco, al : Albegna, av : Arbia-Marecchia, gp : Grosseto-Pienza, is : Livorno-Sillaro, pf : Piombino-Faenza. MTR : Dorsale Medio Toscana, PR : Dorsale Peritirrenica. I numeri si riferiscono all'età radiometrica delle rocce ignee in milioni di anni. La Toscana è compresa, approssimativamente, tra il lineamento trasversale appena a nordovest delle Alpi Apuane e quello a sudest dell'Argentario, e lateralmente dal thrust (sovrascorrimento-accavallamento) Cervarola-Falterona ad est, e dalla costa tirrenica ad ovest (Pascucci V., 2005.).



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus



Figura n.9 : Mapa schematica della pianura pisana dell'Arno, impostata sul bacino Versiliese-Pisano di origine tettonica, e dei principali lineamenti tettonici longitudinali con direzione appenninica NO-SE (faglie normali, in rosso con i dentini). In rosso con tratto più spesso il lineamento trasversale NE-SO Livorno-Sillaro, con caratteristiche di trascorrenza, che delimita il bacino a sud-sudovest (Sarti G. et alii, 2015). Il cerchio in giallo l'ubicazione indicativa dell'area d'intervento.

Gli studi più recenti, supportati anche da indagini geofisiche e dati stratigrafici profondi, hanno evidenziato che le faglie normali responsabili dell'origine del *graben Versiliese-Pisano* sono caratterizzate da una superficie di scorrimento un andamento planare curvilineo, sub-verticale in superficie e tendente ad appiattirsi in profondità (faglie dirette a basso angolo o faglie listriche). Secondo l'interpretazione di Pascucci V. 2005, la faglia normale principale (master fault) è localizzata in prossimità della attuale linea di costa ed ha una geometria listrica immergente a SO con appiattimento alla profondità di circa 5 km.

Successivamente, a partire dal Pliocene-Pleistocene, con la migrazione verso Est della deformazione, si è generata un'altra faglia lungo il margine occidentale delle Alpi Apuane che ha favorito la subsidenza quaternaria.

I profili sismici a riflessione condotti nello studio di Pascucci, 2005, mostrano uno spostamento verso ovest della faglia principale in corrispondenza dell'attuale foce dell'Arno, dove è stato individuato un alto morfologico del substrato pre-neogenico, compreso tra due strutture con componente trascorrente, che suddivide la depressione tettonica Pisano-Versiliese in due bacini più piccoli, uno a Nord dell'Arno e l'altro a Sud (figura n.10 seguente).

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Sempre secondo Pascucci (2005), sulla base dei rapporti tra le strutture fragili principali e i depositi sedimentari che hanno riempito questi due bacini, analoghi per entrambi, l'autore ritiene che l'attività della faglia principale (master fault) è cessata al Pliocene superiore mentre da qui in poi si sono formate altre strutture ad ENE, lungo i piedi dei Monti Pisani e delle Alpi Apuane, che hanno accomodato la deformazione e creato lo spazio per i sedimenti quaternari.

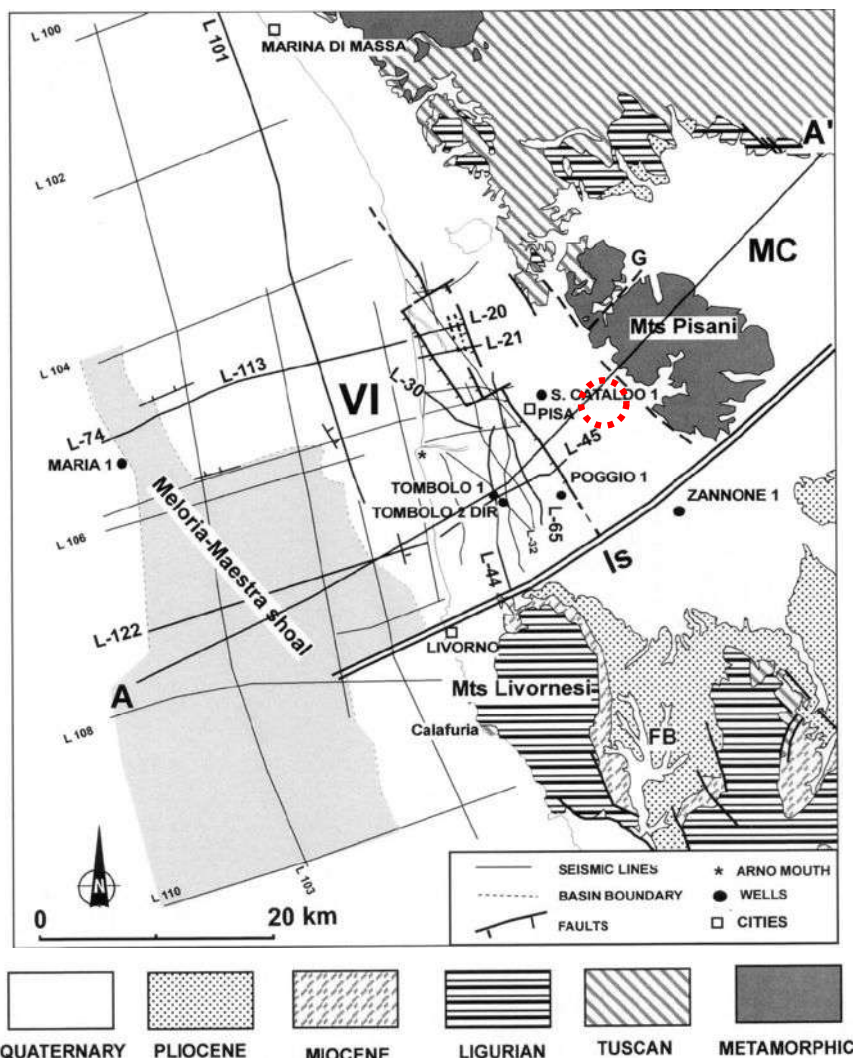


Figura n.10 : Mappa geologica schematica del Bacino Versiliese-Pisano (Bacino di Viareggio) con ubicazione dei profili sismici, dei pozzi e della traccia della sezione A-A'. I dati in mare derivano dai profili sismici, quelli sulla terraferma da Boccaletti et al., 1982 (Pascucci V., 2005). In tratteggio rosso l'ubicazione schematica dell'area d'intervento.

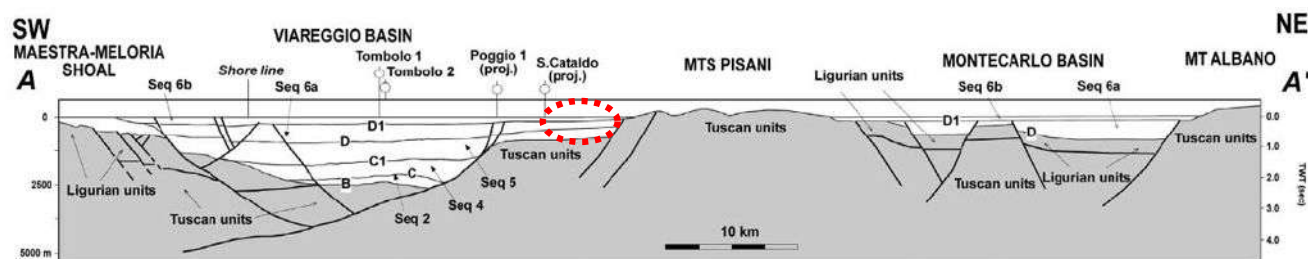


Figura n.11 : Sezione geologica schematica SW-NE (profondità e tempo) lungo il bassofondo Maestra-Meloria-Bacino Versiliese Pisano-Monti Pisani-Bacino di Montecarlo-Monte Albano (Pascucci V., 2005).



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

La sezione schematica A-A' della precedente figura n.11 evidenzia che il sottosuolo del tratto di pianura dell'Arno ricadente nel Comune di San Giuliano Terme, con riferimento ai profili sismici L-45 e L-21 e ai dati stratigrafici del pozzo San Cataldo indicati in figura n.10, è interpretabile come un blocco dei Monti Pisani (Unità Toscana) ribassato da faglie dirette fino alla profondità di circa 800 m e colmato da sedimenti a partire dal Pliocene superiore-Pleistocene. In tale sezione il limite C1 è la base del Pliocene medio mentre il limite D è la base del Pleistocene.

La fossa tettonica *Versilese-Pisana* ha avuto il massimo sviluppo nel Pliocene inferiore-medio ed in seguito è entrato a far parte dell'ampia regione emersa che si estendeva, verosimilmente, fino alla Corsica ed alla Sardegna per poi subire un ulteriore notevole sprofondamento nel Pleistocene inferiore.

All'interno di questa depressione si sono succeduti in modo ritmico ambienti marini e lagunari fino al Pleistocene medio, ognuno con le sue dinamiche di sedimentazione e con i propri caratteristici depositi legati agli importanti mutamenti ciclici del livello del mare dovuti alle vicende periodiche del glacialismo.

La tettonica distensiva che ha interessato questo settore occidentale dell'Appennino Settentrionale, come detto in precedenza, è caratterizzata principalmente da un meccanismo di fagliazione normale che è alla base della sismicità delle porzioni di territorio della Toscana interessate dallo stesso regime tettonico, in accordo con la *Zonazione Sismogenetica "ZS9"* del territorio nazionale dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) che associa alla *zona sismogenetica 916 Versilia-Chianti*, dove ricade anche tutta l'area della Versilia e la Pianura di Pisa, un meccanismo prevalente di fagliazione di tipo normale che genera i terremoti (vedi Relazione Sismica).

#### 1.4.2 - LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI GENERALI

L'attuale assetto geologico e geomorfologico della Pianura di Pisa, come precedentemente detto, è il risultato del riempimento del bacino di sprofondamento tettonico *Versilese-Pisano* con potenti spessori di sedimenti marini, transizionali e continentali la cui origine, natura litologica e dinamica deposizionale è legata alle importanti oscillazioni climatiche avvenute durante il Quaternario che hanno determinato fasi alternate di trasgressione marina (periodi post glaciazione), con invasione delle acque nel continente e sommersione della paleopianura pisano-versilese, e di regressione marina (periodi di glaciazione) con emersione delle terre.

Durante queste variazioni climatiche cicliche, che hanno comportato notevoli escursioni del livello del mare (variazioni glacio-eustatiche), anche la pianura modificava il proprio livello, determinando, di conseguenza, la migrazione del punto di equilibrio dei corsi d'acqua che la

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

solcavano, i quali mutavano ogni volta il proprio tracciato, il proprio livello di base e la propria dinamica per adattarli alle nuove condizioni di equilibrio. L'inizio di questi episodi risale a circa 80.000 anni fa con la c.d. *Trasgressione Tirreniana*.

Gli apporti principali di sedimenti continentali nella depressione Versilese-Pisana provengono dall'erosione delle rocce incassanti le valli dei fiumi Vara e Magra e trasportati dagli stessi due fiumi, mentre quelli provenienti dalle Alpi Apuane, dai Monti d'Oltre Serchio e dai Monti Pisani sono costituiti sostanzialmente da depositi di conoidi pedemontane alluvionale, detritiche e miste. A partire dal Pleistocene medio-superiore il fiume Arno diventa il più importante rifornitore di apporti terrigeni, con ingenti quantità, in parte provenienti dall'erosione delle rocce del bacino del paleo fiume Serchio che con uno di suoi rami principali raggiungeva l'Arno attraversando la depressione di Bientina (ex padule o lago di Bientina). Per quanto riguarda gli apporti diretti dell'attuale fiume Serchio, questi sono da ritenersi poco rilevanti dal momento che il suo superamento della Stretta di Ripafratta risale ad un'epoca recente (VIII-VII secolo A.C.).

Questi depositi poggiano sui blocchi rocciosi sprofondati costituiti dagli stessi litotipi affioranti sui rilievi montuosi che bordano la Pianura di Pisa e tutto il bacino Versilese-Pisano.

#### 1.4.2.1 - LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI LOCALI

Il Comparto n.18 è ubicato al margine meridionale della porzione di pianura alluvionale dell'Arno compresa nel territorio comunale di San Giuliano Terme, a sudest dell'abitato della frazione di Mezzana, ed è posto in destra idrografica del fiume nelle immediate vicinanze del tratto iniziale (orientale) dell'ampia ansa, concava verso sud, che il corso d'acqua ha formato in questa zona durante la sua evoluzione, separando il Comune di San Giuliano Terme, a nord, dal Comune di Cascina a sud.

Esso si colloca in un ampio settore di pianura scarsamente urbanizzato ed edificato, dove gli elementi naturali dominanti sono rappresentati dai terreni adibiti alle pratiche agricole solcati da un reticolo di scoline/fossette per il drenaggio delle acque meteoriche e superficiali che fanno capo ai fossi e capofossi del sistema della bonifica locale.

Il lato meridionale del comparto, circa parallelo al tratto di Via Toniolo che costeggia in rilievo l'argine destro dell'Arno, dista da questo argine circa 30 m dal punto più vicino.

L'area d'intervento è caratterizzata nel complesso da una morfologia pianeggiante con quote sul livello del mare che variano tra 4.5 e 4.8 m, come risulta dall'estratto C.T.R. in scala 1:2.000 in Tavola n.1 allegata, il quale evidenzia anche una discreta omogeneità dell'altimetria tra il comparto e le zone al contorno, con modeste variazioni delle quote che all'esterno del comparto, soprattutto a nord ed est, risultano leggermente e, localmente, sensibilmente inferiori, denotando quindi una debole pendenza verso queste due direzioni.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Il rilievo quotato del comparto, riportato nella specifica Tavola cui si rimanda per prenderne visione, pur confermando in generale una morfologia pianeggiante dell'area, evidenzia comunque la contemporanea presenza, in ordine sparso, di zone lievemente e apprezzabilmente più elevate e di altrettante più depresse rispetto al piano strada di via di Tolone (quota relativa 0.00), in parte dovute alla profilatura a schiena d'asino di chiara origine antropica degli appezzamenti di terreno per le pratiche agricole e per indirizzare le acque meteoriche verso le scoline perimetrali.

Le quote relative positive del terreno sono generalmente comprese tra +1.0/+2.0 cm e +10.0/+20.0 cm, e isolatamente fino a +25.0 cm, con prevalenza di quote inferiori a +10.0 cm.

Le quote negative variano prevalentemente da -1.0/-2.0 cm a -10.0/-20.0 cm, con aumenti locali fino -30.0/-50.0 cm che in prossimità delle fossette campestri e del loro fondo raggiungono -70.0/-90.0 cm.

Gli elementi geomorfologici principali che contraddistinguono questo settore di pianura sono rappresentati da alcuni paleoalvei abbandonati dell'Arno, due dei quali sono segnalati ad ovest e a sud-sudest del comparto, a ridosso dell'argine destro dell'ansa dell'Arno, mentre un'altro è posto più nord compreso tra il Fosso della Carbonaia (3) ed il Fosso della Vicinaia, a testimonianza dell'andamento meandriforme che il fiume ed alcuni suoi rami avevano in passato in modo più accentuato ma che tuttora l'Arno mantiene nonostante le modifiche antropiche apportate al suo corso in epoche recenti, le cui anse ravvicinate presenti in questa parte di pianura e nelle zone più a monte ne sono una evidente prova. Altre forme geomorfologiche di tipo lineare, ma di origine antropica, sono rappresentate dall'argine dell'Arno, da alcune scarpate e dai rilevati stradali (vedi estratto Carta Geomorfologica dell'Indagine Geologico-Tecnica di supporto P.O.C. in Tavola n.1 allegata).

A seguito dei sopralluoghi avvenuti in precedenza e, successivamente, in concomitanza delle esecuzioni delle indagini in sito, estesi ad un intorno significativo, non sono stati rilevati evidenti segni di instabilità geomorfologica e di dissesto in atto dell'area e dei fabbricati limitrofi dovuti a processi geomorfici e geotecnici e di fenomeni erosivi imputabili all'azione delle acque correnti meteoriche e superficiali.

Si segnala tuttavia che la Carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) dell'Indagine Geologico-Tecnica del P.O.C. (vedi estratto di riferimento per l'area in Tavola n.1 allegata) mostra che questa zona, e più in generale tutta la porzione di pianura alluvionale dell'Arno compresa nel territorio comunale ad est del Canale Demaniale, costeggiante la Strada Statale dell'Abetone e del Brennero, ricadono in un'area soggetta a subsidenza con velocità di abbassamento del suolo  $\geq 3$  mm/anno (fonte : Geoportale Nazionale - "*persistent scatterers interferometry*" ERS, ENVISAT, CSK).

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

### 1.4.3 - LINEAMENTI GEOLOGICI

Dal punto di vista geologico l'area è impostata sui depositi alluvionali dell'Arno che con grandi spessori caratterizzano la parte superiore del sottosuolo della pianura pisana.

In questi depositi dominano i sedimenti a gran fine quali : argille, argille limose, limi e limi argillosi, talora  $\pm$  sabbiosi, spesso contenenti materiale organico/torboso che risulta più abbondante e frequente nei tratti di ambiente francamente palustre e fluvio-palustre. Localmente sono comunque presenti, sotto forma di intercalazioni e talvolta con andamento lenticolare, dei ben distinti orizzonti di terreni a granulometria maggiore costituiti da sabbie limose  $\pm$  argillose, di spessore molto minore rispetto alla potenza dei litotipi argillosi e limosi.

Lo spessore dei sedimenti a grana fine in questo settore di pianura è mediamente di 50-60 m, ma localmente è sensibilmente maggiore o minore.

Al di sotto di questo pacco di argille e limi sono presenti degli strati sabbiosi talora ghiaiosi di ambiente continentale, di discreto spessore, che per caratteristiche granulometriche e di permeabilità costituiscono il primo importante acquifero profondo confinato, sede di una falda in pressione, rappresentativi del Primo Acquifero in Sabbia del Sistema Acquifero Multistrato Confinato della pianura pisana, contraddistinto e noto in letteratura con la sigla AMC (Baldacci F. et alii, 1994).

Le stratigrafie relative alle perforazioni di due pozzi per acqua recuperate dai dati di base del Piano Operativo Comunale (codici identificativi I192897 e I192901), realizzati a nord del comparto ad una distanza di circa 300-350 m in linea d'aria, tendono a confermare il quadro geologico generale appena descritto, evidenziando che le sabbie acquifere sono state intercettate a partire da una profondità di circa -60/-70 m dal p.c. ed attraversate per almeno 12-15 m. In un altro pozzo per acqua (codice identificativo I192862), a nordest del comparto e distante circa 500 m in linea d'aria, queste sabbie sono state invece rinvenute alla profondità di circa -80 m dal p.c.

Le modalità e caratteristiche deposizionali e la differenziazione granulometrica di questi depositi sono da imputare alla dinamica fluviale dell'Arno e dei corsi d'acqua discendenti dai versanti montuosi e collinari che raggiunta la pianura la solcavano fino a confluire nell'Arno stesso, tra cui il fiume Serchio prima di deviare il suo corso ed assumere l'andamento attuale, all'energia degli eventi alluvionali, all'evoluzione delle aste dei corsi d'acqua ed ai periodici mutamenti della morfologia e paleogeografia della pianura susseguitisi nel tempo in conseguenza delle successioni cicliche di trasgressione e regressione marina che hanno interessato l'intera pianura pisana durante i periodi glaciali pre e post-wurmiani.

La Carta Geomorfologica del P.O.C. evidenzia che il comparto insiste sui depositi alluvionali, attuali e recenti, prevalentemente argillosi, confermando quindi quanto sopra detto (vedi estratto cartografico di riferimento per l'area in Tavola n.1 allegata).

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

#### 1.4.4 - LINEAMENTI LITO-STRATIGRAFICI

Le risultanze stratigrafiche delle indagini geognostiche eseguite in situ (sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche statiche CPT e CPTU) e gli esiti delle analisi granulometriche condotte sui campioni indisturbati di terreno prelevati nel corso di due sondaggi hanno comprovato la presenza nel sottosuolo locale di sedimenti prevalentemente limoso argillosi sabbiosi e argilloso limosi sabbiosi di ambiente fluviale-fluvio palustre, nella parte più superficiale e con spessori minori, e di ambiente più francamente palustre nel tratto sottostante e con spessori di gran lunga superiori a quelli soprastanti.

In sintesi, come più approfonditamente descritto nei paragrafi successivi della relazione, si è riscontrato che nei primi sette metri di profondità sono presenti dei terreni costituiti prevalentemente da limi sabbiosi  $\pm$  argillosi, limi argillosi  $\pm$  sabbiosi e argille limose  $\pm$  sabbiose di colore beige-nocciola, a tratti con materia organica/torbosa da nera a bruna non molto abbondante, riconducibili ad un ambiente fluviale-fluvio palustre.

Al di sotto e fino alla profondità di -27,50 m dominano invece i sedimenti di evidente ambiente palustre costituiti da limi argillosi  $\pm$  sabbiosi e argille limose  $\pm$  sabbiose grigio-grigio scuro con frequenti e abbondanti inclusioni di sostanza organica/torbosa nera e bruna, talora organizzata in grumi ed orizzonti ben definiti di materiale ligneo spugnoso/fibroso, contenenti anche valve di Lamellibranchi in quantità via via crescente all'aumentare della profondità, soprattutto nel tratto compreso tra -14,00/-15,00 m e -25,00 m. A circa -13,00 m, intercalato a questi sedimenti, è presente un livello di sabbie limose  $\pm$  argillose grigie con modeste inclusioni organiche/torbose di spessore massimo circa 1,00 m.

Infine, tra -27,50 e -32,80 m, massima profondità raggiunta dalle indagini, sono stati attraversati dei limi sabbiosi argillosi e delle argille limose  $\pm$  sabbiose beige-nocciola chiaro, con sfumature grigiastre, che passano a grigie con variegature beige-nocciola nell'ultimo metro circa.

Per quanto riguarda il sub-strato roccioso, riferibile al Complesso Stratificato Litoide dei Monti Pisani, dalla Carta delle MOPS del P.O.C. risulta che nell'area d'intervento esso è localizzabile ad una profondità compresa tra 350 e 450 m dal p.c. (vedi estratto cartografico in Tavola n.1 allegata). Questo basamento è sormontato da una copertura di potente spessore costituita, dall'alto verso il basso, dai sedimenti alluvionali argilloso limosi attuali e recenti di spessore variabile da 20 a 50 m, attraversati in parte dalle indagini geognostiche; dai depositi alluvionali sabbiosi antichi della Formazione pleistocenica delle Sabbie e Limi di Vicarello (sabbie limose e limi argillosi), con spessore maggiore di 50 m e interdigitazioni di materiale di conoide alluvionale; ed infine dai depositi alluvionali antichi prevalentemente limoso argillosi di facies paralica di spessore compreso tra 100 e 300 m, anch'essi con interdigitazioni di depositi di conoide alluvionale.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

I depositi paralici rappresentano il prodotto di processi deposizionali di tipo alluvionale di sedimenti prevalentemente fini che avvengono negli ambienti costieri più interni caratterizzati da un basso idrodinamismo.

#### 1.4.5 - LINEAMENTI IDROGEOLOGICI

La bassa e costiera pianura alluvionale dell'Arno, in cui rientra l'intero Comune di Pisa e gran parte del territorio comunale di San Giuliano Terme ed anche l'area d'intervento, è caratterizzata da un assetto idrogeologico che è sostanzialmente composto da un acquifero superficiale, in cui ha sede una falda freatica, e da alcuni livelli acquiferi profondi, confinati superiormente e inferiormente, contenenti importanti falde in pressione (artesiane).

##### 1.4.5.1 - ACQUIFERO SUPERFICIALE

L'acquifero superficiale è compreso nella copertura a dominanza argilloso limosa e limoso argilloso degli acquiferi profondi, caratterizzata da una permeabilità prevalentemente molto bassa e da uno spessore massimo dell'ordine dei 50-70 m, e si materializza nei livelli dove la frazione limosa e soprattutto sabbiosa risulta preponderante su quella argillosa, consentendo quindi l'instaurarsi di una circolazione idrica sotterranea.

Esso si ritrova solitamente entro pochi metri di profondità ed ha generalmente un modesto spessore che però non è sempre costante, così come anche la sua profondità e continuità laterale, essendo condizionato dalle variazioni granulometriche laterali e verticali dei terreni della copertura in cui esso si colloca; per cui non di rado si presenta frammentato in più orizzonti, talora dislocati a varie profondità, che assumono un andamento lentiforme chiudendosi lateralmente al contatto con i litotipi marcatamente più argillosi ed impermeabili.

La falda in esso contenuta è solitamente di scarsa e ridotta produttività ed è alimentata principalmente dall'infiltrazione diretta delle precipitazioni meteoriche e subordinatamente dal drenaggio dell'acqua della rete idraulica minore (fossi).

Si tratta di una falda con carattere stagionale, essendo la sua ricarica strettamente dipendente dal regime pluviometrico locale, e pertanto è soggetta ad escursioni verticali sia in termini di abbassamenti, durante i periodi di siccità o scarsa piovosità e ricarica, che di innalzamenti in corrispondenza dei periodi maggiormente piovosi durante i quali il livello della tavola d'acqua può, temporaneamente, risalire a quote più prossime al piano di campagna o ristagnare nell'immediato sottosuolo nei tratti meno permeabili a dominanza argillosa.

Questa falda non avendo grandi potenzialità produttive è poco sfruttata con gli emungimenti tramite pozzi e la sua qualità, mancando di una spessa copertura argillosa impermeabile che la protegga, è da ipotizzarsi abbastanza compromessa per i continui interscambi con la superficie, per cui non è da ritenersi adatta per i consumi e usi umani.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

#### 1.4.5.2 - ACQUIFERI PROFONDI

I livelli acquiferi profondi sono composti da depositi sabbiosi e ghiaiosi che nell'insieme costituiscono il *Complesso Acquifero Multistrato Confinato "AMC"*, così definito da Baldacci F. et al, 1994.

Tra questi si distinguono :

- un primo livello, noto come *I° Acquifero Confinato in Sabbie*, costituito da sabbie di spessore dell'ordine delle decine di metri fino ad un massimo di circa 130 m in corrispondenza degli apparati dunari più antichi di Coltano e Castagnolo. Il tetto di queste sabbie nei pressi dall'area d'intervento è posto a profondità variabili da -60 a -80 m circa, mentre procedendo verso la zona costiera pisana la profondità tende a diminuire progressivamente fino al raccordo con le dune antiche che, emergendo dalla copertura impermeabile, si comportano da zona di ricarica diretta della falda. In prossimità del margine nordorientale della pianura in questo acquifero si interdigitano i materiali delle conoidi detritico-alluvionali poste alla base del versante del Monte Pisano, ricevendo un contributo di acque in essi circolanti.
- Un secondo livello, c.d. *I° Acquifero Confinato in Ghiaie*, costituito dalla formazione ghiaiosa dei *Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina*, composta da depositi clastici (ciottoli di anageniti, quarziti, calcari bianchi e grigi con liste di selce) ad elevata permeabilità, originatisi in ambiente continentale-fluviale durante i mutamenti degli antichi tracciati dei corsi dell'Arno e del Serchio (Della Rocca et al, 1987). La profondità del tetto di queste ghiaie varia dai 20 ai 40 m alla base delle Colline Pisane (margine meridionale della pianura pisana), fino a circa 100-170 m procedendo verso il margine nordorientale, dove diventa più discontinuo. La ricarica della falda acquifera in esso contenuta avviene attraverso i rilievi di Vicarello-Collesalveti, i depositi ghiaiosi intra-pedemontani dei Monti Pisani e le alluvioni della valle di Bientina (Baldacci et al, 1994).

Entrambi gli acquiferi sono sedi di importanti falde acquifere confinate (artesiane) di elevata produttività e rappresentano pertanto le risorse idriche principali della pianura pisana, soprattutto quella nelle ghiaie, dalle quali attingono numerosi pozzi per l'approvvigionamento potabile, industriale ed agricolo.

#### 1.4.5.3 - RILIEVO DELLA FALDA NEL SOTTOSUOLO LOCALE

Nel corso delle indagini geognostiche in situ è stata riscontrata la presenza di una circolazione idrica sotterranea ad una profondità abbastanza prossima al piano di campagna locale.

In particolare, nei perfori delle prove penetrometriche statiche CPTU e CPT l'acqua è stata rilevata in data 27/05/2020 a partire dalla profondità di -1,44 m dal p.c..



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Successivamente, nel tubo piezometrico di lunghezza 14,00 m installato nel foro del sondaggio S2 al termine della sua perforazione, avvenuta in data 11/06/2020, il tetto di questa circolazione idrica è stato invece rilevato alla profondità di -0,90 m dal p.c. locale. Questa misura è stata effettuata il giorno 26/06/2020, attendendo alcuni giorni dalla realizzazione del piezometro affinché si stabilizzasse il livello statico dell'acqua nel tubo.

Le misure sono state condotte calando nei perfori delle prove penetrometriche e nel tubo piezometrico una sonda freaticometrica.

Le profondità rilevate farebbero pensare che l'acqua intercettata sia la falda freatica contenuta nell'acquifero superficiale limoso sabbioso/sabbioso limoso compreso nel tratto superiore della copertura impermeabile argilloso limosa degli acquiferi confinati profondi.

Non si esclude, però, che il livello statico misurato possa essere influenzato dalla risalita di acqua per artesianità da alcuni orizzonti sabbiosi limosi/limoso sabbiosi di modesto spessore relativamente più profondi, come quello attraversato tra circa -13,00 e -14,00 m dal p.c. dai due sondaggi, dal tubo piezometrico e dalle cinque prove penetrometriche statiche CPTU e CPT. Inoltre, lo stesso livello potrebbe essere stato disturbato dalle piccole eruzioni di gas e di acqua mista a sabbia verificatesi nel corso delle indagini geognostiche, descritte nel prosieguo della relazione, che potrebbero aver viziato le misure effettuate.

Pertanto, la profondità rilevata del tetto dell'acqua potrebbe non corrispondere a quella effettiva ed attuale della falda freatica che, in base alla esperienze dello scrivente ed in considerazione del periodo asciutto (scarsa piovosità) abbastanza prolungato, è da ipotizzarsi leggermente più profonda.

Si consiglia, quindi, di riverificare questo livello per la fase esecutiva, volendo anche con saggi con escavatore fino a -2,00 m dal p.c., profondità entro la quale dovrebbe essere intercettata la falda freatica "indisturbata" ed entro la quale è presumibile che venga impostata la fondazione dell'edificio nel caso di fondazione superficiale. Tenendo comunque presente che essa è soggetta ad escursioni verticali, potenzialmente anche significative, con risalite prossime al piano di campagna nei periodi maggiormente piovosi, durante i quali l'acqua potrebbe anche ristagnare nei primi metri di profondità nei tratti a dominanza argillosa, e con abbassamenti nei periodi di siccità, data la sua stretta dipendenza dal regime meteorico locale.

I coefficienti di permeabilità K determinati in laboratorio tramite prove edometriche su quattro campioni di terreno, prelevati a varie profondità (2,50-3,00 m, 4,50-5,00 m, 10,50-11,00 m, 27,00-27,50 m) nel corso dei sondaggi geognostici, risultano compresi tra valori prevalenti dell'ordine di grandezza di  $10^{-8}$  e  $10^{-9}$  cm/s, quindi rappresentativi di terreni a bassissima permeabilità, praticamente impermeabili, a dominanza argillosa e argilloso limosa, come quelli che caratterizzano la copertura degli acquiferi profondi in parte attraversati dalle indagini geognostiche.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

#### 1.4.5.4 - VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA LOCALE

Sotto l'aspetto della Vulnerabilità Idrogeologica, nella relativa cartografia del Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa (P.T.C.) il Comparto n.18 in oggetto è compreso in un'ampia area contraddistinta dalla Classe 3 – Sottoclasse 3a, corrispondente ad una Vulnerabilità Idrogeologica Media (vedi estratto della Carta Vulnerabilità Idrogeologica del P.T.C. in Tavola n.1 allegata).

Nelle more dell'art.20, punto 20.1 delle Norme del P.T.C. questa sottoclasse si riferisce a: "situazioni in cui la risorsa idrica considerata presenta un certo grado di protezione, insufficiente tuttavia a garantirne la salvaguardia; in essa ricadono, nelle aree di pianura, le zone in cui sono ipotizzabili tempi di arrivo in falda compresi tra 15 e 30 giorni, quali quelle interessate da falde libere in materiali alluvionali scarsamente permeabili con falda prossima al piano di campagna, da falde idriche in materiali a medio-bassa permeabilità con piezometria depressa per cause naturali, da falde idriche spesso sospese attestate in terrazzi alluvionali non direttamente connessi con gli acquiferi principali ovvero in estesi corpi detritici pedecollinari, nonché alle aree collinari e montuose, alle zone in cui affiorano terreni a bassa permeabilità e alle zone interessate da falde freatiche attestate in complessi detritici sufficientemente estesi o con evidenze di circolazione idrica".

Dal punto di vista progettuale, per quanto riguarda gli scarichi dei reflui civili/domestici provenienti dalla nuova Residenza Sanitari Assistenziale questi saranno convogliati e allontanati nella pubblica fognatura e non dispersi nel sottosuolo tramite sistemi di sub-irrigazione.

Al riguardo tutti i manufatti in cui affluiscono, stazionano e defluiscono i reflui, dalle vasche settiche e/o Imhoff, ai pozzetti, tubazioni, raccordi ecc., dovranno garantire la perfetta tenuta nei confronti di eventuali perdite e sversamenti nel sottosuolo e posati in opera con le dovute attenzioni e accorgimenti al fine di consentire il regolare deflusso e funzionamento.

#### 1.4.6 - LINEAMENTI IDRAULICI

Per quanto riguarda l'assetto idraulico locale, il corso d'acqua principale è il fiume Arno, arginato, che scorre a sud-sudest dell'area ed in vicinanza ad essa.

Il drenaggio del comparto è attualmente garantito dal reticolo di scoline campestri collegate ai capofossi che costeggiano la viabilità perimetrale dell'area (via Toniolo, via di Tolone e Via Traversagna).

Con riferimento al reticolo idraulico di gestione della Regione Toscana (L.R.T. n.79/2012), aggiornato con D.C.R.T. n.28/2020, a nord-nordest del comparto ad una distanza di circa 120 m è presente il tratto iniziale di un fosso, contraddistinto dalla sigla GID 91784, che a partire da circa il piede settentrionale del rilevato stradale di via Traversagna scorre verso nord, con



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI) Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020		Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

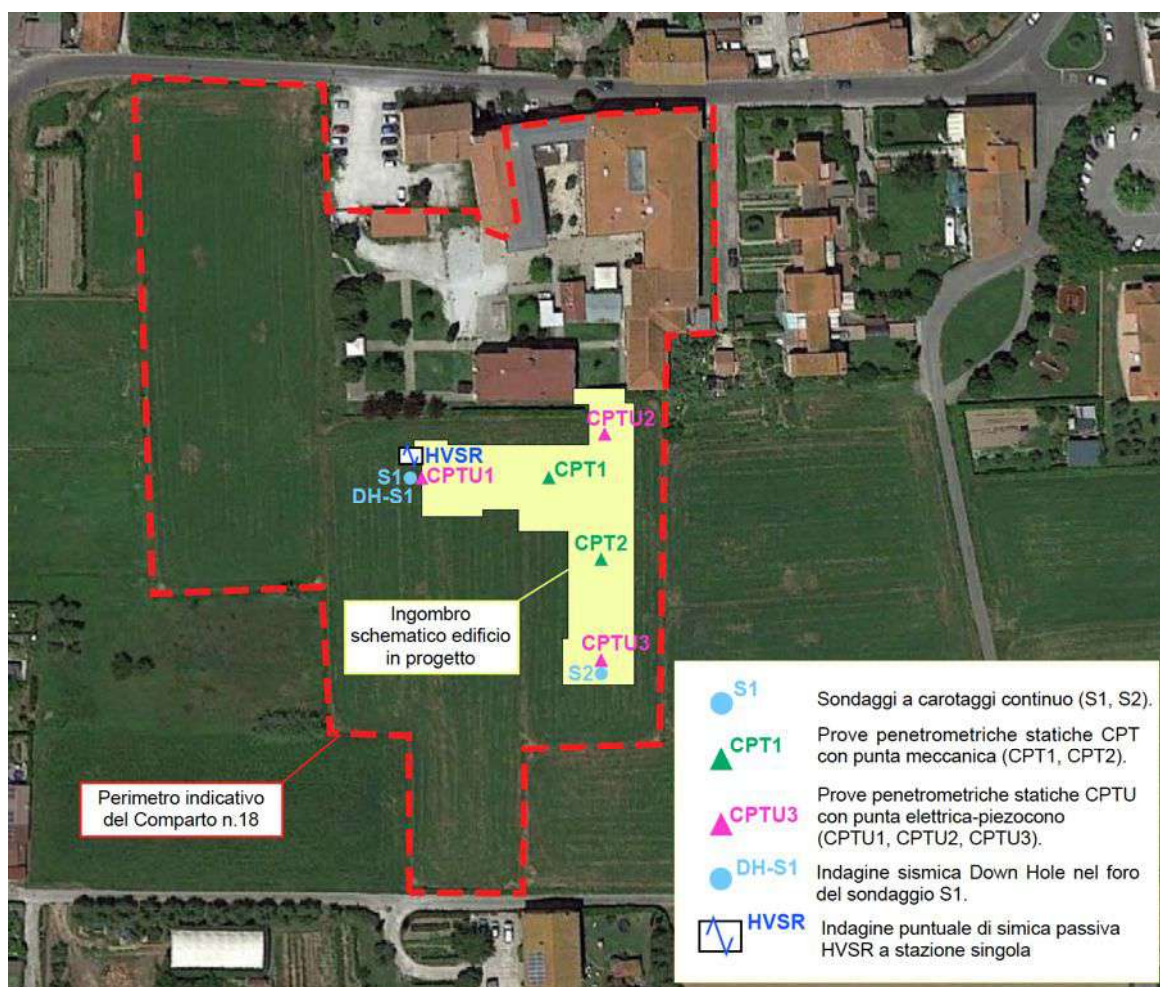


Figura n.13 : Ubicazione indagini geognostiche e sismiche.

Inizialmente si è proceduto con l'esecuzione delle tre prove penetrometriche CPTU, denominate rispettivamente CPTU1, CPTU2, CPTU3, e delle n.2 CPT contraddistinte con le sigle CPT1 e CPT2.

Le prove CPTU sono state spinte fino alla profondità di circa -30,00 m e le CPT fino a -20,00 m, dai rispettivi piani di campagna locali attuali con quote sul livello del mare più o meno coincidenti.

Le risultanze di queste indagini hanno permesso di effettuare una prima ricostruzione dell'assetto geologico del sottosuolo locale, con la distinzione di vari livelli significativi in termini di spessore ed assimilabili ad omogenei per caratteristiche litologiche e di resistenza penetrometrica, che ha consentito di definire in anticipo e con maggiore accuratezza le profondità di prelievo dei campioni indisturbati di terreno nei livelli litologici significativamente differenti nel corso dei sondaggi, comunque sempre con il riscontro delle carote in cantiere.

Al riguardo, si evidenzia che tutte queste prove hanno restituito log delle resistenze penetrometriche di punta ( $q_t$  e  $Q_c$ ) ben correlabili tra loro e praticamente sovrapponibili, denotando quindi una omogeneità litologica-stratigrafica del tratto di sottosuolo investigato.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Successivamente alle prove penetrometriche sono stati quindi eseguiti i n.2 sondaggi, contraddistinti con le sigle S1 e S2, che hanno raggiunto rispettivamente le profondità di - 33,00 m, con carotaggio fino a -32,80 m, e -15,00 m dal piano di campagna locale attuale.

Durante le due perforazioni sono stati prelevati a differenti intervalli di profondità n.4 campioni indisturbati di terreno lungo la verticale S1 (C1-S1, C2-S1, C3-S1, C4-S1) e n.1 campione lungo la verticale S2 (C1-S2), e a questo proposito, ai fini cautelativi, alcuni campioni sono stati presi nei tratti caratterizzati da valori minori della resistenza penetrometrica di punta nell'ambito di uno stesso livello litologico precedentemente individuato.

Il foro del sondaggio S1, al termine delle operazioni di carotaggio, è stato attrezzato e completato per tutta la sua lunghezza (33,00 m) con idonea tubazione in PVC cementata, oltre ad 1,00 m circa emergente fuori terra, per la successiva esecuzione della prova sismica in foro Down Hole (DH).

Nel foro del sondaggio S2, più corto, è stato invece installato un tubo piezometrico in PVC di lunghezza 14,00 m, per il rilievo attuale della falda e per consentirne il monitoraggio fino all'inizio dei lavori, in particolare dello scavo di fondazione. La testa di questo piezometro è stata protetta con un coperchio a fungo che sporge fuori terra per circa 40-50 cm.

Sui n.5 campioni indisturbati di terreno sono state condotte le opportune analisi e prove di laboratorio geotecnico, eseguite dal laboratorio "Laboter s.n.c." di Pistoia dotato di certificazione ministeriale, i cui certificati sono allegati nell'Appendice della presente.

Gli esiti stratigrafici dei due sondaggi hanno consentito di tarare le stratigrafie derivate dalle prove penetrometriche e di verificarne la corrispondenza con quelle ottenute tramite i sondaggi stessi.

Al riguardo è da evidenziare che tutte le stratigrafie ottenute con le prove CPT-CPTU e con i sondaggi sono risultate nel complesso correlabili e coerenti tra loro sia per gli spessori degli strati che per le loro caratteristiche litologiche e di resistenza, a conferma ulteriore della omogeneità lito-stratigrafica del tratto di sottosuolo indagato.

Le prove CPT e CPTU sono state effettuate nei giorni 27 e 28 maggio 2020, il sondaggio S1 è iniziato il giorno 08/06/2020 e terminato il giorno successivo 09/06/2020, mentre il sondaggio S2, a causa delle avverse condizioni meteo del giorno 10/06/2020, è iniziato e terminato in data 11/06/2020.

Le prove CPT e CPTU sono state eseguite dalla ditta GEOSERVIZI s.n.c. ed i sondaggi dalla ditta GAIA Servizi s.n.c. e sono state seguite/assistite in cantiere dallo scrivente per tutta la loro durata.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

## 1.5.1 - PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU E CPT

### 1.5.1.1 - PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU

Le tre prove penetrometriche statiche CPTU con punta elettrica-piezocono sono state condotte utilizzando un penetrometro statico-dinamico Pagani - Mod. TG-73 da 200 kN ( $\approx 20$  t) di spinta, tarato secondo le normative A.G.I. (foto n.1, n.2 e n.3 seguenti)



Foto n.1 : Postazione prova penetrometrica statica CPTU1 (vista da sudest)



Foto n.2 : Postazione prova penetrometrica statica CPTU2 (vista da sudest)

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>



Foto n.3 : Postazione prova penetrometrica statica CPTU3 (vista da sudest)

#### 1.5.1.2 - GENERALITA' SULLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU

La prova penetrometrica statica CPTU rappresenta una variante di maggior dettaglio della prova CPT (penetrometria statica con punta meccanica) e della prova CPTE (penetrometria statica con punta elettrica).

In questa indagine viene utilizzata una punta conica elettrica in acciaio, come per le CPTE, anch'essa di superficie di 10 cm<sup>2</sup> e angolo di apertura di 60°, attrezzata con un filtro costituito da una o più piastre porose di ceramica fine o di acciaio, posizionate alla base della punta conica e collegate a trasduttori di pressione per la misura delle pressioni neutre alla punta, ossia della pressione interstiziale  $u_2$ , sia in fase di avanzamento che a penetrometro fermo (figure n.14, n.15 e n.16 seguenti).



Figura n.14 : Punta piezocono per prova CPTU





<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Durante la prova vengono registrati di continuo e contemporaneamente, mediante trasduttori elettrici, la resistenza alla punta "qc" (qt) e laterale fs ed anche la pressione interstiziale dell'acqua nei pori del terreno "u", a differenza di quanto accade nelle prove CPT.

Un ulteriore differenza con le prove CPT è che nelle CPTU per l'infissione della punta non sono necessarie le astine interne alle aste principali, la spinta è data solo dalle aste cave principali al cui interno passa un cavo elettronico collegato con la punta che consente l'alimentazione in tensione (o corrente) dei sensori e la trasmissione diretta e continua dei dati al computer misurati nel corso dell'indagine (figura n.17 seguente).



Figura n.17 : Cablaggio elettronico interno alle aste

Da questa indagine si ottiene anche il diagramma delle sovrappressioni registrate durante la penetrazione della punta nel terreno; altresì, questa strumentazione consente di effettuare prove di dissipazione delle sovrappressioni neutre.

Le misure rilevate vengono registrate direttamente su un computer tramite apposito software ed il passo di lettura varia generalmente da 1 a 5 cm di profondità, in questo caso è di 1 cm.

La possibilità di misurare la pressione interstiziale ha considerevolmente aumentato la capacità interpretativa della prova nei terreni saturi sotto falda. Infatti, durante l'avanzamento della punta, alla velocità di 2 cm/s, nei terreni sabbiosi e permeabili la rottura avviene in condizionate drenate, senza sensibili variazioni della pressione interstiziale, e quindi la pressione misurata coincide con quella in sito ( $u_2 = u_0$ ), mentre nei terreni a grana fine e poco permeabili si generano sovrappressioni interstiziali  $\Delta u$  e quindi viene misurata la pressione  $u_2 = u_0 + \Delta u$ .

Inoltre, poiché la sensibilità dello strumento alla variazione delle pressioni interstiziali è molto alta, in quanto non risente di effetti scala, è possibile identificare anche sottili orizzonti di terreno a permeabilità differente la cui presenza può essere decisiva nella stima dei tempi di consolidazione.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Il riconoscimento delle litologie attraversate durante la prova viene fatto tramite le carte di classificazione dei terreni proposte da Robertson et al., 1986 e Robertson, 1990, dove il tipo di comportamento del terreno (SBT – Soil Behaviour Type) è definito da tre parametri : qt (resistenza alla punta corretta), Rf (rapporto di frizione) e Bq (rapporto della pressione nei pori) nelle carte del 1986, e dagli stessi parametri, ma normalizzati per tenere conto dell'influenza della pressione litostatica con la profondità, nelle carte del 1990.

Nelle carte di Robertson et al., 1986 tali parametri sono così definiti :

- qt è la resistenza alla punta corretta, valida per i terreni a grana fine (argille e limi), sulla base della pressione u misurata in fase di penetrazione e del rapporto tra l'area della punta, Ac, e l'area della parte del cono che agisce direttamente sulla cella di carico An (area netta). Il valore di qt si ottiene dalla relazione :  $qt = qc + u_2 \times (1 - An/Ac)$ , dove il rapporto An/Ac viene determinato tramite calibrazione in laboratorio, qc è la resistenza alla punta misurata in sito e  $u_2$  è la pressione neutra anch'essa rilevata in sito in corrispondenza del filtro poroso posizionato subito dopo la base del cono al di sopra della punta. Nelle sabbie pulite e nei terreni granulari, poichè la pressione dell'acqua è uguale alla pressione idrostatica, risulta  $qc = qt$  e la correzione non è rilevante, mentre nei terreni fini da teneri a rigidi, la pressione dell'acqua interstiziale è considerevole e la correzione può essere significativa, dal 20% al 70 % in alcuni casi (Lunne et al., 1986; Campanella e Robertson, 1988), per cui la qt risulta solitamente maggiore della qc in seguito alla correzione;
- Rf è il rapporto di frizione (%) determinato tramite la relazione  $Rf = (fs / qt) \times 100$ , con fs = resistenza di attrito laterale;
- Bq rappresenta il rapporto della pressione interstiziale o della pressione nei pori (adimensionale) ed è dato dalla relazione :  $Bq = \Delta u / (qt - s_{vo})$ , dove  $\Delta u = u_2 - u_o$ , con  $u_o$  = pressione idrostatica e  $u_2$  = pressione neutra rilevata in sito in corrispondenza del filtro poroso, mentre  $\sigma_{vo}$  è la tensione litostatica verticale totale presente in sito.

I parametri normalizzati relativi alle carte del 1990 dello stesso autore sono invece :

- $Qt_n$  = resistenza alla punta normalizzata, adimensionale =  $(qt - s_{vo}) / \sigma'_{vo}$ ;
- Fr = rapporto di frizione normalizzato =  $(fs / (qt - \sigma_{vo})) \times 100$ ;
- Bq = rapporto della pressione nei pori =  $\Delta u / (qt - \sigma_{vo})$ , con  $\Delta u = u_2 - u_o$ , che è uguale a quello utilizzato nelle precedenti carte.

Come per la prova CPT, anche dall'elaborazione della prova CPTU è possibile ricavare i principali parametri geotecnici dei litotipi attraversati in funzione delle resistenze rilevate e degli indici caratteristici dei terreni (SBT e Ic) anch'essi dipendenti dalle resistenze.

I dati acquisiti durante la prova sono stati elaborati dalla ditta Geoservizi s.n.c., esecutrice di queste indagini, con il software CPeT-IT v.1.7.6.42 prodotto dalla GeoLogisMiki, i cui risultati grafici sono riportati nell'Appendice separata della presente Relazione.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

### 1.5.1.3 - PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

Le due prove penetrometriche CPT con punta meccanica sono state seguite con lo stesso strumento utilizzato per le prove CPTU (vedi foto n.4 e n.5 e Tavola n.2 allegata).



Foto n.4 : Postazione prova penetrometrica statica CPT1 (vista da sudest)



Foto n.5 : Postazione prova penetrometrica statica CPT2 (vista da sudest)

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

#### 1.5.1.4 - GENERALITA' SULLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

La prova penetrometrica statica CPT consiste nel misurare, per tratti successivi di infissione nel terreno di 20 cm di una punta conica in acciaio montata alla base della prima asta, le seguenti grandezze fisico-meccaniche :

- Resistenza alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)                      Qc;
- Resistenza laterale (kg/cm<sup>2</sup>)                        Fs;
- Resistenza totale (kgf)                                Qt.

Le aste, in acciaio, lunghe 1 m e graduate ogni 20 cm, sono dotate di un'astina metallica cilindrica interna che agendo sulla punta meccanica tipo Begemann, attrezzata nella parte superiore con un manicotto per la misura dell'attrito laterale, ne consente la penetrazione nel terreno tramite il sistema di spinta della macchina.

La punta utilizzata in questa prova è conica nella parte finale, con angolo di apertura di 60°, diametro 35,7 mm, area della sezione trasversale  $A_c = 10 \text{ cm}^2$  e superficie laterale del manicotto  $A_s = 150 \text{ cm}^2$  (figura n.18).



Figura n.18 : Punta meccanica Begemann

Nel corso di questa prova viene prima infissa nel terreno, per circa 4 cm, solo la punta (la parte conica finale) rilevando esclusivamente la resistenza di punta (Qc), successivamente, sempre tramite la spinta delle astine interne, viene infissa per altri 4 cm la punta ed il manicotto laterale soprastante misurando, quindi, la resistenza totale punta + laterale (Qt). La resistenza laterale è quindi data dalla differenza  $Qt - Qc$  divisa per l'area del manicotto ( $A_s$ ). Dopo queste operazioni l'intera punta (cono e manicotto) viene approfondita con la spinta delle aste principali di ulteriori 12 cm senza rilevare alcuna misura delle resistenze (figura n.19 seguente).

Questa procedura viene ripetuta via, via fino alla profondità voluta, salvo rifiuto strumentale all'avanzamento, con l'aggiunta di ulteriori aste.

La penetrazione della punta avviene a velocità standard costante di 2 cm/s, come da ASTM D 5778, e le misurazioni delle resistenze sono discontinue con passo di 20 cm.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

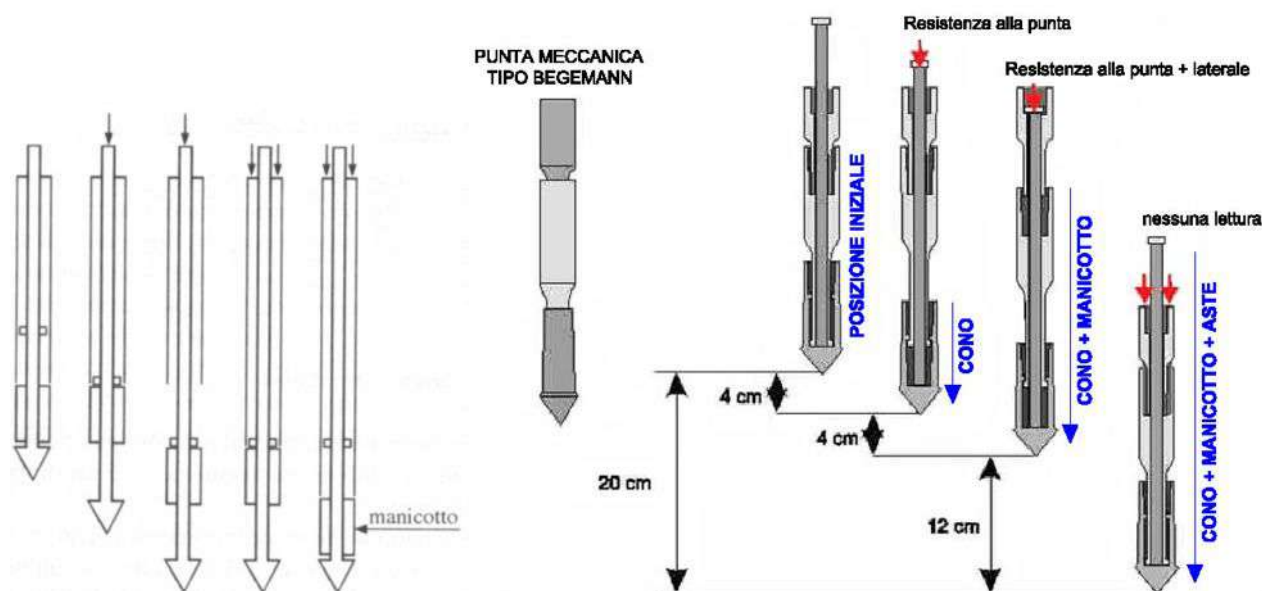


Figura n.19 : Schema della prova CPT con punta meccanica Begemann

Lo strumento (penetrometro) per poter usufruire della sua massima spinta viene ancorato nel terreno per circa 1,50 m tramite due trivelle elicoidale facenti parte del corpo macchina e l'approfondimento della punta nel sottosuolo avviene con l'aggiunta di altre aste alla prima.

Dai valori di  $Q_c$ ,  $F_s$  e  $Q_t$ , che esprimono le caratteristiche di resistenza meccanica del terreno, e del rapporto di frizione ( $F_s/Q_c \times 100$ ), è possibile identificare i litotipi attraversati durante l'indagine secondo i diagrammi classificativi delle litologie da prova CPT proposti da vari autori, in questo caso è stato utilizzato quello di Schmertmann, e quindi ricostruire la successione lito-stratigrafica del tratto di sottosuolo investigato.

L'elaborazione di queste grandezze consente, inoltre, di stimare i principali parametri geotecnici dei terreni indagati (coesione non drenata o resistenza al taglio non drenata " $C_u$ ", angolo di attrito interno o di resistenza al taglio " $\phi$ ", peso dell'unità di volume " $\gamma$ ", densità relativa " $D_r$ " e coefficiente di compressibilità volumetrica " $m_v$ "), secondo correlazioni e relazioni proposte e testate da numerosi autori note in letteratura scientifica e di largo impiego in campo geologico-geotecnico.

Nell'Appendice separata della presente Relazione sono riportati gli elaborati e i grafici di queste due prove penetrometriche dove sono descritte anche le caratteristiche dello strumento utilizzato.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

## 1.5.2 - SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

I due sondaggi a carotaggio continuo S1 e S2 sono stati eseguiti, rispettivamente, in vicinanza alle postazioni delle prove penetrometriche CPTU1 e CPTU3.

Il sondaggio S1 è stato spinto fino alla profondità -33,00 m dal p.c., con carotaggio fino a -32,80 m, ed il sondaggio S2 fino a -15,00 m dal p.c. (vedi ubicazione nelle foto n. 6 e n.7 seguenti ed in Tavola n.2 allegata).



Foto n.6 : Postazione sondaggio S1 (vista da sudest).



Foto n.7 : Postazione sondaggio S2 (vista da sudest).

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

La macchina utilizzata per le perforazioni è una sonda FRASTE - Modello MULTIDRILL ML, l'avanzamento è proceduto con diametro costante di 101 mm utilizzando un rivestimento metallico di diametro 126 mm.

I sondaggi sono stati seguiti per tutta la loro durata dallo scrivente, il quale ha redatto le relative stratigrafie riportate nell'Appendice della presente.

Durante i carotaggi, come detto in precedenza, sono stati prelevati n.4 campioni indisturbati di terreno a differente profondità lungo la verticale S1 e n.1 lungo la verticale S2, utilizzando un campionatore Shelby, per un totale di n.5 campioni, sui quali sono state condotte le opportune analisi e prove di laboratorio geotecnico per la determinazione dei principali parametri fisico-meccanici.

Nella Tabella n.1 sottostante si riporta lo schema riepilogativo dei campioni con le rispettive profondità di campionamento.

Tabella n.1

Sondaggi	Profondità raggiunta (m dal p.c.)	Campioni indisturbati	Profondità di campionamento (m dal p.c.)
S1	33,00 con carotaggio fino 32,80	C1-S1	2,50 - 3,00
		C2-S1	4,50 - 5,00
		C3-S1	10,50 - 11,00
		C4-S1	27,00 - 27,50
S2	15,00	C1-S2	2,50 - 3,00

I sondaggi, data la ottima percentuale di recupero di carotaggio, quantificabile in circa il 100%, ha permesso, attraverso l'osservazione diretta delle carote di terreno, una puntuale determinazione delle quote d'inizio (tetto) e di fine (letto) di ciascun livello litologico significativamente diverso (vedi stratigrafie dei sondaggio S1 e S2 in Appendice).

### 1.5.3 - STRATIGRAFIA RISULTANTE DAI SONDAGGI S1 E S2

Le stratigrafie ottenute con i due sondaggi S1 e S2 sono risultate ben correlabili tra loro sia sotto l'aspetto litologico che degli spessori dei differenti terreni attraversati.

In sintesi, l'assetto stratigrafico desunto da questi sondaggi è schematizzabile come di seguito :

- dal p.c. a -0,80/-1,00 m : terreno vegetale/agricolo limo sabbioso argilloso, localmente con modesto riporto e indurito;
- da -0,80/-1,00 m a -4,00 m : limi sabbiosi ± argillosi, a tratti più argillosi o più sabbiosi, beige-nocciola, con variegature grigiastre e marroni-ocra e inclusioni millimetriche sparse di materia organica/torbosa nera tra -2,50 e -4,00 m, di consistenza da molto bassa a bassa;

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

- da -4,00 m a -7,00 m : argille limose  $\pm$  sabbiose e limi sabbiosi  $\pm$  argillosi beige-nocciola, con inclusioni sparse di materia organica/torbosa nera e bruna da millimetriche fino a 1 cm, di consistenza da media a medio - medio buona;
- da -7,00 m a -27,50 m : potente bancata di limi argillosi  $\pm$  sabbiosi e argille limose  $\pm$  sabbiose, a tratti più limosi/e o sabbiosi/e, da grigio azzurre a grigie - grigio scuro, con inclusioni di materia organica/torbosa fibrosa/spugnosa da nera a bruna, talora molto abbondante ed in grumi e tra circa -22,00 e -23,00 m organizzata in un ben definito orizzonte con assenza o molto scarsa matrice limo argillosa - argillo limosa. Presenza di variegature ocra e grigio-azzurre e di concrezioni millimetriche calcaree grigiastre-biancastre prevalentemente tra -25,00 e -30,00 m circa e di valve di Lamellibranchi, intere o frammentate, nel tratto compreso tra -15,00 e -25,00 m di abbondanza crescente con la profondità. La consistenza di questo pacco di sedimenti, di ambiente palustre, varia prevalentemente da molto bassa a bassa fino a circa -22,00 m e al di sotto da media a medio buona fino a buona, soprattutto nei tratti a maggiore contenuto di bioclasti (valve di Lamellibranchi). Tra -13,30 e -14,40 m è intercalato un livello di sabbie fini - medio fini limose, a tratti argillose, con inclusioni di materiale organica/torbosa nerastra. L'addensamento di questo livello è medio - medio basso.
- da -27,50 m a -32,00 m : argille limose  $\pm$  sabbiose e limi sabbiosi  $\pm$  argillosi beige-nocciola chiaro con variegature ocra-arancio e abbondanti concrezioni calcaree biancastre in diminuzione verso la profondità di -30,00 m circa. Tra -30,00 e -32,00 m circa prevale la frazione limo sabbiosa con variegature ocra-arancio e grigiastre. La consistenza dello strato varia da medio buona a buona.
- da -32,00 m a -32,80 m : argille limose grigie, a tratti più limose, con rare variegature nocciola e resti  $\pm$  abbondanti di valve di Lamellibranchi, di consistenza da media a medio buona.

Al riguardo, si veda i profili lito-stratigrafici dei sondaggi S1 e S2 con le foto delle rispettive carote di terreno nelle cassette catalogatrici riportati nell'Appendice separata della presente Relazione.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

#### 1.5.4 - PICCOLE ERUZIONI DI GAS E DI ACQUA MISTA A SABBIA

Al termine dell'esecuzione delle prove penetrometriche statiche CPT2, CPTU1 e CPTU3 (si veda l'ubicazione in Tavola n.2 allegata), immediatamente dopo l'estrazione dell'ultima asta dal sottosuolo si è assistito, in corrispondenza dei fori di ciascuna di queste tre verticali, ad una piccola eruzione di gas e di acqua mista a sabbia fine-media limosa grigia, con zampilli di circa 20-30 cm di altezza inizialmente continui e successivamente con intermittenza di pochi secondi tra l'uno e l'altro fino al graduale esaurimento del fenomeno (foto n.8, n.9, n.10 seguenti).



Foto n.8 : Eruzione di gas con acqua mista a sabbia in corrispondenza della prova CPT2.



Foto n.9 : Eruzione di gas con acqua mista a sabbia in corrispondenza della prova CPTU1.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>



Foto n.10 : Eruzione di gas con acqua mista a sabbia in corrispondenza della prova CPTU3.

Il materiale che man mano fuoriusciva si depositava in superficie, espandendosi in modo abbastanza regolare intorno alla bocca dei fori, formando dei coni sub-appiattiti di sabbia limosa grigia satura di acqua con evidenti residui di materia organica/tobosa bruna e nera, simili nella forma a quelli conseguenti al fenomeno della liquefazione.

I fori di queste tre prove, terminate le manifestazioni, risultavano allargati più del doppio del diametro della punta a causa dell'erosione delle pareti provocata dalla risalita del materiale eruttivo gassoso, solido e liquido (foto n.11, n.12, n.13 successive).



Foto n.11 : Cono di sabbia molto appiattito in corrispondenza della prova CPTU1.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>



Foto n.12 : Cono di sabbia in corrispondenza della prova CPT2.



Foto n.13 : Cono di sabbia in corrispondenza della prova CPTU3.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI) Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>		<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Molto probabilmente alcuni orizzonti con abbondante materia organica/torbosa in grande concentrazione superati nel corso di queste indagini contengono una certa quantità di gas formatosi durante la trasformazione del materiale ligneo e vegetale (tronchi, rami, radici di alberi) in torba, che rappresenta il primo stadio del processo naturale di *carbonizzazione* attraverso il quale, in un ambiente umido con costante presenza di acqua, caratterizzato da un clima umido-temperato e in condizioni anaerobiche/anossiche, la frazione lignea morta accumulatasi sul fondo del bacino palustre e via via ricoperta di sedimenti a gran fine limosa e argillosa si trasforma prima in torba, poi in lignite, litantrace, antracite ed infine in carbone.

Il gas derivante da tale trasformazione è verosimilmente rimasto intrappolato/confinato nei sedimenti incassanti la sostanza organica, probabilmente ancora non completamente trasformata in torba, formando una sorta di sacca, che, una volta perforati, è risalito in superficie trascinandosi dietro la sabbia e l'acqua originando, così, queste piccole eruzioni.

Lo spessore dei livelli con contenuto torboso particolarmente elevato e concentrato è da ritenersi modesto-molto modesto, così come anche la quantità di gas in essi ospitato, data la durata relativamente breve del fenomeno (mediamente 50-60 minuti).

Al riguardo, dall'osservazione delle stratigrafie dei due sondaggi si è riscontrato la presenza praticamente continua di inclusioni di materia torbosa nei sedimenti limoso argillosi e argilloso limosi fino a circa -28,00 m dal p.c., in quantità variabile e tendenzialmente in aumento con la profondità, ma in particolare sono stati individuati due orizzonti con un maggiore contenuto di questa materia, dall'aspetto fibroso/spugnoso, che potrebbero essere i principali responsabili del fenomeno. Il primo, lungo la verticale del sondaggio S1 tra le profondità di -21,00 e -22,00 m, il secondo in corrispondenza del sondaggio S2 compreso tra -11,00 e -12,00 m dal p.c. (foto n.14 e n.15 sottostanti).



Foto n.14 : Particolare dell'orizzonte torboso tra -21,00 e -22,00 m lungo la verticale del sondaggio S1.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>



Foto n.15 : Particolare dell'orizzonte torboso tra -11,00 e -12,00 m lungo la verticale del sondaggio S2.

Queste manifestazioni si sono apprezzate anche in corrispondenza dei sondaggi S1 ed S2 eseguiti 10-12 giorni dopo in vicinanza alle prove CPTU1 e CPTU3, rispettivamente, seppur in misura e durata molto minore e non con gli stessi effetti; infatti, qui non si sono formati coni di sabbia e si è apprezzato solo una esalazione minima di gas, riconoscibile anche dall'odore, ed una modestissima fuoriuscita di acqua dai fori .

Presumibilmente i fori delle tre prove penetrometriche in cui si è verificato il fenomeno, eseguite precedentemente ai sondaggi, hanno consentito lo sfiato del gas fino all'esaurimento.

Si segnala, inoltre, che durante l'esecuzione della prova sismica Down Hole nel foro del sondaggio S1, vicino alla prova CPTU1, nel tratto compreso tra circa -21,00 e -22,00 m dal p.c. le registrazione dei tempi di arrivo delle onde S e P sono risultate difficoltose, molto probabilmente proprio a causa della presenza del suddetto orizzonte marcatamente torboso (foto n. 14 precedente).

In queste eruzioni l'odore che si percepiva in vicinanza della bocca dei fori era inizialmente molto simile a quello del gas metano, mentre dopo ricordava quello di gas sulfurei.

Il fenomeno non si è manifestato lungo verticali delle prove CPT1 e CPTU2.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

## 1.6 - ANALISI E PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO SUI CAMPIONI DI TERRENO PRELEVATI NEI SONDAGGI S1 E S2

La Tabella n.2 seguente riassume il quadro sinottico delle analisi e prove eseguite sui n.5 campioni complessivi indisturbati di terreno effettuate dal laboratorio geotecnico "LABOTER s.n.c." di Pistoia, dotato di certificazione ministeriale.

Nell'Appendice separata della presente sono riportati i certificati di queste analisi e prove.

Tabella n.2

QUADRO SINOTTICO DELLE ANALISI E PROVE EFFETTUATE SUI CAMPIONI DI TERRENO											
CAMPIONI (m dal p.c.)	$\gamma$	$\gamma_{sat}$	Wn	$e_0$	Por.	Sat.	Limiti di Atterberg	Granulometria completa	Prova ELL	Prova CD	Prova EDO
C1-S1 (2.50-3.00)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
C2-S1 (4.50-5.00)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
C3-S1 (10.50-11.00)	X	X	X	X	X	X	X	X	n.p. (molle)	X	X
C4-S1 (27.00-27.50)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
C1-S2 (2.50-3.00)	X	X	X	X	X	X	n.e.	n.e.	X	X	n.e.

$\gamma$  = peso di volume naturale,  $\gamma_{sat}$  = peso di volume saturo, Wn = contenuto naturale d'acqua o di umidità,  $e_0$  = indice dei vuoti iniziale, Por. = porosità, Sat. = grado di saturazione, Prova ELL = prova di compressione di espansione laterale libera, Prova CD = prova di taglio diretto consolidata drenata, Prova EDO = prova edometrica, x = eseguita, n.p. = non possibile (campione troppo molle), n.e. = non eseguita. S1 = sondaggio n.1, S2 = sondaggio n.2; C1, C2, C3, C4 = campioni di terreno.

### 1.6.1 - CLASSIFICAZIONE DEI CAMPIONI SU BASE GRANULOMETRICA

Le analisi granulometriche complete (setacciatura e aerometria) condotte sui quattro campioni del sondaggio S1 hanno fornito gli esiti riassunti nella Tabella n.3 sottostante, dove è riportata anche la relativa classificazione secondo il criterio A.G.I., 1977.

Tabella n.3

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E SEDIMENTAZIONE					
CAMPIONI E PROFONDITA' DI PRELIEVO (m dal p.c.)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Classificazione delle terre su base granulometrica (Norma A.G.I., 1977)
C1-S1 (2.50 - 3.00)	0.1	20.6	55.7	23.6	Limo argilloso sabbioso
C2-S1 (4.50 - 5.00)	2.2	29.8	50.9	17.1	Limo con sabbia argilloso
C3-S1 (10.50 - 11.00)	0.8	2.6	54.3	42.3	Limo con argilla
C4-S1 (27.00 - 27.50)	0.0	42.3	42.1	15.6	Sabbia con limo argilloso Limo con sabbia argilloso

Con riferimento ai profili stratigrafici dei due sondaggi, il campione C1-S2, è da ipotizzarsi classificabile come il campione C1-S1, essendo stato prelevato nello stello livello litologico e alla stessa profondità.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

## 1.6.2 - CARATTERISTICHE FISICHE DEI CAMPIONI

Le caratteristiche fisiche dei n.5 campioni indisturbati di terreno sono riassunte nella seguente Tabella n.4.

Tabella n.4

CARATTERISTICHE FISICHE DEI CAMPIONI INDISTURBATI DI TERRENO							
CAMPIONI E INTERVALLI DI PRELIEVO (m da p.c.)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{sec}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Wn (%)	e <sub>0</sub>	Por. (%)	Sat. (%)
C1-S1 (2.50 – 3.00) Limo argilloso sabbioso	19.8	15.8	19.8	24.9	0.674	40.3	99.9
C2-S1 (4.50 – 5.00) Limo con sabbia argilloso	19.7	16.0	19.9	23.1	0.651	39.4	95.6
C3-S1 (10.50 – 11.00) Limo con argilla	16.0	10,1	16.2	58.3	1.621	61.9	97.0
C4-S1 (27.00 – 27.50) Sabbia con limo argillosa Limo con sabbia argilloso	20.1	16.4	20.1	22.6	0.613	38.0	99.6
C1-S2 (2.50 – 3.00) Limo argilloso sabbioso	19.6	15.5	19.6	25.6	0.703	41.3	99.4

$\gamma$  = peso di volume naturale,  $\gamma_{\text{sec}}$  = peso di volume secco,  $\gamma_{\text{sat}}$  = peso di volume saturo, Wn = contenuto naturale di umidità, e<sub>0</sub> = indice dei vuoti iniziale, Por. = porosità, Sat. = grado di saturazione.

## 1.6.3 - CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI IN BASE AI LIMITI DI ATTERBERG E AGLI INDICI DI PLASTICITA' E DI CONSISTENZA

### 1.6.3.1 - DEFINIZIONE DEI LIMITI DI ATTERBERG

Il comportamento fisico-meccanico dei terreni a grana fine (argille e limi) è influenzato dal contenuto di acqua naturale Wn, o umidità naturale, il quale dipende dalla quantità percentuale e composizione mineralogica della frazione argillosa in essi presente.

In relazione all'entità del contenuto di acqua questi terreni possono trovarsi in natura in un differente stato fisico : solido (senza ritiro), semisolido (o solido con ritiro), plastico e liquido, e le variazioni del parametro Wn, dovute ad apporti di energia dall'esterno, p.e. ad un carico indotto da una fondazione o ad un terremoto, possono comportare cambiamenti dello stato fisico iniziale in cui essi si trovano, condizionandone quindi il comportamento.

Se il terreno è inizialmente allo stato solido, quindi con Wn minimo, per contenuti sempre più crescenti di acqua può passare allo stato semisolido, allo stato plastico fino allo stato liquido a cui corrisponde il maggiore contenuto di acqua.

Le transizioni tra questi quattro stati fisici possono avvenire anche in senso inverso, ossia al diminuire del contenuto di acqua un terreno allo stato liquido (Wn maggiore) può raggiungere, per passaggi successivi, lo stato solido finale dove Wn è minimo.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Ai passaggi da uno stato fisico all'altro, che comportano anche una variazione di volume del terreno, corrispondono dei limiti di separazione noti in letteratura geotecnica come *limiti di Atterberg o di consistenza*.

*I limiti Atterberg sono pertanto i valori caratteristici del contenuto d'acqua che segnano il confine, ovvero il passaggio, tra due stati fisici contigui del terreno a grana fine e si distinguono in :*

- limite di ritiro ( $W_S$  o LR), tra il passaggio stato solido – stato semisolido;
- limite plastico ( $W_P$  o LP), tra il passaggio stato semisolido – stato plastico;
- limite liquido ( $W_L$  o LL), tra il passaggio stato plastico – stato liquido.

*Il limite liquido  $W_L$  è il valore del contenuto di acqua oltre il quale il terreno perde la sua formabilità/plasmabilità perché diventato troppo fluido, ovvero inizia a perdere il suo comportamento plastico; ed è definito anche come il minimo contenuto di acqua per il quale il terreno scorre per effetto di una piccola pressione comportandosi come un fluido viscoso. Per diminuzione del contenuto di acqua il terreno passa allo stato plastico.*

*Il limite plastico  $W_P$  è il valore del contenuto di acqua in corrispondenza del quale il terreno inizia a diventare plastico, cioè formabile, e rappresenta quindi il minimo contenuto di acqua per il quale il terreno può essere deformato plasticamente senza frantumarsi. Superato questo limite, per diminuzione del contenuto di acqua, il terreno non risulta più plasmabile e passa allo stato semisolido.*

*Il limite di ritiro  $W_S$  è il contenuto di acqua al di sotto del quale una ulteriore perdita di acqua del terreno, per essiccamento, non provoca più variazioni di volume essendo il terreno passato allo stato solido, e tutta l'acqua libera presente, ovvero quella non legata tra le particelle da forze intermolecolari forti, è stata rimossa.*

Le figure n.20 e n.21 seguenti schematizzano i quattro stati fisici del terreno e i limiti di Atterberg.

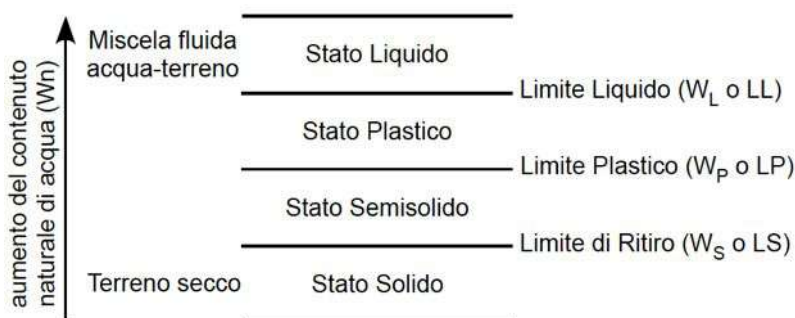


Figura n.20 : Stati fisici dei terreni a grana fine in base al contenuto naturale di acqua ( $W_n$ ) e limiti di Atterberg ( $W_L$ ,  $W_P$ ,  $W_S$ ).

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

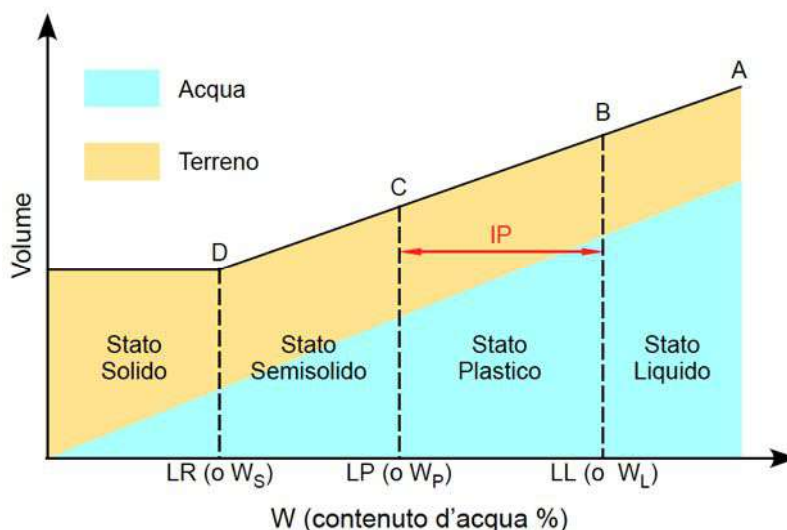


Figura n.21 : Cambiamenti di stato fisico dei terreni a grana fine in reazione al contenuto naturale di acqua (W) e limiti di Atterberg ( $W_S$ ,  $W_P$ ,  $W_L$ ). IP è l'indice di plasticità, dato dalla differenza tra il limite liquido e il limite plastico ( $IP = W_L - W_P$ ).

I limiti di *Atterberg* sono determinati in laboratorio con procedure standardizzate, sia manuali (limite plastico  $W_P$ ) che con l'ausilio di specifiche apparecchiature quali il "cucchiaino di Casagrande" o il "Micropenetrometro a cono" per il limite liquido  $W_L$ . Il limite di ritiro  $W_S$  è invece valutato per successive pesate e determinazioni del volume del provino saturo, in condizione iniziale  $W_n = W_L$ , portato gradualmente e lentamente ad essiccazione, misurando il contenuto di acqua ad ogni passaggio.

In ambito ingegneristico-geotecnico i limiti di maggiore interesse sono quelli di liquidità  $W_L$  e di plasticità  $W_P$  perché forniscono indicazioni sul comportamento fisico-meccanico dei terreni a grana fine. Il limite di ritiro  $W_S$  è invece più specifico per particolari situazioni geologiche, per esempio per la valutazione degli effetti su una fondazione dovuti all'eccessiva variazione di volume dei terreni argillosi durante i periodi più asciutti e siccitosi. Questa variazione simula fenomeni di consolidazione che in realtà non avvengono, pertanto i processi legati a fenomeni di ritiro devono essere attentamente valutati.

### 1.6.3.2 - DEFINIZIONE DEGLI INDICI DI PLASTICITA', DI CONSISTENZA E DI LIQUIDITA'

Conoscendo il contenuto naturale di acqua  $W_n$  e i limiti di Atterberg è possibile determinare gli *indici di Plasticità IP*, di *Consistenza IC* e di *Liquidità IL* che permettono di classificare i terreni a grana fine sulla base delle caratteristiche di plasticità, consistenza e resistenza, secondo le modalità e definizioni descritte nelle Tabelle n.5 e n.6 seguenti.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Tabella n.5 - Classificazione dei terreni in base a IP e IC

IP	PLASTICITA' DEL TERRENO	IC	CONDIZIONE	CONSISTENZA DEL TERRENO
0 - 5	Non Plastico	< (negativo)	$W_n > W_L$	Fluida
		0 - 0.25	$W_n < W_L$	Fluida-Plastica
5 - 15	Poco Plastico	0.25 - 0.50		Molle-Plastica
15 - 40	Plastico	0.50 - 0.75		Plastica
> 40	Molto Plastico	0.75 - 1.0		Solida-Plastica
		> 1.0	$W_n > W_S$	Semisolida-Solida
		> 1,0	$W_n < W_S$	Solida

IP =  $W_L - W_p$ ; IC =  $(W_L - W_n)/IP$ ,  $W_n$  = contenuto naturale d'acqua;  $W_L$  = limite di liquidità,  $W_p$  = limite di plasticità,  $W_S$  = limite di ritiro.

Tabella n.6 - Classificazione dei terreni in base a IL (indice di liquidità)

IL	STATO E RESISTENZA DEL TERRENO
< 0	Stato Semisolida - Resistenza alta. Comportamento fragile, possibile formazione di fratture.
0 - 1	Stato Plastico - Resistenza intermedia. Il terreno si deforma come un materiale plastico.
> 1	Stato Liquido - Resistenza bassa. il terreno si deforma come un liquido viscoso.

IL =  $(W_n - W_p)/IP$  o anche IL = 1 - IC.

L'Indice di Plasticità IP rappresenta l'ampiezza della fase plastica, ossia il campo di variazione del contenuto di acqua all'interno del quale il terreno ha comportamento plastico (può essere deformato plasticamente senza fessurarsi). Esso è dato dalla differenza tra i limiti di liquidità e di plasticità ( $IP = W_L - W_p$ ) e dipende esclusivamente dalla percentuale e tipo di argilla e dalla sua specifica composizione mineralogica e non dalla storia geologica. Per questo motivo la "plasticità" espressa da questo indice è da intendersi come una "caratteristica intrinseca" del terreno che è rivelata dai limiti di Atterberg. Questo indice esprime la quantità di acqua che il terreno può assorbire, pertanto valori elevati prefigurano potenziali fenomeni di rigonfiabilità, ritiro e plasticizzazione. Il valore di IP è condizionato dalla distanza che separa l'umidità naturale dal valore del limite liquido, di conseguenza per  $W_n$  prossimo a  $W_L$  si hanno terreni poco consistenti, mentre valori di  $W_n$  vicini a  $W_p$  individuano terreni più consistenti. Nelle argille normalconsolidate la resistenza al taglio varia al variare di IP.

L'Indice di Consistenza IC è un indicatore che descrive il grado di consistenza dei terreni argillosi e limosi in rapporto al loro contenuto d'acqua naturale. Per la sua determinazione sono messi in relazione il limite liquido  $W_L$ , il contenuto naturale d'acqua  $W_n$  e l'indice di plasticità IP tramite la formula :  $IC = (W_L - W_n) / IP$ . Questo indice rappresenta una "caratteristica estrinseca" del terreno in quanto mette in relazione la sua plasticità con le reali condizioni in

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

sito espresse dal proprio contenuto di acqua naturale. Esiste una proporzionalità inversa tra IC e IP, infatti grandi valori di IP individuano bassi valori di IC e quindi terreni meno consistenti, al contrario per bassi valori IP si hanno terreni maggiormente consistenti. Al valore di IC = 0 corrisponde in teoria il valore di  $W_L$ , mentre IC = 1 al valore di  $W_p$ .

L'Indice di Liquidità IL è il parametro complementare all'indice di consistenza IC essendo legato ad esso dalla relazione :  $IL = (W_n - W_p) / IP$ , ovvero  $IL = 1 - IC$ , e quindi anch'esso dà un'idea del grado di compattezza. Un terreno di elevata consistenza è caratterizzato da valori di  $IL < 0$  ( $IC > 1$ ), mentre un terreno di consistenza via via più bassa da valori di IL sempre più prossimi o maggiori di 1. Per IC = 1 si ha IL = 0.

Ai fini della progettazione geotecnica l'indice di plasticità IP assume particolare importanza in quanto fornisce un'indicazione del campo di variazione di comportamento del terreno nello stato plastico a differenti contenuti di acqua. Infatti, è stato correlato da diversi autori alla resistenza al taglio, alla compressibilità, alla permeabilità ed al rigonfiamento.

Per quanto riguarda IC, ad un aumento del suo valore corrispondono incrementi della resistenza al taglio e una riduzione della compressibilità del terreno.

#### 1.6.3.3 - CONTENUTO DI ACQUA, LIMITI DI ATTERBERG, INDICI DI PLASTICITA', DI CONSISTENZA E DI LIQUIDITA' DEI CAMPIONI

Per i quattro campioni del sondaggio S1 sono stati determinati in laboratorio i valori del contenuto naturale di umidità  $W_n$ , dei limiti di liquidità  $W_L$  e di plasticità  $W_p$  e degli indici di plasticità IP e di consistenza IC; mentre per il campione C1-S2, prelevato nello stesso livello litologico e alla medesima profondità del campione C1-S1, è stato valutato solo il parametro  $W_n$ .

Nella Tabella n.7 di pagina seguente sono riassunti gli esiti di queste determinazioni e per ciascun dei quattro campioni di S1 è indicato anche il valore dell'Indice di Liquidità IL, calcolato dallo scrivente (evidenziato con l'asterisco \*), e la corrispondente classificazione in base ai valori ottenuti per gli indici IP, IC e IL.



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Tabella n.7

CAMPIONI (m dal p.c.)	W <sub>n</sub> (%)	W <sub>L</sub> (%)	W <sub>p</sub> (%)	IP (%)	IC	IL*	Stato fisico, consistenza e resistenza del terreno da IP, IC e IL
C1-S1 (2.50-3.00) Limo argilloso sabbioso	24.9	29,9	18.1	11.8	0.42	0.58	IP : Poco plastico IC : Consistenza molle-plastica IL : Stato plastico. Resistenza intermedia. Il terreno si deforma come un materiale plastico
C2-S1 (4.50-5.00) Limo con sabbia argilloso	23.1	42.2	23.5	18.7	1.02	-0.02	IP : Plastico IC : Consistenza solido-plastica IL : Stato semisolido-plastico. Resistenza intermedia-alta. Comportamento da fragile, con possibile formazione di fratture, a plastico.
C3-S1 (10.50-11.00) Limo con argilla	58.3	55.9	33.1	22.8	-0.10	1.10	IP : Plastico IC : Consistenza fluida IL : Stato liquido. Resistenza bassa. Il terreno si deforma come un fluido viscoso.
C4-S1 (27.00-27.50) Sabbia con limo argillosa Limo con sabbia argilloso	22.6	34.5	22.3-	12.2	0.97	0.03	IP : Poco plastico IC : Consistenza solido-plastica IL : Stato plastico Resistenza intermedia, il terreno si deforma come un materiale plastico.
C1-S2 (2.50-3.00) Limo argilloso sabbioso	22.6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

W<sub>n</sub> = contenuto naturale di acqua (umidità naturale) W<sub>L</sub> o LL= limite di liquidità, W<sub>p</sub> o LP= limite di plasticità, IP = indice di plasticità (W<sub>L</sub> - W<sub>p</sub>), IC = indice di consistenza (W<sub>L</sub> - W<sub>n</sub>) / IP, IL = indice di liquidità (W<sub>n</sub> - W<sub>p</sub>) / IP = 1 - IC, \* = valutato dallo scrivente, n.d. = non determinato.

#### 1.6.4 - INDICE DI ATTIVITA' COLLOIDALE DEI CAMPIONI

Nei terreni a grana fine, come detto in precedenza, la capacità di assorbire l'acqua dipende dalla composizione mineralogica, quindi dal tipo di minerale costituente (natura dei cationi adsorbiti).

Questa capacità, evidenziata dai limiti di Atterberg, influenza l'indice di plasticità IP del terreno che cresce all'aumentare del contenuto percentuale di argilla, e per ogni tipo di argilla questa relazione è individuata da una retta che ha pendenza differente a seconda del minerale maggiormente presente.

La pendenza di questa retta è stata definita da Skempton (1953) come *Indice di Attività Colloidale "IA"* o semplicemente *Attività "A"*, espressa dalla relazione :

$$IA = IP / CF$$

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

dove :

IP = indice di plasticità;

CF = % in peso della frazione argillosa ( $d < 0,002$  mm) misurata sulla curva granulometrica.

In base ai valori di questo indice, che sono via via decresecenti passando dalle Montmorilloniti (Smectiti), alle Illiti fino alle Caoliniti, l'autore ha definito i seguenti gradi di attività dei terreni argillosi (Tabella n.8) :

Tabella n.8

IA (o A)	GRADO DI ATTIVITA' DEL TERRENO
< 0.75	Inattivo
0.75 – 1.25	Normalmente attivo
> 1.25	Attivo

Nella Tabella n.9 sottostante sono invece riportati gli intervalli di variazione dell'indice di attività IA in cui generalmente ricadono i principali minerali argillosi.

Tabella n.9

TIPO DI MINERALE	INTERVALLI DI VARIAZIONE DI "IA"
Caolinite	0.3 – 0.5
Illite	0.5 – 1.3
Na-Montmorillonite	4.0 – 7.0
Ca-Montmorillonite	0.5 – 2.0

Per i quattro campioni del sondaggio S1 lo scrivente ha calcolato i rispettivi indici di attività IA riassunti nella Tabella n.10 successiva, dove sono indicati anche il grado di attività ed il minerale prevalente costituente sulla base delle due precedenti tabelle.

Tabella n.10

CAMPIONI (m dal p.c.)	DESCRIZIONE LITOLOGIE (da granulometria)	IA (IA = IP/CF)	GRADO DI ATTIVITA'	MINERALE PREVALENTE
C1-S1 (2.50-3.00)	Limo argilloso sabbioso	0.5	Inattivo	Limite Caolinite-Illite
C2-S1 (4.50-5.00)	Limo con sabbia argilloso	1.09	Normalmente attivo	Illite
C3-S1 (10.50-11.00)	Limo con argilla	0.54	Inattivo	Limite Caolinite-Illite
C4-S1 (27.00-27.50)	Sabbia con limo argillosa Limo con sabbia argilloso	0.78	Normalmente attivo	Illite

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

La *Carta dell'Attività di Skempton* in figura n.22 seguente riassume quanto sopra detto. In essa sono stati plottati i quattro campioni del sondaggio S1 per i quali è disponibile il valore di IP.

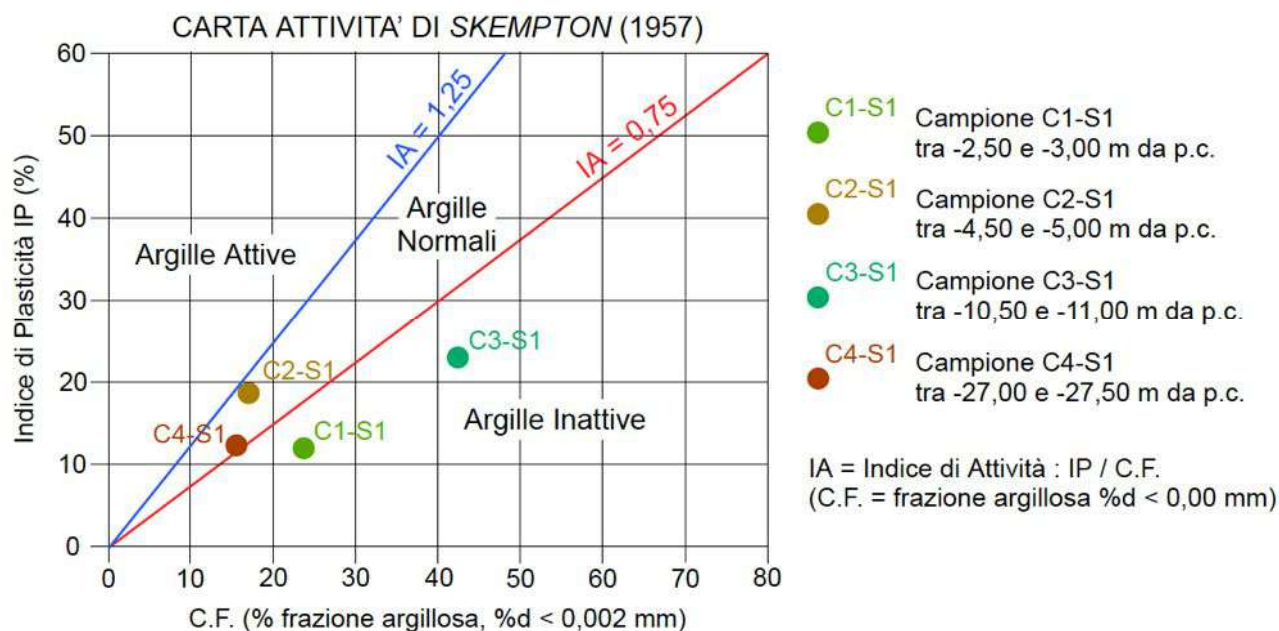


Figura n.22 : Carta Attività di Skempton con ubicazione dei campioni C1-S1, C2-S1, C3-S1, C4-S1.

I campioni C1-S1 e C3-S1 ricadono nel campo delle argille inattive e risultano praticamente allineati secondo una retta parallela alla linea  $IA = 0.75$  che separa le argille normali da quelle inattive al di sotto di essa.

La posizione di questi due campioni mostra anche che il contenuto della frazione argillosa (C.F.) e l'indice di plasticità IP aumentano sensibilmente da C1-S1 (2,50 - 3,00 m) a C3-S1 (10,50-11,00 m), quindi all'aumentare della profondità.

I campioni C2-S1 e C4-S1 si collocano invece nella parte inferiore del campo delle argille normali (normalmente attive), compreso tra le rette  $IA$  di 1.25 e 0.75, anche se il secondo campione si piazza quasi al limite delle argille inattive.

Dalla capacità di assorbimento dell'acqua dipende anche la rigonfiabilità dei terreni argillosi e quindi anche il ritiro. Per evidenziare questo aspetto *Wan Der Merwe* ha proposto una *Carta di Attività*, tipo quella di Skempton, anch'essa basata sull'indice di plasticità IP e sulla percentuale di frazione fine < 0,002 mm (C.F.), nella quale sono riportati 4 campi che individuano differenti potenziali di rigonfiamento, variabili da basso fino a molto alto (figura n.23 in pagina seguente).

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

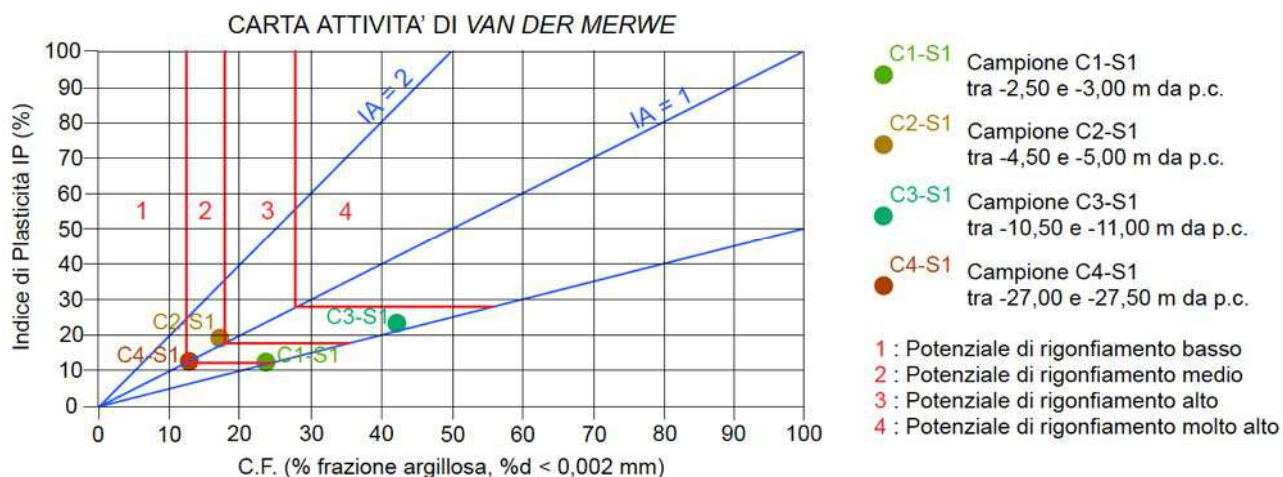


Figura n.23 : Carta Attività di Van der Merwe con ubicazione dei campioni C1-S1, C2-S1, C3-S1, C4-S1.

Relativamente ai suddetti campioni questo grafico evidenzia che :

- per i campioni C1-S1 e C4-S1 il potenziale di rigonfiamento è al limite tra basso (campo 1) e medio (campo 2), giacendo sul ramo inferiore della retta che separa i due campi;
- per il campione C3-S1 il potenziale di rigonfiamento è alto, collocandosi nel campo 3;
- per il campione C2-S1 il potenziale di rigonfiamento è medio seppur abbastanza prossimo al limite con il campo 3 (potenziale di rigonfiamento alto).

#### 1.6.5 - CLASSIFICAZIONE DEI CAMPIONI SULLA BASE DELLA CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE - USCS

Mettendo in relazione l'Indice di Plasticità IP con il Limite di Liquidità  $W_L$  o LL i terreni a grana fine sono classificabili secondo la *Carta di Plasticità di Casagrande - USCS* riportata nella figura n.24 seguente, dove sono stati plottati i 4 campioni di terreno del sondaggio S1.

In base alla posizione occupata in detta Carta i terreni possono appartenere ai seguenti gruppi :

- ML = limi inorganici di bassa e media plasticità/compressibilità (in questo gruppo rientrano anche le sabbie molto fini, le sabbie fini limose o argillose debolmente plastiche);
- MH = limi inorganici e sabbie fini micacee di alta plasticità/compressibilità,
- CL = argille inorganiche di bassa e media plasticità/compressibilità, argille limose e argille sabbiose di bassa plasticità/compressibilità;
- CH = argille inorganiche di alta plasticità/compressibilità;
- OL = limi organici e argille limose organiche di bassa e media plasticità/compressibilità;
- OH = argille organiche di alta plasticità/compressibilità.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

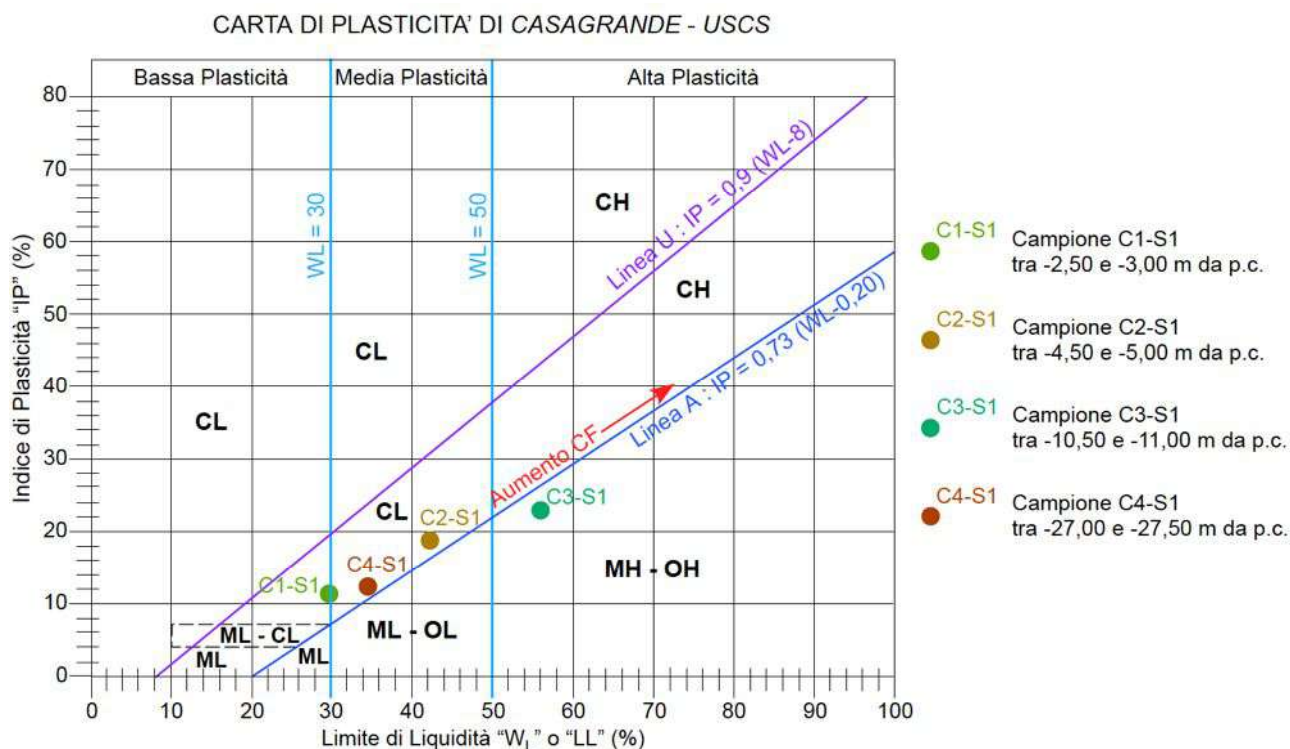


Figura n.24 : Carta di Plasticità di Casagrande (USCS) con ubicazione dei campioni di terreno. CF (clay fraction) : frazione fine argillosa. La retta inclinata A in blu di equazione  $IP = 0,73 (WL-0,20)$  separa i campi delle argille e limi inorganici (sopra la linea) dalle argille e limi organici (campo sottostante). Le rette verticali in azzurro di equazione :  $WL = 30$  e  $WL = 50$  separano invece i campi dei terreni a bassa, media ed alta plasticità. La linea U di equazione  $IP = 0,9 (WL-8)$  rappresenta il limite superiore dei terreni reali.

Relativamente ai soliti quattro campioni del sondaggio S1 si rileva che :

- il campione C1-S1 ricade nel campo delle argille inorganiche di bassa plasticità/compressibilità CL, al limite del campo di quelle a media plasticità sovrapponendosi quasi sulla retta WL (limite di liquidità) = 30;
- il campione C2-S1 rientra nel settore delle argille inorganiche di media plasticità/compressibilità CL, essendo compreso tra le rette  $WL = 30$  e  $WL = 50$ , e si piazza di poco al di sopra della linea A che le separa dal campo dei limi inorganici di media plasticità e dei limi organici e argille limose organiche di media plasticità (ML-OL);
- il campione C3-S1 si colloca nel campo delle argille organiche OH e dei limi organici MH di alta plasticità, a destra della retta  $WL = 50\%$ , quindi con  $WL > 50\%$ , e subito sotto la linea A che le separa dalle argille inorganiche di alta plasticità soprastanti;
- il campione C4-S1 ricade invece nel settore delle argille inorganiche di media plasticità/compressibilità CL, immediatamente al di sopra della linea A che le separa dal campo dei limi inorganici di media plasticità e dei limi organici e argille limose organiche di media plasticità (ML-OL).



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Al riguardo, per la classificazione dei terreni secondo il criterio di *Casagrande* si veda la Tabella n.11 sottostante.

Tabella n.11

TIPO DI TERRENO		PLASTICITA'			W <sub>L</sub> (%)
C	Argille inorganiche	L	CL	bassa e media	< 50
		H	CH	alta	> 50
M	Limi inorganici	L	ML	bassa e media	< 50
		H	MH	alta	> 50
O	Limi organici e Argille organiche	L	OL	bassa e media	< 50
		H	OH	alta	> 50

L (low) bassa e media plasticità, H (high) = alta plasticità,  
CL = Argille inorganiche di bassa o media plasticità, argille limose e argille sabbiose di bassa plasticità,  
CH = Argille inorganiche di alta plasticità,  
ML = Limi inorganici, sabbie molto fini, sabbie fini limose o argillose debolmente plastiche;  
MH = Limi inorganici, sabbie fini micacee di alta plasticità,  
OL = Limi organici e argille limose organiche di bassa plasticità,  
OH = Argille organiche di alta plasticità.

Nei certificati del laboratorio geotecnico in Appendice la classificazione dei terreni in base ai limiti è stata fatta tramite l'*Abaco di Plasticità di Casagrande* non nella versione USCS, ottenendo comunque gli stessi risultati.

### 1.6.6 - RESISTENZA DEI CAMPIONI DA POCKET PENETROMETER E VANE TEST

Su tutti e cinque i campioni di terreno, appena estratti dalle rispettive fustelle, sono state eseguite a varie quote delle misure della resistenza con il Pocket Penetrometer ed il Vane Test per una valutazione speditiva della loro consistenza, i cui esiti sono sintetizzati nella Tabella n.12 successiva.

Tabella n.12

CAMPIONI (m dal p.c.)	DESCRIZIONE LITOLOGIA	RESISTENZA (kPa)		CONSISTENZA
		POCKET (Rp)	VANE TEST	
C1-S1 (2.50 - 3.00)	Limo argilloso sabbioso	50 - 100		Da plastico a consistente
		media 81,2		Plastico
C2-S1 (4.50 - 5.00)	Limo con sabbia argilloso	50 - 150		Da plastico a consistente
		media 95		Plastico
C3-S1 (10.50 - 11.00)	Limo con argilla	25		Molle - Molto Molle
C4-S1 (27.00 - 27.50)	Sabbia con limo argillosa Limo con sabbia argilloso		50 - 75	Plastico
			62,5	
C1-S2 (2.50 - 3.00)	Limo argilloso sabbioso		40 - 45	Molle
			42,5	

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

## 1.6.7 - PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO DEI CAMPIONI

### 1.6.7.1 - PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO NON DRENATA

La resistenza al taglio in condizioni non drenate  $C_u$ , quindi in termini di tensioni totali, di terreni saturi di prevalente composizione granulometrica fine, ovvero caratterizzati da elevati tenori di argilla, può essere ricavata da prove di compressione con espansione laterale libera ELL, nelle quali il valore della pressione applicata  $\sigma_r$  in corrispondenza della rottura del campione (tensione a rottura) è legato alla  $C_u$  secondo la relazione :

$$C_u = \sigma_r / 2$$

Tutti e cinque i campioni sono stati sottoposti a questa prova, ma per il campione C1-S3, tra -10,50 e -11,00 m dal p.c., non è stato possibile eseguirla data la sua consistenza particolarmente molle.

Si segnala, inoltre, che gli altri campioni, nonostante argillosi o con una discreta percentuale di argilla, sono risultati caratterizzati da un marcato tenore di limo e talora di sabbia, in particolare il campione C4-S1 che non risulta marcatamente argilloso.

La Tabella n.13 sottostante riporta i risultati ottenuti dalle prove di compressione ELL.

Tabella n.13

CAMPIONI INDISTURBATI E PROFONDITA' DI CAMPIONAMENTO (m da p.c.)	Prova Espansione Laterale Libera ELL (Norma ASTM D 2166-06)	
	$S_r$ (kPa)	$C_u$ (kPa)
C1-S1 (2.50 – 3.00) Limo argilloso sabbioso	114	57
C2-S1 (4.50 – 5.00) Limo con sabbia argilloso	85	42
C3-S1 (10.50 – 11.00) Limo con argilla	non eseguibile per la consistenza particolarmente molle del campione	
C4-S1 (27.00 – 27.50) Sabbia con limo argillosa Limo con sabbia argilloso	89	44
C1-S2 (2.50 – 3.00) Limo argilloso sabbioso	49	25

$S_r$  = valore di rottura della tensione applicata,  $C_u$  = resistenza al taglio non drenata.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

### 1.6.7.2 - PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO EFFICACI

Per la determinazione dei parametri di resistenza al taglio efficaci  $C'$  e  $\phi'$  (condizioni drenate) dei litotipi campionati sono state eseguite su tutte e cinque i campioni prove di taglio diretto consolidate-lente CD, ottenendo i risultati riportati nella tabella n.14 seguente.

Tabella n.14

CAMPIONI INDISTURBATI E PROFONDITA' DI CAMPIONAMENTO (m da p.c.)	Prova di Taglio Diretto CD (Norma ASTM D 3080-04)	
	$C'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
C1-S1 (2.50 - 3.00) Limo argilloso sabbioso	10.4	25.3
C2-S1 (4.50 - 5.00) Limo con sabbia argilloso	9.1	27.2
C3-S1 (10.50 - 11.00) Limo con argilla	7.4	12.8
C4-S1 (27.00 - 27.50) Sabbia con limo argillosa Limo con sabbia argilloso	21.3	27.7
C1-S2 (2.50 - 3.00) Limo argilloso sabbioso	7.6	23.2

$C'$  = coesione efficace;  $\phi'$  = angolo di resistenza al taglio efficace.

### 1.6.8 - PARAMETRI DI DEFORMABILITA' DEI CAMPIONI

I quattro campioni indisturbati del sondaggio S1 sono stati sottoposti ad una prova edometrica ad espansione laterale impedita (EDO) per la determinazione dei parametri di deformabilità, ovvero del modulo edometrico  $E_{ed}$  o  $M_{ed}$ .

Nei certificati del laboratorio contenuti nell'Appendice separata di questa Relazione per ciascun campione sono riportati anche i grafici  $\Delta e$  (variazione indice dei vuoti) -  $\log \sigma$  (gradini di pressione applicata) ed i valori dei parametri  $C_c$  (indice di compressibilità),  $C_v$  (coefficiente di consolidazione) e  $K$  (coefficiente di permeabilità) corrispondenti a ciascun gradino di pressione applicato.

La prova non è stata eseguita sul campione C1-S2 in quanto riferibile allo stesso livello litologico e prelevato alla medesima profondità del campione C1-S1.

La Tabella n.15 in pagina seguente riassume i valori del modulo edometrico per i vari gradino carico ( $\sigma$ ) ottenuti per ogni campione da questa prova.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Tabella n.15

CAMPIONI E PROFONDITA' DI CAMPIONAMENTO (m dal p.c.)	PROVA EDOMETRICA (EDO) - ASTM D 2435-11						
	gradini di carico applicati - $\sigma$ (kPa)						
	da 12.3 a 24.6	da 24.6 a 49.2	da 49.2 a 98.4	da 98,4 a 196.8	da 196.8 a 393.6	da 393.6 a 787.2	da 787.2 a 1574.4
	Modulo edometrico "Eed" o "Med" (kPa)						
C1-S1 (2.50 - 3.00) Limo argilloso sabbioso	2106	2158	3417	5479	8026	13016	22440
C2-S1 (4.50 - 5.00) Limo con sabbia argilloso	776	1074	1645	2652	8066	16503	28368
C3-S1 (10.50 - 11.00) Limo con argilla	953	1292	1451	1815	2181	5395	11611
C4-S1 (27.00 - 27.50) Sabbia con limo argillosa Limo con sabbia argilloso	-----	2563	2811	5179	8049	11327	17339

$\sigma$  = pressione applicata ai provini (gradini di carico), Eed o Med = modulo edometrico corrispondente.

Il coefficiente di compressibilità volumetrica "mv" è invece il reciproco del modulo edometrico :  $mv = 1/E_{ed}$ .

*Ai fini geotecnici, per il calcolo dei cedimenti il valore del modulo edometrico da considerare deve essere scelto con riferimento all'intervallo tensionale ( $\sigma'_{v_0} + \Delta\sigma$ ) significativo per il problema in esame.*

## 1.7 - MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE PER LIVELLI LITOLOGICI ASSIMILABILI AD OMOGENEI

Tramite le correlazioni lito-stratigrafiche tra le verticali delle indagini geognostiche eseguite (prove penetrometriche CPTU e CPT e sondaggi) ed in considerazione degli esiti delle analisi e prove di laboratorio condotte sui campioni indisturbati di terreno prelevati a differenti profondità nel corso dei due sondaggi, nella Tavola n.3 allegata sono state ricostruite due sezioni litologico-tecniche (1-1' e 2-2'), rappresentative del modello geologico del sottosuolo locale fino alla profondità di circa -33,00 m dal p.c. locale attuale (massima profondità raggiunta dalle indagini).

Come detto in precedenza, le prove penetrometriche CPTU e CPT hanno evidenziato una omogeneità lito-stratigrafica del tratto di profondità investigato al di sotto dell'ingombro del fabbricato in progetto, come mostrano i grafici sovrapposti della resistenza di punta "qt" (prove CPTU) e "Qc" (prove CPT), riportati nella figura n.25 seguente, risultando ben correlabili tra loro e praticamente sovrapponibili, salvo minime variazioni, permettendo, insieme alle stratigrafie dei due sondaggi, di suddividere il sottosuolo in livelli e sub-livelli significativi per spessore ed assimilabili ad omogenei per caratteristiche litologico e fisico-meccaniche.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

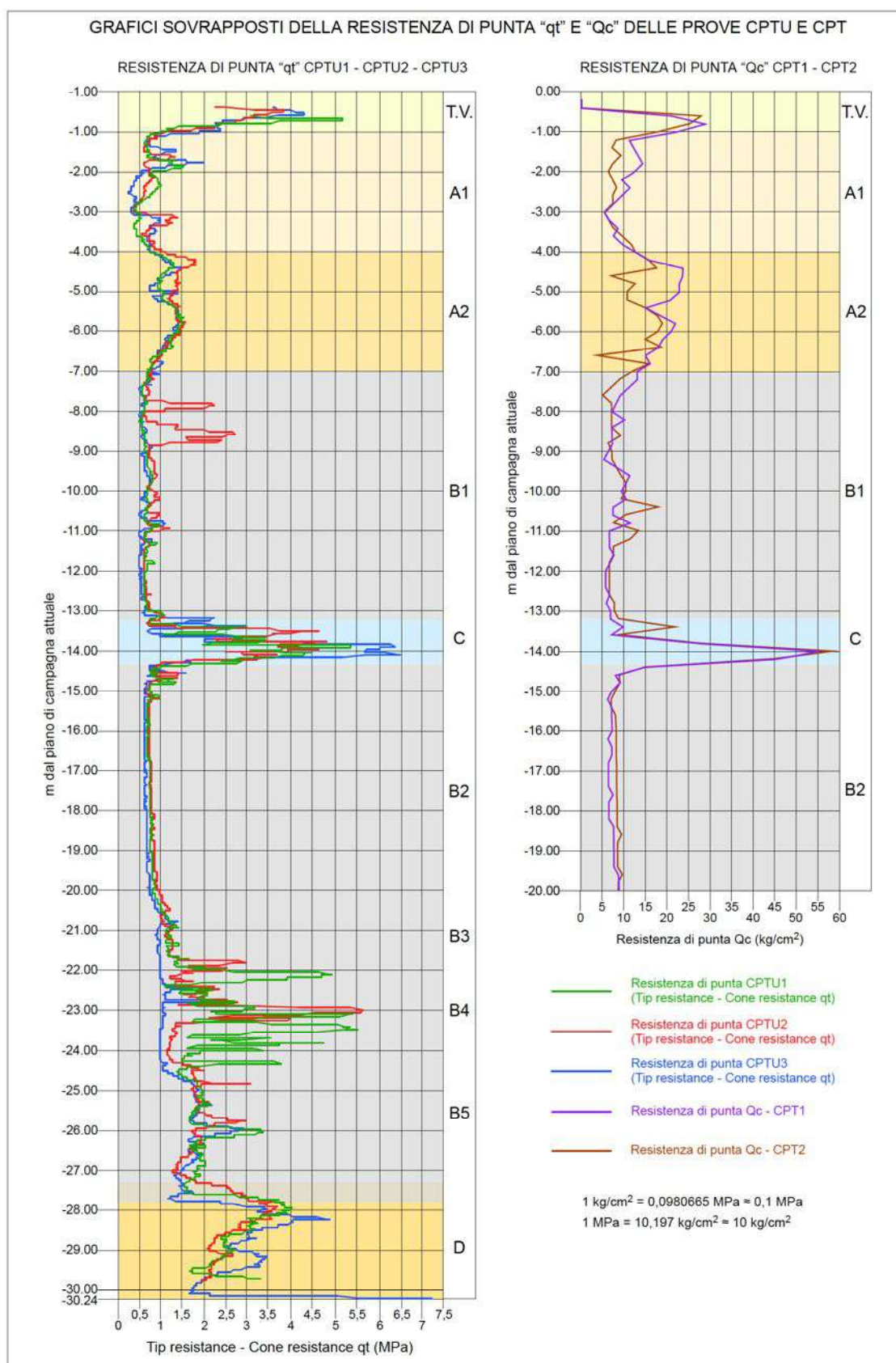


Figura n.25 : Grafici sovrapposti della resistenza di punta delle prove penetrometriche CPTU e CPT.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Nell'ambito del volume di sottosuolo indagato, da una prima discretizzazione dei dati lito-stratigrafici sono stati distinti quattro livelli litologici principali (A, B, C, D) oltre ad uno strato superficiale di terreno vegetale/agricolo di spessore compreso tra 0,80 m e 1,00 m circa ed al tratto iniziale (tetto) di un ulteriore livello (E) attraversato per 80 cm tra -32,00 e -32,80 m lungo S1.

Dato che in uno stesso livello si sono però osservate delle variazioni litologiche, di resistenza di punta penetrometrica e dello stato di consistenza, talora modeste e molto modeste da ritenerle irrilevanti ma a volte più sensibili da non poter essere ragionevolmente trascurate, gli strati A e B sono stati suddivisi in sub-livelli. Il primo, di spessore complessivo circa 6,00 m, in due sub-livelli denominati A1 e A2, il secondo, di spessore molto maggiore del precedente (circa 20,00 m), in cinque sub-livelli denominati B1, B2, B3, B4 e B5.

Nel sub-livello A1, subito al di sotto dell'orizzonte superficiale di terreno agricolo dominano i limi sabbiosi argillosi di colore nocciola-beige, di bassa e molto bassa consistenza che in alcuni tratti è particolarmente bassa. Questi limi, a partire da -4,00 m, passano a prevalenti argille limose sabbiose talora più limose (sub-livello A2), di medio bassa e media consistenza, che si approfondiscono fino alla profondità di -7,00 m. In entrambi i sub-livelli è presente della frazione organica/torbosa nera e bruna, più evidente a partire da -2,50 m circa.

I sub-livelli da B1 a B5 sono costituiti da argille limose  $\pm$  sabbiose e limi argillosi  $\pm$  sabbiosi grigie/grigi di prevalente consistenza molto bassa e bassa (sub-livelli B1 e B2), fino a circa -20,00 m, che migliora gradualmente e  $\pm$  sensibilmente da qui a -27,50 m (sub-livelli B3, B4, B5). Tutti questi sub-livelli sono caratterizzati da un contenuto significativo di materia organica/torbosa nera e bruna, talora abbondante e molto abbondante, fino a formare in alcuni casi degli orizzonti ben definiti di modesto spessore, come quelli tra -21,00 e -22,00 m nel sondaggio S1, dove la frazione torbosa ha un chiaro aspetto spugnoso/fibroso, e tra -11,00 e -12,00 m nel sondaggio S2. Inoltre, al di sotto dei -14,00 m sono presenti valve di Lamellibranchi, anch'esse a tratti abbondanti-molto abbondanti e talora in grumi.

Il livello C, di spessore variabile da 60 cm a 1,00 m circa, è l'unico di natura sostanzialmente granulare, trattandosi di sabbie limose  $\pm$  argillose grigie di medio basso-basso addensamento, e rappresenta una intercalazione che separa i sub-livelli B1 e B2 tra le profondità di circa -13,00 e -14,00 m. Anche in questo livello sono presenti inclusioni di materia torbosa ma in quantità subordinata rispetto al contenuto dei sub-livelli da B1 a B5.

Nel livello D, tra -27,50/-28,00 e -32,00 m, si hanno delle argille limose  $\pm$  sabbiose e limi sabbiosi argillosi beige-nocciola, con concrezioni calcaree biancastre-grigiastre, di buona consistenza, mentre il livello E sottostante che come sopra detto è stato attraversato solo per 80 cm, è costituito da argille limose grigie a tratti passanti a beige-nocciola, di consistenza media-medio buona.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Rimandando alla suddetta Tavola n.3 allegata per i maggiori dettagli, l'assetto geologico del sottosuolo locale è riassumibile come di seguito :

⇒ LIVELLO T.R. : dal piano di campagna (p.c.) fino alla profondità di circa -0,80/-1,00 m. Si tratta di un orizzonte di terreno vegetale/agricolo limoso argilloso  $\pm$  sabbioso, localmente con materiale di riporto in modesta quantità (frammenti di varia pezzatura di laterizi rossi);

⇒ SUB-LIVELLO A1 : da -0,80/-1,00 m a -4,00 m. E' uno strato di prevalente composizione limoso argillosa e sabbiosa di colore beige-nocciola, con un moderato contenuto di frazione organica/torbosa e variegature grigiastre-ocra. La resistenza penetrometrica di punta media (Qc-qt media) dello strato è pari a 8.2 kg/cm<sup>2</sup> mentre lungo le verticali delle CPTU e CPT varia da 7.4 kg/cm<sup>2</sup> a 10.1 kg/cm<sup>2</sup>, ad indicare una bassa e molto bassa consistenza. Tra circa -2,00/-2,50 e -3,00 m la consistenza risulta, invece, particolarmente bassa essendo la Qc-qt media di questo tratto compresa tra 3.9 a 6.0 kg/cm<sup>2</sup>.

Le principali caratteristiche fisiche dei campioni C1-S1 e C1-S2 prelevati in questo livello tra le profondità di -2,50 e -3,00 m, determinate in laboratorio, sono di seguito riassunte.

Campione C1-S1 :

- dall'analisi granulometrica è risultato classificabile come *limo argilloso sabbioso*;
- resistenza con Pocket Penetrometer : 50 - 100 kPa (da molle-plastico a plastico-consistente);
- contenuto di umidità naturale  $W_n = 24.9 \%$ ;
- grado di saturazione  $S = 99.9 \%$  (il terreno è praticamente saturo essendo  $S$  prossimo al 100%);
- il peso di volume  $\gamma$  in condizioni naturale e il peso di volume saturo  $\gamma_{sat}$  coincidono e risultano pari a 19.8 kN/m<sup>3</sup>;
- peso di volume secco  $\gamma_{secco} = 15.8 \text{ kN/m}^3$ ;
- indice dei vuoti  $e_0 = 0.674$ ;
- porosità = 40.3 %;
- limite di liquidità WL (LL) = 29.9 %;
- limite di plasticità WP (LP) = 18,1 %;
- indice di plasticità IP = 11.8 % (poco plastico);
- indice di consistenza IC = 0.42 (consistenza molle-plastica);
- indice di liquidità IL = 0.58 (stato plastico - resistenza intermedia - il terreno si deforma come un materiale plastico);
- nella Carta di Casagrande - USCS ricade nel campo CL delle argille inorganiche di bassa plasticità, al limite del campo CL delle argille a media plasticità, sovrapponendosi quasi sulla retta WL (limite di liquidità) = 30;

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI) Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020		Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

- indice di attività IA secondo Skempton = 0.5 (inattivo), con minerale prevalente al limite tra caolinite e illite;
- nella Carta dell'Attività di Skempton rientra nel settore delle argille inattive;
- nella Carta dell'Attività di Van Der Merwe si colloca al limite dei terreni con potenziale di rigonfiamento basso e medio.

#### Campione C1-S2 :

- all'apertura in laboratorio è descritto come *limo argilloso sabbioso con tracce di torba*;
- resistenza con Vane Test : 40 – 45 kPa (molle);
- grado di saturazione  $S = 99.4 \%$ , quindi il terreno è praticamente saturo essendo  $S$  prossimo al 100%;
- il peso di volume  $\gamma$  in condizioni naturale e il peso di volume saturo  $\gamma_{\text{sat}}$  coincidono e risultano pari a  $19.6 \text{ kN/m}^3$ ;
- peso di volume secco  $\gamma_{\text{secco}} = 15.5 \text{ kN/m}^3$ ;
- porosità = 41.3 %;
- indice dei vuoti  $e_0 = 0.703$ .

⇒ SUB-LIVELLO A2 : da -4,00 m a -7,00 m. Questo livello è costituito da argille limose sabbiose e limi argillosi sabbiosi beige-nocciola, con variegature grigiastre e inclusioni millimetriche, talora fino a 1,00 cm circa, di materia organica/torbosa bruna e nera. La consistenza varia da medio bassa a media come denotano i valori medi della  $Q_c$ - $q_t$  in corrispondenza delle prove penetrometriche che variano da 11.7 a 19.1  $\text{kg/cm}^2$ , mentre il valore medio dell'intero livello è di 14.0  $\text{kg/cm}^2$ .

Le principali caratteristiche fisiche del campione C2-S1 prelevato in questo livello tra -4,50 e -5,00 m, determinate in laboratorio, sono di seguito riassunte.

#### Campione C2-S1 :

- dall'analisi granulometrica è risultato classificabile come *limo con sabbia argilloso*;
- resistenza con Pocket Penetrometer : 50 – 150 kPa (da molle-plastico a consistente);
- contenuto di umidità naturale  $W_n = 23.1 \%$ ;
- grado di saturazione  $S = 95.6 \%$  (il terreno è abbastanza prossimo alla saturazione completa  $S = 100 \%$ );
- peso di volume  $\gamma$  in condizioni naturale =  $19.7 \text{ kN/m}^3$ ;
- peso di volume saturo  $\gamma_{\text{sat}} = 19.9 \text{ kN/m}^3$ ;
- peso di volume secco  $\gamma_{\text{secco}} = 16.0 \text{ kN/m}^3$ ;
- indice dei vuoti  $e_0 = 0.651$ ;
- porosità = 39.4 %;
- limite di liquidità WL (LL) = 42.2 %;
- limite di plasticità WP (LP) = 23.5 %;

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

- indice di plasticità  $IP = 18.7 \%$  (plastico);
- indice di consistenza  $IC = 1.02$  (consistenza solido-plastica);
- indice di liquidità  $IL = -0.02$  (stato semisolido-plastico, resistenza intermedia-alta, il terreno ha un comportamento da fragile a plastico);
- nella Carta di Casagrande - USCS si colloca nel campo CL delle argille inorganiche di media plasticità, nella porzione compresa tra le rette  $WL$  (limite di liquidità) = 30 e  $WL = 50$ ;
- indice di attività  $IA$  secondo Skempton = 1.09 (normalmente attivo), con minerale prevalente illite;
- nella Carta dell'Attività di Skempton rientra nel settore delle argille normalmente attive;
- nella Carta dell'Attività di Van Der Merwe si piazza nel campo dei terreni con potenziale di rigonfiamento medio al limite di quelli con potenziale di rigonfiamento alto.

⇒ SUB-LIVELLO B1 : da -7,00 m a -13,30/-13,60 m. A partire da questo livello si entra nel dominio dei sedimenti marcatamente palustri, qui costituiti da prevalenti argille limose e limi argillosi ± sabbiosi da grigio azzurri a grigi, con frequenti inclusioni di materia organica/torbosa nera e bruna, talora dall'aspetto fibroso/spugnoso, più abbondanti tra -10,00 e -10,50 m, di consistenza da molto bassa a bassa. Al riguardo, la  $Q_c$ - $q_t$  media dello strato è pari a  $7.6 \text{ kg/cm}^2$ , variando lungo le verticali delle prove CPT e CPTU tra 6.8 e  $8.2 \text{ kg/cm}^2$ . Tra -11,00 e -12,40 m la frazione granulometrica dominante è rappresentata dai limi argillosi ± sabbiosi di colore grigio scuro, dove la frazione organica si presenta anche in grumi, mentre al di sotto torna a prevalere apparentemente la frazione argilloso limosa anch'essa grigio scuro. Tra -11,00 e -12,00 m, in corrispondenza del sondaggio S1 è stato attraversato un orizzonte particolarmente ricco di materia organica/torbosa.

Le principali caratteristiche fisiche del campione C3-S1 prelevato in questo livello tra -10,50 e -11,00 m, determinate in laboratorio, sono di seguito riassunte.

#### Campione C3-S1 :

- dall'analisi granulometrica è risultato classificabile come *limo con argilla*;
- resistenza con Pocket Penetrometer : 25 kPa (molle - molto molle);
- contenuto di umidità naturale  $W_n = 58.3 \%$ ;
- grado di saturazione  $S = 97.0 \%$  (il terreno è abbastanza prossimo alla saturazione completa  $S = 100\%$ );
- peso di volume  $\gamma$  in condizioni naturale =  $16.0 \text{ kN/m}^3$ ;
- peso di volume saturo  $\gamma_{\text{sat}} = 16.2 \text{ kN/m}^3$ ;
- peso di volume secco  $\gamma_{\text{secco}} = 10.1 \text{ kN/m}^3$ ;
- indice dei vuoti  $e_0 = 1.621$ ;
- porosità = 61.9 %;



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

- limite di liquidità WL (LL) = 55.9 %;
- limite di plasticità WP (LP) = 33.1 %;
- indice di plasticità IP = 22.8 % (plastico);
- indice di consistenza IC = -0.10 (consistenza fluida);
- indice di liquidità IL = 1.10 (stato liquido - resistenza bassa - il terreno si deforma come un fluido viscoso);
- nella Carta di Casagrande - USCS ricade nel campo delle argille organiche OH e dei limi organici MH di alta plasticità, a destra della retta WL = 50%, quindi con WL > 50%;
- indice di attività IA secondo Skempton = 0.54 (inattivo), con minerale prevalente al limite tra caolinite e illite;
- nella Carta dell'Attività di Skempton rientra nel settore delle argille inattive;
- nella Carta dell'Attività di Van Der Merwe si colloca nel campo dei terreni con potenziale di rigonfiamento alto.

⇒ LIVELLO C : da -13,30/-13,60 m a -14,20/-14,40. Si tratta di un livello di sabbie fini - medio fini limose, a tratti argillose, caratterizzato da un addensamento da medio basso a medio. La Qc-qt media è nel complesso pari a 35.0 kg/cm<sup>2</sup> mentre lungo le verticali delle prove penetrometriche varia da 28.8 a 42.7 kg/cm<sup>2</sup>;

⇒ SUB-LIVELLO B2 : da -14,20/-14,60 m a -20,30 m. Proseguono i depositi argilloso limosi grigio scuri, tipo quelli del livello B1 superiore, con frequente a abbondante contenuto di materia organica/torbosa da nera a bruna e di valve di Lamellibranchi talora in grumi. Al tetto, al passaggio con le sabbie del livello C soprastante, risultano più limose e sabbiose. Al di sotto di -15,80 m sono presenti concrezioni calcaree biancastre-grigiastre. La consistenza è nel complesso molto bassa - bassa, come mostrano i valori della Qc-qt media in corrispondenza delle CPTU e CPT compresi tra 7.5 e 9.5 kg/cm<sup>2</sup>, con valore medio per l'intero strato di 8.5 kg/cm<sup>2</sup>;

⇒ SUB-LIVELLO B3 : da -20,30 m a -21,80/-21,90 m. Continuano i depositi argilloso limosi grigio scuri con abbondante contenuto di frazione organica/torbosa e subordinatamente di valve di Lamellibranchi, simili ai soprastanti del livello B2 ma leggermente più consistenti essendo la Qc-qt media lungo le verticali delle prove CPTU compresa tra 11.1 e 13.8 kg/cm<sup>2</sup>, mentre quella media dell'intero spessore è pari a 12.8 kg/cm<sup>2</sup>. Tra -21,00 e -22,00 m la materia organica/torbosa ha un apprezzabile aspetto fibroso/spugnoso ed è organizzata in un ben definito orizzonte di modesto spessore con assenza o quasi di matrice;

⇒ SUB-LIVELLO B4 : da -21,80/-21,90 m a -24,30/-24,70 m. Si tratta di limi sabbiosi ± argillosi grigio scuro con abbondante contenuto di valve di Lamellibranchi, anche in grumi,

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

che determinano l'andamento frastagliato, con picchi abbastanza elevati, della resistenza penetrometrica di punta, ben evidente lungo le verticali delle prove CPTU1 e CPTU2, mentre in corrispondenza della CPTU3 l'andamento della Qc-qt media è abbastanza lineare e con picchi quasi assenti, verosimilmente per un minore contenuto di questi bioclasti. Nel complesso la consistenza dello stato varia da medio buona a buona e la Qc-qt media è pari a 20.8 kg/cm<sup>2</sup> ma, in relazione al contenuto variabile dei bioclasti, lungo le verticali delle indagini CPTU varia da 12.3 kg/cm<sup>2</sup> (CPTU3), a 21.2 kg/cm<sup>2</sup> (CPTU2) fino a 27.8 kg/cm<sup>2</sup> (CPTU1);

⇒ SUB-LIVELLO B5 : da -24,30/-24,70 m a -27,30/-27,50 m. Questo livello è di nuovo costituito da argille limose ± sabbiose grigio scure, con concrezioni calcaree biancastre-grigiastre e inclusioni di materia organica/torbosa nera e bruna e variegature ocra e grigio azzurro. Alla base, tra -26,00 e -27,50 m, il colore cangia al grigio-beige e a circa -27,00 m è intercalato un orizzonte spesso circa 10 cm di limo argilloso sabbioso grigio-verdastro. La Qc-qt media dell'intero spessore è di 19.8 kg/cm<sup>2</sup> mentre lungo le prove CPTU varia da 18.6 a 21.0 kg/cm<sup>2</sup>, denotando quindi una consistenza complessivamente medio buona – buona. Le caratteristiche fisiche del campione C4-S1 prelevato in questo livello tra -27,00 e -27,50 m), determinate in laboratorio, sono di seguito riassunte.

#### Campione C4-S1 :

- dall'analisi granulometrica è risultato classificabile come *limo con sabbia argilloso o sabbia con limo argilloso* (le percentuali di limo e sabbia sono coincidenti);
- resistenza con Vane Test : 50 – 75 kPa (plastico);
- contenuto di umidità naturale W<sub>n</sub> = 22.6 %;
- grado di saturazione S = 99.6 % (il terreno è praticamente saturo essendo S prossimo al 100%);
- il peso di volume  $\gamma$  in condizioni naturale e il peso di volume saturo  $\gamma_{\text{sat}}$  coincidono e risultano pari a 20.1 kN/m<sup>3</sup>;
- peso di volume secco  $\gamma_{\text{secco}} = 16.4$  kN/m<sup>3</sup>;
- indice dei vuoti  $e_0 = 0.613$ ;
- porosità = 38.0 %;
- limite di liquidità WL (LL) = 34.5 %;
- limite di plasticità WP (LP) = 22.3 %;
- indice di plasticità IP = 12.2 % (poco plastico);
- indice di consistenza IC = 0.97 (consistenza solido-plastica);
- indice di liquidità IL = 0.03 (stato plastico – resistenza intermedia - il terreno si deforma come un materiale plastico);

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

- nella Carta di Casagrande – USCS ricade nel campo CL delle argille inorganiche di media plasticità;
- indice di attività IA secondo Skempton = 0.78 (normalmente attivo), con minerale prevalente illite;
- nella Carta dell’Attività di Skempton rientra nel settore delle argille normali, al limite con quelle inattive;
- nella Carta dell’Attività di Van Der Merwe si colloca al limite dei terreni con potenziale di rigonfiamento basso e medio.

⇒ LIVELLO D : da -27,30/-27,50 m a -32,00 m. Da questo livello cambia il colore delle litologie che diventa in prevalenza a beige-nocciola. Fino a -29,70 m si tratta di argille limose ± sabbiose con variegature ocra-arancio e abbondanti concrezioni calcaree biancastre in diminuzione verso la base. Al di sotto si passa a limi sabbiosi argillosi, anch’essi con variegature ocra-arancio e grigiastre, che alla base risultano più argillosi. Le tre prove penetrometriche CPTU hanno fornito un valore della  $Q_c$ - $q_t$  media dello strato di 30.0 kg/cm<sup>2</sup>, mentre lungo ciascuna di esse i valori variano da 28.5 a 31.5 kg/cm<sup>2</sup>, indicativi di una buona consistenza. A questo proposito si segnala che tali indagini hanno raggiunto la profondità massima di -30,24 m dal p.c., nello specifico la CPTU3, ma dall’esame delle carote del sondaggio S1 tale consistenza si può, ragionevolmente, ritenere estendibile fino a -32,00 m;

⇒ LIVELLO E : da -32,00 m a -32,80 m. Questo tratto, attraversato esclusivamente dal sondaggio S1, probabilmente rappresenta il tetto di un livello il cui spessore effettivo non è stato possibile determinarlo per raggiunta profondità d’indagine. Esso è costituito da argille limose grigie con rare variegature nocciola e resti di valve di Lamellibranchi ± abbondanti. La consistenza, valutata approssimativamente sullo spezzone di carota in cantiere, è media-medio buona.

La Tabella n.17 in pagina seguente schematizza il modello geologico del sottosuolo appena descritto, mentre per una visione più completa ed immediata si rimanda alla Tavola n.3 allegata.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Tabella n.17

MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE PER LIVELLI LITOLOGICI ASSIMILABILI AD OMOGENEI (Tavola n.3 allegata)	Resistenza di punta penetrometrica media qt (per le CPTU) - Qc (per le CPT) (kg/cm <sup>2</sup> )				
(m dal piano di campagna locale attuale)	CPTU1	CPTU2	CPTU3	CPT1	CPT2
LIVELLO T.V. : da p.c. a -0,80/-1,00 Terreno vegetale/agricolo, localmente con modesto riporto;	-----	-----	-----	-----	-----
SUB-LIVELLO A1 : da -0,80/-1,00 a -4,00 Limi argillosi sabbiosi, a tratti con materia organica/torbosa, di consistenza da bassa a molto bassa;	7.4	7.8	7.4	10.1	8.2
Tratto di consistenza particolarmente bassa del Livello A1, tra circa -2,00/-2,50 e -3,00 m	4.7	5.5	3.9	6.0	6.0
SUB-LIVELLO A2 : da -4,00 a -7,00 Argille limose sabbiose e limi argillosi sabbiosi con materia organica/torbosa, di consistenza da bassa a media-medio buona;	11.9	13.5	11.7	19.1	13.9
SUB-LIVELLO B1 : da -7,00 a -13,30/-13,60 Argille limose prevalenti e limi argillosi ± sabbiosi, con materia organica/torbosa, di consistenza da bassa a molto bassa;	7.4	8.2	6.8	7.8	8.0
LIVELLO C : da -13,30/-13,60 a -14,20/-14,40 Sabbie limose ± argillose di addensamento da medio basso a medio;	28.8	31.5	34.0	42.7	38.4
SUB-LIVELLO B2 : da -14,20/-14,40 a -20,30 Argille limose prevalenti con abbondante materia organica/torbosa e valve di Lamellibranchi, di consistenza da bassa a molto bassa;	8.9	9.5	8.1	7.5	8.5
SUB-LIVELLO B3 : da -20,30 a -21,80/-21,90 Argille limose prevalenti con abbondante materia organica/torbosa, di consistenza da bassa a media;	13.5	13.8	11.1	-----	-----
SUB-LIVELLO B4 : da -21,80/-21,90 a -24,30/-24,70 Limi sabbiosi ± argillosi con abbondanti resti di valve di Lamellibranchi, di consistenza da media - medio buona a buona;	27.8 (**)	21.2 (**)	12.3	-----	-----
SUB-LIVELLO B5 : da -24,30/-24,70 a -27,30/-27,50 Argille limose ± sabbiose e limi argillosi con materia torbosa e concrezioni calcaree, di consistenza medio buona - buona;	21.0	19.7	18.6	-----	-----
LIVELLO D: da -27,30/-27,50 a -32,00 (*) Argille limose ± sabbiose e limi sabbiosi argillosi con concrezioni calcaree, di consistenza da medio buona a buona;	29,9	28.5	31.5	-----	-----
LIVELLO E: da -32,00 a -32,80 (*) Argille limose con resti di valve di Lamellibranchi ± abbondanti, di consistenza da media a medio buona;	Livello non attraversato dalle prove penetrometriche, carotato nel sondaggio S1				

(\*) : le prove penetrometriche hanno raggiunto la profondità massima di -30,24 m dal p.c. (CPTU3).

(\*\*) : nel livello B4 i valori maggiori della qt media lungo le verticali CPTU1 e CPTU2 sono da ricondurre al maggiore contenuto di valve di Lamellibranchi, anche in grumi, che invece lungo la verticale CPTU3 è minore (si veda l'andamento frastagliato dei log di resistenza di punta delle CPTU1 e CPTU2 e quello abbastanza lineare della CPTU3).



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

## **2 - RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI**

### **2.1 - MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE E PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI**

Il modello geotecnico del sottosuolo locale, schematizzato nella Tavola n.4 allegata, è stato definito sulla base del modello geologico ricostruito in precedenza con il quale trova piena coerenza sia per il numero e spessore degli strati che per le loro caratteristiche litologico-tecniche.

Anche per il modello geotecnico sono state ricostruite due sezioni litologico-tecniche (1-1, 2-2) mantenendo gli stessi livelli e sub-livelli con i medesimi spessori individuati nel modello geologico.

In relazione alle dimensioni in pianta dell'edificio in progetto, lo spessore di sottosuolo indagato con le indagini geognostiche, spinte ad una profondità massima di 30,00-33,00 m dal p.c., è compatibile con il "volume significativo" di sottosuolo, inteso come il tratto di sottosuolo influenzato direttamente o indirettamente dall'opera e che influenza l'opera stessa, e corrispondente alla profondità alla quale i bulbi delle tensioni indotte da un carico posto in superficie tendono ad esaurirsi o a diventare di entità trascurabile.

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica di ciascun livello/sub-livello litologico, sono stati considerati i valori dei parametri fisico-meccanici dei cinque campioni indisturbati di terreno determinati in laboratorio, già riportati nella Relazione Geologica, e a completamento della parametrizzazione geotecnica quelli stimati dalle prove penetrometriche statiche CPTU e CPT tramite i valori medi cautelativi della resistenza di punta  $q_t$ - $Q_c$  di ogni singolo livello, indicando in questo caso anche gli estremi del campo di variazione (valore medio minimo e massimo).

Per i parametri geotecnici derivati dalle prove penetrometriche si è proceduto ad una analisi ragionata dei dati a favore della sicurezza, confrontando quelli forniti direttamente dalla ditta esecutrice, ottenuti tramite elaborazione con specifico software delle prove CPT e CPTU (si veda gli elaborati in Appendice), con quelli calcolati dallo scrivente, tenendo conto anche degli esiti del laboratorio, scegliendo alla fine i valori ragionevolmente più cautelativi.

Nello specifico, per la determinazione della resistenza al taglio non drenata  $C_u$ , dell'angolo di resistenza al taglio  $\phi$  e del modulo edometrico  $E_{ed}$  o  $M_{ed}$ , sono state utilizzate le seguenti relazioni :

- $C_u = (q_t - \sigma'v_o) / N_k$ , dove  $q_t$  o  $Q_c$  = resistenza di punta penetrometrica,  $\sigma'v_o$  = pressione litostatica efficace al centro dello strato,  $N_k = 21$ ;
- $\phi = 14.4 + 4.8 \times (\ln q_t) - 4.5 \times (\ln \sigma'v_o)$ , Mitchell - Durgunoglu (1973-1975), con  $q_t$  o  $Q_c$  = resistenza di punta penetrometrica,  $\sigma'v_o$  = pressione litostatica efficace al centro dello strato;

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

- Eed o Med per terreni a grana fine =  $\alpha \times q_t$  (Mitchell e Gardner, 1975), con  $\alpha$  = coefficiente funzione della litologia e variabile in relazione al valore di  $q_t$ - $Q_c$ . Per valori di  $q_t$ - $Q_c < 10 \text{ kg/cm}^2$  (ca 1 MPa) si assume solitamente un valore di  $\alpha$  di 3.5 - 4, mentre per valori di  $q_t$ - $Q_c > 10 \text{ kg/cm}^2$  il valore di  $\alpha$  è generalmente pari a 3;
- Eed o Med per terreni granulari =  $(1.7 \times q_t) + 25$  (Webb).

*I parametri determinati secondo la modalità sopra descritta possono quindi essere assunti come parametri caratteristici  $X_k$  dal momento che derivano da una stima ragionata a favore della sicurezza.*

A questo proposito, il punto 6.2.2. del DM 17.01.2018 cita quanto segue : *"Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito".*

Sempre a questo riguardo, anche la Circolare del Ministero per le Infrastrutture n.617 del 02/02/2009 cita quanto segue : *"nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti."*

I parametri geotecnici di progetto  $X_d$  saranno determinati dal progettista delle strutture nella successiva fase di progetto esecutivo, quando svolgerà le verifiche geotecniche agli Stati Limite Ultimi (SLU) della fondazione dell'immobile nei confronti del collasso per carico limite e nel caso di fondazione superficiale per scorrimento sul piano di sedime.

Per le verifiche geotecniche nei confronti degli Stati Limite di Esercizio (SLE), anch'esse da eseguirsi in fase di progetto esecutivo, finalizzate a valutare la compatibilità dei cedimenti del terreno con la stabilità e funzionalità dell'opera in relazione ai carichi di esercizio SLE statici e sismici SLD trasmessi nel sottosuolo dall'opera stessa, si utilizzeranno invece i valori caratteristici dei parametri di deformabilità dei terreni, qui rappresentati dal modulo edometrico  $M_{ed}$ .

La Tabella n.1 nella pagina seguente schematizza il modello geotecnico del sottosuolo locale con i parametri caratteristici  $X_k$  dei vari livelli litologici, riportato anche nella Tavola n.4 allegata a cui si rimanda per i maggiori dettagli e per una visione più completa ed immediata.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI) Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020		Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Tabella n.1

MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE PER LIVELLI LITOLOGICI ASSIMILABILI AD OMOGENEI (vedi Tavola n.4 allegata)		PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI $X_k$ Valori medi cautelativi $\approx$ Valori caratteristici									
		$\gamma_k$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cu <sub>k</sub> (kPa)		CD		Eed <sub>k</sub> (kPa)		CPTU-CPT	EDO
				ELL	CPTU-CPT	C' <sub>k</sub> (kPa)	$\phi'_k$ (°)				
(m dal piano di campagna locale attuale)											
LIVELLO T.V. : da p.c. a -0,80/-1,00 - Terreno vegetale/agricolo, localmente con modesto riporto;		17.5	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
SUB-LIVELLO A1 : da -0,80/-1,00 a -4,00 - Limi argillosi sabbiosi, a tratti con materia organica/torbosa, di consistenza da bassa a molto bassa;		19.8 17.0	19.8 17.0	50.0	36.3 (32.4-45.1)	10.4	25.3	2158 3417	2800 (2500-3100)		
Tratto di consistenza particolarmente molto bassa del Sub-livello A1.		16.5	16.5	25.0	22.2 (16.7-25.5)	7.6	23.2	-----	1800 (1400-2100)		
SUB-LIVELLO A2 : da -4,00 a -7,00 - Argille limose sabbiose e limi argillosi sabbiosi con materia organica/torbosa, di consistenza da bassa a media - medio buona;		19.7	19.9 18.2	42.0	55.0 (50.1-85.3)	9.1	27.2	1645 2652	4000 (3400-5600)		
SUB-LIVELLO B1 : da -7,00 a -13,30/-13,60 - Argille limose e limi argillosi $\pm$ sabbiosi, con materia organica/torbosa, di consistenza da bassa a molto bassa;		16.0	16.2 16.4	-----	27.5 (23.5-30.4)	7.4	12.8	1815 2181	2600 (2300-2800)		
LIVELLO C : da -13,30/-13,60 a -14,20/-14,40 - Sabbie limose $\pm$ argillose di addensamento da medio basso a medio;		17.65	17.65	-----	-----	-----	32 (30-35)	-----	8000 (7300-9600)		
SUB-LIVELLO B2 : da -14,20/-14,40 a -20,30 - Argille limose prevalenti con abbondante materia organica/torbosa e valve di Lamellibranchi, di consistenza da bassa a molto bassa;		16.6	16.6	-----	26.5 (21.6-30.4)	-----	-----	-----	2900 (2600-3200)		
SUB-LIVELLO B3 : da -20,30 a -21,80/-21,90 - Argille limose prevalenti con abbondante materia organica/torbosa, di consistenza da bassa a media;		18.5	18.5	-----	45.1 (35.3-48.1)	-----	-----	-----	3800 (3300-4100)		
SUB-LIVELLO B4 : da -21,80/-21,90 a -24,30/-24,70 - Limi sabbiosi $\pm$ argillosi con materia organica/torbosa e abbondanti resti di valve di Lamellibranchi, di consistenza da media - medio buona a buona;		19.0	19.0	-----	60.0 (39.2-111.8)	-----	27 (*)	-----	4800 (3600-8200)		
SUB-LIVELLO B5 : da -24,30/-24,70 a -27,30/-27,50 - Argille limose $\pm$ sabbiose e limi argillosi con materia organica/torbosa e concrezioni calcaree, di consistenza medio buona - buona;		20.1	20.1	-----	71.6 (65.7-77.5)	21.3	27.7	8049 11327	5800 (5500-6200)		
LIVELLO D : da -27,30/-27,50 a -32,00 (*) - Argille limose $\pm$ sabbiose e limi sabbiosi argillosi con concrezioni calcaree, di consistenza da medio buona a buona;		20.1	20.1	-----	116.7 (109.8-124.5)	-----	29 (*)	-----	8800 (8400-9300)		
LIVELLO E : da -32,00 a -32,80 - Argille limose con resti di valve di Lamellibranchi $\pm$ abbondanti, di consistenza da media a medio buona;		Livello non attraversato dalle prove penetrometriche, carotato nel sondaggio St., di cui non sono disponibili dati									

(\*) : per la frazione sabbiosa.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

#### LEGENDA TABELLA N.1 PRECEDENTE

$\gamma$  = peso dell'unità di volume naturale;  $\gamma_{\text{saturo}}$  = peso dell'unità di volume saturo;

$C_u$  = resistenza al taglio non drenata in termini di tensioni totali;

$C'$  = coesione efficace (in termini di tensioni efficaci, condizioni drenate);

$\phi'$  = angolo di resistenza al taglio efficace (in termini di tensioni efficaci, condizioni drenate);

$E_{ed}$  = modulo edometrico;

ELL = prova di compressione con espansione laterale libera (laboratorio);

CD = prova di taglio diretto consolidata lenta (laboratorio);

EDO = prova edometrica (laboratorio).

In blu i parametri determinati in laboratorio.

In nero i parametri medi cautelativi stimati dalle prove penetrometriche statiche CPTU e CPT. Tra le parentesi i valori medi minimi e massimi.

Con il pedice "k" s'intendono i parametri geotecnici caratteristici.

I valori del modulo edometrico  $E_{ed}$  determinati in laboratorio (scritti in blu), tramite prova edometrica (EDO) sui campioni C1-S1, C2-S1, C3-S1 e C4-S1, si riferiscono ai gradini di carico ( $\sigma$ ) indicati nella Tabella n.2 seguente, nell'ambito dei quali rientrano, verosimilmente, le tensioni litostatiche efficaci alle profondità dei quattro campioni.

Tabella n.2

CAMPIONI	LIVELLI LITOLGICI	GRADINI DI CARICO APPLICATI - $\sigma$ (kPa)				
		da 24.6 a 49.2	da 49.2 a 98.4	da 98.4 a 196.8	da 196.8 a 393.6	da 393.6 a 787.2
		MODULO EDOMETRICO $E_{ed}$ (kPa)				
C1-S1 (2.50 - 3.00 m) Limo argilloso sabbioso	A1	2158	3417	5479	8026	13016
C2-S1 (4.50 - 5.00 m) Limo con sabbia argilloso	A2	1074	1645	2652	8066	16503
C3-S1 (10.50 - 11.00 m) Limo con argilla	B1	1292	1451	1815	2181	5395
C4-S1 (27.00 - 27.50 m) Sabbia con limo argillosa Limo con sabbia argilloso	B5	2563	2811	5179	8049	11327

Ai fini delle verifiche geotecniche SLE, il valore del modulo edometrico determinato in laboratorio dovrà essere scelto con riferimento all'intervallo tensionale ( $\sigma'_v + \Delta\sigma$ ) significativo e più appropriato per il problema in esame, dove  $\sigma'_v$  è la pressione litostatica efficace alle profondità considerate e  $\Delta\sigma$  è l'incremento di carico indotto alle medesime profondità dall'edificio posto in superficie. Al riguardo si veda anche i certificati del laboratorio geotecnico nell'Appendice separata della presente Relazione.

I valori del modulo edometrico e degli altri parametri fisico-meccanici stimati dalle prove penetrometriche CPT-CPTU derivano invece da medie cautelative, ragionate a favore della sicurezza, sull'intero spessore dei livelli litologici, potendo queste prove fornire dati quasi continui (ogni 20 cm-CPT) e continui (ogni 1 cm-CPTU) della resistenza dei terreni attraversati.



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

### 3 - RELAZIONE SISMICA

#### 3.1 - ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9 DEL TERRITORIO ITALIANO

##### 3.1.1 - ZONA SISMOGENETICA DI APPARTENENZA DEL COMUNE DI SAN GIULIANO TERME

In base alla Zonazione Sismogenetica del territorio nazionale "ZS9" prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia "INGV" (Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica, ai sensi dell'O.P.C.M. n.3274 - Rapporto Conclusivo - Bozza aprile 2004-MPS04), di riferimento per la determinazione della pericolosità sismica del territorio italiano e che ha sostituito la precedente Zonazione Sismogenetica "ZS4" (Scandone, Stucchi et alii.), Comune di San Giuliano Terme (PI) ricade nella *Zona Sismogenetica 916* denominata *Versilia-Chianti* (vedi mappe in figure n.1 e n.2 nella pagina successive).

Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274)  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

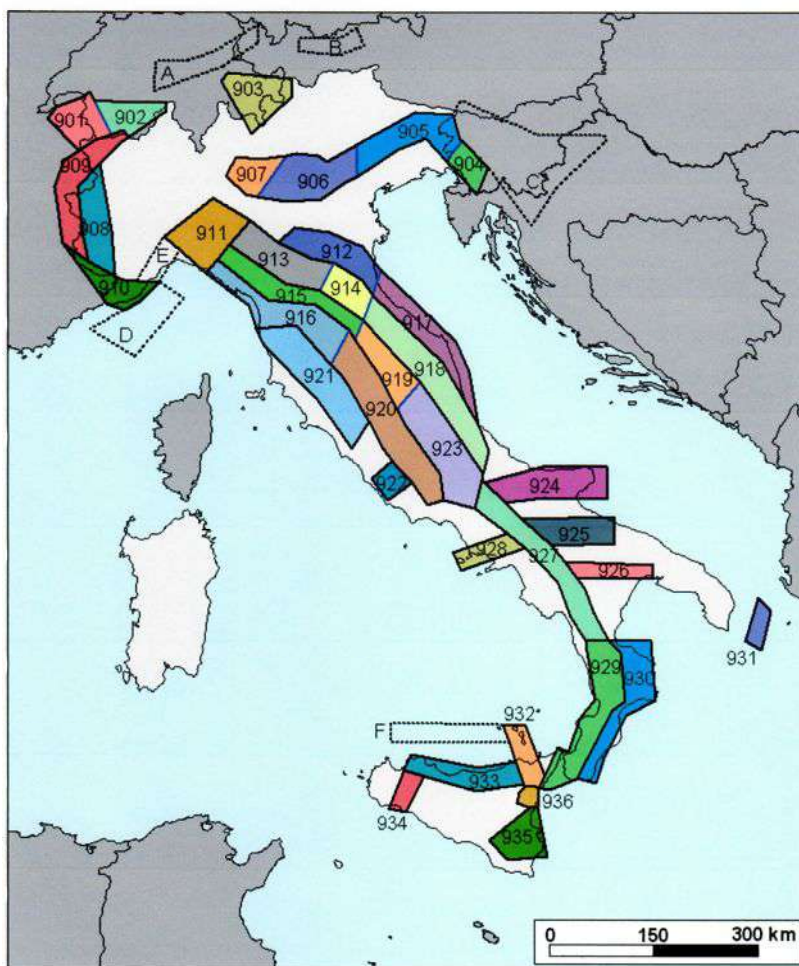


Figura n.1 : Zonazione Sismogenetica ZS9. I limiti di colore blu separano zone con analogo significato cinematico, che differiscono principalmente per le caratteristiche di sismicità. Le ZS con bordo tratteggiato, identificate da lettere, non sono state utilizzate nella valutazione della pericolosità sismica. Il colore delle ZS non è significativo (da Rapporto Conclusivo della Mappa di Pericolosità Sismica - Bozza aprile 2004 - INGV).



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

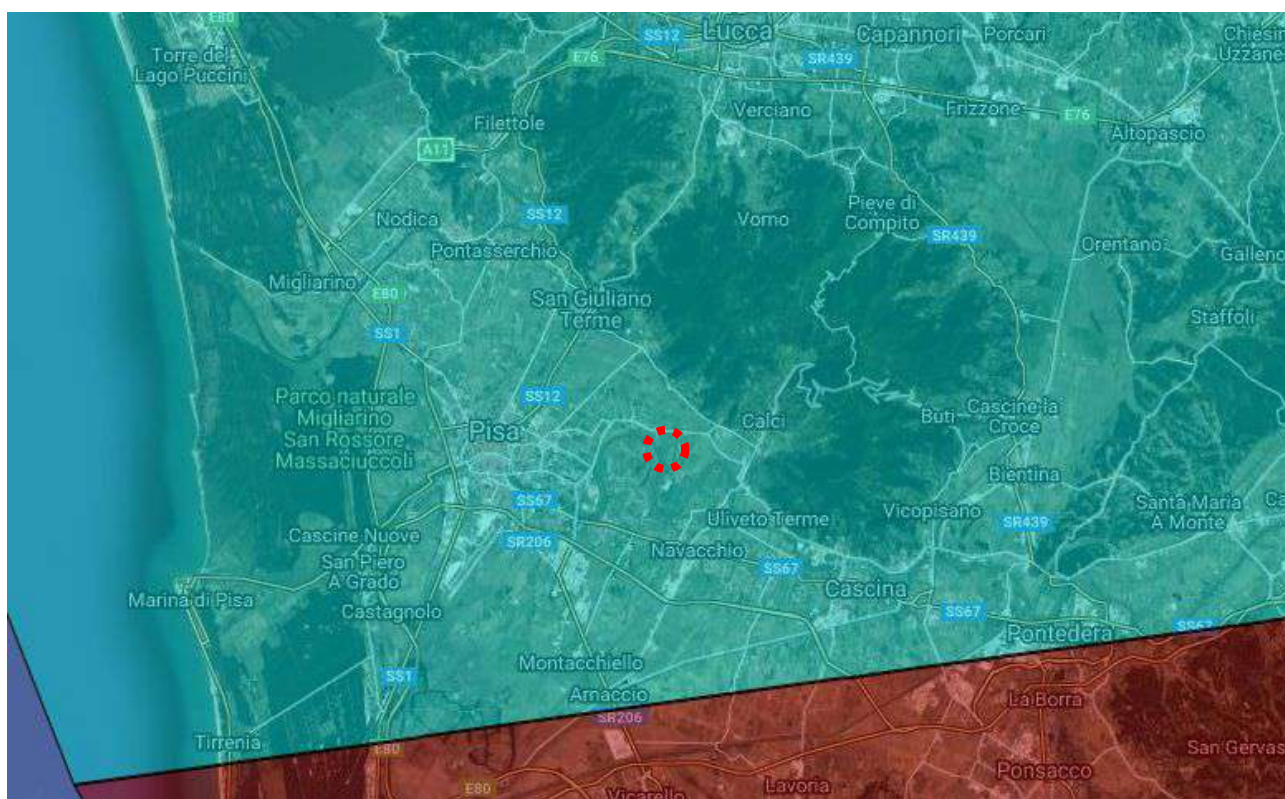


Figura n.2 : In azzurro trasparente parte della Zona Sismogenetica 916 – Versilia-Chianti su base satellitare. In tratteggio rosso l'ubicazione indicativa del sito d'intervento.



Figura n.3 : Sorgenti sismogenetiche nell'area dell'Appennino Settentrionale su base satellitare. Le fasce in arancione sono le sorgenti sismogenetiche composite, le linee arancioni le faglie attive, i rettangoli gialli le sorgenti sismogenetiche singole, le tracce in blu-viola le sorgenti sismogenetiche dibattute. In tratteggio rosso l'ubicazione indicativa del sito d'intervento.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

La ZS9 deriva da un sostanziale ripensamento della precedente ZS4 (Meletti et al., 2000) alla luce delle evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite negli ultime anni. Ogni zona sismogenetica di ZS9 è corredata da una stima della profondità media dei terremoti determinata nella prospettiva di un suo utilizzo con relazioni di attenuazione regionalizzate, e di un meccanismo di fagliazione prevalente, determinato nella prospettiva di utilizzo delle relazioni di attenuazioni classiche modificate secondo le procedure di Bommer et al., 2003.

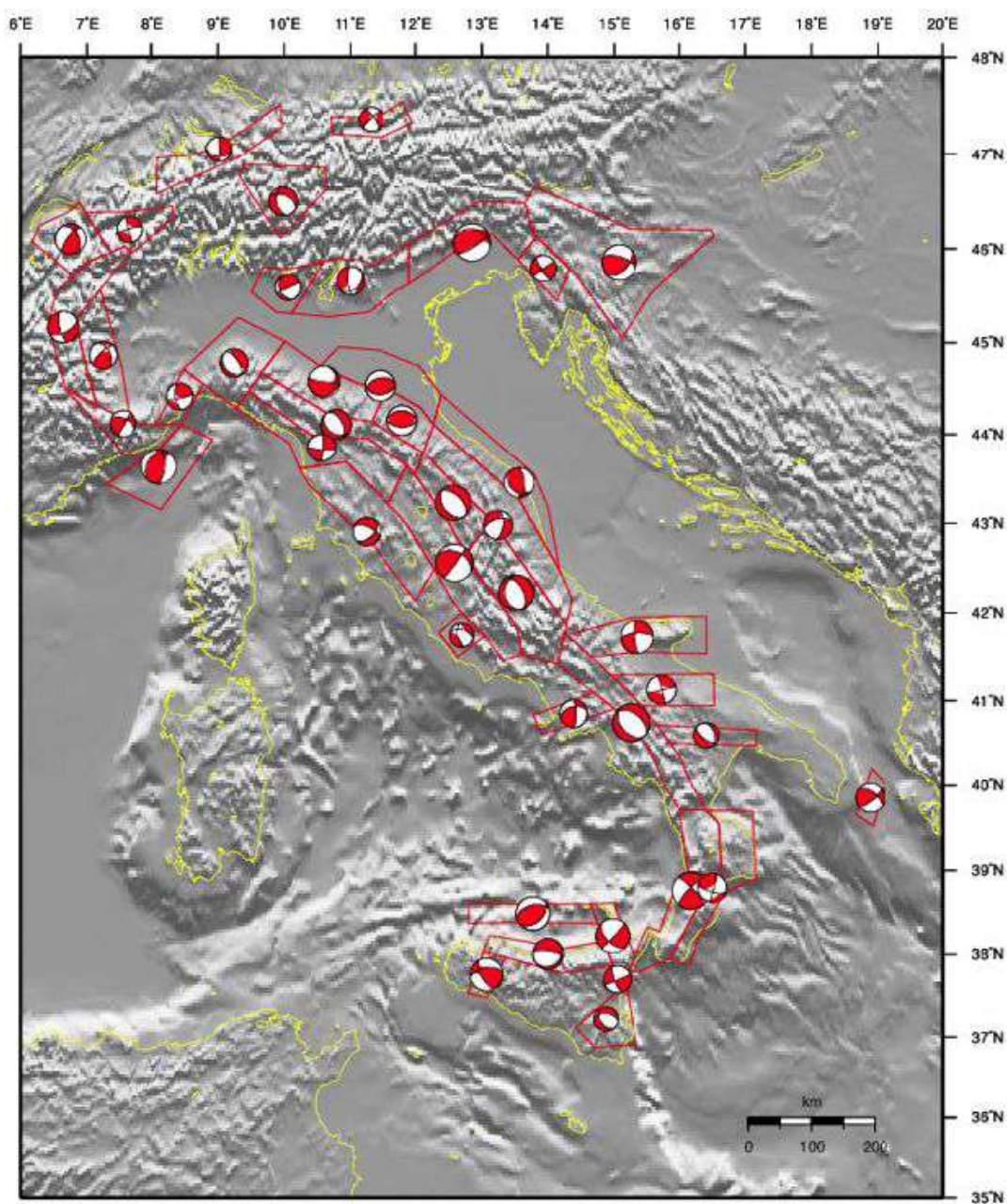


Figura n.4 : Meccanismi focali medi calcolati per tutte le zone sismogenetiche di ZS9 (delimitate in rosso) a partire dal *database* pubblicato da Vannucchi e Gasperini (2003). La dimensione dei simboli è proporzionale al logaritmo del momento sismico complessivo rilasciato all'interno delle singole zone.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Con la ZS9 (Meletti e Valensise, 2004; Meletti et al. 2008), tutto l'arco appenninico centrale e settentrionale è stato riorganizzato in cinque fasce parallele e longitudinali alla catena montuosa che comprendono le zone sismogenetiche dalla 911 alla 923.

La zona 921 insieme alla zona 922 (Colli Albani) appartiene alla fascia più esterna occidentale più prossima al margine tirrenico e racchiudono aree caratterizzate da elevato flusso di calore e da vulcanismo recente (Mongelli e Zito, 1991). In questo intero settore si ha una diffusa sismicità di energia moderata, con pochi eventi di magnitudo elevata responsabili di danni significativi su aree di limitata estensione anche per la superficialità degli ipocentri (Bagnoregio - 1695, Orciano Pisano - 1846, Piancastagnaio - 1919).

Per ogni zona sismogenetica di ZS9 sono stati determinati lo *strato sismogenetico* e la sua *profondità efficace*, definita come l'intervallo di profondità dove viene rilasciato il maggior numero di terremoti che determina la pericolosità della zona stessa, ovvero l'intervallo di profondità nel quale si colloca presumibilmente lo strato sismogenetico che rilascerà i prossimi eventi sismici.

Lo *strato sismogenetico* è stato definito convenzionalmente come l'intervallo di profondità in cui si sono generati il 90% degli eventi sismici ricadenti in ciascuna zona sismogenetica. I limiti superiore e inferiore di ogni strato sismogenetico sono rappresentati dai due valori di profondità che includono un numero di eventi cumulato pari rispettivamente al 5% e 95% del totale.

Nella ZS9 la *profondità efficace* corrisponde alla moda principale della distribuzione di frequenza degli eventi sismici nei casi di distribuzioni unimodali. Negli altri casi, distribuzioni bimodali o multimodali, essa corrisponde alla moda che si trova nell'intervallo di profondità delle sorgenti sismogenetiche riportate in DISS 2.0 e delle principali sequenze sismiche. Nei casi in cui i dati disponibili si sono rilevati non significativi o contraddittori, la profondità efficace è stata assegnata in base alla similitudine geologica e geodinamica con le zone sismogenetiche vicine (App.2 al Rapporto Conclusivo, aprile 2004, di C. Meletti e G. Valensise, marzo 2004).

Per tener conto di tutte le incertezze e del fatto che un valore unico di profondità può non essere rappresentativo dell'intero strato sismogenetico, sono state proposte 4 classi di profondità efficace : 1-5 km, 5-8 km, 8-12 km, 12-20 km.

*Per la zona sismogenetica 916 Versilia-Chianti la classe di profondità efficace è 5-8 km, con valore "giudizio esperto" pari a 6 km (mappa in figura n.6 sottostante).*

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

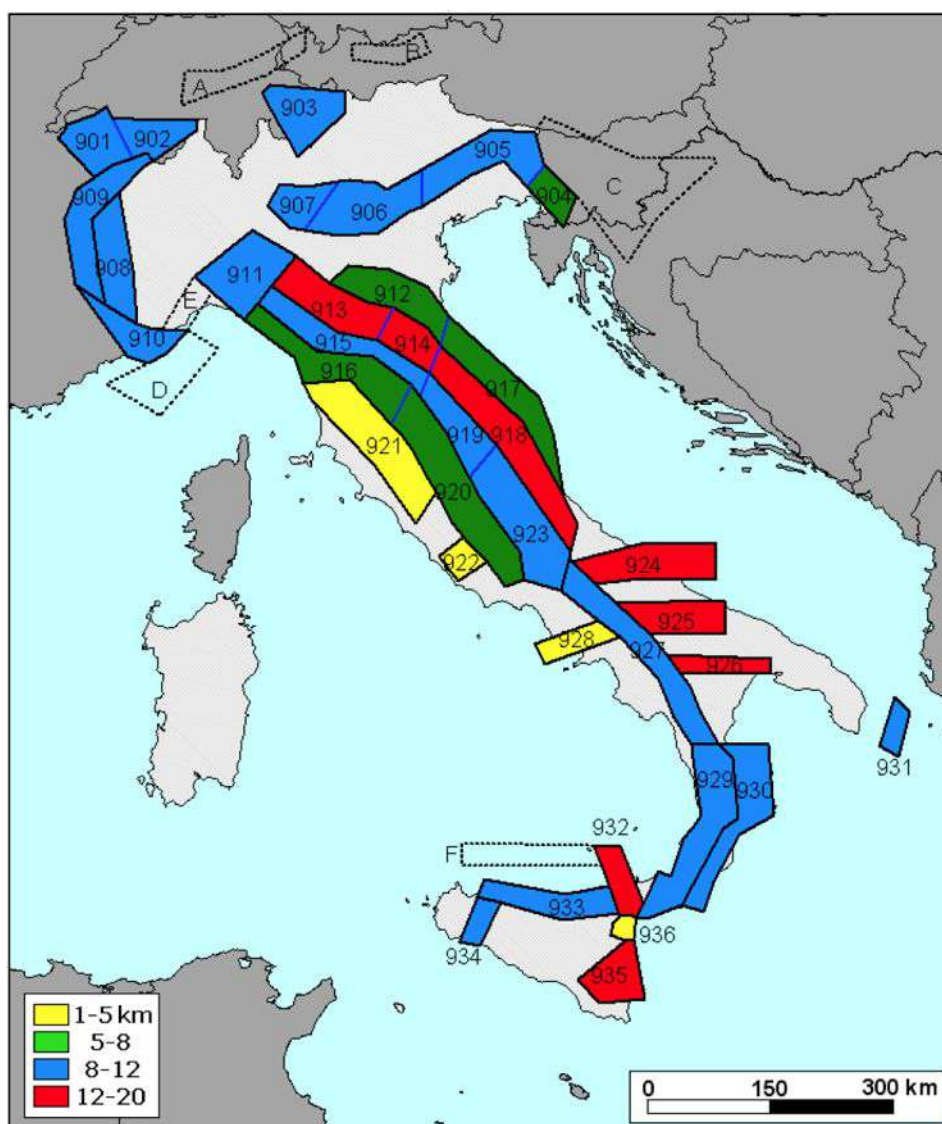


Figura n.5 : Classi di profondità efficace attribuite alle zone sismogenetiche di ZS9.

La Zona 916 appartiene alla porzione settentrionale dell'arco appenninico ed insieme alla Zona 920 Trasimeno-Ceccano coincide con il settore in distensione tirrenica definito nel modello sismo-tettonico di C. Meletti et al., 2000, dove *il meccanismo di fagliazione prevalente atteso*, ossia il meccanismo che ha la massima probabilità di originare i futuri terremoti di magnitudo di entità significativa, è *riconcducibile a faglie normali*. Queste due zone sismogenetiche si estendono parallelamente al margine distensivo tirrenico e rappresentano, quindi, una transizione alla distensione peri-tirrenica (vedi figure n.4, n.5 successive).

Tale settore della fascia appenninica settentrionale è caratterizzato da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati, ma poiché la maggiore frequenza degli eventi sismici interessa la zona 920 Trasimeno-Ceccano questa è stata distinta e separata dalla adiacente zona 916 Versilia-Chianti (Appendice 2 al Rapporto Conclusivo, aprile 2004 a cura di C. Meletti e G. Valensise, marzo 2004).



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

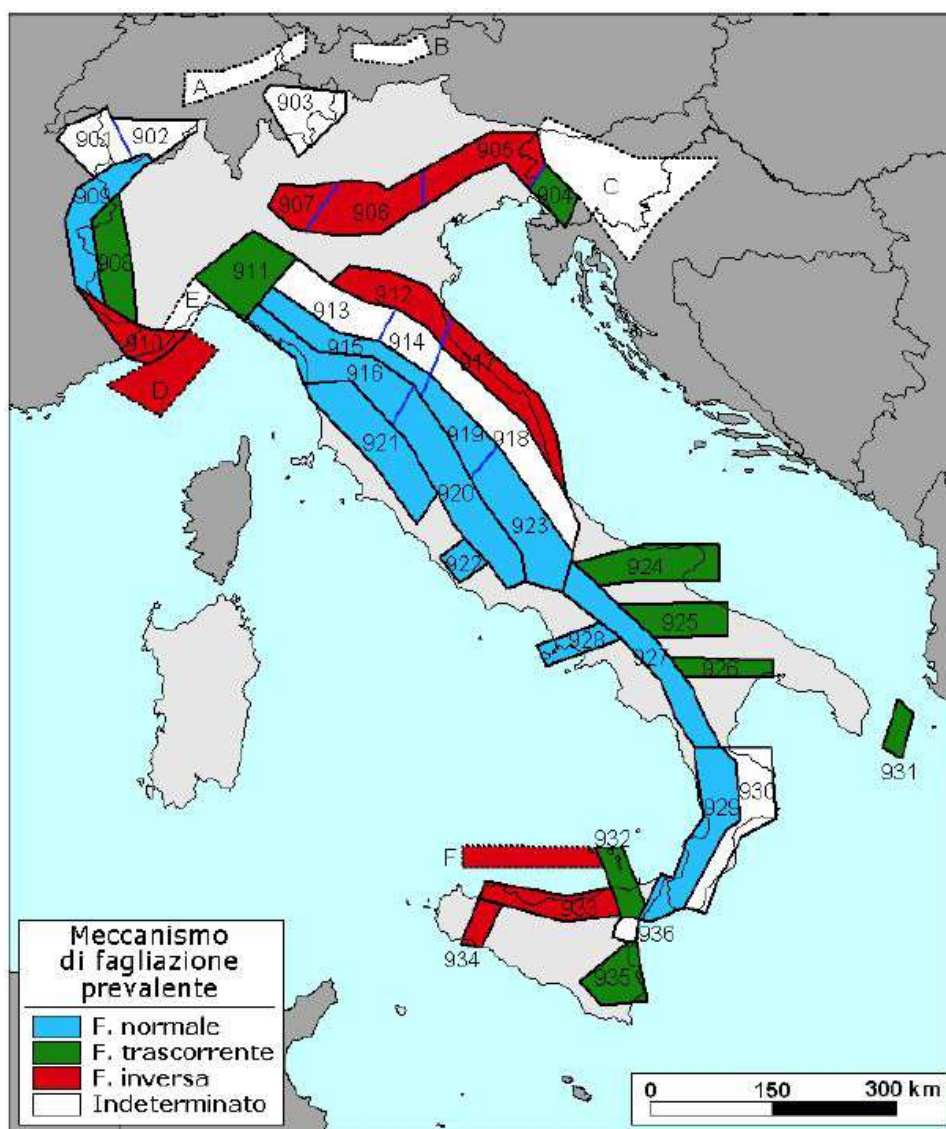


Figura n.6 : Meccanismi di fagliazione prevalente atteso per le diverse zone sismogenetiche.

### 3.1.2 - MAGNITUDO ATTESA DI RIFERIMENTO PER IL COMUNE DI SAN GIULIANO TERME DA ZS9

La Zonazione Sismogenetica ZS9 ha come riferimento il valore della magnitudo massima  $M_{max}$ , che tradizionalmente rappresenta un parametro cautelativo adottato per garantire le determinazioni di  $a_{max}$  dalla possibilità che si verifichino, sia pure con probabilità molto bassa, eventi di magnitudo superiore a quelle verificatesi nel periodo di osservazione del catalogo dei terremoti utilizzato nel Rapporto Conclusivo MPS04-INGV. Questa scelta riflette la scarsa conoscenza del potenziale sismogenetico di una regione; infatti è oggetto di particolare attenzione nelle regioni a sismicità medio-bassa e/o in quelle poco investigate.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Per ogni zona sismogenetica sono stati definiti due insiemi di valori di  $Mw_{max}$  (Magnitudo momento massima) :

- uno, calibrato in modo cautelativo sui dati sismologici e geologici in DISS2, denominato  $Mw_{max1}$  "osservata";
- l'altro, maggiormente cautelativo, basato sul criterio di portare al valore  $Mw_{max} = 6,14$  Mw tutte le zone sismogenetiche con  $Mw_{max}$  CPTI2 inferiore a tale valore, definito  $Mw_{max2}$  "cautelativa".

*Per la Zona Sismogenetica 916 Versilia-Chianti i valori della Magnitudo momento massima  $Mw_{max}$  attesa, relativa al terremoto di scenario, di riferimento per il Comune di San Giuliano Terme, risultano :*

⇒  $Mw_{max1}$  "osservata" = 5.68;

⇒  $Mw_{max2}$  "cautelativa" = 6.14.

NOTA (fonte INGV - Sezione Terremoti) : La Magnitudo Richter o Magnitudo Locale (MI) fu introdotta dal sismologo statunitense Richter nel 1935 per rispondere alla necessità di esprimere in forma quantitativa, e non soggettiva, la "forza" di un terremoto, in modo da ottenere una stima della grandezza dei terremoti che fino a quel momento si basava esclusivamente sulla determinazione degli effetti dei terremoti (scale di intensità). Il semplice concetto introdotto da Richter era che si poteva stimare la grandezza di un terremoto direttamente dall'ampiezza di un sismogramma registrato da un sismografo standard (pendolo torsionale di Wood-Anderson). Richter calibrò quindi una relazione che ad ogni aumento di ampiezza di 10 volte delle onde sismiche di frequenza, pari a circa 1 Hz, corrispondeva un aumento di un grado di magnitudo. *La magnitudo Richter quindi è una misura della grandezza relativa tra terremoti e non una stima della reale grandezza dei terremoti.* Negli anni '70 Kanamori introdusse la Magnitudo Momento Mw ( $Mw = 2/3 * \log_{10}(Mo) - 10,73$ ), derivata dal parametro sismologico Momento Sismico (Mo) definito dal prodotto tra area di faglia S, entità della dislocazione D e resistenza/rigidità delle rocce  $\mu$ . Il Momento Sismico e la Magnitudo Momento rappresentano, pertanto, la migliore stima della reale grandezza del terremoto. Il Momento Sismico è anche un osservabile sismologico in quanto si può calcolare direttamente dal sismogramma, in particolare dalla parte a bassa frequenza (minore di 1 Hz) ma la sua determinazione richiede tempi più lunghi. L'ampiezza delle onde sismiche a bassa frequenza, dove viene calcolata la Magnitudo Momento (al di sotto di 1 Hz), per forti terremoti è maggiore dell'ampiezza delle onde sismiche a 1 Hz, dove viene calcolata la Magnitudo Richter, e questo è dovuto alle caratteristiche della sorgente sismica. Questa particolarità delle onde sismiche dei forti terremoti è alla base della differenza che si osserva tra Magnitudo Richter e Magnitudo Momento. Si parla infatti di saturazione della Magnitudo Richter per forti terremoti in quanto l'ampiezza delle onde sismiche a 1 Hz non aumenta linearmente all'aumentare della magnitudo. *La Magnitudo Richter è ancora in uso grazie alla rapidità con la quale viene calcolata, ma la Magnitudo Momento è sicuramente la migliore stima della reale grandezza di un terremoto, essendo direttamente legata alle dimensioni e alla dislocazione della sorgente sismica.*

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

La tabella seguente, ripresa dal Rapporto Conclusivo - aprile 2004 - MPS04 - INGV, riassume quanto detto in merito alla definizione della Magnitudo momento massima ( $Mw_{max1}$  e  $Mw_{max2}$ ).

Per ulteriori dettagli, spiegazioni e approfondimenti si rimanda a tale Rapporto disponibile e scaricabile dal sito internet dell'INGV.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	DISS2 MwMax	CPTI2 MwMax	CPTI2 MwMax (classe)	CPTI2 completo 04.2	Az1	Mw Max1	Az2	Mw Max2
Savoia	901		5.79	5.68	5.68	+1(a)	5.91	+2(d)	6.14
Vallese	902		6.10	6.14	6.14		6.14		6.14
Grigioni-Valtellina	903		5.79	5.68	5.22	+3(b)	5.91	+4(d)	6.14
Trieste -Monte Nevoso	904		5.71	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Friuli -Veneto Orientale	905	6.4	6.66	6.60	6.60		6.60		6.60
Garda-Veronese	906	6.2	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60
Bergamasco	907	5.9	5.67	5.68	5.68	G	5.91	+2(d)	6.14
Piemonte	908		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Alpi Occidentali	909		5.54	5.45	5.45	+1(a)	5.68	+3(d)	6.14
Nizza-Sanremo	910	6.3	6.29	6.37	6.37		6.37		6.37
Tortona-Bobbio	911		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Dorsale Ferrarese	912	6.2	5.88	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14
Appennino Emiliano-Romagn.	913		5.85	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Forlivese	914		5.97	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Garfagnana-Mugello	915	6.4	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60
Versilia-Chianti	916		5.52	5.45	5.45	+1(c)	5.68	+3(d)	6.14
Rimini-Ancona	917	6.1	5.94	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzz.	918		6.23	6.14	6.14	+1(a)	6.37	+1(a)	6.37
Appennino Umbro	919	6.0	6.33	6.37	6.37		6.37		6.37
Val di Chiana-Ciociaria	920		5.57	5.68	5.45	+1(b)	5.68	+3(d)	6.14
Etruria	921		5.91	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Colli Albani	922		5.53	5.45	5.45		5.45		5.45
Appennino Abruzzese	923	6.7	6.99	7.06	7.06		7.06		7.06
Molise-Gargano	924	6.7	6.73	6.83	6.83		6.83		6.83
Ofanto	925		6.72	6.83	6.83		6.83		6.83
Basento	926	5.8	5.84	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Sannio-Irpinia -Basilicata	927	6.8	6.96	7.06	7.06		7.06		7.06
Ischia-Vesuvio	928		5.78	5.68	5.68	+1(a)	5.91	+1(a)	5.91
Calabria Tirrenica	929	7.0	7.24	7.29	7.29		7.29		7.29
Calabria Ionica	930	6.0	6.60	6.60	6.60		6.60		6.60
Canale d'Otranto	931		6.90	6.83	6.83		6.83		6.83
Eolie-Patti	932	6.1	6.06	6.14	6.14		6.14		6.14
Sicilia settentrionale	933		5.89	5.91	5.91	+1(c)	6.14	+1(c)	6.14
Belice	934		6.12	6.14	6.14		6.14		6.14
Iblei	935		7.41	7.29	7.29		7.29		7.29
Etna	936		5.30	5.22	5.22	+1(a)	5.45	+1(a)	5.45

Tabella 6. Valori di Mwmax da DISS2 e CPTI2 (col.3, 4, 5); valori di Mwmax dopo l'applicazione degli intervalli di completezza CO-04.2 (col.6); azioni e valore finale di Mwmax1 (col.7, 8); azioni e valori finali di Mwmax2 (col.9, 10). Le azioni indicano l'aumento (in numero di classi) rispetto ai valori della colonna 6 determinato da:

- a = aumento di 1 classe per convenzione (i) (arrotondamento alla classe superiore);
- b = aumento per convenzione (ii) (adozione dell'evento massimo osservato anche se al di fuori del periodo di completezza);
- c = aumento per motivazioni particolari descritte nel testo;
- d = aumento fino alla classe 6.14 per ragioni di maggiore cautela (vedi testo);
- G = aumento per adeguamento al dato geologico di DISS2.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI) Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020		Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

### 3.2 - DATABASE SISMICO DISS 3.2.1 (INGV)

Il recente e più aggiornato DataBase DISS versione 3.2.1 pubblicato nell'aprile 2018 dall'INGV, disponibile sul sito <http://diss.m.ingv.it/diss/>, è una compilazione di potenziali sorgenti sismogenetiche responsabili di terremoti con magnitudo  $M > 5.5$  nel territorio italiano e nelle aree limitrofe/circostanti.

La soglia del valore di magnitudo 5.5 è stata scelta perché in Italia i terremoti con  $M > 5.5$  possono creare danni importanti all'edificato esistente e alle opere di ingegneria in genere.

Questo DataBase è un archivio georeferenziato di dati sismo-tettonici e di dati relativi alle faglie che generano terremoti.

Le faglie, ovvero le sorgenti sismogenetiche, sono il risultato della combinazione di informazioni sia geologiche sia relative alla sismologia storica e strumentale; esse sono rappresentate in 3D, sono completamente parametrizzate e tendono alla completezza.

Nel DataBase sono riportate quattro categorie di sorgenti sismogenetiche :

- le sorgenti sismogenetiche *individuali*,
- le sorgenti sismogenetiche *composite*,
- le sorgenti sismogenetiche *dibattute*;
- le *zone di subduzione*.

Tra queste le più numerose sono le sorgenti sismogenetiche *composite*, in tutto 187, e quelle *individuali* pari a 127; le sorgenti sismogenetiche *dibattute* sono 35 mentre le *zone di subduzione* sono 3.

In base a DISS 3.2.1 – 2018, le sorgenti sismogenetiche di tipo *individuale* e *composito* più vicine al Comune di San Giuliano Terme, potenzialmente in grado di generare terremoti di magnitudo  $M > 5.5$  che possono provocare effetti significativi e conseguenze importanti nel Comune di San Giuliano Terme sono rappresentate principalmente dai sistemi di faglie di Orciano Pisano-Colline Livornesi e della Garfagnana Settentrionale-Meridionale, rispettivamente a sud e nord dell'area d'intervento, come risulta dalla mappa in figura n.7 seguente, già note in letteratura e considerate anche in ZS9.

Ciò non esclude che il Comune di San Giuliano Terme possa comunque risentire anche di effetti conseguenti a terremoti originati da sorgenti sismogenetiche più distanti.

Le informazioni generali, parametriche e sui terremoti associati alle sorgenti sismogenetiche sopra dette sono riassunte nelle schede riportate, nelle pagine 89 e 90, riprese da DISS 3.2.1 - 2018.



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

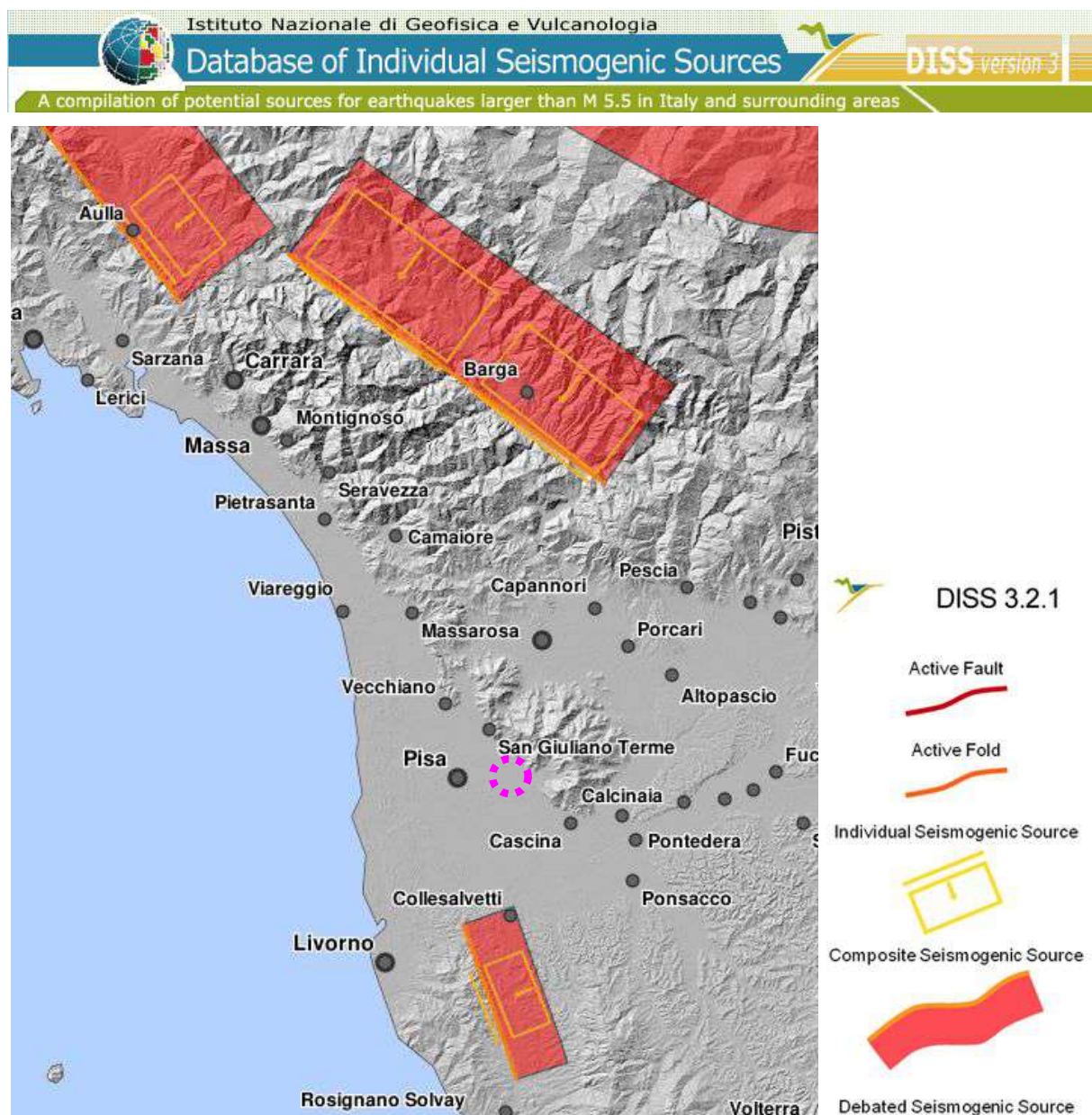







Figura n.7 : Sorgenti sismogenetiche individuali e composite (DISS 3.2.1-2018-INGV). In tratteggio fucsia (cerchio) l'ubicazione indicativa dell'area d'intervento.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

**SCHEDA RIASSUNTIVA DELLA SORGENTE SISMOGENETICA INDIVIDUALE  
IDENTIFICATA CON LA SIGLA ITIS066 - ORCIANO PISANO**

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITIS066		
Name	Orciano Pisano		
Compiler(s)	Vannoli P.(1)		
Contributor(s)	Vannoli P.(1)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy		
Created	08-Nov-2005		
Updated	08-Nov-2005		
Display map ...	 		
Related sources	<a href="#">ITCS088</a>		
PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Location [Lat/Lon]	43.52 / 10.49	OD	Based on macroseismic and geological data.
Length [km]	7.9	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Width [km]	6.4	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Min depth [km]	2.0	EJ	Inferred from geological observations.
Max depth [km]	6.9	EJ	Inferred from geological observations.
Strike [deg]	337	EJ	Inferred from geological data.
Dip [deg]	50	EJ	Inferred from geological data.
Rake [deg]	270	EJ	Inferred from geological data.
Slip Per Event [m]	0.3	ER	Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip rate [mm/y] min...max	0.1...1.0	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Recurrence [y] min... max	300...3000	EJ	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	 5.7	LD	Value adopted from the historical earthquake catalogue CPTI04.
LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;			
INFORMATION ABOUT THE ASSOCIATED EARTHQUAKES			
Latest Earthquake	14 Aug 1846	CPTI04.	

**SCHEDA RIASSUNTIVA DELLA SORGENTE SISMOGENETICA COMPOSITA  
IDENTIFICATA CON LA SIGLA ITCS088 - COLLINE LIVORNESI**

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITCS088		
Name	Livorno Hills		
Compiler(s)	Fracassi U.(1)		
Contributor(s)	Fracassi U.(1), Vannoli P.(1)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy		
Created	11-May-2010		
Updated	11-May-2010		
Display map ...	 		
Related sources	<a href="#">ITIS066</a>		
PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	1.0	EJ	Inferred from geological and macroseismic observations.
Max depth [km]	7.0	EJ	Inferred from geological and macroseismic observations.
Strike [deg] min... max	330...350	EJ	Inferred from geological observations.
Dip [deg] min... max	40...60	EJ	Inferred from geological observations.
Rake [deg] min... max	260...280	EJ	Inferred from geological observations.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...1.0	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	5.7	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).
LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;			



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

**SCHEDE RIASSUNTIVE DELLA SORGENTI SISMOGENETICHE INDIVIDUALI**  
**IDENTIFICATE CON LE SIGLE ITIS050 - GARFAGNANA NORD E ITIS051 - GARFAGNANA SUD**

**GENERAL INFORMATION**

DISS-ID	ITIS050
Name	Garfagnana North
Compiler(s)	Vannucci G.(1), Valensise G.(2)
Contributor(s)	Vannucci G.(1), Valensise G.(2)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione di Bologna; Via Donato Creti, 12, 40128 Bologna, Italy 2) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	31-Oct-2001
Updated	31-Oct-2001
Display map ...	
Related sources	<a href="#">ITCS083</a>

**PARAMETRIC INFORMATION**

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Location [Lat/Lon]	44.18 / 10.32	LD
Length [km]	18.0	OD
Width [km]	11.3	ER
Min depth [km]	1.0	OD
Max depth [km]	8.3	AR
Strike [deg]	305	OD
Dip [deg]	40	OD
Rake [deg]	270	EJ
Slip Per Event [m]	0.79	ER
Slip rate [mm/y] min...max	0.1...1.0	EJ
Recurrence [y] min... max	790...7900	EJ
Magnitude [Mw]	6.4	ER

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

**GENERAL INFORMATION**

DISS-ID	ITIS051
Name	Garfagnana South
Compiler(s)	Vannucci G.(1), Valensise G.(2)
Contributor(s)	Vannucci G.(1), Valensise G.(2)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione di Bologna; Via Donato Creti, 12, 40128 Bologna, Italy 2) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	31-Oct-2001
Updated	31-Oct-2001
Display map ...	
Related sources	<a href="#">ITCS083</a>

**PARAMETRIC INFORMATION**

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Location [Lat/Lon]	44.07 / 10.52	OD
Length [km]	15.0	OD
Width [km]	10.0	ER
Min depth [km]	1.0	OD
Max depth [km]	7.4	AR
Strike [deg]	307	OD
Dip [deg]	40	OD
Rake [deg]	270	EJ
Slip Per Event [m]	0.38	ER
Slip rate [mm/y] min...max	0.1...1.0	EJ
Recurrence [y] min... max	380...3800	EJ
Magnitude [Mw]	6.1	ER

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

**SCHEDE RIASSUNTIVA DELLA SORGENTE SISMOGENETICA COMPOSITA**  
**IDENTIFICATA CON LA SIGLA ITIC083 - GARFAGNANA**

**GENERAL INFORMATION**

DISS-ID	ITCS083
Name	Garfagnana
Compiler(s)	Burrato P.(1), Valensise G.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), Valensise G.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	08-Jan-2005
Updated	14-May-2010
Display map ...	
Related sources	<a href="#">ITIS050</a> <a href="#">ITIS051</a>

**PARAMETRIC INFORMATION**

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	1.0	OD
Max depth [km]	10.0	OD
Strike [deg] min... max	300...310	OD
Dip [deg] min... max	30...45	OD
Rake [deg] min... max	260...280	EJ
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...1.0	EJ
Max Magnitude [Mw]	6.4	OD

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Dalla scheda relativa alla sorgente sismogenetica individuale della faglia di Orciano Pisano (ITIS066), responsabile del terremoto del 1864 fortemente risentito nella località provocando numerosi e ingenti danni, risulta che ad essa è associata una Magnitudo momento massima  $M_{w_{max}}$  di 5.7 (valore adottato dal catalogo dei terremoti storici CPTI04).

La stessa magnitudo momento di 5.7 è indicata anche nella scheda riassuntiva della sorgente sismogenetica composta delle Colline Livornesi (ITCS088), dove viene specificato che tale valore deriva dalla Magnitudo momento massima dell'associata sorgente/sorgenti sismogenetica individuale.

Per quanto riguarda le sorgenti sismogenetiche individuali della Garfagnana Nord e Sud, ITIS050 - ITIS051, le rispettive schede riportano valori della Magnitudo momento massima di 6.1 e 6.4 riferita al terremoto distruttivo del 7 settembre 1920 e calcolata secondo le relazioni di Wells e Coppersmith (1994).

Per la sorgente composta ITICS083 della Garfagnana, la relativa scheda indica una magnitudo momento massima di 6.4 anch'essa riferita al terremoto distruttivo del 7 settembre 1920 e derivata dalla Magnitudo momento massima dell'associata sorgente/sorgenti sismogenetica individuale. Secondo Boschi et al, 2000, Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al, 2006, Guidoboni et al, 2007, la Magnitudo momento massima relativa a questo evento è stata invece di 6.5. Sempre per questa sorgente composta gli stessi autori segnalano una Magnitudo momento di 5.6 relativa al terremoto del 11 aprile 1837 localizzato sulle Alpi Apuane.

### 3.2.1 - SORGENTI SISMOGENETICHE INDIVIDUALI

Le sorgenti sismogenetiche *individuali* sono una rappresentazione semplificata tridimensionale di un piano di faglia di forma rettangolare ottenuto dalla proiezione in superficie dello stesso piano di faglia in profondità (figura n.8 seguente).

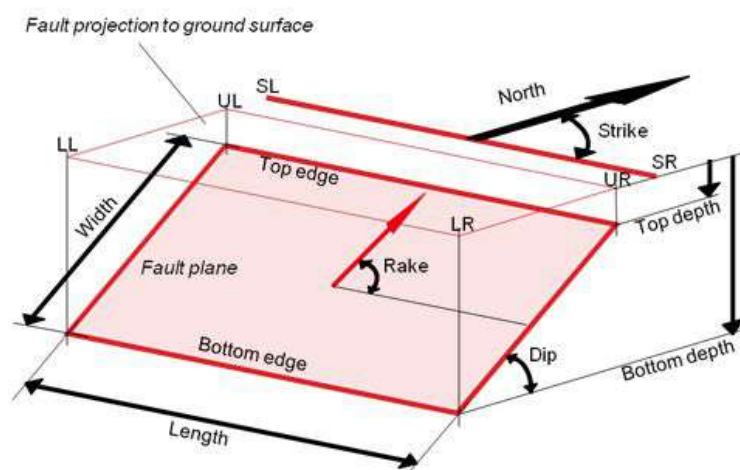


Figura n.8 : Rappresentazione schematica delle sorgenti sismogenetiche individuali (da DISS 3.2.1-INGV)

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Queste sorgenti sono definite con dati geologici e geofisici e sono caratterizzate da un set completo di parametri geometrici (direzione, inclinazione, lunghezza, larghezza e profondità), cinematici (rake) e sismologici (dislocazione per singolo evento, magnitudo, tasso di scorrimento, intervallo di ricorrenza).

La maggioranza di queste sorgenti è associata ad un determinato evento sismico e solo alcune di esse, in numero minimo, sono state attive storicamente; pertanto non hanno un terremoto storico o strumentale associato.

Si presume che le sorgenti sismogenetiche *individuali* presentino un comportamento "caratteristico" rispetto alla lunghezza/larghezza di rottura e alla magnitudo attesa/prevista.

### 3.2.2 - SORGENTI SISMOGENETICHE COMPOSITE

Le sorgenti sismogenetiche *composite* sono la rappresentazione tridimensionale di un sistema semplificato di faglie che può contenere un numero imprecisato di sorgenti sismogenetiche *individuali* non individuabili (figura n.9 successiva).

Queste sorgenti sono basate su dati geologici e geofisici, sono caratterizzate da parametri geometrici (direzione, inclinazione, larghezza e profondità) e cinematici (rake) e non sono associate ad uno specifico set di terremoti o di distribuzione di terremoti.

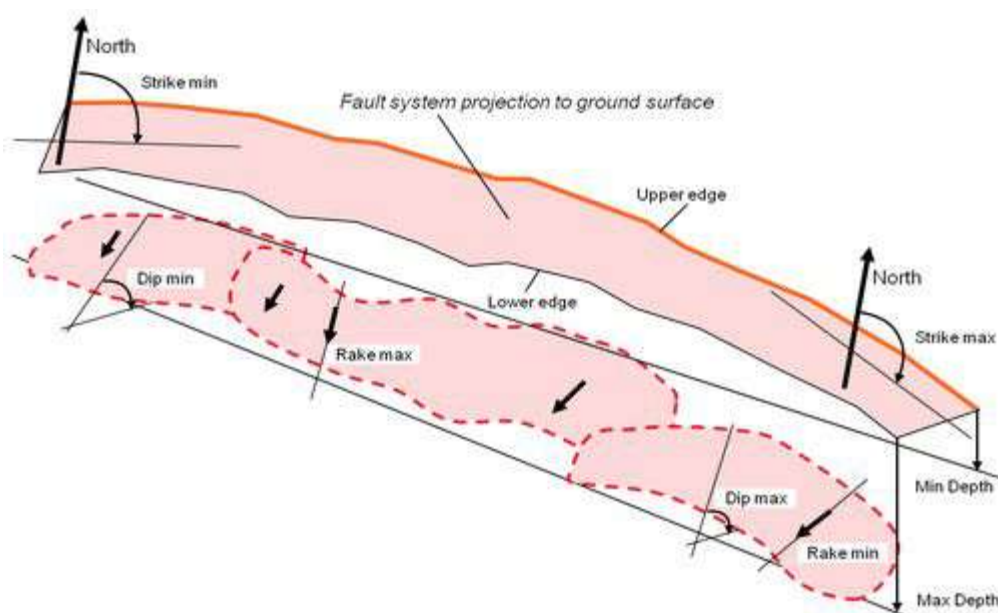


Figura n.9 : Rappresentazione schematica delle sorgenti sismogenetiche composite (da DISS 3.2.1-INGV)

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

### 3.3 - DETERMINAZIONE DELLA MAGNITUDO ATTESA TRAMITE L'ANALISI DI DISAGGREGAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

Per le verifiche dei possibili effetti provocati da un evento sismico in un determinato sito che necessitano della conoscenza del valore della Magnitudo attesa, il metodo più semplice e a favore di sicurezza, da utilizzare preferibilmente per le verifiche della suscettibilità a liquefazione dei terreni, è di considerare la Magnitudo Momento massima  $M_{w_{max}}$  associata a ciascuna delle 36 zone sismogenetiche della Zonazione Sismogenetica ZS9 qualora il sito oggetto di studio o d'intervento rientri in una di esse, in accordo con gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (Linee Guida - parte II - Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento di Protezione Civile).

A questo proposito, come detto in precedenza, il Comune di San Giuliano Terme appartiene alla Zona Sismogenetica 916 Versilia-Chianti per la quale i valori massimi della Magnitudo Momento sono :  $M_{w_{max1}} = 5.68$  e  $M_{w_{max2}} = 6.14$ . Quindi, per detta verifica, sarà conveniente considerare il valore maggiore di  $M_w$  (6.14).

Premesso ciò, la Magnitudo attesa in una determinata area del territorio italiano può essere determinata anche con altri metodi, tra cui l'analisi probabilistica di *disaggregazione dei valori dell'accelerazione orizzontale di picco su suolo rigido  $a_g$*  (disaggregazione della pericolosità sismica) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, o riferita ad altre probabilità di superamento in funzione degli scopi delle verifiche e valutazioni, interagendo con la Mappa Interattiva di Pericolosità Sismica (figura n.12) disponibile su sito internet dell'INGV all'indirizzo <http://esse1-gis.mi.ingv.it>.

Questa metodologia, che ha comunque come informazione di partenza la Zonazione Sismogenetica ZS9 del territorio italiano nella quale a ciascuna delle 36 zone è associata una legge di ricorrenza della magnitudo, sempre secondo i succitati ICMS della Protezione Civile Italiana (Linee Guida - parte II) è però da preferire per le verifiche di stabilità e per la determinazione della Magnitudo attesa nei siti esterni alla zone sismogenetiche per i quali non è disponibile il dato e per i quali non si ricorra ad altri metodi per la sua valutazione.

L'analisi di *disaggregazione di  $a_g$* , nella forma più comune di tipo bidimensionale in magnitudo (M) e distanza (D), consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismogenetiche, a distanza D e capaci di generare terremoti di magnitudo M, alla pericolosità sismica di un sito, prevenendo alla determinazione di coppie di valori Magnitudo-Distanza (M-D) caratteristici per ciascuno di essi.

Attraverso i risultati di questa analisi (Spallarossa e Barani 2007), è stata redatta la mappa della distribuzione dei valori medi di Magnitudo locale per i comuni italiani, ottenuta con per periodo di ritorno di 475 anni (figura n.11).



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

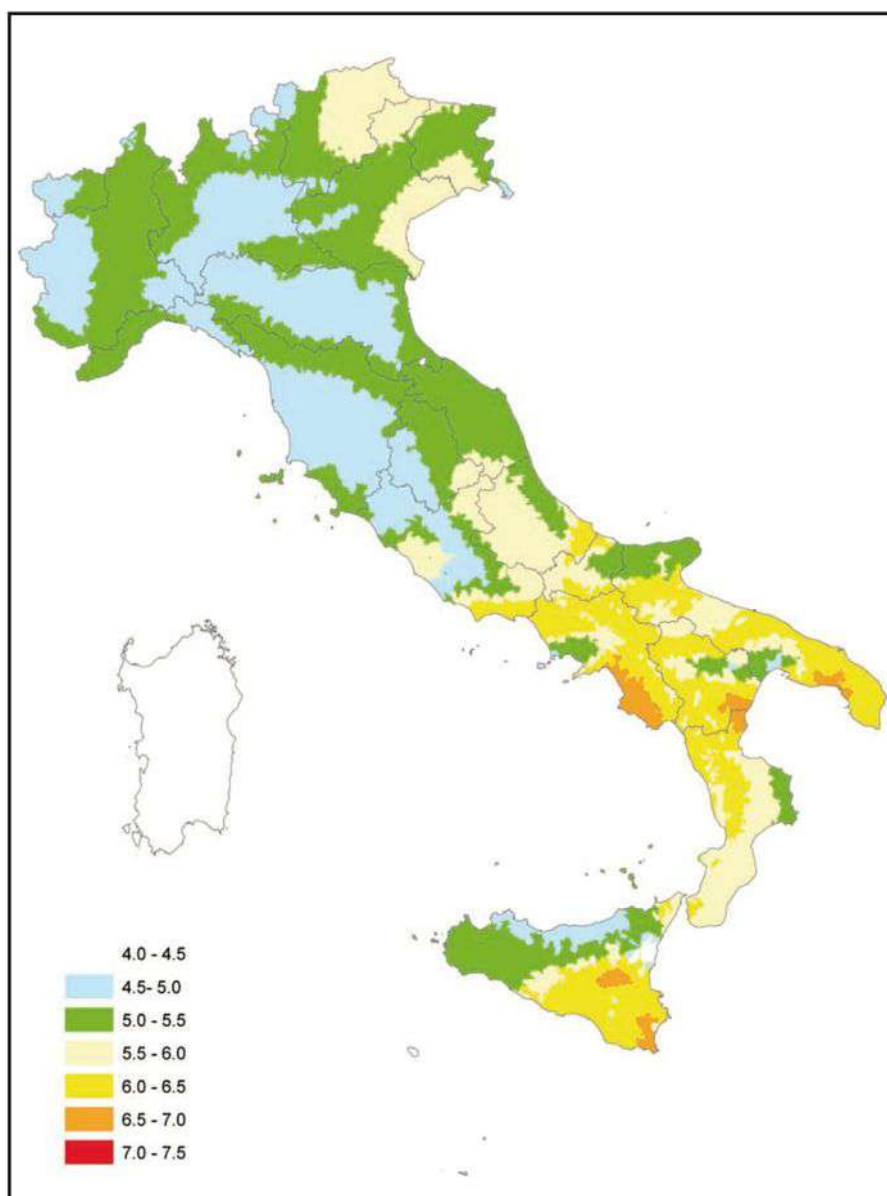


Figura n. 11 : Mappa della distribuzione dei valori medi di Magnitudo locale (MI) per i comuni italiani, ottenuta con il metodo della disaggregazione di  $a_g$  per periodo di ritorno di 475 anni (Spallarossa e Barani, 2007).

Nella Mappa Interattiva di Pericolosità Sismica del territorio italiano (INGV), per ogni singolo nodo della griglia di riferimento, l'analisi di *disaggregazione* della relativa  $a_g$  restituisce, in forma grafica e tabellata, la valutazione del contributo percentuale di tutte le possibile coppie di valori Magnitudo-Distanza epicentrale (M-D) che concorrono alla pericolosità sismica del nodo e, per ciascuno di essi, anche la terna di valori medi M-D-Epsilon ( $\epsilon$ ), dove Epsilon è il numero di deviazioni standard per cui un dato valore di scuotimento (logaritmico) devia da quello mediano predetto dalla legge di attenuazione data da una coppia di valori M-D (si veda le figure n.12, n.13 e n.14 successive).



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

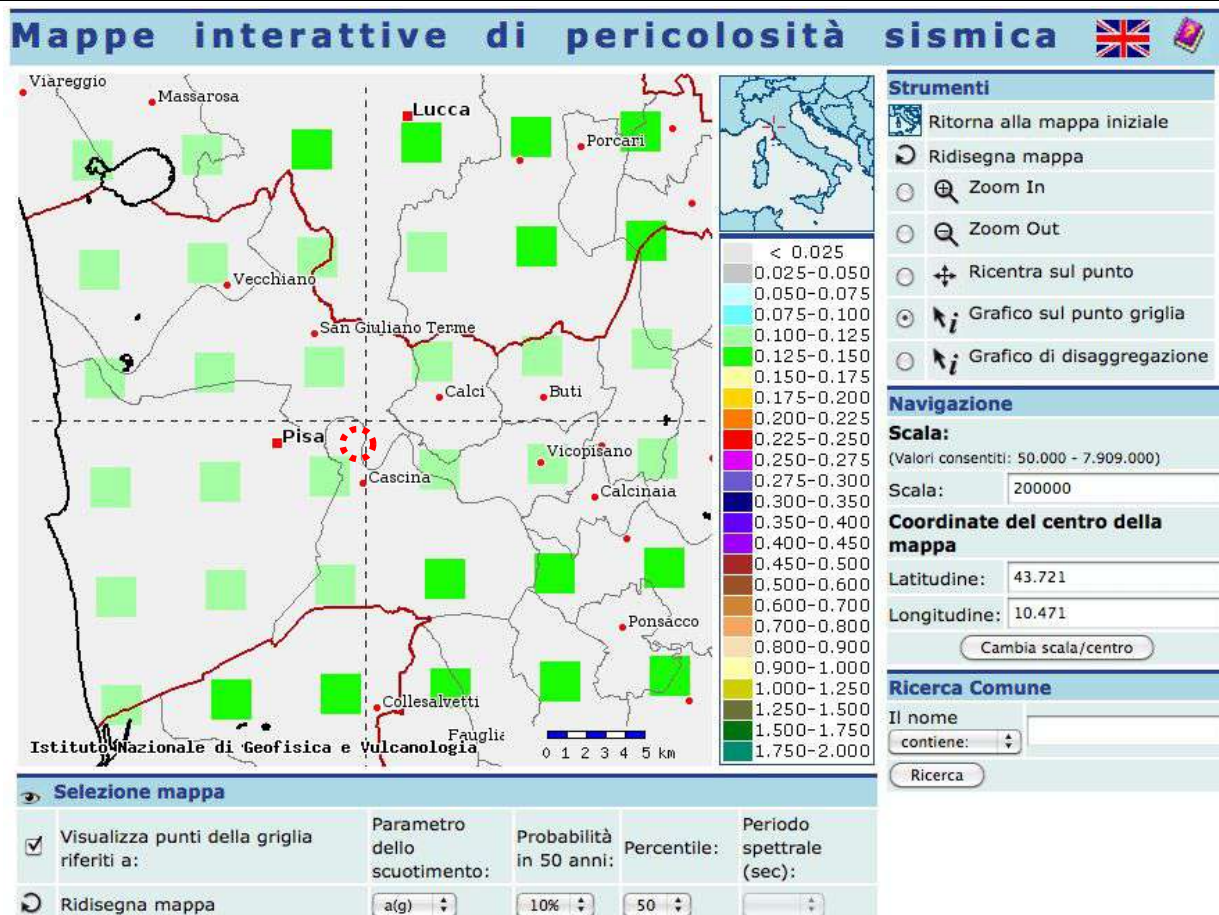


Figura n.12 : Mappa Interattiva della Pericolosità Sismica (INGV). Nel cerchio tratteggiato in rosso l'ubicazione indicativa del sito d'intervento.

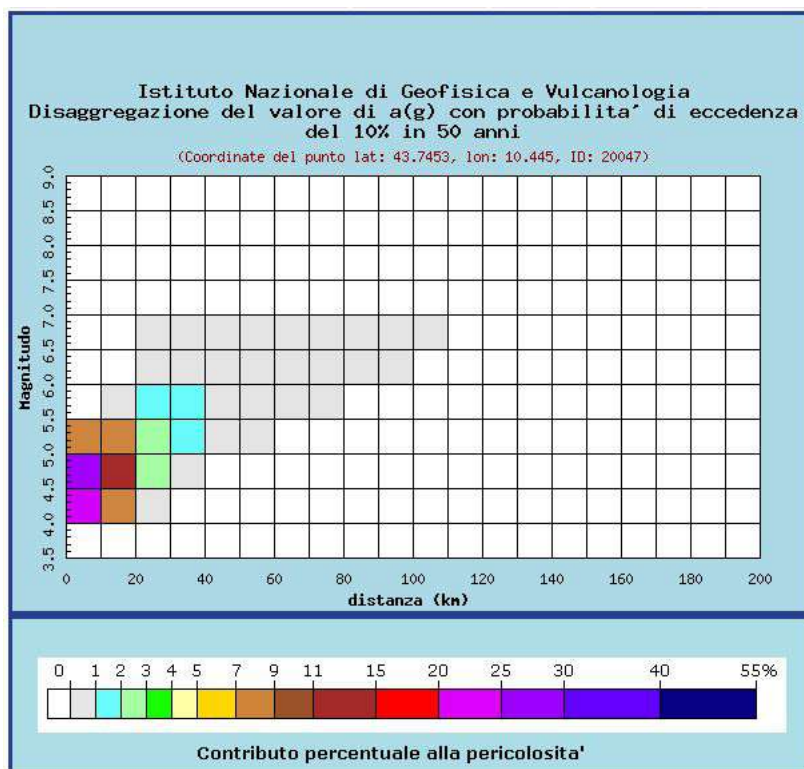


Figura n.13 : Grafico di disaggregazione di ag per il Comune di San Giuliano Terme

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.7453, lon: 10.445, ID: 20047)										
	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	22.900	27.600	8.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	7.180	13.400	7.010	0.956	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.551	2.620	2.650	1.010	0.210	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.156	1.030	1.150	0.876	0.151	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.153	0.573	0.651	0.127	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.002	0.187	0.368	0.082	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.128	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.044	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	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

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.790	11.200	1.000

Figura n.14 : Tabella riassuntiva Magnitudo-Distanza relativa alla *disaggregazione di  $a_g$*  per il Comune di San Giuliano Terme (PI) e terna di valori medi M-D- $\epsilon$ .

Il grafico Magnitudo-Distanza ottenuto dalla disaggregazione dei valori di  $a_g$  (figura n.13 precedente) mostra che i contributi percentuali alla pericolosità sismica del Comune di San Giuliano Terme sono dati da valori di *Magnitudo locale  $M_l$*  compresi tra 4.0 e 6.0 per una distanza da 0 a 40 Km, di questi quello massimo, compreso tra 25-30 %, è riferito a  $M_l$  tra 4.5 e 5.0 per distanze entro i 10 Km (cella di colore viola) e quello subito dopo, tra 20-25 %, a  $M_l$  compresa tra 4.0 e 5.0 (cella di colore fucsia) sempre per distanze entro i 10 Km.

La tabella riepilogativa della terna di valori medi M-D- $\epsilon$ , nel riquadro al piede della tabella dell'elaborazione della disaggregazione di figura n.14 precedente evidenzia una Magnitudo locale media  $M_l$  di 4.79.

Secondo alcuni autori (Aiello E. - C.G.T. Università di Siena - Convegno Nazionale dei Geologi "La salvaguardia del territorio e della popolazione dal Rischio Sismico" - 12/09/2014 - S.Benedetto del Tronto), poiché si tratta di Magnitudo locale media  $M_l$  e non di Magnitudo momento  $M_w$ , per le verifiche della suscettibilità a liquefazione dei terreni è opportuno e utilizzare il valore di  $M_l$  che comprenda una percentuale  $\geq 90\%$  dei contributi, ricavabile dalla

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Tabella Magnitudo-Distanza di figura n.14 (celle nel riquadro tratteggiato in rosso) secondo la seguente procedura :

MI : 4.0-4.5	per	D : 0-10, 10-20, 20-30 Km	$22.9+7.18+0.55 = 30.63 \%$
MI : 4.5-5.0	per	D : 0-10, 10-20, 20-30 Km	$27.6+13,4+2.62 = 43.62 \%$
MI : 5.0-5.5	per	D : 0-10, 10-20, 20-30 Km	<u><math>8.10+7.01+2.65 = 17.76 \%</math></u>
Totale :			92.01 %

assumendo il valore di MI maggiore, che in questo caso è a 5.5, anche se fornisce il contributo percentuale minore.

Le analisi di disaggregazione di  $a_g$  per i comuni di Pisa, Cascina e Calci, limitrofi all'area d'intervento, hanno fornito risultati e valori della terna M-D- $\epsilon$  simili e paragonabili a quelli del Comune di San Giuliano Terme, con valori di magnitudo locale MI media compresi tra 4.78, per Pisa, e 4.81 per Calci (tabelle sottostanti).

Terna M-D- $\epsilon$ Comune di Pisa			Terna M-D- $\epsilon$ Comune di Calci			Terna M-D- $\epsilon$ Comune di Cascina		
Valori medi			Valori medi			Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon	Magnitudo	Distanza	Epsilon	Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.780	11.000	1.010	4.810	11.400	1.030	4.790	11.200	1.000

Anche per questi comuni la Magnitudo locale MI valutata con la procedura di cui sopra risulta 5.5, pur fornendo un contributo percentuale minore alle rispettive pericolosità sismiche.



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

### 3.4 - STORIA SISMICA DEL COMUNE DI SAN GIULIANO TERME

Sulla base dei dati macrosismici e strumentali riferiti a terremoti con intensità massima  $I_{\max} \geq 5.0$  o magnitudo massima  $M \geq 4.0$  relativi alla finestra temporale 1000-2014, contenuti nel Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15) e nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15) disponibili sul sito dell'INGV, è possibile risalire alla storia sismica di qualsiasi area del territorio nazionale.

La storia sismica del Comune di San Giuliano Terme tiene conto di n.18 eventi con Intensità al sito (Int.) compresa tra 2 e 6, Intensità epicentrale  $I_0$  tra 5 e 10 e Magnitudo momento  $M_w$  tra 4.15 e 6.61, quest'ultima relativa al terremoto del 30/10/2016 con area epicentrale in Valnerina (vedi scheda sottostante in figura n.15 – fonte INGV).

Effetti	In occasione del terremoto del												
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	$I_0$	$M_w$			
6	1846	08	14	12			Colline Pisane	121	9	6.04			
NF	1887	11	14	05	48	0	Fiorentino	101	6	4.47			
2	1895	05	18	19	55	1	Fiorentino	401	8	5.50			
2	1901	09	22	21	42	1	Valdelsa	35	6	4.68			
4-5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36			
4	1914	01	15	03	27	2	Livornese	25	5	4.33			
5	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63			
5	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38			
2	1929	07	18	21	02		Mugello	56	6-7	4.96			
4	1930	05	24	22	02		Appennino tosco-emiliano	43	5	4.91			
4	1980	06	07	18	35	0	Garfagnana	102	6-7	4.64			
4	1982	09	01	15	33	1	Valle del Serchio	47	5-6	4.21			
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04			
5	1984	05	01	22	14	2	Costa pisano-livornese	16	5	3.89			
4	1985	01	23	10	10	1	Garfagnana	73	6	4.60			
NF	1987	01	22	05	10	5	Costa pisano-livornese	157	5-6	4.15			
4-5	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82			
F	2016	10	30	06	40	1	Valnerina	379		6.61			

Figura n.15 : Eventi sismici caratterizzanti la storia sismica di San Giuliano Terme (fonte INGV).

Nella maggior parte di questi eventi la magnitudo  $M_w$  è stata sempre compresa tra 4.21 e 5.5, con valori prevalenti inferiori a 5.0, solo in due occasioni ha superato 6.0 con valori di 6.04 (14/08/1846–Colline Pisane) e di 6.61 (30/10/2016–Valnerina), mentre in una sola occasione è risulta di 3.89 (01/05/1985 - Costa Pisano-Livornese).

Il grafico seguente (figura n.16) riassume la storia sismica del Comune di Collesalveti. L'asse delle ordinate riporta le intensità al sito (Int.) a partire da valori  $\geq 4$ , quello delle ascisse gli anni compresi nel periodo 1000-2016.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

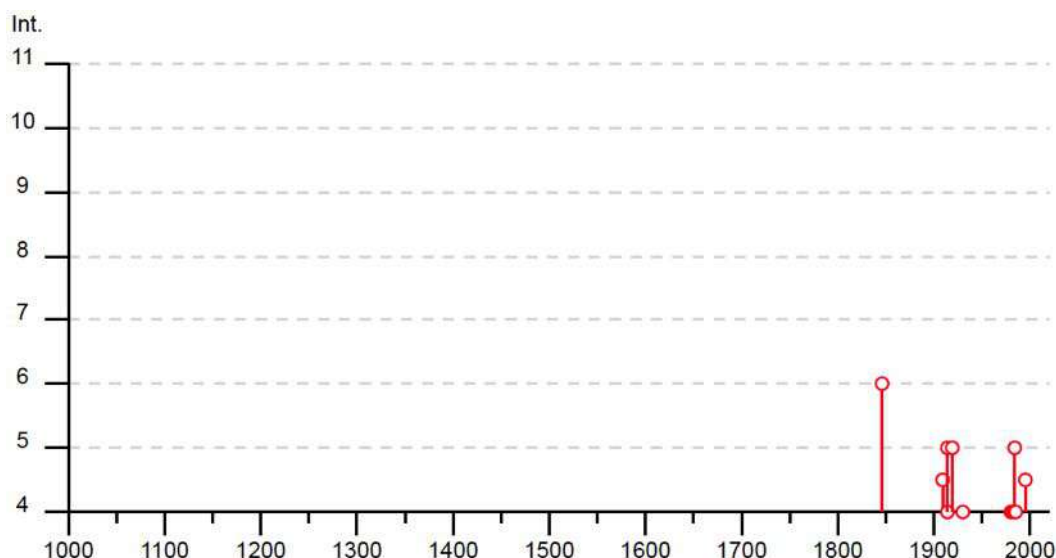


Figura n.16 : Grafico della storia sismica del Comune di San Giuliano Terme (fonte INGV).

### 3.5 - PERICOLOSITA' SISMICA DEL TERRITORIO ITALIANO

L'INGV, sulla base dell'analisi cinematica degli elementi geologici cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale, del confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e le sismicità osservate, dei meccanismi focali, delle regionalizzazioni e profondità, delle leggi di attenuazione del moto del suolo, degli intervalli di completezza dei dati del catalogo (intervalli di completezza prevalentemente storici CO-04.2 e intervalli di completezza prevalentemente statistici CO-04.4), dell'elaborazione e distribuzione sul territorio nazionale del valore di  $M_{max}$  (magnitudo massima) e  $a_{max}$  (accelerazione massima con probabilità di superamento del 10% in 50 anni) è pervenuta alla redazione della mappa della Zonazione Sismogenetica ZS9 e alla mappa della Pericolosità Sismica del territorio nazionale (OPCM n.3274 del 20/03/2003).

Ogni zona sismogenetica è quindi caratterizzata da un definito modello cinematico che tiene conto di una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo al contorno.

Prendendo come riferimento la Zonazione Sismogenetica Nazionale ZS9, l'INGV ha prodotto la mappa della pericolosità sismica del territorio italiano, il cui estratto di riferimento per la Regione Toscana è riportato in figura n.17 seguente, espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi caratterizzati da  $V_{s30} > 800$  m/s, ossia riconducibili alla categoria di sottosuolo A (O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003, Allegato 2, 3.1).



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

La pericolosità sismica di riferimento ipotizza un substrato omogeneo rigido ed è espressa in PGA (Peak Ground Acceleration) riferita ad un tempo di ritorno di 475 anni, valore convenzionale associato alla probabilità del 90% di non superamento dell'accelerazione massima relativa ad un periodo di riferimento di 50 anni.

Per ogni comune il risultato è quindi rappresentato da una stima del rischio sismico che tiene conto della propria storia sismica riportata nel catalogo sismico nazionale e che è espresso in termini probabilistici.

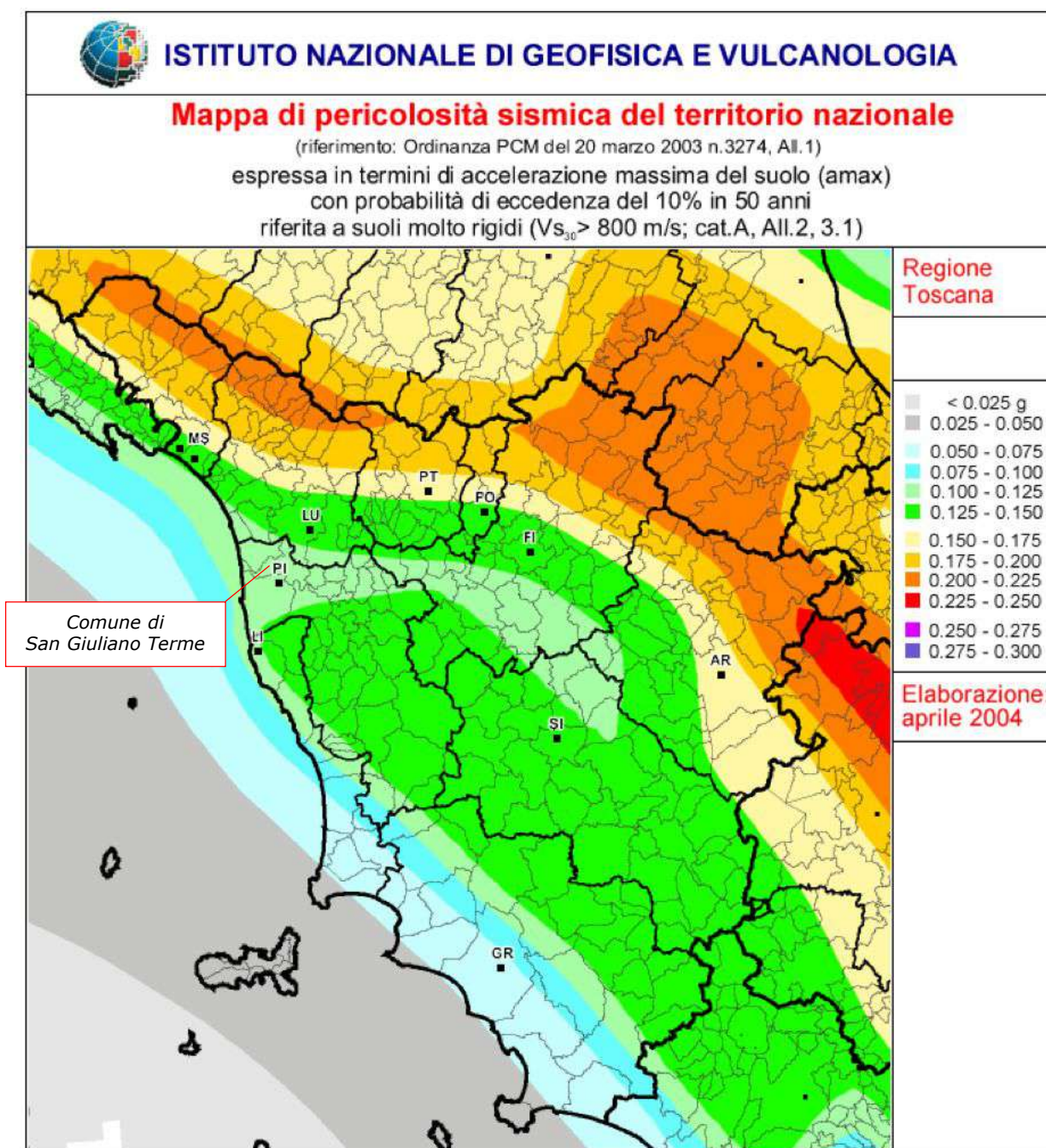


Figura n.17 : Estratto della Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale (INGV).

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

### 3.6 - CLASSIFICAZIONE E PERICOLOSITA' SISMICA DEL COMUNE DI SAN GIULIANO TERME

#### 3.6.1 - CLASSIFICAZIONE E PERICOLOSITA' SISMICA A LIVELLO NAZIONALE

Il territorio nazionale, secondo i criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale definiti nell'OPCM n.3519/2006, è suddiviso in quattro Zone Sismiche caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale massima  $a_g$  (PGA) su suolo rigido pianeggiante di categoria A ( $V_{s30} > 800$  m/s), secondo la Tabella n.1 seguente.

Tabella n.1

Zona Sismica	Descrizione	PGA ( $a_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni	Valore Massimo convenzionale PGA ( $a_g$ )
1	E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti	$a_g > 0.25$ g	0.35 g
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti	$0.15 < a_g \leq 0.25$ g	0.25 g
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari	$0.05 < a_g \leq 0.15$ g	0.15 g
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica	$a_g < 0.05$ g	0.05 g

Nell'ambito di questa suddivisione il Comune di San Giuliano Terme ricade in Zona Sismica 3 alla quale corrisponde un'accelerazione di picco orizzontale (PGA) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresa tra 0.05 e 0.15 g, come mostra la sudetta Tabella.

Nella carta probabilistica di pericolosità sismica del territorio nazionale redatta dall'INGV, il cui estratto di riferimento è riportato nella precedente figura n.18, a questa zona sismica corrisponde un'accelerazione di picco orizzontale (PGA) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresa tra 0.125 e 0.150 che si traduce in una accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0,15 g.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

### 3.6.2 - CLASSIFICAZIONE E PERICOLOSITA' SISMICA A LIVELLO REGIONALE

La Del.G.R.T. n.421 del 26 maggio 2014 "Aggiornamento dell'allegato 1 (elenco comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della Del.G.R.T n.878 del 08 ottobre 2012, recante "Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. n.3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14/01/2008 - Revoca della Del.G.R.T. n.431/2006" e cessazione di efficacia dell'elenco dei Comuni a Maggior Rischio Sismico della Toscana (D.G.R. n.841/2007)", non ha modificato la classificazione sismica del Comune di San Giuliano Terme (PI) che resta pertanto compreso nella Zona Sismica 3, come già indicata nella precedente Del.G.R.T. n.878 del 08/10/2012 (figura n.19 sottostante).



Figura n.19 : Estratto Mappa Aggiornamento della Classificazione Sismica della Toscana (Delib.G.R.T. n.421 del 26/05/2014)

La Zona Sismica 3 a livello regionale è caratterizzata da una pericolosità sismica bassa che può essere soggetta a scuotimenti modesti.

Questa zona, come specificato nel D.P.G.R.T. n.58/R del 22/10/2012, è suddivisa in fasce di pericolosità che tengono conto del valore di accelerazione sismica  $a_g$  su suolo rigido e pianeggiante relativo allo Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV) riferito ad un periodo di ritorno  $T_r$  di 475 anni, corrispondente in termini progettuali ad una Vita Nominale ( $V_N$ ) di 50 anni e ad un Coefficiente d'Uso (CU) pari a 1, ossia alla Classe d'Uso 2 (mappe in figure n.21 e n.22).

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

In particolare, sono state individuate tre fasce di pericolosità sismica, denominate A, B e C, contraddistinte dai seguenti valori di accelerazione  $a_g$  :

⇒ fascia A con valori di  $a_g > 0.15$  g;

⇒ fascia B con valori di  $0.125 < a_g \leq 0.15$  g;

⇒ fascia C con valori di  $a_g \leq 0.125$  g.

Dal valore di  $a_g$  relativo allo Stato Limite sismico SLV, pari a  $0.119$  g, riferito alle suddette condizioni (Classe d'Uso 2 – Coefficiente d'Uso 1), ottenuto con il software on line Parametri Sismici di Geostru analogo al software Spettri-NTC versione 1.0.3 scaricabile sul portale internet del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, *il sito in oggetto risulta appartenere alla fascia C di pericolosità sismica* (vedi tabella riepilogativa seguente).

## Stati limite



Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...



Vita Nominale

50



Interpolazione

Superficie rigata

**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	F <sub>0</sub>	T <sub>c</sub> * [s]
Operatività (SLO)	30	0.039	2.577	0.226
Danno (SLD)	50	0.049	2.553	0.249
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.119	2.411	0.282
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.154	2.391	0.285
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Tabella riepilogativa per la determinazione della fascia di pericolosità sismica : Classe d'uso = 2; Vita Nominale = 50 anni; Coefficiente d'Uso CU = 1,  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito (con  $g = 9,81$  m/sec<sup>2</sup>); F<sub>0</sub> = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T<sub>c</sub>\* = valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI) Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020		Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Le coordinate geografiche che identificano la zona d'intervento (figura n.20) nel reticolo di riferimento per la definizione della pericolosità sismica sono :

- Sistema WGS84 : Latitudine 43.720571° – Longitudine 10.469842°
- Sistema EDO : Latitudine 43.721536° – Longitudine 10.470842°



Figura n.17 : Ubicazione della zona d'intervento nell'ambito del reticolo di riferimento per la determinazione della pericolosità sismica del sito.

#### IDENTIFICAZIONE DEL SITO D'INTERVENTO NELL'AMBITO DEL RETICOLO DI RIFERIMENTO

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	20047	43,745340	10,444960	3366,1
Sito 2	20048	43,747120	10,514080	4490,1
Sito 3	20270	43,697150	10,516470	4561,0
Sito 4	20269	43,695380	10,447430	3464,1

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus



Direzione Generale Politiche Territoriali ed Ambientali e per la Mobilità  
COORDINAMENTO REGIONALE PREVENZIONE SISMICA

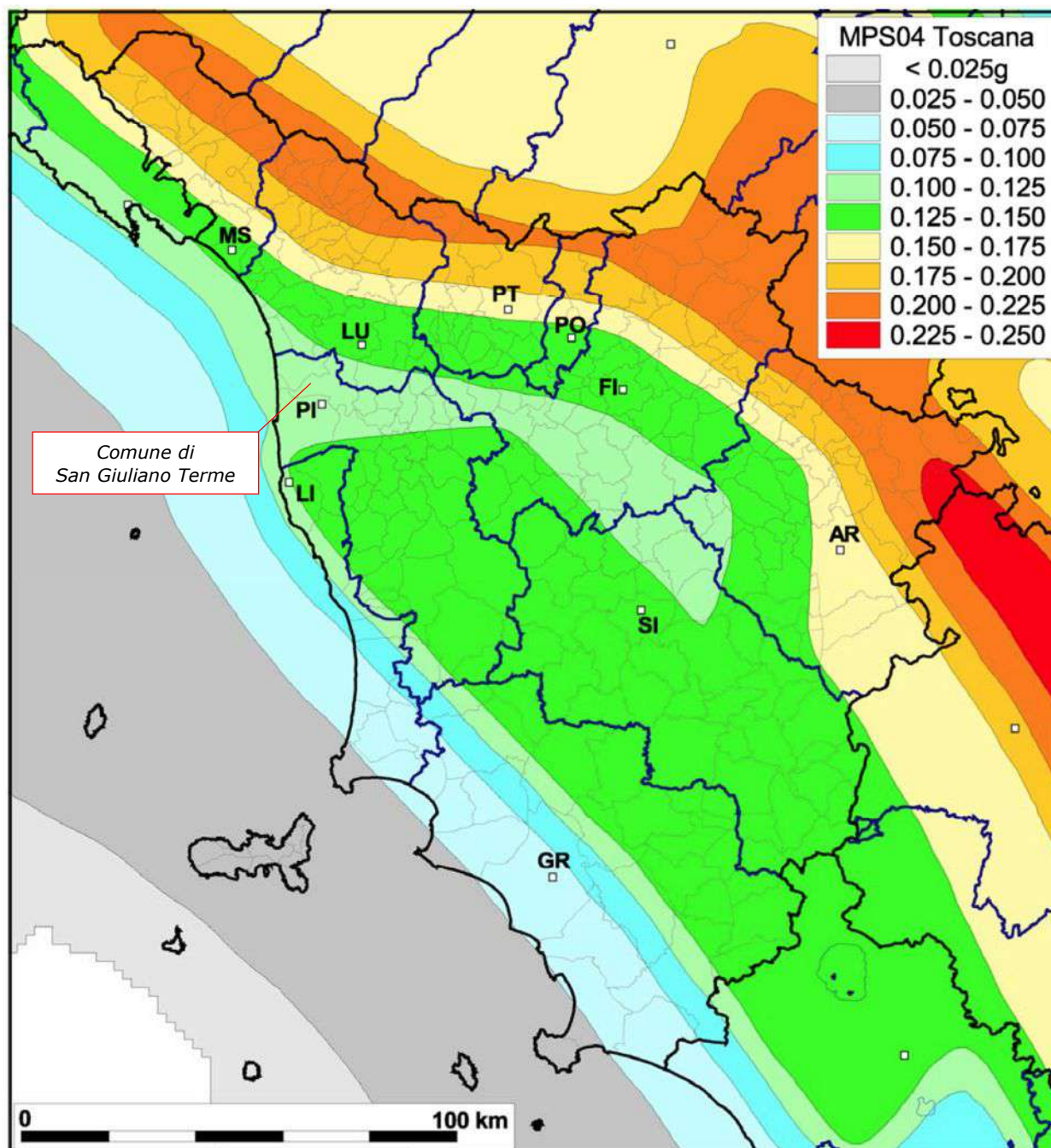


Figura n.21 : Mappa di Pericolosità Sismica (MPS) della Toscana (mappa mediana al 50° percentile). I valori di accelerazione sono riferiti ad un tempo di ritorno pari a 475 anni (INGV, 2004)



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus



GENIO CIVILE DI AREA VASTA FIRENZE, PRATO, PISTOIA ED AREZZO  
COORDINAMENTO REGIONALE PREVENZIONE SISMICA

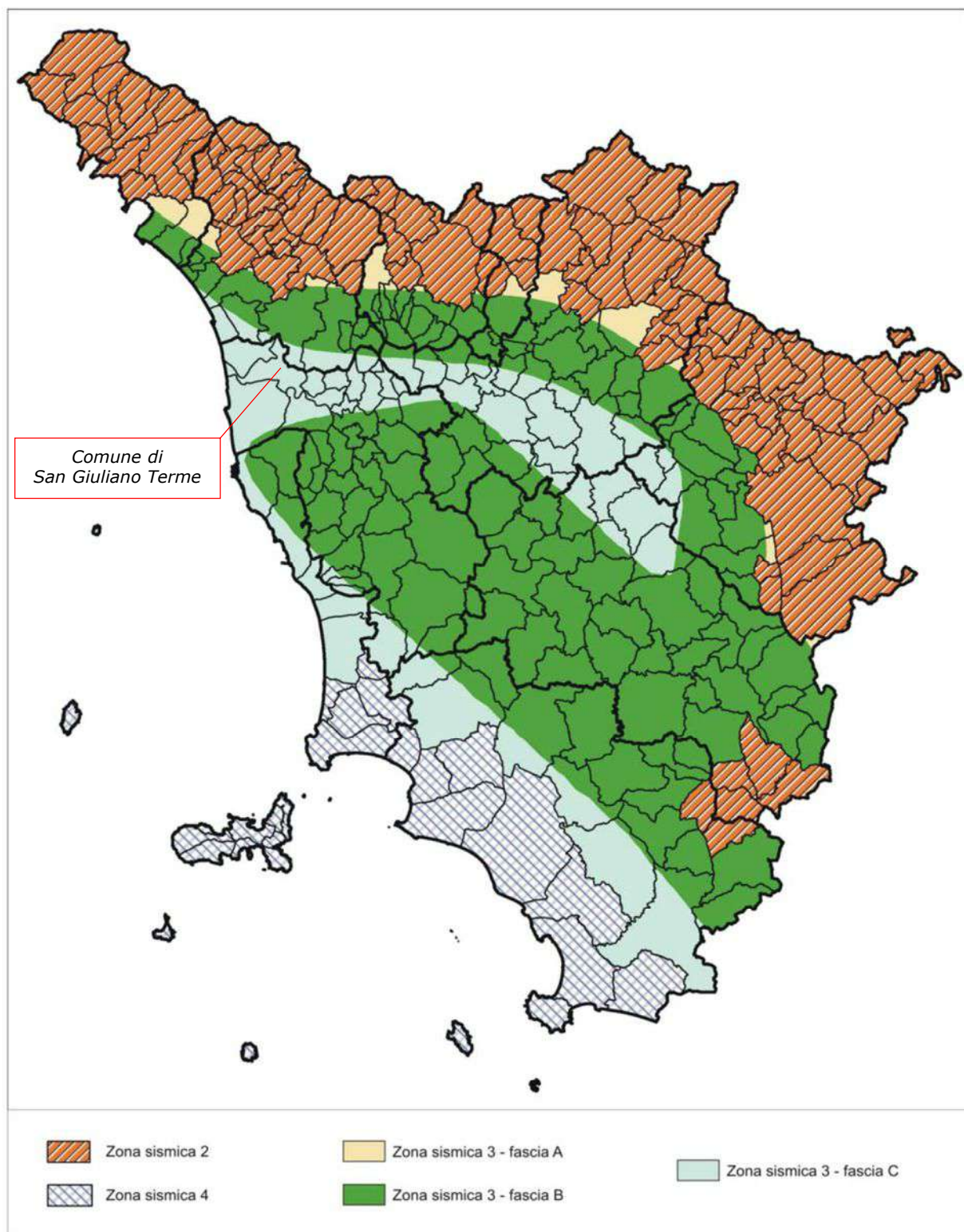


Figura n.22 : Nuova Classificazione Sismica della Toscana (Delib.G.R.T. N.878/2012) con suddivisione della Zona Sismica 3 nelle tre fasce A, B, C, previste dal D.P.G.R.T. n.58/R/2012.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

### 3.7 - CARATTERISTICHE DELLE OPERE IN PRESENZA DI AZIONI SISMICHE

Per la determinazione dell'azione sismica di progetto ai fini delle verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) e di Esercizio (SLE) devono essere definite inizialmente le caratteristiche dell'opera/intervento previste nel D.M. 17/01/2018, quali : la Classe d'Uso, la Vita Nominale, il Coefficiente d'Uso e il Periodo di Riferimento per l'azione sismica.

#### 3.7.1 - CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in 4 Classi d'Uso corrispondenti alle Classi d'Importanza definite nell'Euro Codice 8 (EC8).

Tabella n.2

Classe d'Uso	1	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe d'Uso	2	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
Classe d'Uso	3	Costruzioni il cui uso prevede 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.
Classe d'Uso	4	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 di tipo A o B, di cui al D.M. 05/11/2001 n.6792, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. 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.

#### 3.7.2 - VITA NOMINALE

La Vita Nominale di progetto  $V_N$  di un'opera o costruzione rappresenta, convenzionalmente, il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, mantenga specifici livelli prestazionali per poter essere usata per lo scopo a cui è destinata.

La Vita Nominale è stabilita in relazione ai diversi di tipi di costruzione o opere.

I valori minimi di  $V_N$  da adottare per ciascuno di essi sono indicati nella Tabella 2.4.I del D.M. 17/01/2018 di seguito riportata.



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Tabella 2.4.I del D.M. 17/01/2018

TIPI DI COSTRUZIONE		Valori minimi di "V <sub>N</sub> " (in anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli prestazionali ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazione elevati	100

*Non sono da considerarsi temporanee le costruzioni o parti di esse che possono essere smantellate con l'intento di essere riutilizzate.*

*Per un'opera di nuova realizzazione la cui fase di costruzione sia prevista in sede di progetto di durata pari a PN, la Vita Nominale relativa a tale fase di costruzione, ai fini della valutazione delle azioni sismiche, dovrà essere assunta non inferiore a PN e comunque non inferiore a 5 anni.*

*Le verifiche sismiche di opere di tipo 1 o in fase di costruzione possono omettersi quando il progetto preveda che tale condizione permanga per meno di 2 anni.*

### 3.7.3 - COEFFICIENTE D'USO

Il valore del Coefficiente d'Uso "CU" è definito al variare della Classe d'Uso come mostrato nella tabella seguente.

Tabella 2.4.II del D.M. 17/01/2018

CLASSE D'USO	1	2	3	4
COEFFICIENTE D'USO "CU"	0.7	1.0	1.5	2.0

Per le costruzioni a servizio di attività a rischio di incidente rilevante si adotteranno valori di CU anche superiori a 2, in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento degli stati limite.

### 3.7.4 - PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione sono valutate rispetto ad un prefissato Periodo di Riferimento V<sub>R</sub>, espresso in anni, che è funzione della Vita Nominale V<sub>N</sub> e del Coefficiente d'Uso CU dell'opera stessa, secondo la seguente relazione :

$$V_R \text{ (periodo di riferimento per l'azione sismica)} = V_N \times CU$$

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Per i tre tipi di costruzione : 1, 2 e 3, previsti dalla normativa, i valori del Periodo di Riferimento per l'azione sismica  $V_R$  risultano i seguenti.

Tabella n.3

TIPO DI COSTRUZIONE	Valore minimo di $V_N$ (anni)	CLASSI D'USO			
		1	2	3	4
		COEFFICIENTI D'USO "CU"			
		CU = 0,7	CU = 1,0	CU = 1,5	CU = 2,0
		PERIODO DI RIFERIMENTO $V_R$ (anni)			
1	10	35	35	35	35
2	50	35	50	75	100
3	100	70	100	150	200

### 3.7.5 - CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO IN PRESENZA DI AZIONI SISMICHE

In presenza di azioni sismiche per l'intervento in progetto, trattandosi di una edificio con destinazione a Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA), sono state considerate le seguenti caratteristiche (da confermare da parte del progettista essendo un dato sua competenza).

Tabella n.4

TIPO DI COSTRUZIONE	2
VITA NOMINALE " $V_N$ "	50 anni
CLASSE D'USO	3
COEFFICIENTE D'USO	1.5 (per Classe d'Uso 3)
PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA " $V_R$ "	75 anni ( $V_N \times CU$ )

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

### 3.8 - PERICOLOSITA' SISMICA E AZIONI SISMICHE

Secondo i disposti del D.M. 17/01/2018 le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei vari stati limite presi in considerazione, sono definite partendo dalla *pericolosità sismica di base* del sito oggetto d'intervento che costituisce l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione delle azioni sismiche stesse, e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La *pericolosità sismica* è definita mediante un approccio "sito dipendente", e non più tramite un criterio "zona dipendente", ed è intesa come accelerazione massima orizzontale  $a_g$  in condizioni di campo libero (free field) su suolo di riferimento rigido ( $V_{s30} > 800$  m/s) con superficie topografica orizzontale (categoria di sottosuolo A - Tab. 3.2.II - D.M. 17/01/2018), nonché in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , come definiti al paragrafo 2.4 del D.M. 17/01/2018. In alternativa, è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , a partire dai seguenti tre parametri su suolo rigido e orizzontale di riferimento :

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  = valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ , necessari per determinazione delle azioni sismiche si fa riferimento agli Allegati A e B del Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008.

Questi tre parametri sono valutati nell'ambito di un reticolo di riferimento, i cui nodi delle maglie non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per differenti tempi di ritorno.

#### 3.8.1 - STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITA' DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli stati limite di esercizio (SLE) che gli stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli Stati Limite di Esercizio (SLE) comprendono :

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

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

⇒ **Stato Limite di Danno (SLD)** : a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e 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 (SLU) comprendono invece :

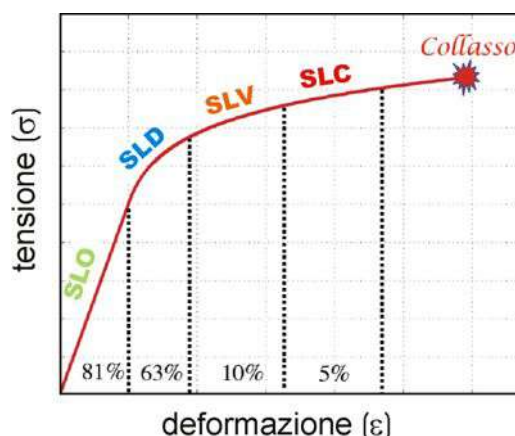
- ⇒ **Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)** : a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; 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 probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I. del D.M. 17/01/20018 e nel grafico seguenti.

Tabella n.5

Stati Limite	$P_{VR}$	
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

$P_{VR}$  = probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $V_R$ .



Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE) sia di prioritaria importanza, i valori di  $P_{VR}$  nella precedente tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  si ricava il valore del periodo di ritorno  $T_R$  con la seguente relazione :

$$T_R = - V_R / \ln (1 - P_{VR}) = - (CU V_N) / \ln (1 - P_{VR})$$

dove :

CU = Coefficiente d'uso;

$V_N$  = Vita nominale.

Sotto l'effetto dell'azione sismica, le opere e i sistemi geotecnici devono rispettare gli Stati Limite Ultimi e di Esercizio e le verifiche si riferiscono al solo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLU-SLV) e al solo Stato Limite di Danno (SLE-SLD).

### 3.9 - GENERALITA' SULLE CATEGORIE DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE

L'azione sismica di progetto si determina sulla base dell'effetto della risposta sismica locale (RSL) valutata mediante specifiche analisi indicate al paragrafo 7.11.3 del D.M. 17/01/2018.

La risposta sismica locale è l'azione sismica che emerge in superficie a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido alla superficie.

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie di sottosuolo definite nella tabella 3.2.II del D.M. 14/01/2008, riportata in pagina seguente, si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio S ( $V_s$ ).

I valori della  $V_s$  si ottengono mediante specifiche prove/indagini eseguite in sito oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche per quelli a grana fine.

La determinazione della categoria di sottosuolo di fondazione si effettua sulla base delle condizioni stratigrafiche e dei valori della velocità equivalente di propagazione delle onde sismiche di taglio S " $V_{Seq}$ " (in m/s), tramite la seguente espressione :

$$V_{Seq} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

con :

$h_i$  = spessore in metri dello strato i-esimo.

$V_{Si}$  = velocità dell'onda di taglio nell'i-esimo strato;

N = n° di strati di terreno;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali la profondità del sub-strato, rispetto alla quale calcolare la  $V_{seq}$ , è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Per le di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera e per muri di sostegno di terrapieni è invece riferita al piano di imposta della fondazione.

Nel caso di depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, ovvero di depositi della copertura del sub-strato con spessore maggiore di 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{seq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo H = 30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà ( $V_s$ ) dei singoli strati di terreno fino a tale profondità.

Tabella 3.2.II del D.M. 17/01/2018

CATEGORIA	CONDIZIONI STRATIGRAFICHE
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori della velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o di terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori della velocità equivalente <math>V_{seq}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori della velocità equivalente <math>V_{seq}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori della velocità equivalente <math>V_{seq}</math> compresi tra 100 m/s e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori della velocità equivalente <math>V_{seq}</math> riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

*I parametri necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_s$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, ossia nella parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso.*

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

### 3.10 - INDAGINI SISMICHE IN SITU

#### 3.10.1 - INDAGINE SISMICA DOWN HOLE

Il modello sismo-stratigrafico di riferimento per il sottosuolo locale è stato ricostruito sulla base del profilo verticale della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio Sh ottenuto tramite una prospezione sismica Down Hole (DH) eseguita in data 26/06/2020 nel foro del sondaggio S1, precedentemente attrezzato con idonea tubazione fino alla profondità di -33,00 m dal p.c. (vedi ubicazione in Tavola n.2 allegata e foto n.1 e n.2 seguenti).



Foto n.1 : Esecuzione dell'indagine sismica Down Hole nel foro del sondaggio S1.



Foto n.2 : Generazione delle perturbazioni elastiche sismiche nell'indagine Down Hole.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

### 3.10.1.2 - GENERALITA' SULL' INDAGINE SISMICA DOWN HOLE

Questa tipologia d'indagine è una delle tecniche più utilizzate, in uso già dagli anni '60, nell'ambito della dinamica dei terreni e dell'ingegneria geotecnica-sismica.

La finalità di questa prospezione è la determinazione della velocità di propagazione delle onde di volume P ed Sh (onde elastiche) che vengono generate artificialmente mediante una sorgente posta sulla superficie del terreno ed energizzata meccanicamente (sorgente attiva).

Le onde elastiche così prodotte, propagandosi in tutte le direzioni, giungono a dei ricevitori (geofoni) collocati in una tubazione verticale installata e adeguatamente cementata nel foro di un sondaggio e collegati ad una strumentazione di acquisizione (sismografo) in superficie. L'attrezzatura è completata da un dispositivo trigger e da dispositivi di orientazione dei geofoni.

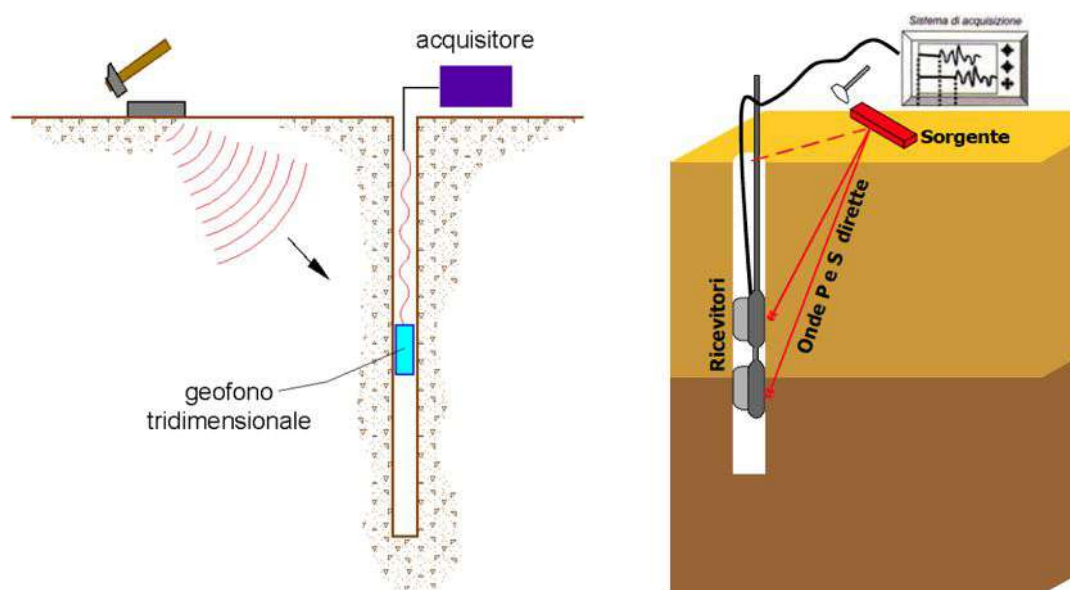


Figura n.23 : Schema semplificato della metodologia dell'indagine sismica Down Hole.

Nota la distanza tra la sorgente ed i ricevitori e la profondità di misura, ovvero del geofono (ricevitore), è quindi possibile ricavare la velocità delle onde P e S attraverso una procedura di elaborazione dei dati acquisiti e registrati che prevede anche la correzione dei tempi di arrivo di entrambe le perturbazioni.

### 3.10.1.3 - CARATTERISTICHE DELL'ATTREZZATURA

#### SORGENTI

Le sorgenti sono di tipo meccanico, generalmente di tipo impulsivo, e devono essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, quindi con la possibilità di ottenere prevalentemente onde P ed Sh.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Per le onde P la sorgente è solitamente costituita da una piastra metallica quadrata o circolare, mentre per le onde Sh si utilizza essenzialmente una longarina/trave di forma a parallelepipedo, preferibilmente in legno per evitare fenomeni di esaltazione o di risonanza dell'onda.

L'energizzazione delle sorgenti, per originare le perturbazioni, avviene tramite un mazzuola che colpisce verticalmente la piastra nel caso delle onde P, mentre per le onde Sh i colpi vengono assestati orizzontalmente prima ad una estremità e poi all'altra della trave.

Entrambe le sorgenti devono essere posizionate in piano orizzontale e rimanervi per tutta la durata dell'indagine; in particolare, la trave per le onde Sh deve permanere perfettamente aderente alla superficie del terreno evitando che si sposti durante le battute al fine di minimizzare le dispersioni di energia del segnale.

Per fare questo la trave viene incastrata nel terreno per un breve tratto e/o gravata con un carico statico (p.e. il mezzo di trasporto dell'attrezzatura); altresì, non deve affondare nel terreno, p.e. in presenza di terreni argillosi molli, per non generare prevalentemente onde P.

Considerata l'entità di energia prodotta mediante le battute, le deformazioni indotte nel terreno in prossimità della superficie sono inferiori a  $10^{-2}$  % e decrescono con la profondità.

### TUBAZIONE

La tubazione, nella quale vengono calati i ricevitori, è costituita da materiale ad alta impedenza alle vibrazioni (es. alluminio, PVC pesante di spessore 3,0 mm), di diametro  $\phi$  compreso tra 75-125 mm.

Per mantenerne la verticalità e la stabilità l'intercapedine tra la sua parete esterna e quella del foro del sondaggio è accuratamente riempita con malta cementizia a ritiro controllato, così da garantire la perfetta aderenza tubazione-terreno ed in modo che le onde sismiche possano propagarsi ad ogni profondità dal terreno al tubo e quindi ai geofoni.

Il tempo adeguato per il ritiro della malta è di almeno 15-20 giorni, meglio se di 30 giorni. Una non corretta cementazione comporta registrazioni ricche di alte frequenze, soprattutto in presenza di terreni granulari.

Prima di calare la tubazione è opportuno verificare che il foro sia libero da strozzature e che il tubo non presenti lesioni.

### STRUMENTAZIONE DI RICEZIONE (GEOFONI)

Il sistema di ricezione è composto da uno o due geofoni da pozzo tridimensionali e orientabili, collegati alla strumentazione di acquisizione in superficie.

I geofoni sono costituiti da un contenitore cilindrico di piccolo diametro, all'interno del quale sono alloggiati tre trasduttori di velocità orientati secondo le componenti di una terna cartesiana ortonormale, in modo che uno sia orientato secondo la lunghezza del contenitore

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

(trasduttore verticale, per la ricezione delle onde P) e gli altri due perpendicolari ed esso (trasduttori orizzontali), di cui uno radialmente al tubo-foro per massimizzare la ricezione delle onde Sh.

Il contenitore ha in genere un diametro di 50 mm, in modo da poter essere calato liberamente nella tubazione, ed è dotato di un sistema di bloccaggio solitamente costituito da un cuscinetto ad aria compressa (packer) che con l'immissione di aria si gonfia fino di aderire perfettamente alla parete del tubo alla profondità di misura, rimanendovi bloccato fino al termine dell'acquisizione del segnale a tale quota.

I trasduttori devono possedere appropriate caratteristiche di frequenza e sensitività per poter rilevare adeguatamente i treni di onde provenienti dalle sorgenti, la frequenza propria è in genere 10-14 Hz.

Nel caso di utilizzo di due geofoni questi devono essere vincolati nella loro distanza verticale reciproca (in genere da 1,0 a 3,0 m) e nella loro orientazione relativa in modo che i trasduttori orizzontali siano sempre paralleli e concordi a due a due.

Il sistema di ricezione è opportuno che sia integrato con un dispositivo di controllo dell'orientazione dei trasduttori rispetto alla sorgente (orientamento assoluto).

### TRIGGER

Il trigger è un dispositivo dotato di un sensore (inerziale, di spostamenti, velocità, accelerazione, ecc.) collegato alla strumentazione di acquisizione dati, che consente di definire l'istante di attivazione della sorgente, quindi l'istante di partenza delle onde sismiche (istante/tempo zero), e contemporaneamente di dare inizio delle registrazioni del segnale sismico giunto ai geofoni (ricevitori).

Il trigger è generalmente composto da un trasduttore piezoelettrico montato sulla mazza di battuta che funziona come un circuito elettrico, collegato ad un condensatore, che si chiude nel momento in cui la mazza colpisce la piastra o la trave, permettendo al condensatore di inviare un impulso al sistema di acquisizione dei dati.

### STRUMENTAZIONE DI ACQUISIZIONE E REGISTRAZIONE DEI DATI

Il sistema di acquisizione consiste in un sismografo multicanale in grado di registrare, in forma digitale su ogni canale, le forme d'onda acquisite e di conservarle in memoria massa. Ad esso sono collegati i ricevitori (geofoni) e il sensore del trigger, consentendo così di visualizzare su un monitor le vibrazioni, come forme d'onda, rilevate dai geofoni.

I sismografi devono avere una banda di acquisizione di larghezza abbastanza elevata (1.75-20000 Hz), anche se per i segnali sismici se ne utilizza una minima parte (1-50 Hz), e consentire un intervallo di campionamento minimo sufficientemente piccolo (0,02 ms) e una durata sufficientemente elevata (16000 punti) per garantire un corretto campionamento del

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

segnale che non comporti perdite di componenti di frequenza significative. Inoltre, devono permettere la possibilità di operare trattamenti preliminari del segnale (medie, somme, filtri ec..).

#### 3.10.1.4 - MODALITA' OPERATIVE

- 1) Le sorgenti delle onde P ed Sh vengono posizionate da una distanza dall'asse della tubazione generalmente compresa tra 1,5 e 3,0 m, previa predisposizione dei piani di appoggio, eliminando le eventuali asperità così da avere una superficie liscia e in piano. Queste sono collocate ortogonalmente ad un raggio uscente dall'asse del tubo-foro e quella delle onde Sh piazzata in modo tale che gli estremi della trave di battuta siano equidistanti da esso.
- 2) Il ricevitore (geofono tridimensionale) viene calato nella tubazione alla prima profondità di prova, generalmente partendo dal basso, assicurandolo alle sue pareti tramite il dispositivo ad aria compressa di cui è dotato, facendo sì che uno dei due trasduttori orizzontali sia parallelo all'asse della sorgente.
- 3) La sorgente di onde Sh (trave) viene colpita orizzontalmente con la mazza, o manualmente dall'operatore o tramite un cavalletto a pendolo dotato di sistema di blocco e sgancio, prima ad un'estremità e poi all'altra. La sorgente delle onde P è invece colpita verticalmente. Contemporaneamente alle battute inizia la registrazione dei segnali sul sismografo tramite il dispositivo trigger ed i ricevitori.
- 4) Eseguite le registrazioni dei segnali generati dalle due sorgenti alla prima profondità di misura (profondità del ricevitore), si modifica questa, solitamente di 1,0-1,5 m, e si ripete l'energizzazione delle sorgenti per generare nuovamente onde P ed Sh e, allo stesso tempo, si riavvia la registrazione dei segnali. Si continua a procedere in questo modo fino all'ultima profondità di misura stabilita.

#### 3.10.2 - CARATTERISTICHE DELL'INDAGINE DOWN HOLE IN OGGETTO

L'indagine Down Hole eseguita in situ a supporto del presente progetto ha avuto le seguenti caratteristiche (si veda anche il Rapporto nell'Appendice separata della presente) :

- come sorgente delle onde P è stata utilizzata una piastra metallica circolare mentre per le onde Sh una trave di legno parallelepipeda, tipo traversina, utilizzando per l'energizzazione (colpi) una mazza di battuta dal peso di 10,0 kg;
- entrambe le sorgenti sono state posizionate ad una distanza di circa 3,0 m dall'asse del tubo-foro e disposte perpendicolarmente ad un raggio uscente dal esso;
- il tubo installato nel sondaggio S1 è in PVC pesante di lunghezza 33,0 m, oltre ad 1,0 m fuori terra, con tappo conico alla base;

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

- i ricevitori impiegati sono geofoni tridimensionali;
- il passo di profondità dei geofoni, quindi di misura, è stato di 1,0 m;
- le registrazioni sono state effettuate fino alla profondità di -33,0 m dal p.c.;
- prima di dare inizio all'indagine e alle registrazioni è stata fatta qualche misura di prova per determinare l'orientazione assoluta più efficace del sistema per massimizzare l'ampiezza di ricezione dei geofoni e la registrazione di tracce in opposizione di fase;
- la strumentazione di registrazione è un sismografo *Ambrogeo Echo 24/2010* a 24 bit.

### 3.10.3 - ELABORAZIONE DELLE REGISTRAZIONI DELL'INDAGINE DOWN HOLE IN OGGETTO

La velocità di propagazione delle onde P ed Sh è stata determinata tramite *metodo diretto*, procedendo inizialmente con l'analisi dei tracciati sismici registrati nel corso dell'indagine, individuando su ciascuno di essi il tempo di primo arrivo delle perturbazioni attraverso metodologie di interpolazione, ricercando punti caratteristici (picchi o valli) successivi al primo arrivo quando questo non risultava chiaramente distinguibile.

Successivamente, i tempi (t) di percorrenza delle onde dalla sorgente al ricevitore sono stati corretti in funzione dello scarto di trigger (in più o in meno rispetto al tempo di trigger medio) e ulteriormente corretti rispetto alla geometria del sistema (distanza sorgente-tubo e profondità di acquisizione, ovvero profondità del geofono), mediante la seguente relazione :

$$t_{\text{corr}} = (z/d) t = [z / \sqrt{(z^2 + R^2)}] t$$

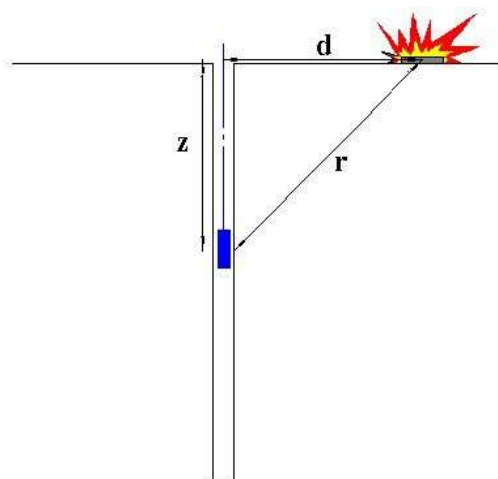


Figura n.24 : Schematizzazione del calcolo del tempo corretto.

d = distanza sorgente-asse tubazione; r = distanza sorgente-geofono; z = profondità di misura/geofono

Con i tempi di arrivo corretti delle onde P ed S è stato ricostruito il diagramma delle dromocrone "t<sub>corr</sub>-profondità z" e da queste, mediante la funzione di regressione lineare relativa a ciascuno dei segmenti rettilinei delle dromocrone P ed S, sono state determinate le velocità V<sub>p</sub> e V<sub>s</sub> alle varie profondità di misura.



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

In questo diagramma ogni punto è la media dei tempi registrati e corretti per le onde P ed S da entrambi i geofoni (direzione x e direzione y) alla stessa profondità e le rispettive velocità sono rappresentate dall'inclinazione dei vari segmenti. Dai valori di  $V_p$  e  $V_s$  così ottenuti è stato quindi ricostruito il profilo verticale di entrambe le velocità e da questo il modello sismo-stratigrafico del tratto di sottosuolo investigato (figura n.25 seguente).

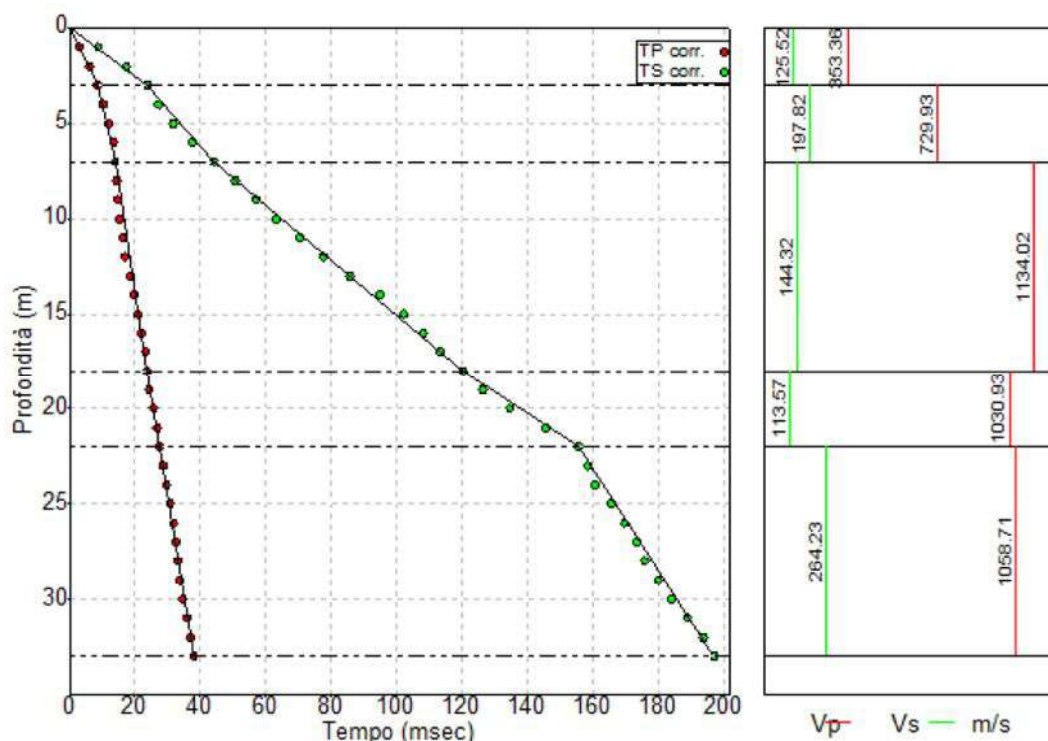


Figura n.25 : A sinistra il diagramma delle dromocroni (in verde i tempi corretti delle onde S in rosso quelli delle onde P); a destra il profilo verticale della  $V_p$  (in rosso) e della  $V_s$  (in verde).

### 3.10.4 - MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO PER IL SOTTOSUOLO LOCALE

Sulla base dei profili verticali della velocità delle onde P ( $V_p$ ) ed S ( $V_s$ ), ottenuti con l'indagine Down Hole, è stato quindi definito l'assetto sismo-stratigrafico di riferimento per il sottosuolo locale, sintetizzato nella Tabella n.6 seguente, che risulta costituito da n.5 sismostrati con differenti spessori e valori di  $V_p$  e  $V_s$ .

Tabella n.6

SISMO-STRATI	INTERVALLI DI PROFONDITÀ (m dal p.c.)	SPESSORI (m)	VELOCITA' CALCOLATE			
			$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$V_p/V_s$	$V_s/V_p$
1	p.c. - 3,0	3,0	353.4	125,5	2.82	0.36
2	3,0 - 7,0	4,0	729.9	197,8	3.69	0.27
3	7,0 - 18,0	11,0	1134.0	144.3	7.86	0.13
4	18,0 - 22,0	4,0	1030,9	113.6	9.07	0.11
5	22,0 - 33,0	11,0	1058.7	264.2	4.01	0.25

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Il modello sismo-stratigrafico si correla bene con l'assetto lito-stratigrafico del tratto di sottosuolo indagato e con l'andamento e valori della resistenza penetrometrica di punta (qt) in esso rilevati, come mostra la figura n.26 seguente.

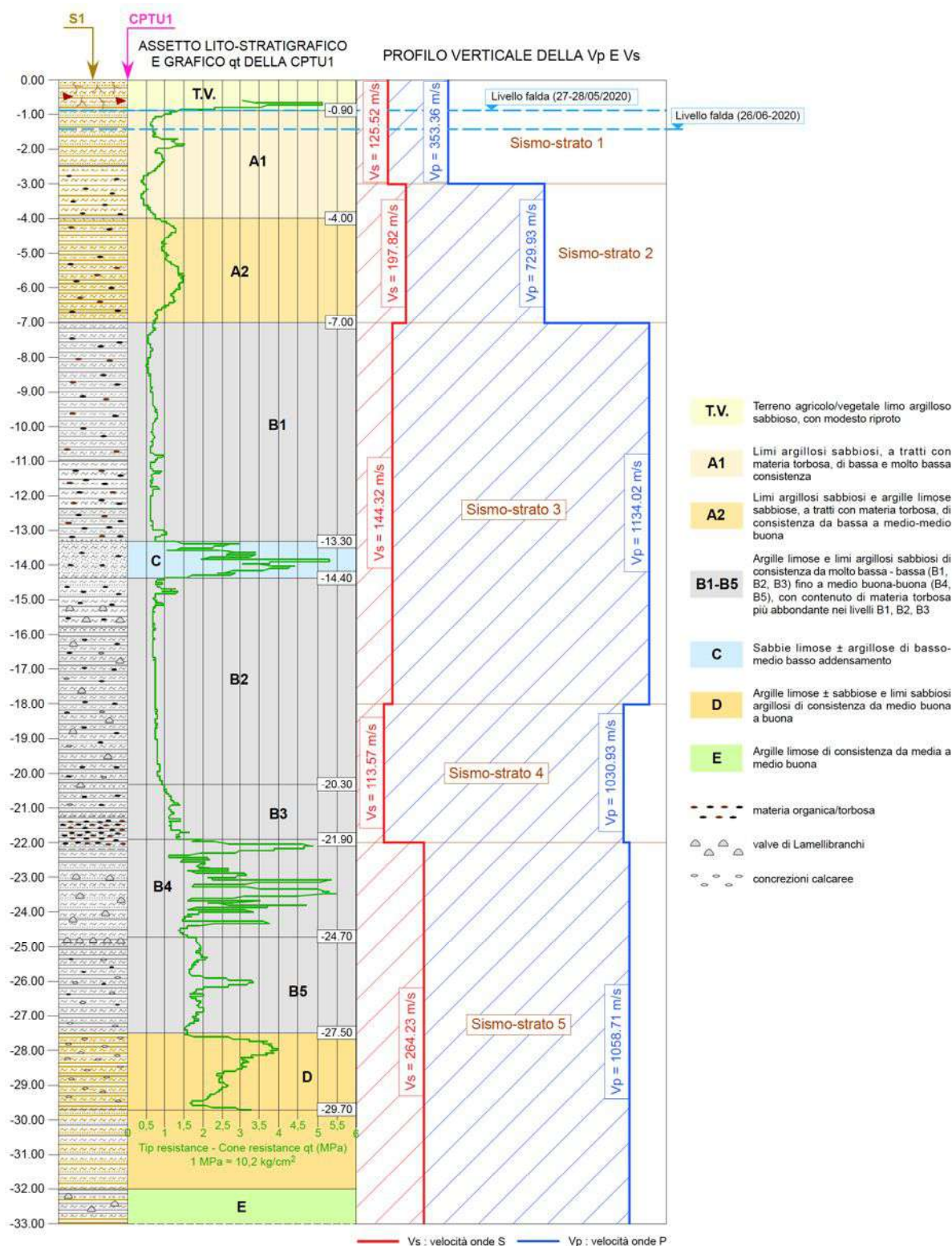


Figura n.26 : Correlazione assetto lito-stratigrafico e modello sismo-stratigrafico

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Da questo modello si osserva che nei primi quattro sismo-strati, quindi fino alla profondità di -22,00 m dal p.c., i valori della  $V_s$  sono generalmente bassi e molto bassi, essendo compresi tra 113.6 m/s e 197.8 m/s, e denotano che si tratta di strati "lenti" caratterizzati da una consistenza prevalentemente bassa e molto bassa, riferibili ai livelli litologici A1, A2, B1, B2, B3 dove i valori della resistenza penetrometrica di punta  $q_t$  sono sostanzialmente bassi e molto bassi.

Nel sismo-strato n.5 sottostante, compreso tra -22,00 e -33,00 m, la  $V_s$  aumenta sensibilmente attestandosi sul valore di 264.2 m/s, a conferma del miglioramento delle caratteristiche di resistenza e compattezza dei litotipi presenti in questo tratto di profondità, correlabili ai livelli B4, B5, D ed al tetto del livello E, evidenziato dai valori apprezzabilmente più elevati della resistenza penetrometrica di punta  $q_t$ .

### 3.10.5 - DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE

Il modello sismo-stratigrafico evidenzia che non è stato intercettato il sub-strato sismico, inteso come formazione costituita da roccia o terreno molto rigido con  $V_s$  non inferiore a 800 m/s, ed anche le indagini geognostiche spinte fino alla profondità massima di -33,00 m dal p.c. non hanno superato formazioni litologiche riconducibili a tale sub-strato per caratteristiche di consistenza e rigidità.

In situazioni stratigrafiche di questo tipo, dove lo spessore della copertura del basamento sismico è maggiore di 30 m, la categoria di sottosuolo di fondazione è definita tramite il parametro  $V_{s30}$  (velocità media equivalente di propagazione delle onde sismiche di taglio S nei primi 30 m di sottosuolo a partire dal piano d'imposta della fondazione nel caso di fondazioni superficiali o alla testa dei pali nel caso di fondazioni profonde) anziché in base al parametro  $V_{seq}$ , come specificato nel D.M. 17/01/2018.

Con riferimento all'assetto sismo-stratigrafico di cui sopra è stata quindi calcolata la  $V_{s30}$  rispetto ad alcune profondità comprese tra -1,00 m e -2,00 m dal piano di campagna locale attuale, intervallo di profondità nel quale sarà presumibilmente impostata la fondazione dell'edificio in progetto, sia essa di tipo superficiale o profonda (testa dei pali), ed anche rispetto al piano di campagna.

La formula utilizzata per il calcolo della  $V_{s30}$  è quella indicata nel D.M. 17/01/2018, riportata in precedenza, nella quale per le varie profondità di calcolo ipotizzate al parametro H (spessore della copertura al di sotto del piano di fondazione) è stato assegnato il valore di 30 m, considerando gli spessori e i valori della  $V_s$  dei cinque sismo-strati definiti nel modello sismo-stratigrafico.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

I valori della  $V_{s30}$  ottenuti alla varie profondità di calcolo e la categoria di sottosuolo di fondazione corrispondente a ciascuno di essi sono riportati nella Tabella n.7 seguente.

Tabella n.7

Profondità di calcolo (m dal p.c.)	$V_{s30}$ (m/s)	Categoria di sottosuolo di fondazione
0.00 (p.c.)	161.4	D
-1.00	165.1	D
-1.50	167.1	D
-2.00	169.0	D

Per tutte e quattro le profondità di calcolo la  $V_{s30}$  risultante è ascrivibile alla categoria D di sottosuolo di fondazione, essendo compresa tra 100 m/s e 180 m/s (D.M. 17/01/2018).

CATEGORIA D DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE : Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori della velocità equivalente  $V_{seq}$  compresi tra 100 m/s e 180 m/s (Tabella 3.2.II del D.M. 17/01/2018).

### 3.10.6 - PARAMETRI ELASTO-MECCANICI DINAMICI DERIVATI DAI VALORI DELLA $V_p$ E $V_s$ OTTENUTE DA INDAGINI SISMICHE IN SITU

Secondo i principi della teoria dell'elasticità dei materiali isotropi (Legge di Hooke) che descrivono la proporzionalità tra lo sforzo  $\sigma_{ij}$  applicato ad un corpo e la deformazione  $\epsilon_{kl}$  da esso subita, e sulla base dell'equazione del moto di propagazione delle onde in termini di spostamento in un mezzo elastico, omogeneo, isotropo e infinitamente esteso, e del secondo principio della dinamica, è possibile stabilire relazioni che consentono di determinare i parametri elastici di un materiale conoscendo i valori della velocità delle onde sismiche di compressione e dilatazione P e di taglio S in cui si propagano.

Le rocce, a seconda della composizione, possono essere sia isotrope che anisotrope, ma su grande scala l'anisotropia del mezzo naturale, considerato come continuo e infinitamente esteso, si perde e quindi può essere assunto nel complesso generalmente isotropo.

La velocità delle onde sismiche dipende essenzialmente dalle caratteristiche fisiche (densità) e meccanico-elastiche (coefficiente di Poisson  $\nu$ , modulo di Young E, modulo di taglio G, etc.) del mezzo in cui si trasmettono, che intervengono nella modificazione del segnale sismico e della frequenza dell'onda, a prescindere dalla tipologia di sorgente.

In un mezzo omogeneo, isotropo ed elastico la velocità delle onde è indipendente dalla frequenza (onde non dispersive); al contrario dei terreni stratificati o caratterizzati da altre forme di eterogeneità (discontinuità, giunti, etc.).

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI) Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>		<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Quando le onde sismiche attraversano una roccia o un terreno omogeneo (poco somorzante) si possono considerare non dispersive nel campo delle piccole deformazioni (dominio elastico lineare) e delle basse frequenze.

Nel caso delle misure/indagini sismiche, dove le frequenze dell'eccitazione sono comprese generalmente tra 1,0 e 10,0 Hz, i terreni attraversati dalle onde, che in questo ambito, come sopra detto, possono essere assunti in prima approssimazione materiali omogenei, isotropi ed elastici, sono sottoposti a sforzi limitati e rapidamente variabili nel tempo che generano piccole deformazioni ( $< 0,0001\%$ ). Ciò significa che nel campo dei bassi livelli deformativi, nei quali la deformazione  $y$  del materiale resta al di sotto del valore limite della deformazione lineare  $y_l$ , per cui  $y \leq y_l$ , il comportamento dei terreni in condizioni di carico dinamico e ciclico può essere considerato come elastico lineare e quindi ad essi può essere applicata la Legge di Hooke.

In realtà, nel campo dei bassi livelli deformativi il comportamento del terreno è visco-elastico lineare, con energia di deformazione dissipata molto bassa e trascurabile, e all'aumentare del numero di cicli  $N$  e della deformazione di taglio, purchè resti valida la condizione  $y \leq y_l$ , la sua risposta elastica non cambia : il modulo di taglio  $G$  e il rapporto di smorzamento  $D$  sono costanti e pari ai valori iniziali ( $G = G_0$  e  $D = D_0$ ).

Dalla forma generalizzata della Legge di Hooke espressa dalla seguente relazione :

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \times \varepsilon_{kl}$$

dove  $\sigma_{ij}$  è lo sforzo applicato,  $\varepsilon_{kl}$  è il tensore della deformazione e  $C_{ijkl}$  è il tensore delle costanti elastiche di proporzionalità, che definiscono le proprietà dei materiali assunti isotropi e linearmente elastici, si giunge alla forma costitutiva o reologica in regime elastico lineare della stessa relazione :

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2 \mu \varepsilon_{ij}$$

nella quale  $\lambda$  e  $\mu$  sono le *costanti elastiche di Lamè* (in realtà non sono costanti ma variano ad esempio al variare della temperatura e pressione), che sono caratteristiche di ciascun materiale e indipendenti dalla direzione lungo cui si applicano le tensioni o lungo cui si registrano le deformazioni, e ne determinano il comportamento in campo elastico.

Queste due costanti possono essere espresse dalle seguenti relazioni :

$$\lambda = (\nu E) / [(1 + \nu) (1 - 2 \nu)] \quad \text{coefficiente di Lamè (prima costante di Lamè)}$$

$$\mu = E / [2 (1 + \nu)] \quad \text{modulo di taglio "G" (seconda costante di Lamè)}$$

dove  $\nu$  è il coefficiente di Poisson ed  $E$  il modulo di Young, entrambi moduli elastici.

Il *modulo di Young*  $E$  è dato dal rapporto tra lo sforzo applicato al materiale e la deformazione longitudinale indotta e descrive la variazione di lunghezza nella direzione di applicazione dello sforzo.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Il *coefficiente o rapporto o modulo di Poisson*  $\nu$  è definito dal rapporto tra la deformazione trasversale  $\varepsilon_t$  e quella longitudinale (assiale)  $\varepsilon_l$  in presenza di una sollecitazione monoassiale longitudinale ed è controllato dalla tendenza del materiale a mantenere lo stesso volume. In un solido elastico omogeneo (le proprietà sono uguali in tutti i suoi punti) ed isotropo (le proprietà meccaniche sono indipendenti dalla direzione considerata) la deformazione trasversale è proporzionale alla deformazione assiale e ha lo stesso valore in qualunque punto del solido.

Questi due parametri  $E$  e  $\nu$  possono quindi essere espressi in funzione delle *costanti di Lamè* :

$$E = \mu (3 \lambda + 2 \nu) / (\lambda + \nu) \quad \text{modulo di Young}$$

$$\nu = \lambda / 2 (\lambda + \mu) \quad \text{coefficiente di Poisson}$$

Il *modulo di taglio*  $\mu$  (o  $G$ ), o di rigidità o di elasticità tangenziale, è espresso dal rapporto tra lo sforzo tangenziale applicato ad un materiale e la corrispondente deformazione, ed è quindi rappresentativo della resistenza al taglio del materiale.

Un'altro modulo elastico ricavabile dalla legge dell'elasticità, legato alle costanti di Lamè, è il *modulo di comprimibilità/compressibilità volumetrica*  $K$  o di *deformazione cubica*, anche detto *modulo di Bulk*, che esprime la variazione di volume di un corpo sottoposto ad uno sforzo di tipo idrostatico ed è definito dal rapporto tra la pressione (idrostatica) e la deformazione cubica (volumetrica) :

$$K = \lambda + (2/3) \mu \quad \text{modulo di Bulk}$$

Questi moduli elastici ( $\lambda$ ,  $\mu$ ,  $\nu$ ,  $E$ ,  $K$ ) sono evidentemente in relazione tra loro, come dimostrano le suddette espressioni.

Dalle equazioni del moto delle onde e dell'elasticità riferite ad un mezzo omogeneo, isotropo, elastico ed infinitamente esteso, quale è assunto il terreno, si ricavano quindi le relazioni delle velocità delle onde sismiche di compressione e dilatazione  $P$  e di taglio  $S$  :

$$V_p = [(\lambda + 2 \mu) / \rho]^{0,5} \quad (\text{velocità onde } P)$$

$$V_s = (\mu / \rho)^{0,5} \quad (\text{velocità onde } S)$$

nelle quali  $\lambda$  e  $\mu$  (o modulo di taglio  $G$ ) sono ancora le costanti di Lamè e  $\rho$  è la densità del mezzo. Le due relazioni mostrano che entrambe le velocità  $V_p$  e  $V_s$  dipendono solo dalle proprietà fisiche (densità) e meccanico-elastiche del mezzo e non dalla frequenza delle onde.

La relazione che determina la  $V_s$  spiega anche il motivo per cui le onde  $S$  non si propagano nei liquidi (acqua), essendo in questi mezzi il modulo di taglio  $G = 0$  (l'acqua non è in grado di sostenere sforzi di taglio) e quindi  $V_s = 0$ , a differenza delle onde  $P$  nei quali per esempio nell'acqua la  $V_p$  è di circa 1500 m/s.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Al riguardo si ricorda che la velocità delle onde P è fortemente influenzata dal grado di saturazione  $S_r$  dei terreni, ovvero dalla presenza di acqua/fluidi nei vuoti interstiziali tra i granuli/particelle dello scheletro solido, che determina il diverso comportamento delle onde P in presenza, assenza o quantità variabile di fluidi, come mostra il grafico in figura n.26 seguente.

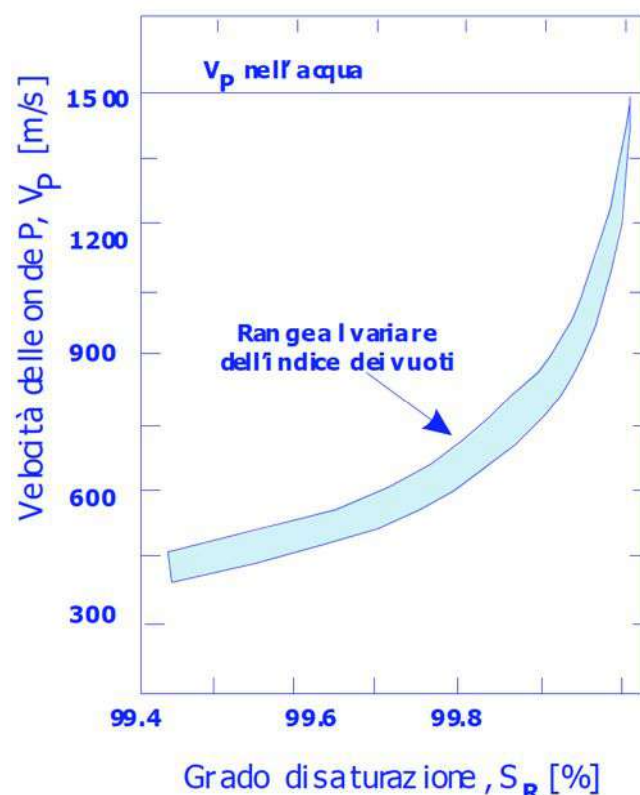


Figura n.26 : Relazione tra  $V_p$  e grado di saturazione  $S_r$  (da Madiati, Facciorusso)

Per cui :

- quando  $S_r = 0\%$  il terreno è asciutto;
- quando  $S_r = 100\%$  il terreno è saturo;
- per  $S_r < 99\%$ , la velocità delle onde P ( $V_p$ ) è controllata dalla rigidità dello scheletro solido del mezzo allo stesso modo di quella delle onde S ( $V_s$ );
- per  $S_r = 100$ , la  $V_p$  è controllata dal mezzo liquido (acqua, incompressibile, con  $V_p = 1500$  m/s), mentre le onde S manterranno esclusivamente la velocità propria dello scheletro solido del terreno o della roccia in cui si propagano;
- per  $99\% < S_r < 100\%$ , la  $V_p$  varia sensibilmente con il grado di saturazione.

Al contrario, la velocità delle onde S è scarsamente condizionata dal grado di saturazione del terreno, essendo caratteristica del solo scheletro solido del mezzo e dipendendo principalmente dalla rigidità del terreno tramite il modulo di taglio  $G$  che, come visto in precedenza, è legato alla  $V_s$  dalla relazione  $V_s = (G/\rho)^{0,5}$ .

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Fatta questa breve digressione, noti i valori delle  $V_p$  e  $V_s$  e della densità  $\rho$  dei terreni attraversati dalle onde sismiche si possono quindi stimare i parametri fisici ed elastici dinamici con le seguenti relazioni, di largo impiego in ambito geofisico-geosismico e di cui vi è un'ampia documentazione nella letteratura scientifica di questa materia :

- $\rho_{din}$  (densità geofisica) =  $0,51 \times V_p^{0,19}$ ;
- $\nu_{din}$  (coefficiente di Poisson) =  $\frac{1}{2} [V_p^2 - V_s^2] / (V_p^2 - V_s^2)$ ;
- $G_{din}$  (modulo di taglio) =  $\rho_{din} \times V_s^2$ ;
- $E_{din}$  (modulo elastico di Young) =  $2 \rho_{din} V_s^2 (1 + \nu_{din}) = 2 G_{din} (1 + \nu_{din})$  oppure  
 $E_{din} = [V_p^2 \rho_{din} (1 + \nu_d) (1 - 2\nu_{din})] / (1 - \nu_{din})$  o  $E_{din} = [G_{din} (3V_p^2 - 4V_s^2)] / (V_p^2 - V_s^2)$
- $K_{din}$  (modulo di comprimibilità volumetrica o di Bulk) =  $[2 \rho_{din} V_s^2 (1 + \nu_{din})] / (3 (1 - 2 \nu_{din}))$   
oppure  $K_{din} = E_{din} / [3 (1 - 2\nu_{din})]$  o  $K_{din} = [\rho_{din} V_p^2 (1 + \nu_{din}) (1 - 2\nu_{din})] / (1 - \nu_{din})$ ;

dove il pedice "din" sta ad indicare che si tratta di parametri dinamici, e non statici, perché ricavati tramite la misura della velocità delle onde sismiche in sito e non in laboratorio.

Dimensionalmente i moduli  $\lambda$ ,  $\mu$  (o  $G$ ),  $E$ ,  $K$ , poichè descrivono il rapporto tra una forza ed una superficie, sono espressi in unità di pressione ( $\text{kg/cm}^2$ ,  $\text{MPa}$ , ecc.), mentre il coefficiente di Poisson  $\nu$  è adimensionale essendo un rapporto tra due deformazioni nella stessa unità di misura.

Nelle suddette formule  $V_p$  e  $V_s$  sono solitamente espresse in  $\text{m/s}$  e la densità in  $\text{t/m}^3$  o  $\text{gr/cm}^3$  o  $\text{KN/m}^3$ , per cui bisogna prestare attenzione alle conversioni delle unità di misura al fine di ottenere i moduli  $G_{din}$ ,  $E_{din}$ ,  $K_{din}$  in  $\text{MPa}$ ,  $\text{kPa}$  o  $\text{kg/cm}^2$ .

Un nota a parte riguarda il coefficiente di Poisson dinamico  $\nu_{din}$ , l'unico parametro elastico per la cui determinazione non è richiesta la conoscenza della densità del materiale, basandosi esclusivamente sul rapporto tra le  $V_p$  e  $V_s$ , che in teoria è considerato stress-indipendente e nei vari campi sforzo-deformazione può assumere valori generalmente compresi tra 0.25 e 0.35. Nell'ambito delle deformazioni oggetto delle indagini sismiche, dell'ordine di  $10^{-5}/10^{-6} \%$ , nei mezzi porosi risulta però stress-dipendente con un range di variabilità maggiore, dove il limite inferiore può non essere rappresentato dal valore di 0.25, tipico di materiali perfettamente elastici, ma può assumere anche valori negativi (Gregory, 1976) come nel caso di terreni incoerenti saturi in aria, in cui la disposizione spaziale dei granuli genera una porosità maggiore. I valori più bassi del coefficiente di Poisson, in natura, si riscontrano per i litotipi ad alta porosità, in condizioni di bassa pressione litostatica e gas saturi; valori maggiori caratterizzano alcuni terreni incoerenti e saturi dove possono risultare  $\geq 0.40$ - $0.45$ , mentre nell'acqua e nelle sospensioni assume il valore di 0.5.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

### 3.10.6.1 - STIMA DEI PARAMETRI ELASTO-MECCANICI DINAMICI MEDI DEI SISMO-STRATI DEL MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO

Con riferimento al modello sismo-stratigrafico del sottosuolo ricostruito mediante i valori medi delle  $V_p$  e  $V_s$  ottenuti dalla prospezione Down Hole, per ciascuno dei sismo-strato sono stati stimati dallo scrivente i parametri elasto-meccanici dinamici medi mediante le formule indicate nel paragrafo precedente, riportati nella Tabella n.8 seguente.

Il peso di volume degli orizzonti sismici utilizzato per questi calcoli è, per ognuno di essi, quello medio dell'intero spessore ricavato dai dati delle indagini geognostiche e di laboratorio.

Gli stessi parametri sono stati calcolati anche nel Rapporto sull'indagine sismica Down Hole nell'Appendice separata di questa Relazione, (scritti in verde nella Tabella sottostante), rilasciato da GAIA Servizi s.n.c. esecutrice di tale prospezione; questi risultano leggermente diversi in quanto sono stati utilizzati valori medi del peso di volume dei sismo-strati di poco differenti da quelli da noi considerati.

I valori differenti del peso di volume non hanno comunque inciso in modo significativo sul risultato finale; infatti, come mostra la Tabella n.8 seguente, i valori ottenuti per i parametri elasto-meccanici dinamici non si discostano di molto tra loro e risultano ben paragonabili.

Tabella n.8

Sismo-strati	Velocità Misurate			$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	Parametri elasto-meccanici dinamici medi stimati			
	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$V_p/V_s$		$\nu_{din}$ (adim)	$G_{din}$ (MPa)	$E_{din}$ (MPa)	$K_{din}$ (MPa)
1 (p.c.-3,0 m)	353.4	125,5	2.82	18.0 17.1	0.43	28.9 27.4	82.7 78.3	190.6 180.8
2 (3,0-7,0 m)	729.9	197,8	3.69	19,0 18.6	0.46	75.8 74.2	221.3 216.6	930.8 910.7
3 (7,0-18,0 m)	1134.0	144.3	7.86	16.5 16.4	0.49	35.0 34.9	104.4 104.0	2116.2 2106.7
4 (18,0-22,0 m)	1030,9	113.6	9.07	17.5 16.4	0.49	23.0 21.6	68.6 64.4	1865.1 1746.8
5 (22,0-33,0 m)	1058.7	264.2	4.01	19.5 18.8	0.47	138.7 133.9	407.9 392.3	2227.3 1971.9

\* : valore medio sull'intero spessore del sismo-strato (da indagini geognostiche e laboratorio).  
 $\nu$  = coefficiente di Poisson,  $G$  = modulo di taglio,  $E$  = modulo di Young,  $K$  = modulo di Bulk.

Al riguardo, si deve tenere presente che i parametri meccanico-elastici dinamici delle rocce e dei terreni, derivati da misure dinamiche in sito tramite l'utilizzo della velocità delle onde sismiche P e S, hanno solitamente valori maggiori di quelli misurati in laboratorio con prove statiche proprio per il diverso campo di sforzo applicato e deformazioni raggiunte; infatti, le intense ma brevi sollecitazioni generate dalla propagazione delle onde sismiche si mantengono nel campo elastico delle deformazioni del materiale.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Altresì, merita ricordare che le misure in sito delle Vs e Vp sono più rappresentative delle condizioni reali del terreno e consentono in genere di avere un numero maggiore di misure con la profondità; di contro, le prove di laboratorio, che utilizzano strumentazioni capaci di apprezzare livelli deformativi estremamente bassi, inferiori a  $10^{-5}$  %, permettono di controllare meglio le condizioni al contorno e di esplorare aspetti del comportamento del terreno in condizioni di interesse per la progettazione ingegneristica.

### 3.10.7 - INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR A STAZIONE SINGOLA

Nell'ambito delle indagini sismiche condotte a supporto del presente progetto è stata eseguita anche una prospezione di sismica passiva *HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* a stazione singola, per verificare la presenza di eventuali contrasti di impedenza sismica significativi ai fini della progettazione strutturale e geotecnica e di valutare la frequenza naturale di risonanza dei terreni presenti nel sottosuolo locale (vedi Rapporto Indagine HVSR nell'Appendice separata della presente Relazione).

#### 3.10.7.1 - GENERALITA' SULL'INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR

L'indagine di sismica passiva HVSR consiste nella registrazione del cosiddetto "rumore sismico ambientale" (o microtremore ambientale) che è presente ovunque sulla superficie terrestre, anche in assenza di terremoti, essendo generato da fenomeni naturali (moti ondosi oceanici, vento, ecc..) e dall'attività antropica (traffico veicolare, industrie, ecc..).

#### 3.10.7.2 - MODI DI VIBRARE DEI TERRENI

Un'onda Sh (onda di taglio S polarizzata sul piano orizzontale) che incide verticalmente dal basso sull'interfaccia di un singolo strato (es. bedrock - copertura) tenderà a rimanere intrappolata in superficie per riflessioni multiple (alla superficie libera, al bedrock e così via) e darà luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti  $\lambda = n \cdot 4H$ , ossia alle frequenze descritte dalla legge :

$$f = n (V_s / 4H)$$

dove :

n = ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc..);

f = frequenza di risonanza;

Vs = velocità delle onde di taglio S nello strato/copertura;

H = spessore della copertura/profondità del tetto del bedrock sismico;



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

In questa relazione il numero 4 deriva dal fatto che un'onda che entra nel bedrock, si riflette alla superficie e torna al bedrock, dove all'interfaccia con esso subisce una nuova riflessione con sfasamento di 180° rispetto all'onda incidente. Pertanto, affinché l'onda torni in fase occorre una ulteriore riflessione alla superficie libera, e quindi un percorso 2H aggiuntivo.

Nella maggior parte dei casi nei sistemi costituiti da coperture soffici poggianti sul bedrock, a causa dell'attenuazione delle coperture stesse, il solo modo di vibrare è quello fondamentale (Mucciarelli M., 2012); per cui la suddetta relazione si riduce nella seguente forma :

$$f = V_s / (4H)$$

Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (frequenze di risonanza) non solo quando è sollecitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un qualsiasi tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque anche in assenza di eventi sismici ed è il principio alla base della sismica passiva a stazione singola.

Per approfondimenti di rimanda a Lachet e Bard, 1993; Lermo e Chavez-Garcia, 1993; 1994; SESAME, 2004 ecc. ed al Rapporto sulla prospezione HVSR nell' Appendice della presente.

Negli anni sono stati sviluppate diverse metodologie di studio dei microtremori ambientali, ma quella che ha avuto il maggior riconoscimento dalla comunità scientifica, e pertanto è la più usata ed affidabile, è quella che impiega i rapporti spettrali H/V e che consiste nella misura dei rapporti degli spettri nel piano orizzontale e della componente verticale. Il metodo è stato introdotto da scienziati giapponesi tra cui Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al. (1979) e poi ripreso e pubblicato nel 1989 da Nakamura.

Il metodo H/V o HVSR consente l'individuazione di possibili fenomeni di risonanza sismica e delle relative frequenze e si basa sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali H e della componente verticale V del rumore sismico ambientale.

In presenza di forti contrasti di impedenza sismica nel sottosuolo (ad esempio in corrispondenze del passaggio fra litologie caratterizzate da velocità delle onde sismiche molto differenti) la funzione H/V, che rappresenta i rapporti spettrali medi in funzione della frequenza, presenta dei massimi che corrispondono con le frequenze di risonanza. Esiste poi una proporzionalità "non lineare" fra l'ampiezza dei massimi della funzione H/V e l'entità del contrasto di impedenza sismica.

La frequenza di risonanza  $f(0)$  fornisce indicazioni sul rapporto fra la velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio S ( $V_s$ ) e lo spessore della copertura in cui esse si propagano, soprastante il basamento sismico rigido, secondo la relazione :

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI) Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>		<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

$$f(0) = V_s / (4H)$$

dove :

$f(0)$  = frequenza di risonanza;

$V_s$  = velocità delle onde di taglio S nello strato/copertura;

$H$  = spessore della copertura/profondità del tetto del bedrock sismico.

Da questa relazione risulta evidente che con questa tecnica è possibile fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico; infatti, a partire da una misura del rumore ambientale che vincola il valore della frequenza, nota la  $V_s$  nella copertura si può stimare la profondità dei riflettori/rifrattori sismici principali o viceversa.

La Tabella n.9 seguente (da Albarello D. & Castellaro S., 2011 – Tecniche sismiche passive indagini a stazione singola. Suppl. rivista Ingegneria Sismica Anno XXVIII, n.2 – 2011) riporta la correlazione fra il valore della frequenza di risonanza misurata in sito e lo spessore approssimativo delle copertura.

Tabella n.9

Abaco per la stima approssimativa dello spessore (h) del deposito di copertura del bedrock sismico a partire dai valori delle frequenze di risonanza ( $f_0$ ) determinate dalle misure H/V (Albarello et al, 2011).		
$f_0$ (Hz)	h (m)	
< 1	> 100 m	Centinaia di metri
1 - 2	50 - 100	Decine di metri
2 - 3	30 - 50	
3 - 5	20 - 30	
5 - 8	10 - 20	
8 - 20	5 - 10	Qualche / pochi metri
> 20	< 5	

In base a questo abaco/tabella è quindi possibile ricavare una stima di massima della profondità dello strato risonante e/o dello spessore  $H$  della copertura in funzione della frequenza di risonanza  $f_0$ .

Questo abaco non sostituisce le specifiche analisi di dettaglio, ma ha lo scopo (sotto stretto controllo geologico) di fornire informazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo e indicazioni per orientare le successive indagini di approfondimento negli studi di microzonazione sismica e di analisi di risposta sismica locale, non oggetto della presente Relazione.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

### 3.10.8 - ESITI DELL'INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR

Dall'elaborazione dell'indagine HVSR eseguita in situ si è ottenuto lo spettro F-H/V, riportato in figura n.26 seguente.

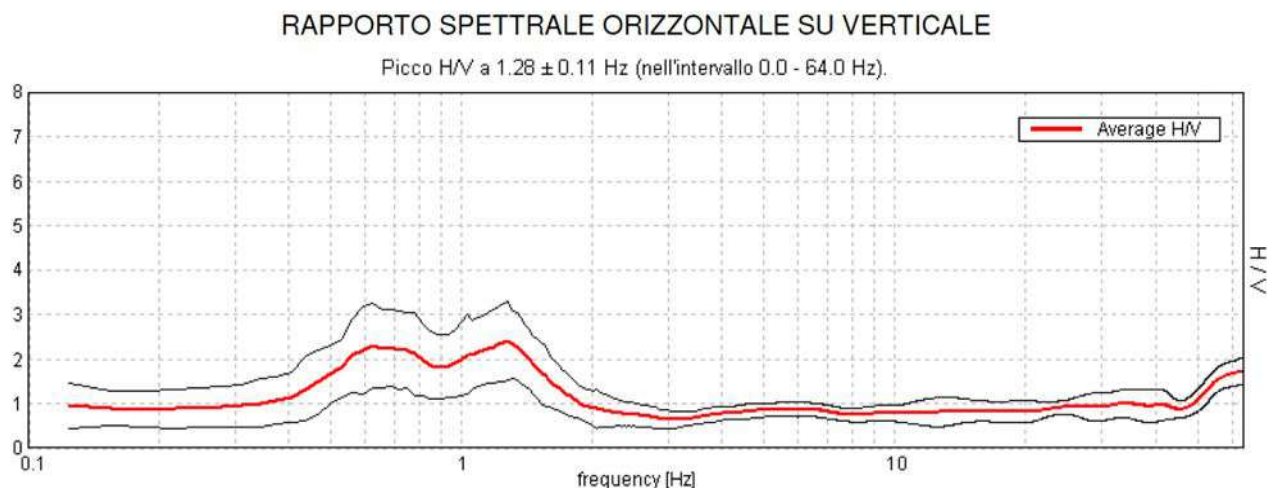


Figura n.26 : Spettro F-H/V ottenuto dalla prospezione HVSR eseguita in situ

Questo spettro individua due picchi H/V di natura stratigrafica, con segnale stazionario e non direzionale :

- ⇒ il primo, di maggiore entità, si colloca alla frequenza di  $1.28 \text{ Hz} \pm 0.11$  con ampiezza H/V di ca. 2,4, e soddisfa tutte le condizioni/criteri *SESAME*;
- ⇒ il secondo è invece centrato sulla frequenza di ca. 0.65 Hz con ampiezza H/V leggermente inferiore alla precedente.

*L'entità del rapporto H/V dei due picchi è tale da far presupporre che corrispondano a contrasti di velocità delle onde sismiche non particolarmente severi.*

Per i dettagli sulla strumentazione utilizzata e sulla procedura di elaborazione e interpretazione dei dati si rimanda al Rapporto nell'Appendice separata della presente.

### 3.10.9 - MODI DI VIBRARE DELLE STRUTTURE

Esistono numerose formule semiempiriche per il calcolo del periodo proprio di una struttura in funzione della sua altezza e tipologia costruttiva.

Fermo restando che tali periodi possono essere misurati in modo semplice, anche tramite indagini di sismica passiva come le prospezioni HVSR, tra le varie formule proposte quelle di Chopra e Goel (2000) e Hong e Hwang (2000) riferite a strutture in cemento armato sono le due estreme entro le quali si colloca la maggior parte delle altre formule (Mucciarelli M, 2020).

$$T \text{ (sec)} = 0.0294 \times H^{0.804}$$

$$T \text{ (sec)} = 0.067 \times H^{0.9}$$

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

dove :

T (s) = periodo di oscillazione della struttura = inverso della frequenza f (in Hz o  $s^{-1}$ );

H = altezza della struttura in metri.

Potendo quindi definire in prima approssimazione le frequenze di risonanza di un sito e di una struttura (p.e. di un edificio) su di esso impostata, si può valutare se queste condizioni possono dar luogo al fenomeno della *doppia risonanza suolo-struttura* che si può verificare quando la frequenza di vibrazione propria del terreno coincide o è molto prossima a quella dell'edificio.

Si tratta, indubbiamente, di un dato molto importante ai fini ingegneristici, in quanto in caso di doppia risonanza la struttura si trova in una situazione potenzialmente sfavorevole e rischiosa dal punto di vista della vulnerabilità sismica.

Ciò premesso, dai grafici semplificati di figura n.27 seguente, che mettono in relazione l'altezza degli edifici, in cemento armato e in muratura, con la frequenza di risonanza del sito, risulta evidente che i valori delle frequenze rilevate nel comparto oggetto d'intervento con l'indagine HVSR portano ad escludere il potenziale rischio di questo fenomeno per l'edificio in progetto, la cui altezza massima non supera i 15 m.

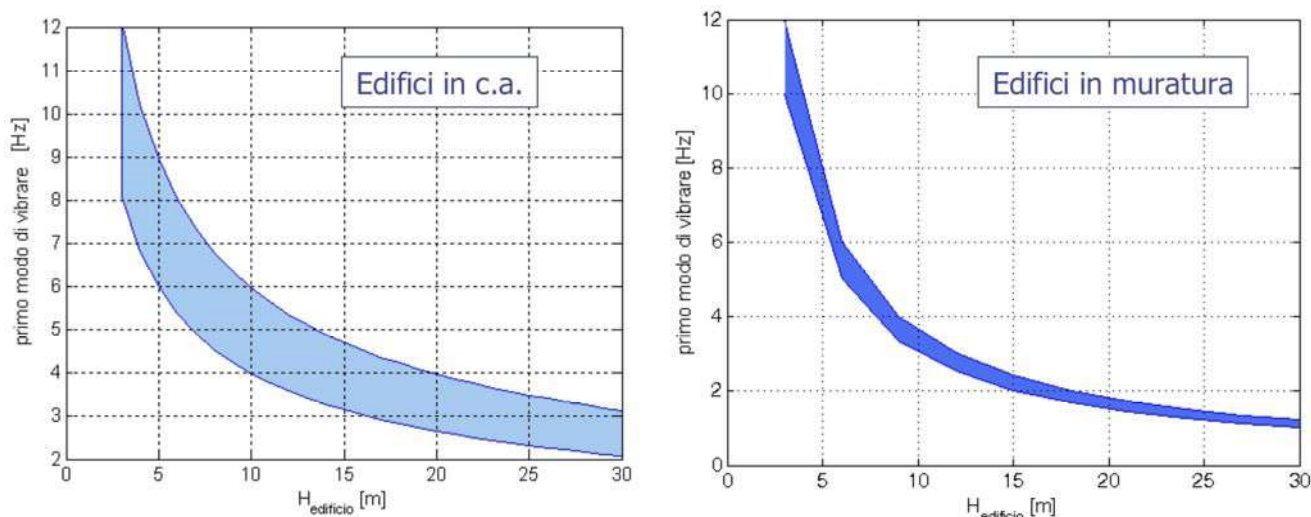


Figura n.27 : Grafici frequenza risonanza di sito - altezza edifici, per edifici in c.a. e in muratura.

### 3.11 - SINTESI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI SIMICHE DOWN-HOLE E HVSR E CONFRONTO CON I DATI LITO-STRATIGRAFICI

Nell'ambito del presente studio, come descritto in precedenza, per la definizione delle caratteristiche sismo-stratigrafiche del sottosuolo locale sono state eseguite una prospezione Down-Hole (DH) nel foro del sondaggio S1, spinto fino alla profondità di -33,00 m dal piano di campagna locale attuale, e un'indagine di sismica passiva HVSR di misura del microtremore ambientale, con stazione in vicinanza al sondaggio S1 e quindi alla prova DH.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI) Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>		<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

I risultati ottenuti da queste indagini si possono sintetizzare come di seguito :

- la prova Down Hole ha evidenziato, fino alla profondità di -22,00 m dal p.c, la presenza di terreni nei quali si ha una bassa velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio S (Vs), con valori compresi fra ca. 113 e 144 m/s, con l'eccezione di un livello sensibilmente più veloce (Vs ca. 198 m/sec) fra -3,00 e -7,00 m. Al di sotto dei -22,00 m la Vs media aumenta invece sensibilmente passando a ca. 264 m/s.

Questi dati sono in sostanziale accordo con le risultanze stratigrafiche delle indagini geognostiche, in quanto fino a -20,00/-22,00 m circa i terreni sono caratterizzati da una consistenza generalmente molto bassa e bassa, mentre da -22,00 m ca. la consistenza aumenta apprezzabilmente per la presenza di livelli più compatti.

- L'indagine HVSR ha rilevato la presenza di due picchi H/V di natura stratigrafica : quello di maggiore entità ha una frequenza di 1.28 Hz, con ampiezza di ca. 2,4; l'altro, di intensità inferiore, è centrato sulla frequenza di ca. 0.65 Hz.

La bassa entità del rapporto H/V indica come questi picchi non derivino da contrasti di velocità sismiche particolarmente pronunciati.

Considerando la frequenza di 1.28 Hz e la Vs media del pacco di sedimenti compresi tra il piano di campagna e la profondità di -27,50 m, nei quali prevale la consistenza bassa e molto bassa, si può ritenere che questo picco di H/V si riferisca al passaggio stratigrafico posto proprio in corrispondenza di tale profondità, al di sotto della quale la consistenza dei terreni risulta sensibilmente più elevata e la Vs aumenta apprezzabilmente attestandosi sul valore medio di ca. 264 m/s; si tratta di un passaggio non molto netto in quanto già dalla profondità -20,00/-22,00 m si osserva un progressivo e graduale aumento della consistenza dei litotipi.

Il picco di frequenza 0,65 Hz corrisponde anch'esso ad un aumento della Vs media, anche in questo caso non particolarmente netto, collocabile a una profondità dell'ordine dei 75-80 m (l'incertezza deriva dalla non conoscenza precisa delle Vs al di sotto di -33,00 m).

### 3.12 - CATEGORIA TOPOGRAFICA E COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA DEL SITO

Le condizioni topografiche di un sito possono provocare amplificazioni del moto sismico e quindi influenzare direttamente le azioni sismiche.

Nel caso di configurazioni topografiche semplici il D.M. 17/01/2018 consente di fare riferimento alla Tabella 3.2.III, in esso contenuta, per l'attribuzione della categoria topografica alle aree interessate da interventi ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto.



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Le configurazioni topografiche indicate in questa tabella, di seguito riportata, si riferiscono, per le zone su pendio o in cresta, a situazioni geometriche prevalentemente bidimensionali (creste o dorsali allungate) e devono essere considerate se di altezza maggiore di 30 m.

Tabella 3.2.III – D.M. 17/01/2018 – Categorie topografiche

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T1	Superficie pianeggiante, pendii isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

*Il comparto oggetto d'intervento è impostato su un'area con morfologia pianeggiante, appartenente alla pianura alluvionale dell'Arno (configurazione topografica semplice); pertanto, secondo la suddetta tabella, la categoria topografica del comparto è T1.*

Per tener conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, ai fini della determinazione dell'azione sismica di progetto si possono utilizzare i valori dei coefficienti di amplificazione topografica  $S_T$  in funzione delle categorie topografiche sopra definite e dell'ubicazione dell'opera/intervento, indicati nella successiva Tabella 3.2.V del D.M. 17/01/2018.

Tabella 3.2.V – D.M. 17/01/2018 – Valori massimi del coefficiente  $S_T$

CATEGORIA	UBICAZIONE DELL'OPERA O DELL'INTERVENTO	$S_T$
T1	-----	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1,4

La variazione spaziale di questo coefficiente è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove  $S_T$  assume valore unitario.

*Per il comparto in oggetto, rientrando nella categoria topografica T1, il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  è quindi pari a 1.*

Per condizioni topografiche complesse è invece necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

### 3.13 - AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Per categorie speciali di sottosuolo non rientranti tra quelle citate in precedenza, per determinati sistemi geotecnici o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione stratigrafica, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante più rigorose analisi di risposta sismica locale (RSL). Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni e, in particolare, delle relazioni sforzo-deformazioni in campo ciclico, da determinare mediante specifiche indagini e prove (D.M. 17/01/2018).

In mancanza di tali determinazioni, per le componenti orizzontali del moto sismico e per le categorie di sottosuolo citate in precedenza e definite al paragrafo 3.2.2. D.M. 17/01/2018, la forma spettrale su sottosuolo di categoria A è modificata attraverso il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$ , il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ , e il coefficiente  $C_c$  (coefficiente funzione della categoria di sottosuolo) che modifica il valore di  $T_c$  (periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico:  $T_c = T_c^* \times C_c$ , dove  $T_c^*$  è il valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).

I parametri  $S_s$  e  $S_T$  consentono di ricavare il coefficiente  $S = S_s \times S_T$  che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche e permette di valutare  $A_{max}$  (accelerazione massima) per ogni stato limite SLU e SLE tramite la relazione  $A_{max} = a_g \times S$ , dove  $a_g$  è espresso in  $m/sec^2$ , quindi  $a_g$  (g) va moltiplicato per 9,81  $m/sec^2$ .

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  valgono 1; per le categorie B, C, D, E possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $F_0$  e  $T_c^*$  relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni contenute nella Tabella 3.2.IV del D.M. 17/01/2018 di seguito riportata, dove  $g$  (accelerazione di gravità) = 9,81  $msec^2$  e  $T_c^*$  è espresso in secondi.

Tabella 3.2.IV – D.M. 17/01/2018 – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot (a_g/g) \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot (a_g/g) \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot (a_g/g) \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot (a_g/g) \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per il sito d'intervento, relativamente allo stato limite SLV riferito alla Classe d'Uso 3 e al Coefficiente d'Uso 1,5 dell'edificio e alla categoria D di sottosuolo di fondazione, si ha :

$$S_s = 1,800$$

$$C_c = 2,350$$

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

A questo proposito, nel paragrafo successivo sono riportati i parametri e coefficienti sismici in base ai quali determinare lo spettro di risposta elastico in accelerazione ai fini progettuali (spettro di progetto), di competenza del progettista delle strutture.

### 3.14 - QUADRO RIASSUNTIVO DEI PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI PER LA DEFINIZIONE DELLO SPETTRO DI PROGETTO

Di seguito si riassumono i parametri e coefficienti sismici per i vari stati limite SLU e SLE per la definizione dello spettro di risposta elastico ai fini della progettazione geotecnica in campo sismico, nell'ambito del reticolo di riferimento.

Questi sono stati determinati con il software on line "Parametri Sismici" di Geostru, disponibile in rete nel sito internet di Geostru.com, analogo al software Spettri-NTC versione 1.0.3 scaricabile sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (si veda il Report di "Gestru" nell'Appendice separata della presente Relazione).

I dati iniziali da introdurre nella schermata del programma sono :

- 1) le coordinate geografiche del sito, espresse in WGS84 (coordinate geografiche utilizzate da Google – World Geodetic System, 1984) o in ED50 (European Datum, 1950). Il software effettua la conversione automatica dal sistema WGS84 a quello in coordinate ellissoidiche ED50. Le coordinate, se non note, sono ricavabili ubicando sulla mappa il punto d'interesse;
- 2) la Classe d'Uso degli interventi, che è stata assunta pari a 3.

Con questi dati il programma calcola in automatico i valori del Coefficiente d'Uso CU, la Vita Nominale  $V_N$ , il Periodo di Riferimento per l'azione sismica  $V_R$  ed anche i relativi parametri sismici per gli Stati Limite Ultimi (SLU) e di Esercizio (SLE) riassunti nelle Tabelle n.10 e n.11 seguenti.

Tabella n.10

COORDINATE GEOGRAFICHE DEL SITO D'INTERVENTO	
- Sistema WGS84 : Latitudine 43.720571° – Longitudine 10.469842°	
- Sistema EDO : Latitudine 43.721536° – Longitudine 10.470842°	
Coefficiente d'Uso (CU)	1.5
Vita Nominale ( $V_N$ )	50 anni
Periodo di Riferimento per l'azione sismica ( $V_R$ )	75 anni

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

Tabella n.11

PARAMETRI SISMICI PER GLI STATI LIMITE SLU E SLE RELATIVI ALLA CLASSE D'USO 3						
STATI LIMITE		Probabilità di superamento (%)	Tr (anni)	a <sub>g</sub> (g)	Fo (adim)	Tc* (s)
SLE	SLO - Operatività	81	45	0,047	2,558	0,244
	SLD - Danno	63	75	0,057	2,573	0,261
SLU	SLV - Salvaguardia Vita	10	712	0,138	2,400	0,283
	SLV - Prevenzione Collasso	5	1462	0,174	2,391	0,289

Tr = tempo di ritorno; a<sub>g</sub> = accelerazione orizzontale massima al sito; Fo = fattore che quantifica l'amplificazione massima dello spettro in accelerazione orizzontale; Tc\* = valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Successivamente, per il calcolo dei coefficienti sismici, deve essere selezionata la tipologia di opera o la situazione da verificare, che per il progetto in questione è rappresentata dalla fondazione dell'edificio.

Infine, nella stessa schermata devono essere inseriti :

- la categoria sismica di sottosuolo di fondazione, che dall'indagine sismica è risultata D;
- la categoria topografica del sito, che è T1.

La Tabella n.12 successiva riepiloga i coefficienti sismici per le fondazioni relativi agli Stati Limite Ultimi (SLU) e di Esercizio (SLE) nelle condizioni sopra espresse, calcolati in automatico dal programma secondo la procedura appena descritta.

Tabella n.12

COEFFICIENTI SISMICI PER LE FONDAZIONI	SLE		SLU	
Classe d'Uso 3 - Coefficiente d'Uso 1,5 - Categoria Topografica T1 Categoria di sottosuolo di fondazione D	SLO	SLD	SLV	SLC
S <sub>s</sub> (coefficiente di amplificazione stratigrafica)	1,800	1,800	1,800	1,770
C <sub>c</sub> (coefficiente funzione della categoria di sottosuolo)	2,530	2,450	2,350	2,330
S <sub>T</sub> (coefficiente amplificazione topografica)	1,000	1,000	1,000	1,000
Kh (coeff. sismico orizzontale) : $\beta \times A_{max}/g = \beta \times A_{max}/9,81$	0,017	0,020	0,059	0,074
Kv (coeff. sismico verticale) : $\pm 0,5 \times Kh$	0,008	0,010	0,030	0,037
A <sub>max</sub> (m/sec <sup>2</sup> ) * : accelerazione massima = S <sub>s</sub> x S <sub>T</sub> x a <sub>g</sub>	0,825	1,003	2,430	3,027
$\beta$ (beta) : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito per le varie categorie di sottosuolo	0,200	0,200	0,240	0,240

\* : per passare dal valore nominale di a<sub>g</sub> (g) al valore di a<sub>g</sub> in m/sec<sup>2</sup> si moltiplica a<sub>g</sub> (g) per 9,81 m/sec<sup>2</sup>; successivamente, per determinare il valore di A<sub>max</sub> si moltiplica il valore di a<sub>g</sub> in m/sec<sup>2</sup> per il coefficiente S = S<sub>s</sub> x S<sub>T</sub>, che tiene conto della categoria di sottosuolo, essendo S<sub>s</sub> il coefficiente di amplificazione stratigrafica, e delle condizioni topografiche del sito tramite S<sub>T</sub>.

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

### 3.15 - LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

La liquefazione è un fenomeno che interessa i depositi sabbiosi sciolti e saturi di acqua e si manifesta per effetto di un rapido e significativo aumento della pressione dell'acqua interstiziale "u" che può essere provocato da sollecitazioni cicliche e dinamiche causate da un evento sismico di una certa magnitudo che agiscono in condizioni non drenate.

In queste situazioni la rigidità e la resistenza al taglio dei depositi granulari si riducono drasticamente fino ad assumere valori nulli o estremamente modesti, provocando un cambiamento di stato di aggregazione del materiale che da solido viene trasformato in un fluido viscoso pesante, dove le singole particelle possono muoversi liberamente l'una rispetto alle altre, con conseguenze, talora catastrofiche, sulla stabilità degli edifici ed opere di ingegneria civile che in genere si manifesta per perdita di capacità portante del terreno di fondazione.

In campo sismico il termine liquefazione, inteso come liquefazione dinamica, viene associato ad una serie di fenomeni che provoca effetti simili seppur causati da meccanismi differenti ed è dovuta allo scuotimento sismico o ad altri carichi dinamici che determinano un rapido incremento e accumulo delle pressioni interstiziali nei terreni granulari saturi ( $\sigma_v' = \sigma_v - u = 0$ ) dando luogo alla perdita di resistenza al taglio o ad un accumulo di deformazioni plastiche.

In sintesi, la liquefazione si verifica principalmente con due diversi meccanismi (Prof. Ing. Madiati Claudia – Università degli Studi di Firenze – DICEA - Corso di Ingegneria Geotecnica Sismica) :

- 1) *flow liquefaction* (flusso per liquefazione), quando la resistenza al taglio ciclica o post-ciclica del terreno è minore delle tensioni richieste per assicurare le condizioni di equilibrio statico; in questa circostanza le deformazioni, una volta avviate, possono proseguire indefinitamente sotto carico statico;
- 2) *cyclic mobility* (mobilità ciclica), quando la resistenza al taglio del terreno ciclica o post-ciclica è maggiore delle tensioni richieste per garantire le condizioni di equilibrio statico. In questo caso le deformazioni si sviluppano in modo incrementale durante il terremoto, causate da tensioni di taglio statiche e cicliche, ma cessano al termine della sollecitazione sismica. Un caso particolare di *mobilità ciclica* è il *level ground liquefaction* (liquefazione a piano campagna orizzontale) che avviene quando non esistono tensioni tangenziali necessarie per l'equilibrio e provoca manifestazioni "spettacolari" in conseguenza della dissipazione delle sovrappressioni interstiziali.

Relativamente al fenomeno della liquefazione, al paragrafo 7.11.3.4.1 del D.M. 17/01/2018, è specificato quanto segue :



Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

- il sito d'intervento deve essere stabile nei confronti della liquefazione.
- Nel caso in cui 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, con specifiche e adeguate tecniche, 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 (pali) richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

### 3.15.1 - FATTORI PREDISPONENTI E SCATENANTI LA LIQUEFAZIONE

La liquefazione di un terreno può avvenire solo in situazioni di concomitante presenza di *fattori predisponenti* e di *fattori scatenanti* il fenomeno.

I fattori predisponenti riguardano sostanzialmente la suscettibilità dei terreni a liquefare e quindi la natura e le condizioni del sottosuolo. Perché in un certo contesto geologico si verifichi la liquefazione devono essere presenti le seguenti situazioni :

- ⇒ terreni granulari;
- ⇒ profondità dello strato potenzialmente liquefacibile  $Z < 15$  m dal p.c.;
- ⇒ profondità della falda  $Z_w < 15$  m dal p.c.;
- ⇒ densità relativa del deposito  $D_r < 60\%$ ;
- ⇒ diametro medio  $D_{50}$  dei grani compreso tra 0,02 e 2 mm ( $0,02 \text{ mm} < D_{50} < 2 \text{ mm}$ );
- ⇒ contenuto della frazione di fini (CF : clay fraction - frazione argillosa  $< 0,005 \text{ mm}$ )  $< 15\%$ .

I fattori scatenanti si riferiscono, invece, alle azioni sismiche agenti nel sito che devono essere di entità tale da produrre un accumulo delle pressioni interstiziali così da annullare le pressioni efficaci o comunque da ridurre drasticamente la resistenza al taglio del terreno rendendola inferiore al valore dello sforzo di taglio necessario ad assicurare l'equilibrio in condizioni statiche (*driving stresses*). Questi fattori sono rappresentati dalle caratteristiche del terremoto atteso o di scenario (magnitudo, picco di accelerazione orizzontale al suolo e durata dell'evento) e perché possano originare la liquefazione devono essere :

- ⇒ M (magnitudo) solitamente  $> 5$ ;
- ⇒ picco di accelerazione massima orizzontale al suolo in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) :  $PGA (a_g) > 0,10 g$ ;
- ⇒ durata  $> 15-20$  sec.

Tra i fattori predisponenti rientrano anche :

- i fattori fisici : la liquefazione può verificarsi solo al di sotto del livello della falda ed in terreni di natura granulare, quali ghiaie, sabbie e limi (strain-softening);

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI) Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>		<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

- i fattori di composizione : i terreni che sono composti da particelle della stessa dimensione circa, quindi poco gradati, sono più suscettibili di liquefazione dei terreni costituiti da particelle di dimensioni variabili (ben gradati), in quanto le particelle più fini tendono a riempire i vuoti tra le particelle più grosse attenuando, durante lo scuotimento sismico, la tendenza del terreno ad addensarsi e della pressione dell'acqua interstiziale ad aumentare ( $0,02 \text{ mm} < D_{50} < 2 \text{ mm}$  e contenuto di fine  $< 15\%$ );
- i fattori di forma : l'attrito tra particelle angolose è maggiore di quello esistente tra particelle arrotondate, di conseguenza un terreno costituito prevalentemente da particelle arrotondate è in genere maggiormente suscettibile di liquefazione;
- i fattori geologici : i depositi di natura granulare e saturi, con falda a pochi metri al di sotto del piano di campagna, di origine fluviale, alluvionale, litorale, eolica e colluviale possono essere molto suscettibili di liquefazione, soprattutto se di età recente (Olocene e Pleistocene). Anche i riporti antropici, in particolare quelli realizzati attraverso processi idraulici, possono essere suscettibili di liquefazione. Nell'ambito di questi depositi sono maggiormente suscettibili alla liquefazione quelli che contengono una percentuale modesta di materiale fine argilloso;
- i fattori di stato : lo "stato iniziale" di un terreno è definito dallo stato di addensamento ( $D_r$ , trattandosi di litotipi granulari) e dalle tensioni litostatiche (pressione di confinamento); per cui i terreni granulari meno addensati e più superficiali sono maggiormente suscettibili di liquefazione ( $D_r < 60\%$  e profondità  $Z$  dello strato potenzialmente liquefacibile  $< 15 \text{ m}$ ).

### 3.15.2 - VERIFICA NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

La verifica a liquefazione dei terreni può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze (paragrafo 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018) :

- 1) accelerazioni massime attese al piano di campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1 \text{ g}$ ;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a  $15 \text{ m}$  dal piano di campagna;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$ , dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata con prove penetrometriche dinamiche SPT (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di  $100 \text{ kPa}$  ( $1 \text{ atmosfera}$ ,  $1 \text{ kg/cm}^2$ ) e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza alla punta determinata con prove penetrometriche statiche CPT (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di  $100 \text{ kPa}$ ;

Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020	Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 7.11.1 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in figura 7.11.1 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

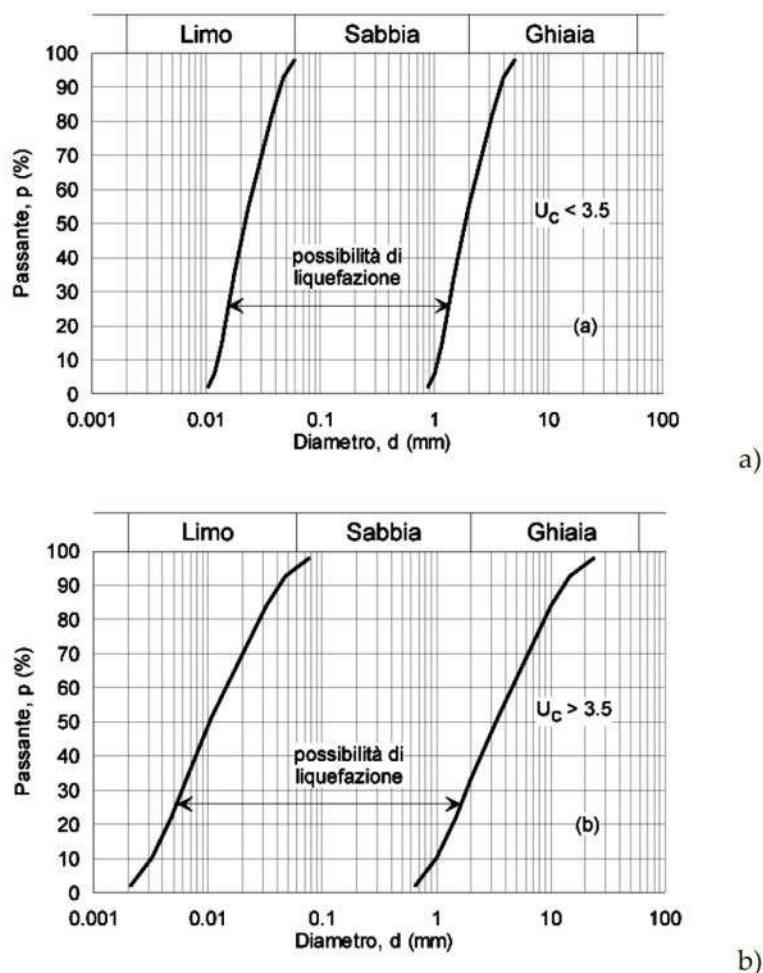


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Per il comparto in oggetto si ha la contemporanea presenza di due fattori scatenanti la liquefazione, dipendenti dalle caratteristiche sismiche del sito, rappresentati :

- 1) dalla magnitudo  $M$  del sisma maggiore di 5 ( $M > 5$ ), essendo la magnitudo momento  $M_w$  di riferimento per il Comune di San Giuliano Terme (Zona Sismogenetica 916 Versilia-Chianti) di 5.68 ( $M_{w_{max1}}$  - valore cautelativo) e 6.14 ( $M_{w_{max2}}$  - valore molto cautelativo), mentre secondo la *disaggregazione di ag* la magnitudo locale media  $M_l$  è 4.79 e cautelativa di 5.5;
- 2) dal valore dell'accelerazione massima orizzontale al piano di campagna in condizioni di campo libero (free field) che è maggiore di 0,1 g ( $a_{max} > 0,1$  g), in quanto per l'area in questione l'accelerazione massima  $A_{max}$  riferita allo Stato Limite SLV per la Classe d'Uso 3 e Coefficiente d'Uso 1,5 è pari a 2,430 m/sec<sup>2</sup> ovvero circa 0,2477 g (con  $g = 9,81$  m/sec<sup>2</sup>).

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Per quanto riguarda i fattori predisponenti, le indagini eseguite e il modello geologico del sottosuolo locale hanno evidenziato, in tutto il tratto di profondità indagato (spessore 33,00 m), una dominanza di terreni limoso argillosi, talora  $\pm$  sabbiosi, che per caratteristiche granulometriche non sono da ritenersi suscettibili a liquefare in caso di scuotimento indotto dal sisma, nonostante la presenza della falda a partire dalla profondità di circa -1,00 m dal p.c. locale attuale, ma che probabilmente è leggermente più profonda in quanto il livello misurato è da ipotizzarsi disturbato/viziato dai fenomeni spiegati in precedenza (possibile risalita di acqua da livelli relativamente più profondi ed eruzione di gas e di acqua mista sabbia).

A questo proposito, le analisi granulometriche eseguite sui quattro campioni prelevati a varie profondità lungo il sondaggio S1 nel pacco di sedimenti a dominanza limoso argillosa, mostrano tutti un discreto contenuto di frazione fine argillosa che è sempre superiore al 15%, e le rispettive curve granulometriche non rientrano completamente nei limiti del campo dei terreni potenzialmente soggetti a liquefazione fissati dalla normativa nel caso di terreni con coefficiente di uniformità UC ( $D_{60}/D_{10}$ ) > 3,5, come quello caratterizzante questi campioni (vedi Tabella n.13 seguente ed i certificati del laboratorio geotecnico nell'Appendice separata).

Tabella n.13

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E SEDIMENTAZIONE						
CAMPIONI E PROFONDITA' DI PRELIEVO (m dal p.c.)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	UC	Classificazione delle terre su base granulometrica (Norma A.G.I., 1977)
C1-S1 (2.50 – 3.00)	0,1	20,6	55,7	23,6	82,7	Limo argilloso sabbioso
C2-S1 (4.50 – 5.00)	2,2	29,8	50,9	17,1	67,4	Limo con sabbia argilloso
C3-S1 (10.50 – 11.00)	0,8	2,6	54,3	42,3	18,8	Limo con argilla
C4-S1 (27.00 – 27.50)	0,0	42,3	42,1	15,6	71,9	Sabbia con limo argillosa Limo con sabbia argilloso

Inoltre, le prove penetrometriche statiche CPTU e CPT, il cui utilizzo, in particolare le prove CPTU, è consigliato per le verifiche della suscettibilità a liquefazione e del calcolo del potenziale di liquefazione, denotano che tutti i terreni attraversati sono costituiti prevalentemente da argille limose e limi argillosi, con modesto e assente contenuto sabbioso.

Pertanto, in considerazione di quanto riscontrato e degli esiti delle indagini non si è ritenuto di dover procedere alla verifica nei confronti della suscettibilità a liquefazione.

L'unico livello potenzialmente suscettibile a liquefare per caratteristiche granulometriche potrebbe essere l'orizzonte di sabbie limose intercalato nei suddetti sedimenti tra le profondità di -13,30/-13,60 e -14,20/-14,40 m dal p.c (livello C del modello geologico e geotecnico), ma la modesta entità dello spessore, tra l'altro non omogeneo variando da circa 60 cm a 1,0 m, e la presenza di frazione argillosa riscontrata nelle carote dei sondaggi S1 e S2, inducono a ritenere improbabile il verificarsi del fenomeno; ed anche qualora questo livello fosse liquefacibile lo spessore di terreno non suscettibile a liquefare al di sotto della fondazione, nel

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

caso di fondazione superficiale, ha comunque una potenza maggiore di 3,00 m. Per cui, anche per questo livello non si è proceduto alla verifica a liquefazione.

Al riguardo, nel Quaderno 7 di approfondimento “Modellazione sismica e stabilità alla liquefazione” redatto dalla Commissione Interregionale degli Ordini Regionali dei Geologi (Responsabile Scientifico Aiello E. – CGT Università di Siena), è evidenziato che in riferimento alle conseguenze della eventuale liquefazione di strati sabbiosi :

- la liquefazione può avere effetti sulle fondazioni superficiali solo se lo strato superficiale non soggetto a liquefazione è più sottile di 3,00 m.

Pertanto, con riferimento all’assetto geologico del tratto di sottosuolo indagato e sulla base delle analisi e considerazioni sopra esposte, si può ragionevolmente sostenere che in fase di progetto esecutivo non siano da prevedersi e/o predisporre accorgimenti tecnici nei confronti del fenomeno della liquefazione.



<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

#### 4 - CONCLUSIONI GENERALI

L'edificio in progetto, destinato a Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA), sarà realizzato nel Comparto n.18 dell'UTOE 35 Colignola-Mezzana ubicato in prossimità del limite sudorientale di detta UTOE e della periferia della frazione Mezzana, compreso tra via Toniolo a ovest-nordovest e via di Tolone ad est-sudest.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area si colloca nella di porzione della bassa pianura alluvionale dell'Arno ricadente nel territorio comunale, a est del fiume, in vicinanza all'ansa convessa verso nord che il fiume ha formato in questa zona.

Nel complesso, il comparto, che attualmente è adibito a terreno agricolo, è da ritenersi stabile sia per configurazione topografica, essendo caratterizzato da una morfologia pianeggiante tipica della pianura alluvionale, sia per l'assenza di evidenti segni riconducibili a processi in atto di carattere geomorfico e geotecnico ed a fenomeni erosivi dovuti all'azione delle acque meteoriche e correnti superficiali, tenuto conto anche delle condizioni geologiche e geomorfologiche al contorno. Dai sopralluoghi e rilievi effettuati nel corso delle indagini, estesi ad un intorno significativo, non sono emerse situazioni imputabili a tali processi e fenomeni.

Al riguardo, la Carta Litotecnica dell'Indagine Geologico-Tecnica di supporto al Piano Operativo Comunale, evidenzia però che l'area è soggetta a subsidenza, con velocità di abbassamento del suolo  $\geq 3$  mm/anno. Si tratta, comunque, di un fenomeno lento, probabilmente non sempre continuo e con velocità non sempre costante, che non è apprezzabile dall'osservazione diretta sui luoghi essendo rilevabile solo con misure interferometriche satellitari dei movimenti del suolo.

Sotto l'aspetto geologico l'area è impostata sui depositi alluvionali dell'Arno, attuali e recenti, costituiti in prevalenza da limi argillosi e argille limose, la cui presenza nel sottosuolo è stata confermata dalle indagini geognostiche eseguite in situ (sondaggi e prove penetrometriche statiche CPTU e CPT) fino ad almeno la profondità di -33,00 m dal p.c. locale attuale (massima profondità investigata).

Gli esiti delle indagini geognostiche eseguite in situ, supportati da analisi e prove di laboratorio geotecnico sui campioni indisturbati terreno prelevati a differenti profondità nel corso dei sondaggi, hanno consentito di ricostruire il modello geologico del sottosuolo per livelli e sub-livelli di spessore significativo ed assimilabili ad omogenei per caratteristiche litologiche e fisico-meccaniche, fino alla profondità di -33,00 m dal p.c., di riferimento per la successiva definizione del modello geotecnico.

Da queste indagini è emerso che il sottosuolo è dominato da sedimenti limoso argilloso e argilloso limosi di ambiente fluvio-palustre e palustre, con prevalenza in termini di spessore dei

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

terreni palustri grigi; mentre non è stata riscontrata la presenza di strati di sabbie di spessore importante, ad eccezione di un orizzonte (livello C del modello geologico e geotecnico) intercalato nei sedimenti a gran fine tra le profondità di circa -13,30/-13,60 e -14,20/-14,40 m dal p.c., in continuità laterale ma con spessore non costante variabile da 40-60 cm a 1,00 m circa.

Per larghi tratti i depositi a grana fine (limi e argille) mostrano un contenuto variabile di frazione sabbiosa e di materia organica/torbosa nera e bruna, quest'ultima più abbondante nei litotipi di facies francamente palustre (limi argillosi e argille limose grigie) al di sotto dei -7,00 m dal p.c. ed in aumento con la profondità, fino a formare dei ben distinti orizzonti dall'aspetto fibroso/spugnoso con assenza o quasi di matrice e di modesto spessore, come quelli attraversati tra le profondità di -21,00 e -22,00 m, lungo il sondaggio S1, e tra -10,100 e -11,00 in corrispondenza della verticale del sondaggio S2, che potrebbero essere i responsabili delle piccole eruzioni di gas e di acqua mista a sabbia verificatesi nel corso delle indagini geognostiche, come descritte e documentate nella paragrafo 1.5.3.1 della Relazione Geologica nella prima parte di questo documento.

Relativamente alle caratteristiche geotecniche, fino a circa -22,00 m i terreni risultano nel complesso di bassa e molto bassa consistenza e molto propensi al cedimento, come denotano i bassi valori delle resistenza penetrometrica di punta  $q_t$  e  $q_c$  delle prove CPTU e CPT ed i valori dei parametri di deformabilità (modulo edometrico), mentre al di sotto la consistenza migliora sensibilmente e gradualmente fino a -27,50 m circa ed a partire da questa profondità aumenta ancora più apprezzabilmente ed in modo abbastanza netto.

Dal punto di vista idrogeologico, nel sottosuolo locale è stata riscontrata la presenza della falda freatica, il cui livello è stato rilevato una prima volta dalla profondità di -1,44 m dal p.c. locale (nei perfori delle prove CPT e CPTU) e successivamente a -0,90 m nel tubo piezometrico installato nel foro del sondaggio S1. E' molto probabile, però, che questo livello sia influenzato dalla risalita di acqua da orizzonti a profondità relativamente maggiori e che, altresì, le piccole eruzioni di gas con acqua mista a sabbia verificatesi nel corso delle indagini geognostiche potrebbero aver viziato le misure effettuate. La profondità effettiva attuale della falda freatica, sulla base delle esperienze personali ed in considerazione della stagione abbastanza asciutta (scarsa piovosità) e prolungata caratterizzante questo periodo, dovrebbe essere leggermente maggiore di quella rilevata. Pertanto, si consiglia di riverificare questo livello, magari con saggi con escavatore fino alla profondità di -2,00 m, entro la quale è ipotizzabile sia presente la falda "indisturbata" e venga impostata la fondazione dell'edificio, nel caso fosse di tipo superficiale, tenendo comunque presente che questa falda è soggetta ad escursioni verticali (innalzamenti e abbassamenti) in relazione al regime meteorico/pluviale locale, essendo strettamente condizionata da esso.

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

Per quanto riguarda gli aspetti sismici :

- l'indagine Down Hole ha permesso di ricostruire il modello sismo-stratigrafico di riferimento per il sottosuolo locale, tramite il quale è stata determinata la categoria di sottosuolo di fondazione mediante il parametro  $V_{s30}$ , non essendo stato intercettato il sub-strato sismico/rigido entro la profondità di -33,00 m dal p.c.;
- l'indagine di sismica passiva HVSR ha evidenziato la presenza di due picchi H/V di natura stragfica la cui entità è tale da far presupporre che corrispondano a contrasti di velocità delle onde sismiche di taglio S non particolarmente severi; altresì ha permesso di valutare la frequenza di vibrazione/risonanza naturale dei terreni presenti nel sottosuolo locale;
- la dominanza di terreni limoso argillosi e argilloso limosi, seppur a tratti  $\pm$  sabbiosi, porta ad escludere la loro suscettibilità a liquefare in caso di scuotimento indotto dal terremoto, come mostrano le curve granulometriche dei campioni di terreno prelevati a differenti profondità e le risultanze delle prove CPT e CPTU. Anche per l'unico orizzonte di natura granulare (livello C), compreso tra le profondità tra -13,00 e -14,00 m circa, considerato il modesto e non costante spessore, variabile da circa 0,60 a 1,00 m, e data la presenza di frazione argillosa, è da ritenere improbabile il verificarsi di questo fenomeno; e comunque qualora questo livello fosse liquefacibile lo spessore di terreno non suscettibile a liquefare al di sotto della fondazione, nel caso di fondazione superficiale, ha una potenza maggiore di 3,00 m.

Sulla base degli esiti delle indagini svolte ed in relazione alle caratteristiche geologiche, geotecniche e idrogeologiche dell'area emerse da questo studio, le considerazioni da fare ai fini progettuali riguardano sostanzialmente i seguenti aspetti :

- la quota d'imposta della fondazione dell'edificio dovrà necessariamente superare lo strato di terreno vegetale/agricolo, localmente con modesto riporto, compreso tra il piano di campagna locale e la profondità di circa -1,00 m, in quanto non è da ritenersi idoneo come terreno di appoggio di una fondazione superficiale, nel caso il progettista adotti una soluzione fondazionale di questo tipo;
- la presenza della falda freatica, che dalla rilevazione più aggiornata risulta posizionata alla profondità di circa -0,90 m dal p.c. e quindi andrebbe ad interferire con lo scavo di fondazione e con la fondazione stessa, sempre qualora venga adottata una fondazione superficiale, ma che consigliamo di riverificare per i possibili disturbi spiegati in precedenza che potrebbero aver viziato la misura;
- la prevalente bassa e molto bassa consistenza e la discreta-elevata compressibilità dei terreni presenti nel sottosuolo, già a partire da profondità prossime al piano di campagna e fino ad almeno circa -22,00 m, nel caso di fondazione superficiale potrebbero comportare problemi di inadeguata capacità portante del sistema terreno-fondazione e cedimenti di entità tale da non

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

essere compatibili con la stabilità e funzionalità dell'opera stessa. Condizione che, di conseguenza, porta a non escludere la possibilità di adottare per il fabbricato fondazioni profonde (pali), situazione che dovrà valutare il progettista delle strutture in base all'entità dei carichi trasmessi nel sottosuolo dall'opera e agli esiti delle verifiche geotecniche della fondazione;

- nell'ambito della progettazione strutturale e geotecnica si dovrà tenere in considerazione anche il fenomeno della subsidenza che interessa il comparto e gran parte della pianura comunale, evidenziato dallo Studio Geologico di supporto al Piano Operativo Comunale.

L'intervento nella sua globalità dovrà essere completato con un adeguato e funzionale sistema di drenaggio, convogliamento e allontanamento delle acque meteoriche e con l'allaccio alla fognatura pubblica per gli scarichi civili/domestici.

Questo studio è stato redatto nel rispetto delle prescrizioni relative alle condizioni di Pericolosità Geologica Elevata (classe G.3), di Pericolosità Sismica Elevata (classe S.3) e di Fattibilità Condizionata (classe F.I.3) in relazione agli aspetti geologici e sismici, che caratterizzano il Comparto n.18 a livello di Piano Operativo - Regolamento Urbanistico Comunale.

In considerazione della Pericolosità Idraulica Elevata (classe I.3) attribuita al medesimo comparto dal Piano Operativo Comunale, che comporta una Fattibilità Idraulica Limitata (classe F.I.4), e della classe di Pericolosità Media P2 in cui esso rientra ai sensi del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni Fluviali (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale, in ottemperanza alle prescrizioni dettate dallo Strumento Urbanistico Comunale e dalla L.R.T. n.41/2018 è stato redatto da altro tecnico uno specifico Studio Idraulico, a cui si rimanda per prenderne visione, finalizzato essenzialmente alla definizione degli accorgimenti tecnici da realizzare per garantire la sicurezza idraulica delle opere edilizie in progetto nei confronti di eventi con tempo di ritorno  $Tr = 200$  anni, dimostrando, altresì, il non aggravio delle condizioni di pericolosità idraulica nelle aree limitrofe al comparto in seguito alla realizzazione della dell'intervento nella sua globalità.

Le indagini geognostiche e sismiche eseguite a supporto del presente progetto sono adeguate alla Classe d'Indagine 4 (art. all'art.7, comma 3 del D.P.G.R.T. n.36/R del 09/07/2009) in cui rientra l'edificio in progetto e al carattere di *rilevanza* che esso assume per la sua particolare destinazione d'uso a Residenza Sanitaria Assistenziale (Allegato A, colonna B, punto 2, lettera h, della Delibera G.R.T. n.663 del 20/05/2019).

Per quanto concerne la gestione delle terre e rocce da scavo, che non rientra nell'incarico dello scrivente, derivanti dallo sbancamento per la fondazione e dagli scavi genere, e per l'eventuale riutilizzo in sito come sottoprodotti, se non smaltiti in discarica, si dovrà attenersi a

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

quanto specificato nelle normative vigenti in materia ambientale, in primis il D.P.R. n.120 del 13/06/2017 "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n.133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n.164", in vigore dal 22/08/2017, e il D.Lgs. n.152/2006 "Testo Unico Ambientale" e s.m.i.

Le verifiche geotecniche della fondazione, ai sensi del D.M. 17/01/2018, saranno svolte dal progettista delle strutture nella successiva fase di progetto esecutivo con riferimento al modello geologico e geotecnico e all'assetto sismo-stratigrafico qui ricostruiti, a meno di eventuali ulteriori approfondimenti che si rendessero necessari richiesti dal progettista stesso.

Concludendo, sulla base di questo studio e degli esiti delle indagini effettuate, l'intervento è da ritenersi fattibile in relazione alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, sismiche e idrogeologiche dell'area, tenendo in considerazione per la progettazione geotecnica esecutiva la prescrizione precedentemente indicata riguardante la profondità d'imposta della fondazione, nel caso di fondazione superficiale, la eventuale possibilità di adottare fondazioni profonde, qualora la fondazione superficiale non risultasse verificata nei confronti della capacità portante e dei cedimenti, ed il fenomeno della subsidenza. Per quanto attiene la sicurezza idraulica dell'edificio e gli altri aspetti progettuali legati alla pericolosità idraulica locale, il progettista dovrà attenersi alle prescrizioni e indicazioni riportate nello Studio Idraulico di supporto al progetto stesso.

Pisa 19/07/2020

*Dott. Geologo Luca Pignatelli*





Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica	Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniole - San Giuliano Terme (PI) Comparto n.18 - UTOE 35 Colignola - Mezzana	Luca Pignatelli - geologo
Luglio 2020		Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus

#### TAVOLA N°1 :

- COROGRAFIA GENERALE, SCALA 1:25.000
- INQUADRAMENTO TERRITORIALE, SCALA 1:10.000;
- ESTRATTO DEL REGOLAMENTO URBANISTICO COMUNALE - P.O.C.  
(Scheda Norma Comparto N.18 - UTOE 35 Colignola-Mezzana);
- SOVRAPPOSTO C.T.R.-ORTOFOTO REGIONE TOSCANA;
- QUADRO CONOSCITIVO SULLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'  
GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA VIGENTI PER IL COMPARTO N.18 :
  - ESTRATTI CARTE DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA  
DI SUPPORTO AL PIANO OPERATIVO COMUNALE (P.O.C.);
  - SCHEDA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA DEL COMPARTO N.18 (da Allegato 1c del P.O.C.);
- ESTRATTO CARTA DELLA PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI DEL PIANO DI GESTIONE  
DEL RISCHIO ALLUVIONI FLUVIALI (PGRA) DEL DISTRETTO IDROGRAFICO APPENNINO  
SETTENTRIONALE;
- QUADRO CONOSCITIVO SULLE CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E SISMICHE DEL  
COMPARTO N.18 :
  - ESTRATTI CARTA GEOMORFOLOGICA E CARTA DELLE MOPS (Microzone Omogenee  
in Prospettiva Sismica) DELL'INDAGINE GEOLOGICO-TECNICA DI SUPPORTO AL  
PIANO OPERATIVO COMUNALE;
- ESTRATTO CARTA DELLA VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA DEL P.T.C. DELLA PROVINCIA  
DI PISA;

#### TAVOLA N°2 :

- PLANIMETRIA - PIANTA PIANO TERRA STATO DI PROGETTO CON UBICAZIONE INDAGINI  
GEOGNOSTICHE E SISMICHE, SCALA 1:100, (da Tavola di Progetto - Arch. Mauro Ciampa);
- UBICAZIONE AREA D'INTERVENTO, EDIFICIO IN PROGETTO E INDAGINI GEOGNOSTICHE E  
SISMICHE, SU FOTO SATELLITARE GOOGLE MAPS (NON IN SCALA);
- DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA :
  - POSTAZIONI INDAGINI;
  - FENOMENI ERUTTIVI DI GAS E DI ACQUA MISTA A SABBIA AVVENUTI NEL CORSO DI  
ALCUNE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE;

#### TAVOLA N°3 :

- UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE;
- MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE PER LIVELLI LITOLOGICI ASSIMILABILI  
AD OMOGENEI :
  - SEZIONI LITOLOGICO-TECNICHE 1-1' 2-2', SCALA 1:100;
- GRAFICI SOVRAPPOSTI DELLA RESISTENZA DI PUNTA  $q_t$  e  $Q_c$  DELLE PROVE  
PENETROMETRICHE STATICHE CPTU E CPT;
- TABELLA RIEPILOGATIVA DEGLI ESITI DELLE ANALISI GRANULOMETRICHE SUI CAMPIONI  
INDISTURBATI PRELEVATI LUNGO IL SONDAGGIO S1;
- PROFILO VERTICALE DELLA VELOCITA' DELLE ONDE SISMICHE "P" E "S" ( $V_p$ ,  $V_s$ );

#### TAVOLA N°4 :

- UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE;
- MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE PER LIVELLI LITOLOGICI ASSIMILABILI  
AD OMOGENEI :
  - SEZIONI LITOLOGICO-TECNICHE 1-1' 2-2', SCALA 1:100;
- QUADRO RIEPILOGATIVO DEGLI ESITI DELLE ANALISI E PROVE DI LABORATORIO SUI  
CAMPIONI INDISTURBATI DI TERRENO C1-S1, C2-S1, C3-S1, C4-S1, C1-S2;
- CLASSIFICAZIONE DEI CAMPIONI IN BASE :  
ALLA CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE - USCS, ALLA CARTA DI ATTIVITA' DI  
SKEMPTON E ALLA CARTA DI ATTIVITA' DI VAN DER MERWE;
- PROFILO VERTICALE DELLA VELOCITA' DELLE ONDE SISMICHE "P" E "S" E PARAMETRI  
ELASTO-MECCANICI DINAMICI MEDI DEI SISMO-STRATI DERIVATI DA  $V_p$  e  $V_s$ ;
- CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO D'INTERVENTO :
  - MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO PER IL SOTTOSUOLO LOCALE;
  - CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE,
  - CATEGORIA TOPOGRAFICA,
  - COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA,

<i>Relazione Geologica, Geotecnica sulle Indagini e Sismica</i>	<i>Progetto : Realizzazione di una Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) nella frazione di Mezzana, in via Toniolo - San Giuliano Terme (PI)</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Luglio 2020</i>	<i>Comparto n.18 – UTOE 35 Colignola – Mezzana</i>	<i>Proprietà : Fondazione Casa Cardinale Maffi Onlus</i>

## **CONTENUTI DELL'APPENDICE SEPARATA**

*(vedi Documento a parte di accompagnamento alla presente Relazione)*

- *PROFILI LITO-STRATIGRAFICI DEI SONDAGGI S1 E S2 CON DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA DELLE RISPETTIVE CAROTE DI TERRENO NELLE CASSETTE CATALOGATRICI;*
- *ELABORATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU (CPTU1, CPTU2, CPTU3)  
E CPT (CPT1, CPT2);*
- *CERTIFICATI DEL LABORATORIO GEOTECNICO;*
- *RAPPORTO SULL'INDAGINE SISMICA DOWN HOLE NEL FORO DEL SONDAGGIO S1;*
- *RAPPORTO SULL'INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR A STAZIONE SINGOLA;*
- *REPORT RIEPILOGATIVO DEI PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI DI RIFERIMENTO PER  
IL SITO D'INTERVENTO (da software on line Parametri Sismici di Geostru – Geostru.com);*

**APPENDICE SEPARATA**



COMUNE DI SAN GIULIANO TERME

PROVINCIA DI PISA

Committente / Proprietà :  
FONDAZIONE CASA CARDINALE MAFFI ONLUS

Sede Legale : Via Don Pietro Parducci, n.1 - 57023 - San Pietro in Palazzi - Cecina (LI)

PROGETTO : REALIZZAZIONE DI UNA RESIDENZA SANITARIA ASSISTENZIALE NELLA FRAZIONE DI MEZZANA, IN VIA TONIOLO

SCHEDA NORMA COMPARTO N.18 - UTOE 35 : COLIGNOLA-MEZZANA

PERMESSO DI COSTRUIRE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA SULLE INDAGINI E SISMICA

(D.M. 17/01/2018, D.P.G.R.T. n.36/R del 09/07/2009, Piano Operativo e Regolamento Urbanistico del Comune di San Giuliano Terme, Piano di Gestione del Rischio Alluvioni Fluviali "P.G.R.A." del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale - D.P.C.M. 27/10/2016, L.R. n.41 del 24/07/2018)

TAVOLA N°1 :

- COROGRAFIA GENERALE, SCALA 1:25.000

- INQUADRAMENTO TERRITORIALE, SCALA 1:10.000;

- ESTRATTO DEL REGOLAMENTO URBANISTICO COMUNALE - P.O.C. (Scheda Norma Comparto N.18 - UTOE 35 Colignola-Mezzana);

- SOVRAPPONTO C.T.R.-ORTOFOTO REGIONE TOSCANA;

- QUADRO CONOSCITIVO SULLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' E FATTIBILITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA VIGENTI PER IL COMPARTO N.18 ;

- ESTRATTI CARTE DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA DI SUPPORTO AL PIANO OPERATIVO COMUNALE (P.O.C.);

- SCHEDA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA DEL COMPARTO N.18 (Allegato 1c del P.O.C.);

- ESTRATTO CARTA DELLA PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI FLUVIALI DEL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA) DEL DISTRETTO IDROGRAFICO APPENNINO SETTENTRIONALE;

- QUADRO CONOSCITIVO SULLE CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E SISMICHE DEL COMPARTO N.18 ;

- ESTRATTI CARTA GEOMORFOLOGICA E CARTA DELLE MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) DELL'INDAGINE GEOLOGICO-TECNICA DI SUPPORTO AL PIANO OPERATIVO COMUNALE (P.O.C.);

- ESTRATTO CARTA DELLA VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA DEL P.T.C. DELLA PROVINCIA DI PISA;

Luglio 2020

Luca Pignatelli - geologo

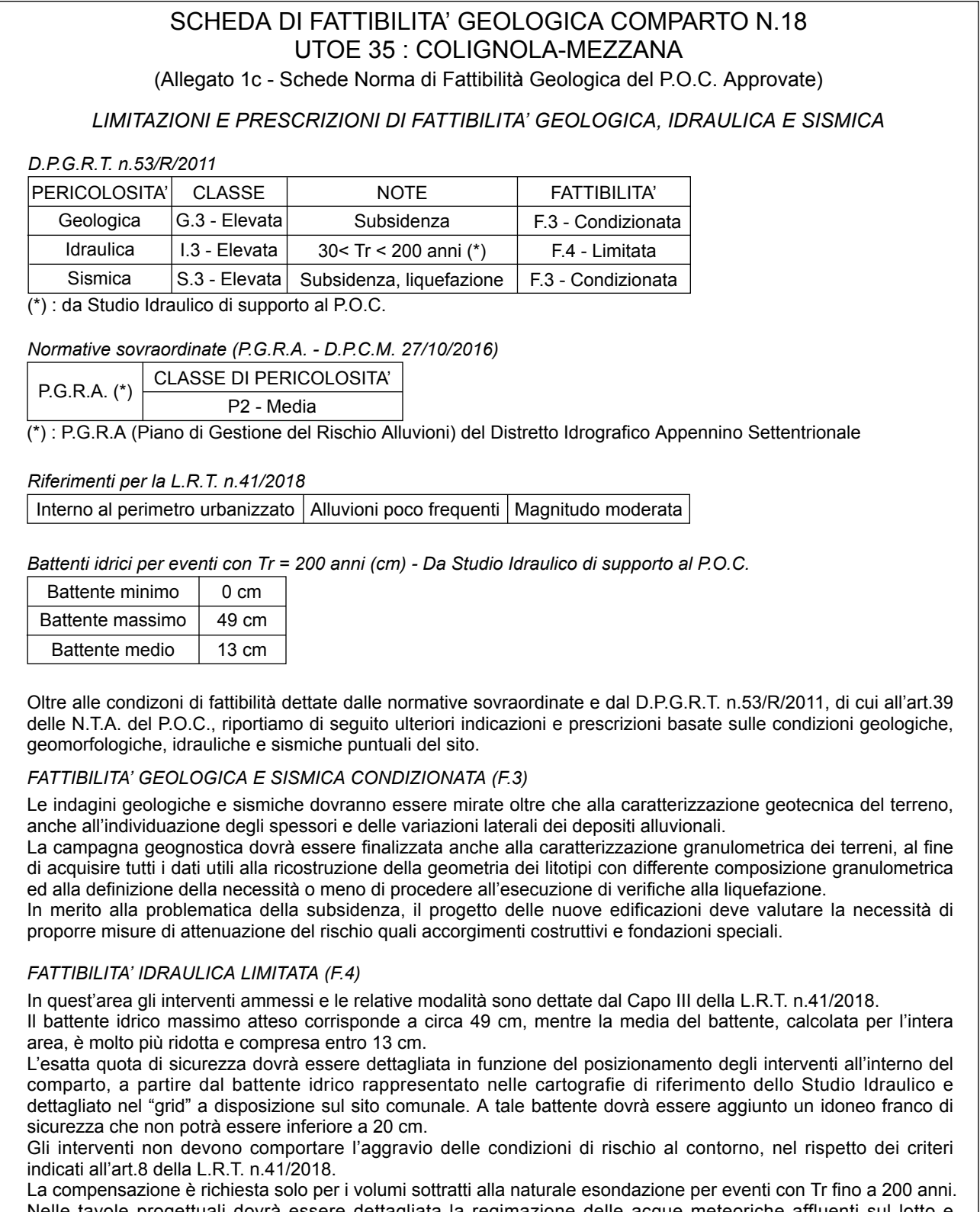
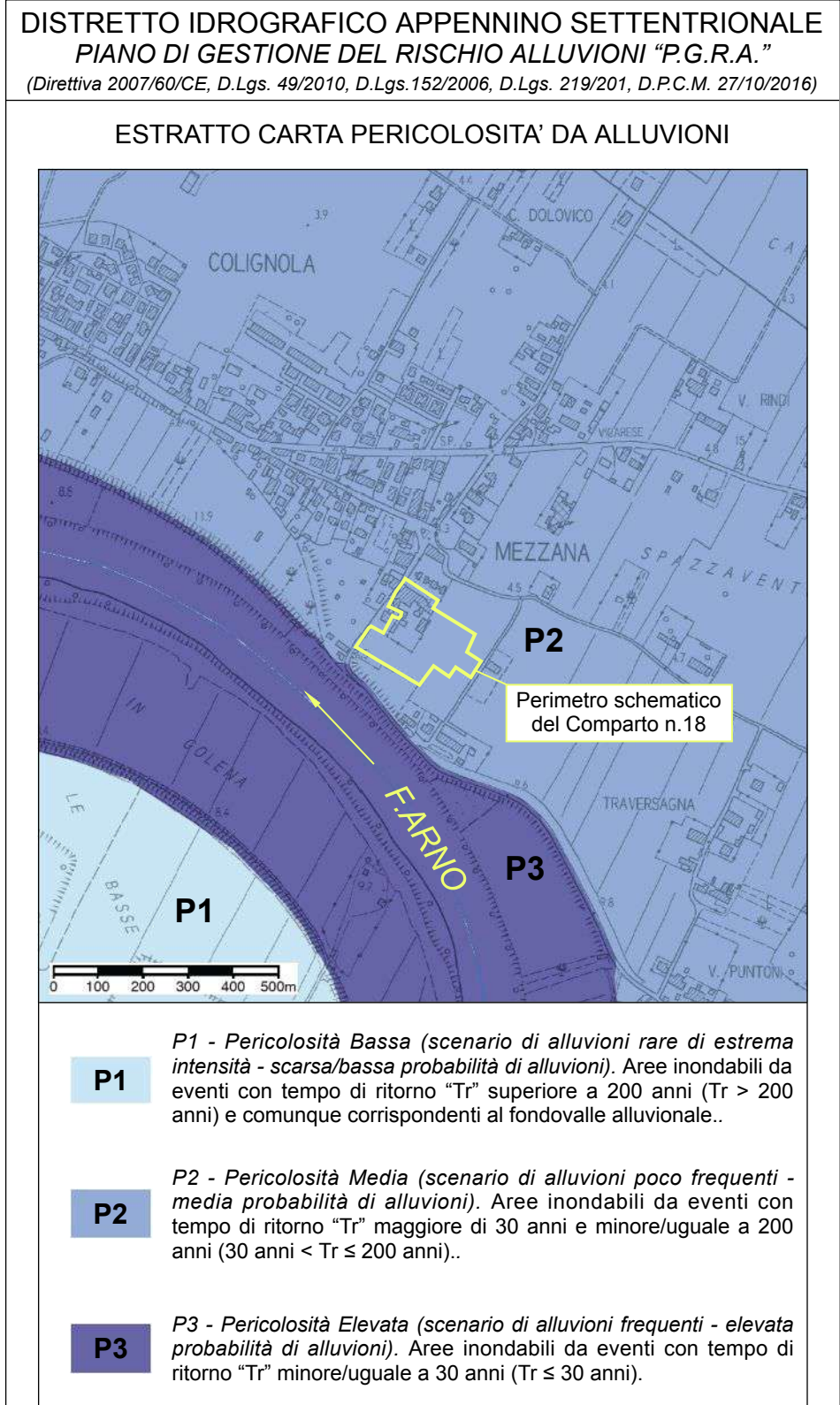
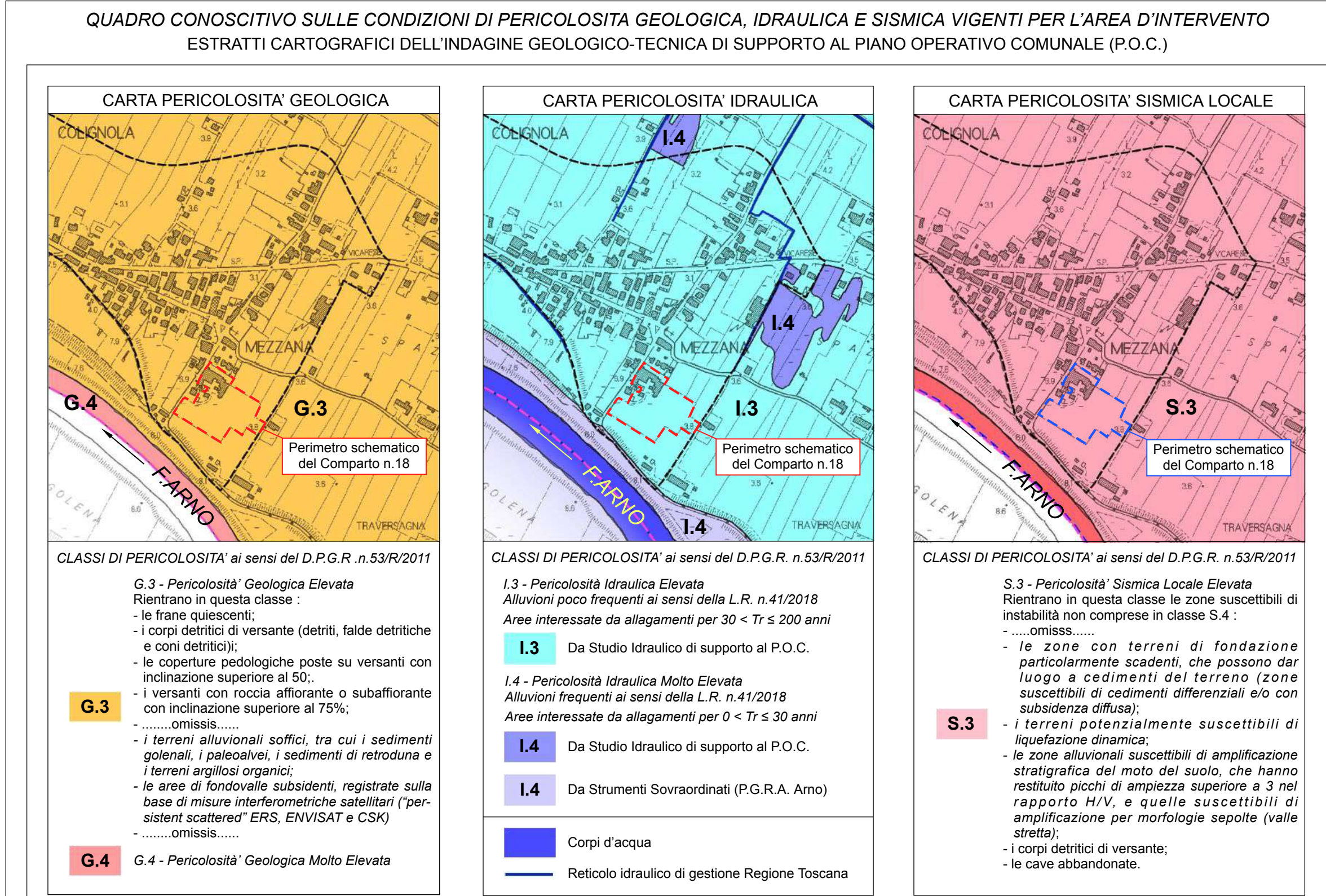
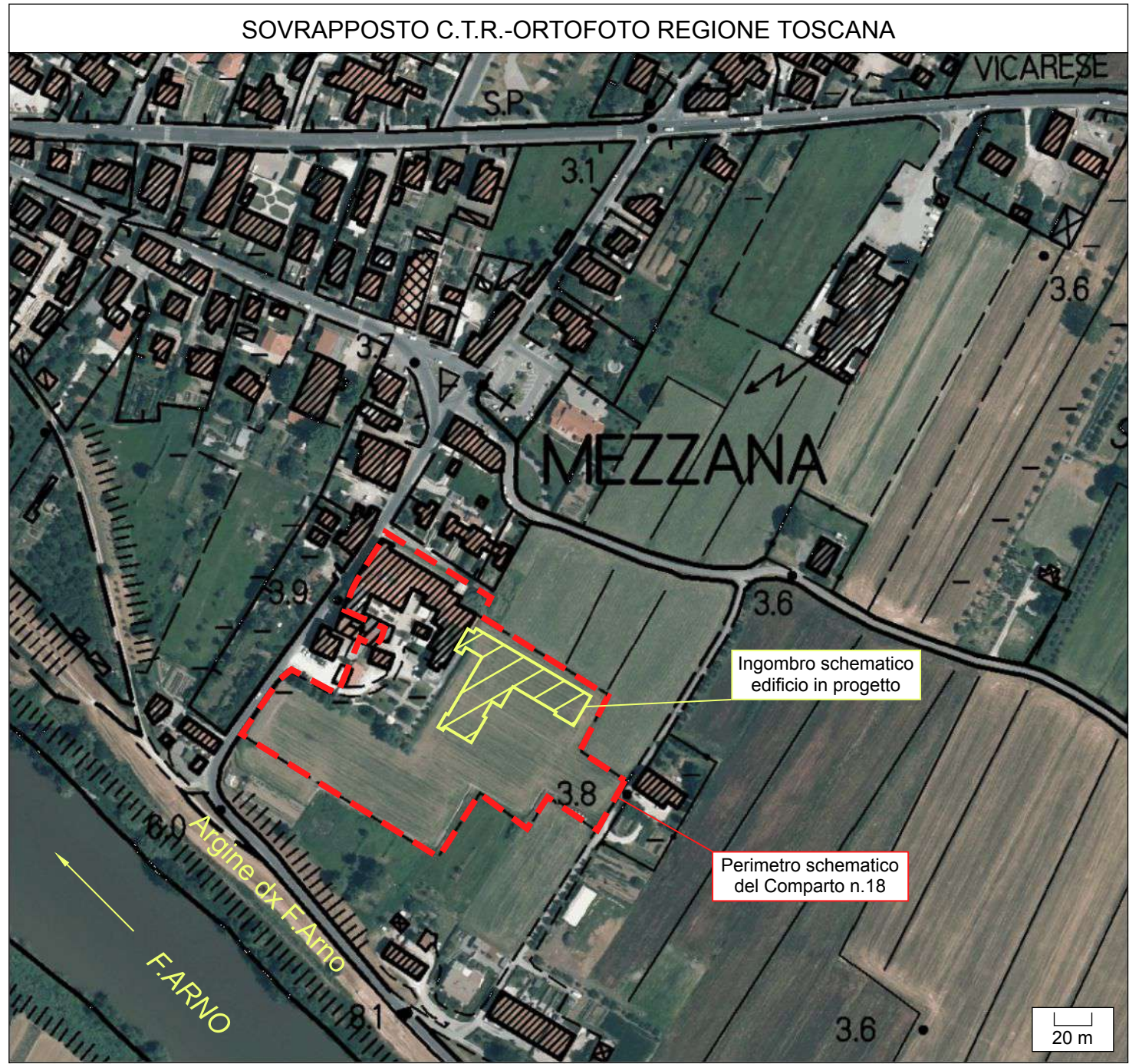
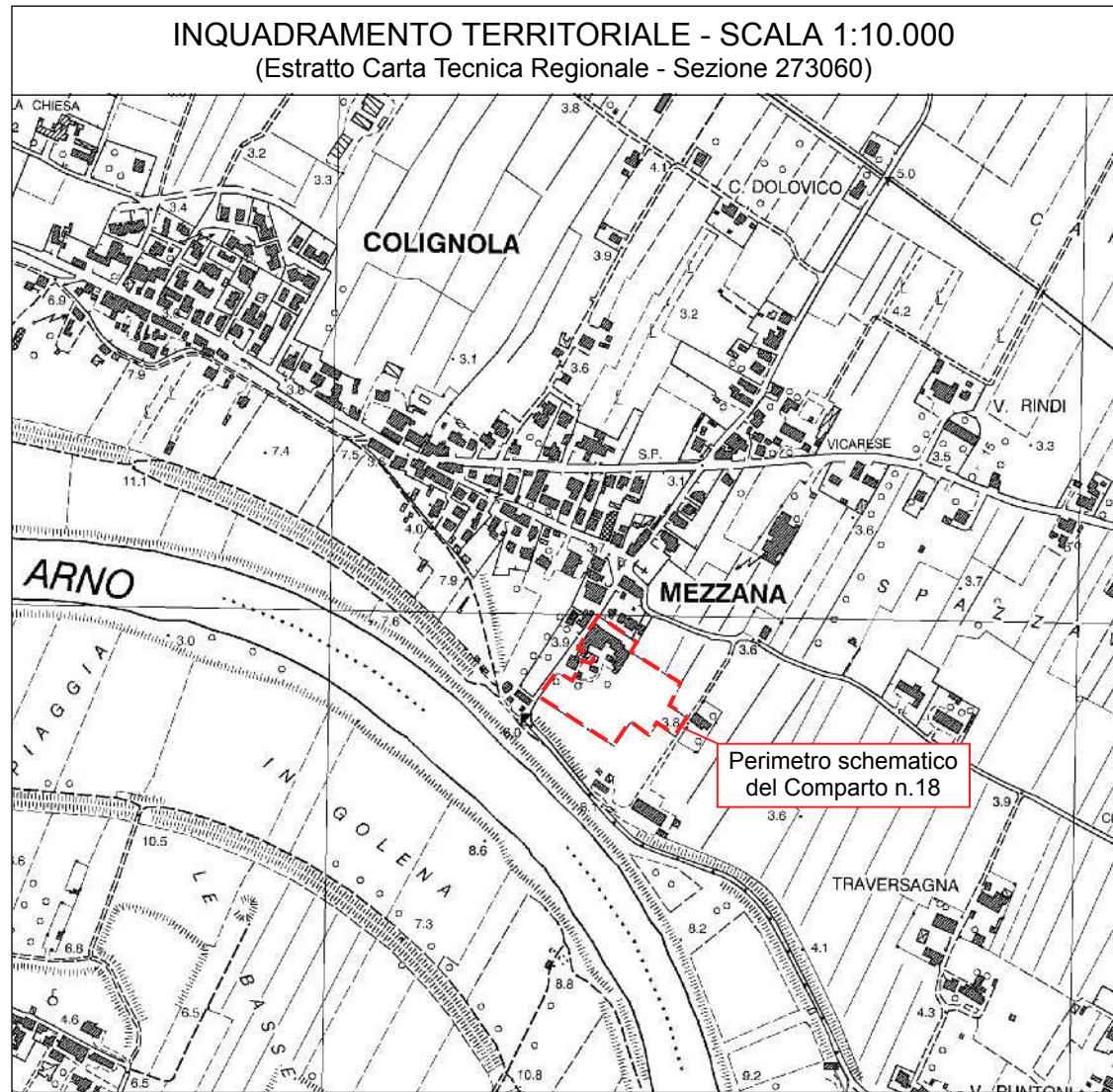
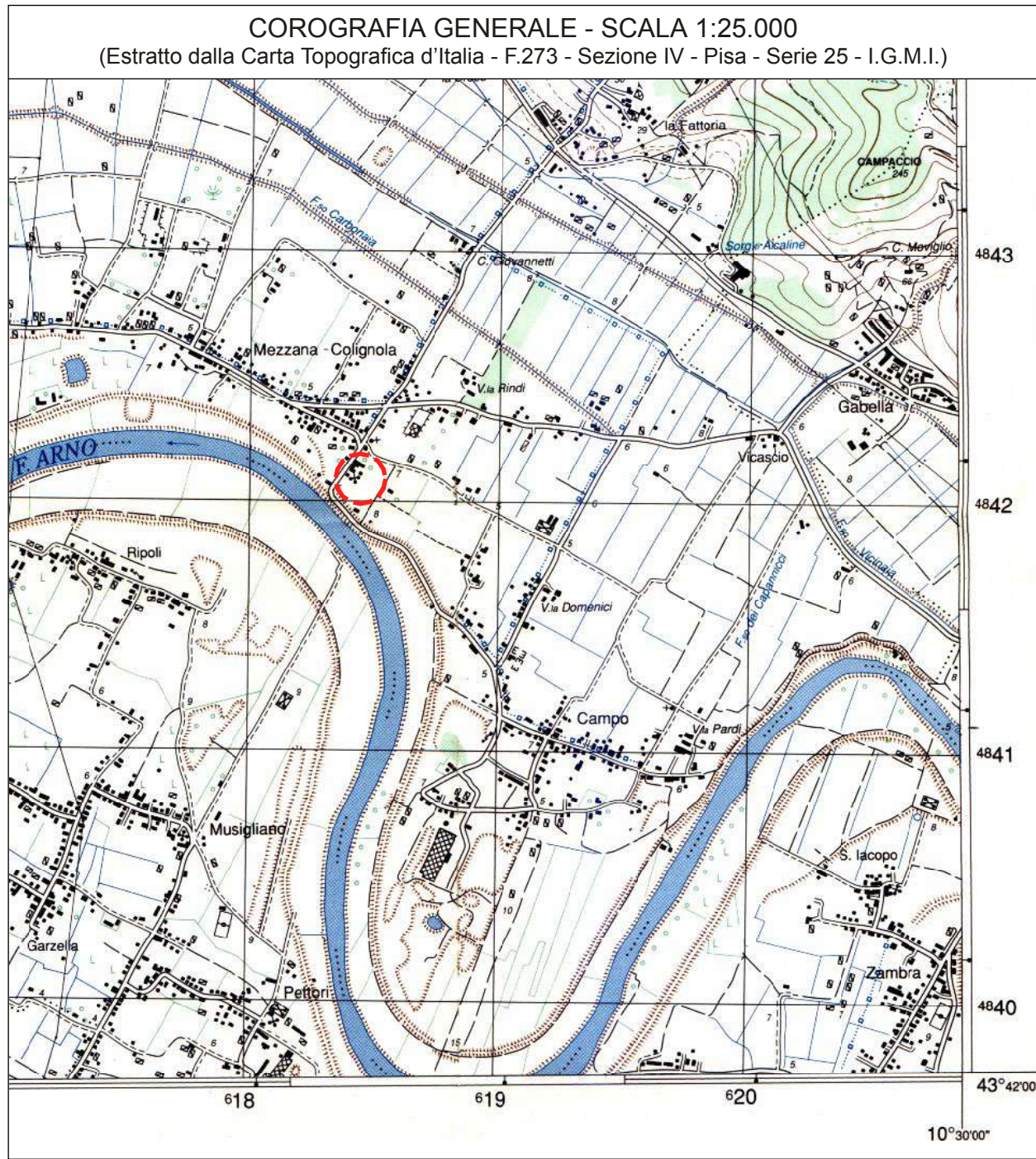
Via Caduti del Lavoro, n°9 - 56122 - Pisa

Tel. : 050 525458 - Cell. : 338 6472126

email : luca\_geo\_pi@gmail.com

pec : luca\_geo\_pi@spap.sicurezza postale.it

DOTTORE  
LUCA  
PIGNATELLI  
N°795



QUADRO CONOSCITIVO SULLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE-GEOMORFOLOGICHE, E SISMICHE DELL'AREA D'INTERVENTO  
ESTRATTI CARTOGRAFICI DELL'INDAGINE GEOLOGICO-TECNICA DI SUPPORTO AL PIANO OPERATIVO COMUNALE (P.O.C.)

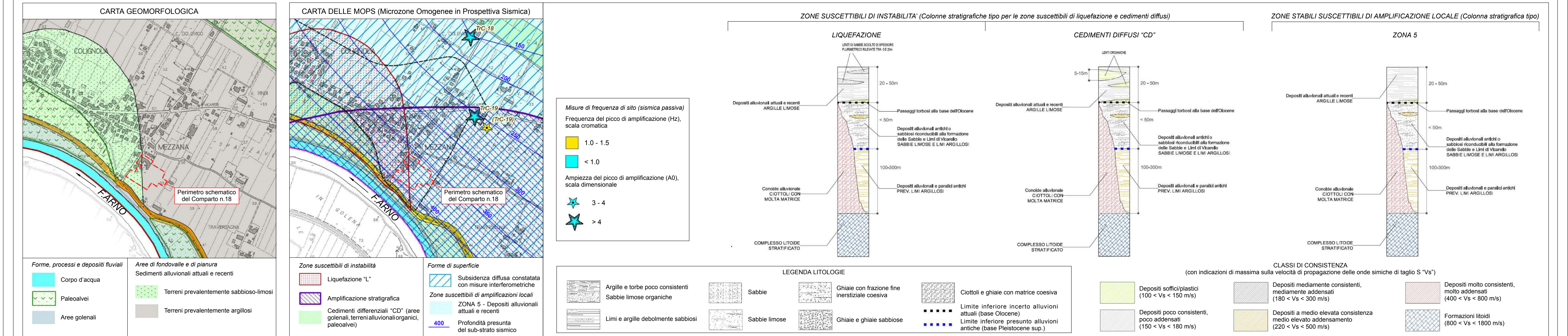




TAVOLA N°2 :

- PLANIMETRIA - PIANTA PIANO TERRA STATO DI PROGETTO CON UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE, SCALA 1:100, (da Tavola di Progetto - Arch. Mauro Ciampa);
- UBICAZIONE AREA D'INTERVENTO, EDIFICIO IN PROGETTO E INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE SU FOTO SATELLITARE GOOGLE MAPS (NON IN SCALA);
- DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA :
  - POSTAZIONI INDAGINI;
  - FENOMENI ERUTTIVI DI GAS E DI ACQUA MISTA A SABBIA AVVENUTI NEL CORSO DI ALCUNE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE;

Luglio 2020

Luca Pignatelli - geologo  
Via Caluso del Lavoro, n°9 - 58122 - Pisa  
Tel. 050 525459 - Cell. 338 8472159  
email : luca.geo.pignatelli@gmail.com  
pec : luca.geo.pignatelli@comunezapposito.it



Postazione S1 (sondaggio a carotaggio continuo).



Calo della tubazione in PVC per prova sismica Down Hole nel foro del sondaggio S1.



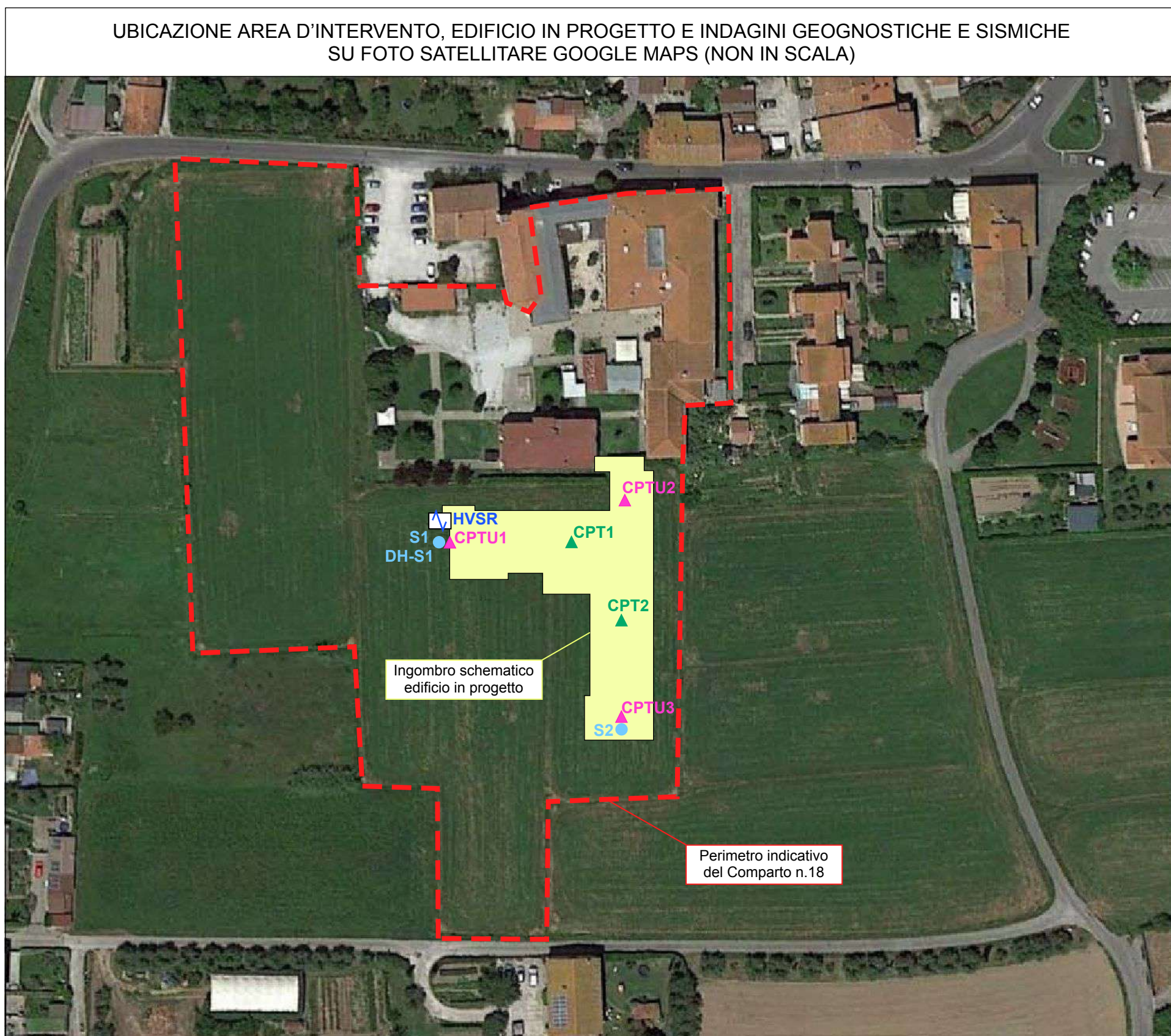
Testa fuori terra della tubazione cementata per prova sismica Down Hole.



Esecuzione prova sismica Down Hole.



Postazione CPT1 (prova penetrometrica statica con punta meccanica)



- INDAGINI GEOGNOSTICHE
- S1 Sondaggi a carotaggi continuo (n.2 : S1, S2).
  - CPT1 Prove penetrometriche statiche CPT con punta meccanica (n.2 : CPT1, CPT2).
  - CPTU3 Prove penetrometriche statiche CPTU con punta elettrica-piezozono (n.3 : CPTU1, CPTU2, CPTU3).
- INDAGINI SISMICHE
- DH-S1 Indagine sismica Down Hole nel foro del sondaggio S1.
  - HVSR Indagine puntuale di sismica passiva HVSR a stazione singola (misura del microtremore ambientale).



Postazione CPTU1 (prova penetrometrica statica con punta elettrica-piezozono).



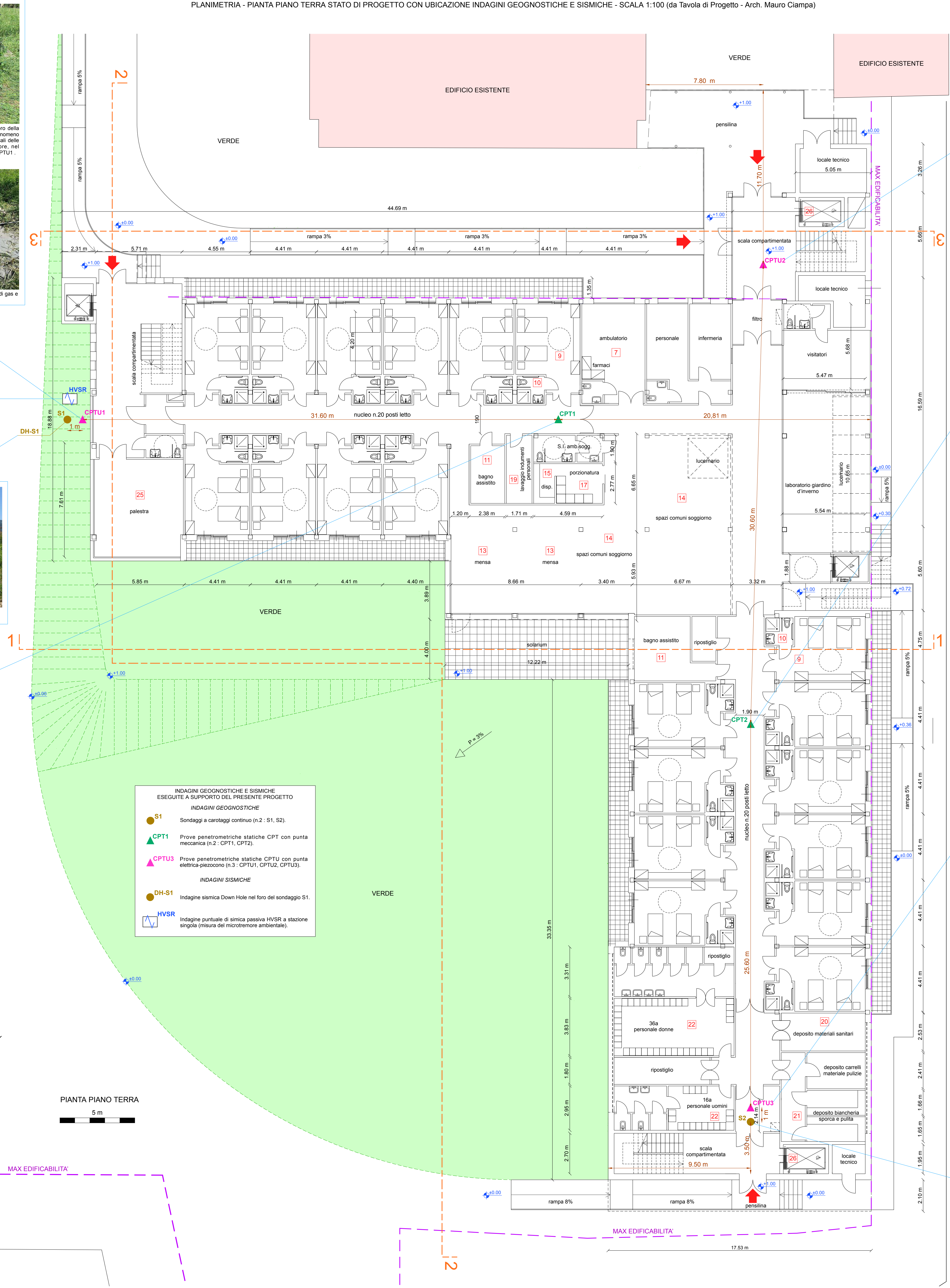
Piccola eruzione di gas e di acqua mista a sabbia dal foro della prova CPTU1, al termine dell'estrazione dell'ultima asta. Fenomeno durato circa 50-60 minuti, verificatosi anche lungo le verticali delle prove CPT2 e CPTU3 ed apprezzato, in misura minore, nel sondaggio S1 eseguito successivamente in vicinanza alla CPTU1.



Formazione di cono sub-appiattito di sabbia centrato nel foro della prova CPTU1, al termine del modesto fenomeno eruttivo di gas e di acqua mista a sabbia.



Postazione indagine di sismica passiva HVSR a stazione singola, con Tromino.



Postazione CPTU2 (prova penetrometrica statica con punta elettrica-piezozono).



Postazione CPT2 (prova penetrometrica statica con punta meccanica).



Piccola eruzione di gas e di acqua mista a sabbia dal foro della prova CPT2, al termine della estrazione dell'ultima asta, come avvenuto lungo le verticali CPTU1 e CPTU3. Fenomeno durato circa 50-60 minuti.



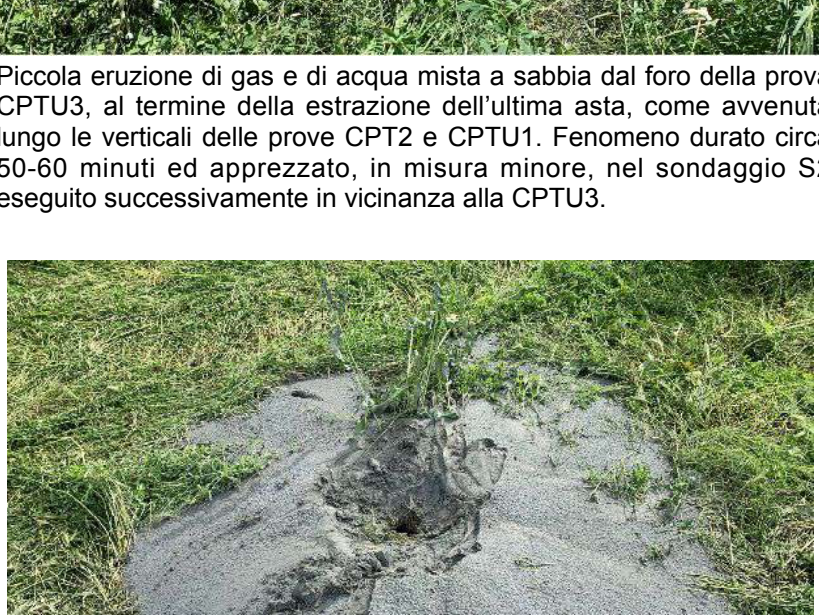
Formazione di cono sub-appiattito di sabbia centrato sul foro della prova CPT2, al termine del fenomeno eruttivo di gas e di acqua mista a sabbia.



Postazione CPTU3 (prova penetrometrica statica con punta piezozono).



Piccola eruzione di gas e di acqua mista a sabbia dal foro della prova CPTU3, al termine della estrazione dell'ultima asta, come avvenuto lungo le verticali delle prove CPT2 e CPTU1. Fenomeno durato circa 50-60 minuti ed apprezzato, in misura minore, nel sondaggio S2 eseguito successivamente in vicinanza alla CPTU3.



Formazione di cono sub-appiattito di sabbia centrato nel foro della prova CPTU3 al termine del fenomeno eruttivo di gas e di acqua mista a sabbia.



Postazione S2 (sondaggio a carotaggio continuo).



Cappuccio a fungo a protezione della testa del piezometro in S2.



COMUNE DI SAN GIULIANO TERME  
PROVINCIA DI PISA

Committente / Proprietà :  
FONDAZIONE CASA CARDINALE MAFFI ONLUS  
Sede Legale: Via Don Pietro Pavesi, n. 1 - 57102 - San Pietro in Palazzi - Caserta (CE)

PROGETTO : REALIZZAZIONE DI UNA RESIDENZA SANITARIA ASSISTENZIALE NELLA FRAZIONE DI MEZZANA, IN VIA TONIOLO  
SCHEDE NORMA COMPARTO N.18 - UTILE 35 - COLIGNOLA-MEZZANA  
PERMESSO DI COSTRUIRE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA SULLE INDAGINI E SISMICA  
(D.M. 1761/2018, D.P.C.M. 17/3/2018, Piano Operativo e Regolamento Urbanistico del Comune di San Giuliano Terme, Piano di Gestione del Rischio Alluvioni Fluviali "P.G.R.A." del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale - D.P.C.M. 27/05/2016, L.R. n.41 del 24/07/2016)

TAVOLA N°3 :

UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE:

- MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE PER LIVELLI LITOLOGICI ASSIMILABILI AD OMOGENEI

- SEZIONE LITOLOGICO-TECNICA 1-1': SCALA 1:100;

- SEZIONE LITOLOGICO-TECNICA 2-2': SCALA 1:100;

- GRAFICI SOVRAPPONDI DELLA RESISTENZA DI PUNTA q<sub>t</sub> E q<sub>c</sub> DELLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU E CPT;

- TABELLA RIEPILOGATIVA DEGLI ESITI DELLE ANALISI GRANULOMETRICHE SUI CAMPIONI INDISTURBATI PRELEVATI LUNGO IL SONDAGGIO S1;

- PROFILO VERTICALE DELLA VELOCITÀ DELLE ONDE SISMICHE "P" E "S" (V<sub>p</sub>-V<sub>s</sub>);

Luglio 2020

Luca Pignatelli - geologo  
Via Casoli del Lavoro, n° 58/52 - Pisa  
tel. 050.254545 - Cell. 339.867770  
email: luca.pignatelli@gmail.com  
pec: luca.pignatelli@fondazionemaffi.it

UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE E TRACCE SEZIONI LITOLOGICO-TECNICHE

INDAGINI GEOGNOSTICHE

S1

Sondaggi a carotaggi continui (n.2: S1, S2)

CPT1

Prove penetrometriche statiche CPT con punta meccanica (n.2: CPT1, CPT2)

CPTU3

Prove penetrometriche statiche CPTU con punta elettrica-plezocorona (n.3: CPTU1, CPTU2, CPTU3)

HVSr

Indagine sismica Down Hole nel foro del sondaggio S1

HVSr

Indagine puntuale di sisma passiva HVSr a stazionamento singola (misura del microtremore ambientale)

INDAGINI SISMICHE

DH-S1

Indagine sismica Down Hole nel foro del sondaggio S1

HVSr

Indagine puntuale di sisma passiva HVSr a stazionamento singola (misura del microtremore ambientale)

1-----1'

Tracce sezioni litologiche 1-1', 2-2'.

10 m

MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE PER LIVELLI LITOLOGICI ASSIMILABILI AD OMOGENEI  
SEZIONE LITOLOGICO-TECNICA 1-1' - SCALA 1:100 (PROSPETTO SUDEST - SEZIONE 1-1 DI PROGETTO)

Stratigrafia sondaggio S1

0.00 Tenere vegetale/agricolo limo sabbioso nocciola-beige con poco sporco (femmina di lauro rossi)

0.90 Limi e sabbiosi e argillosi beige-nocciola con variegature grigie e marrone-ocra. Più argillosi tra -2.30 e -2.50 m. Consistenza da molto bassa a bassa.

1.00 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.10 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.20 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.30 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.40 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.50 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.60 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.70 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.80 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.90 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.00 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.10 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.20 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.30 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.40 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.50 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.60 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.70 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.80 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.90 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

3.00 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

3.10 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

3.20 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

3.30 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

PROFILO VERTICALE DELLA VELOCITÀ DELLE ONDE "P" E "S" (V<sub>p</sub>-V<sub>s</sub>)  
(da indagine Sismica Down Hole nel foro del sondaggio S1)

Vs: velocità onde S (m/s)

Vp: velocità onde P (m/s)

MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE PER LIVELLI LITOLOGICI ASSIMILABILI AD OMOGENEI - SCALA 1:100  
SEZIONE LITOLOGICO-TECNICA 2-2' - SCALA 1:100 (PROSPETTO SUDEST - SEZIONE 2-2 DI PROGETTO)

Stratigrafia sondaggio S2

0.00 Tenere vegetale/agricolo limo sabbioso nocciola-beige con poco sporco (femmina di lauro rossi)

0.90 Limi e sabbiosi e argillosi beige-nocciola con variegature grigie e marrone-ocra. Più argillosi tra -2.30 e -2.50 m. Consistenza da molto bassa a bassa.

1.00 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.10 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.20 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.30 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.40 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.50 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.60 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.70 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.80 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.90 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.00 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.10 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.20 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.30 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.40 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.50 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.60 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.70 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.80 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.90 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

3.00 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

3.10 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

3.20 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

3.30 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

ESITI ANALISI GRANULOMETRICA SUI CAMPIONI INDISTURBATI

C1-S1, C2-S1, C3-S1, C4-S1 (SONDAGGIO S1)

ANALISI GRANULOMETRICA COMPLETA

Classificazione delle terre (AGI, 1977)

LIVELLI	Campioni (m dal p.c.)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)
A1	C1-S1 (2.50 - 3.00)	0.1	20.6	55.7	23.6
A2	C2-S1 (4.50 - 5.00)	2.2	29.8	50.9	17.1
B1	C3-S1 (10.50 - 11.00)	0.8	2.6	54.3	42.3
B5	C4-S1 (27.00 - 27.50)	0.0	42.3	42.1	15.6

1 kg/cm² = 0.0980665 MPa = 0.1 MPa

1 MPa = 10.2 kg/cm²

MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE PER LIVELLI LITOLOGICI ASSIMILABILI AD OMOGENEI - SCALA 1:100  
SEZIONE LITOLOGICO-TECNICA 2-2' - SCALA 1:100 (PROSPETTO SUDEST - SEZIONE 2-2 DI PROGETTO)

Stratigrafia sondaggio S2

0.00 Tenere vegetale/agricolo limo sabbioso nocciola-beige con poco sporco (femmina di lauro rossi)

0.90 Limi e sabbiosi e argillosi beige-nocciola con variegature grigie e marrone-ocra. Più argillosi tra -2.30 e -2.50 m. Consistenza da molto bassa a bassa.

1.00 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.10 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.20 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.30 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.40 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.50 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.60 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.70 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.80 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

1.90 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.00 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.10 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.20 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.30 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.40 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.50 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.60 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.70 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.80 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

2.90 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

3.00 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

3.10 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

3.20 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

3.30 Limi argillosi e sabbiosi beige-nocciola con inclusioni millimetriche nerastre di materia organica/torbossa e variegature grigie.

GRAFICI SOVRAPPONDI DELLA RESISTENZA DI PUNTA "q<sub>t</sub>" E "q<sub>c</sub>" DELLE PROVE CPTU E CPT

1 kg/cm² = 0.0980665 MPa = 0.1 MPa

1 MPa = 10.197 kg/cm² = 10 kg/cm²



