



Città di Maranello



**Finanziato  
dall'Unione europea**  
NextGenerationEU

## COMUNE DI MARANELLO (MO)

UBICAZIONE INTERVENTO:

Via Cappella

FOGLIO:

19

MAPPALE:

776

SUBALTERNO:

--

COMMESSA:

**LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE E RIFUNZIONALIZZAZIONE DELL'IMMOBILE E PERTINENZE SITO IN VIA  
CAPPELLA IN GESTIONE AD ASSOCIAZIONE DI PROMOZIONE SOCIALE**

**M5C2 - MISSIONE 5: Inclusione e Coesione - INVESTIMENTO 2.1: Investimenti in progetti di rigenerazione urbana  
volti a ridurre situazioni di emarginazione e degrado sociale, nell'ambito del Piano di Ripresa e Resilienza (PNRR)  
FINANZIATO CON LE RISORSE DELL'UNIONE EUROPEA – NEXT GENERATION EU**

**CUP F57H21001250001**

LIVELLO DI PROGETTAZIONE:

PROGETTAZIONE PRELIMINARE-  
DEFINITIVA-ESECUTIVA  
(UNICO LIVELLO)

PROGETTISTA:

Dott. Geol. Claudio preci  
Iscritto all' Ordine degli Geologi della Regione Emilia Romagna n.984/A

COMMITTENTE:

COMUNE DI MARANELLO (MO)  
piazza Libertà,33 - 41053 - Maranello MO

COLLABORATORE ALLA PROGETTAZIONE:

REVISIONE:

n° 1

CODICE:

**S.6.01**

ELABORATO:

**RELAZIONE GEOLOGICA  
GEOTECNICA - SISMICA**

DISEGNATO:

SCALA:

----

DATA:

Dicembre 2022

REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI MODENA  
COMUNE DI MARANELLO

## RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

AGI Associazione Geotecnica Italiana "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" (1977); DM del 11/03/1988; Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483; DPR 554/1999; DPR 328/2001; OPCM n. 3274 del 20/03/2003; Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 1677 del 24/10/2005; Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 2193 del 21/12/2015; Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 1164 del 23/07/2018; Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 630 del 29/04/2019; Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 476 del 12/04/2021; Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 564 del 26/04/2021; DM 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni; Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle NTC".

### Progetto

RISTRUTTURAZIONE DI UN FABBRICATO AD USO RICOVERO ATTREZZI  
AGRICOLI

### Localita'

GORZANO - VIA CAPPELLA

### Committente

AMM. COM. MARANELLO

### Tecnico incaricato

DOTT. GEOL. CLAUDIO PRECI



### Data

NOVEMBRE 2022

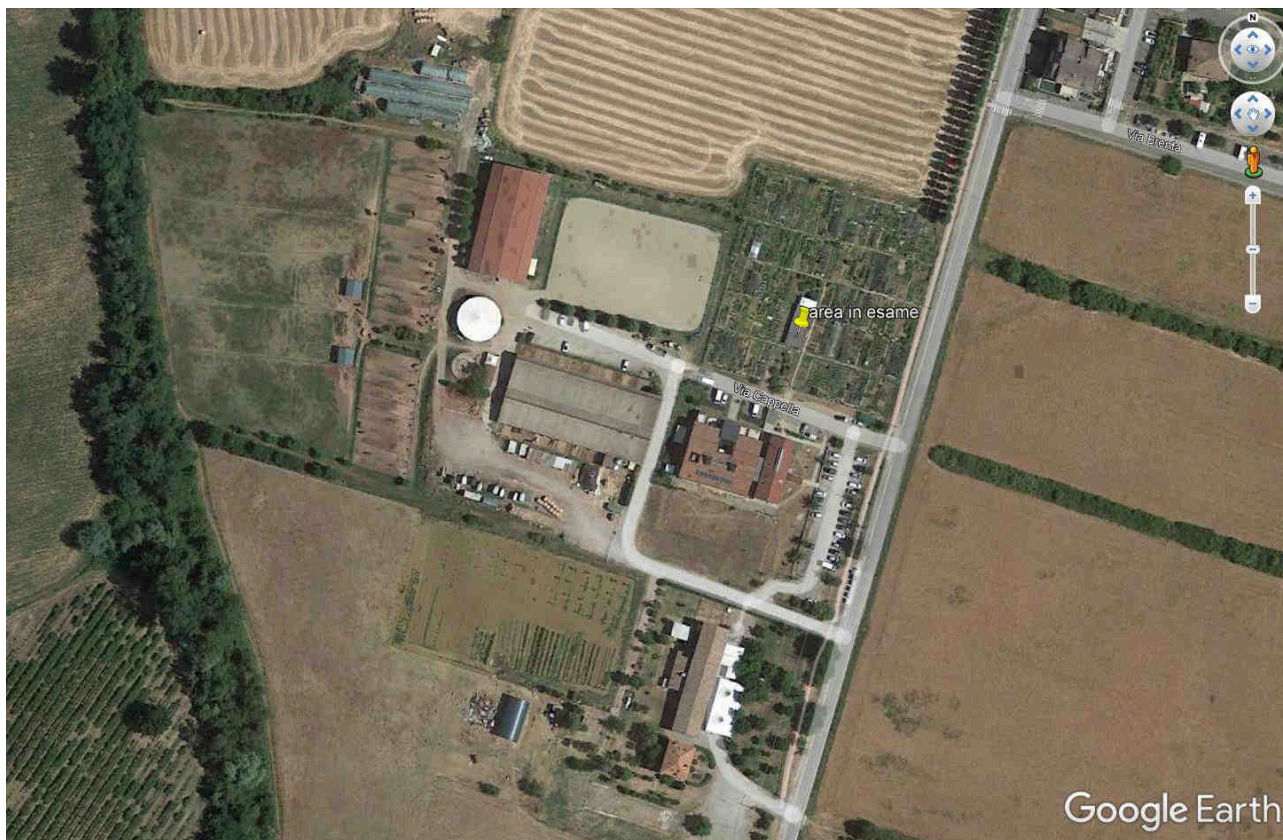
Studio Preci  
Geologia, Geotecnica, Geofisica, Idrogeologia, Ambiente  
Via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena  
tel 059.823020 - mob 3398264394  
e-mail: precigeo55@gmail.com

**INDICE**

<b>1. Premessa.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Modellazione geologica del sito.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Metodologia d'indagine delle prove in sito.....</b>	<b>14</b>
3.1 Indagini geognostiche - Prove penetrometriche statiche CPT.....	15
3.2 Indagine geofisica - Misura del microtremore sismico.....	16
<b>4. Modellazione geotecnica del volume significativo di terreno.....</b>	<b>20</b>
<b>5. Modellazione sismica e pericolosità sismica di base del sito.....</b>	<b>21</b>
5.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti.....	30
5.2 Misura del microtremore sismico.....	35
5.3 Azione Sismica.....	39
<b>6. Considerazioni conclusive.....</b>	<b>45</b>
<b>Allegato A - Elaborati delle indagini geognostiche.....</b>	<b>46</b>

## 1. Premessa

La presente relazione è stata eseguita per conto della committenza al fine di verificare le caratteristiche dei terreni di un'area in Comune di Maranello, per un intervento di ristrutturazione di un fabbricato ad uso ricovero attrezzi agricoli.

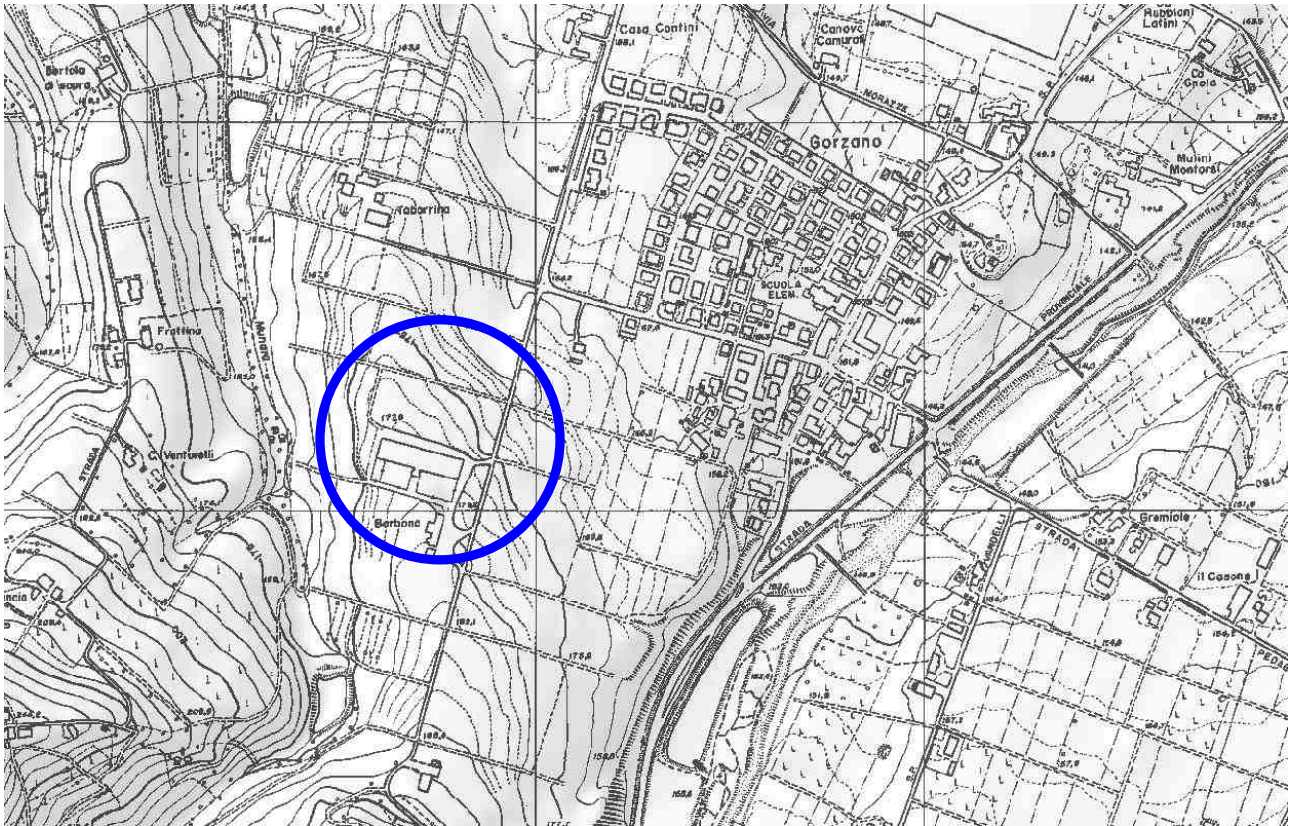


Secondo il DM 17/01/2018 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni, le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. Nella presente relazione vengono riportate la modellazione geologica e sismica dell'area in oggetto e la modellazione geotecnica sulle indagini geognostiche eseguite in sito, con particolare riferimento alla individuazione dei parametri geotecnici caratteristici del terreno studiato.

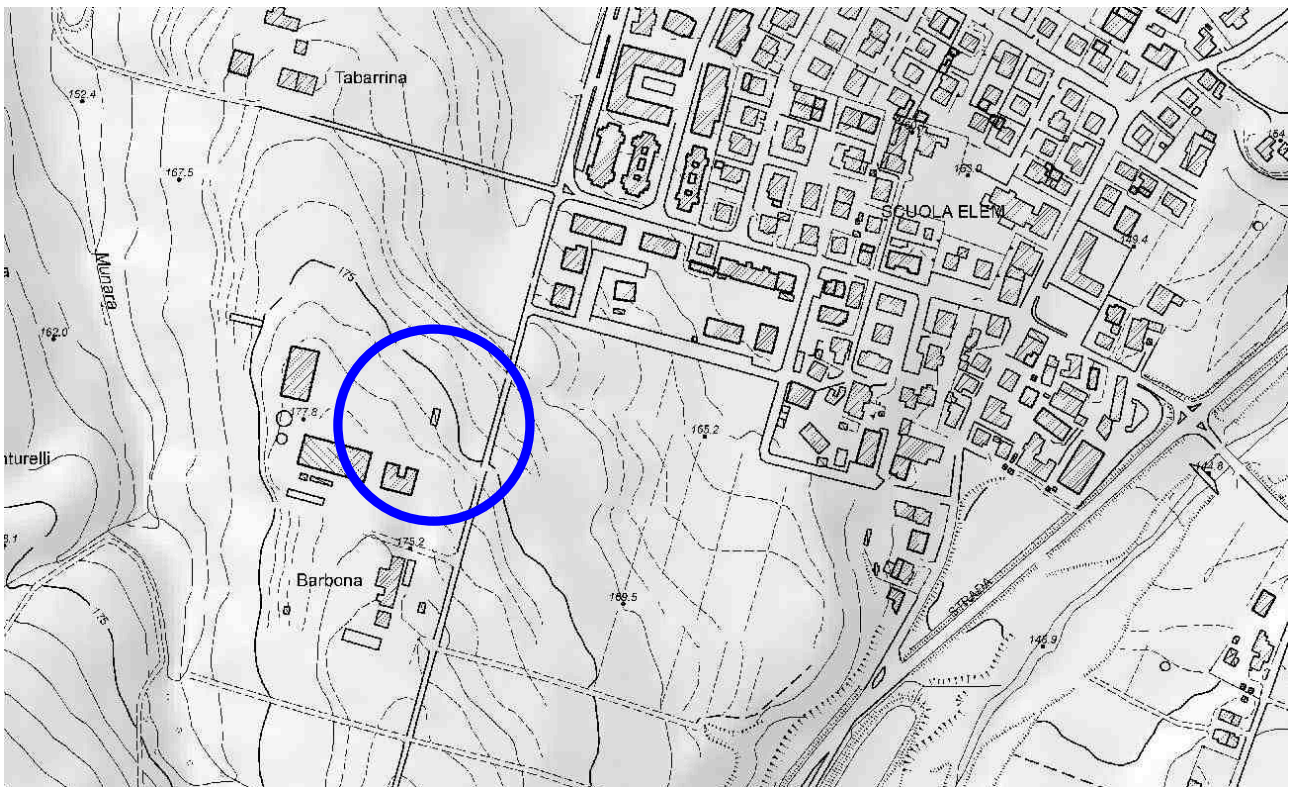
Le indagini geognostiche e la presente relazione sono conformi a quanto disposto nelle normative seguenti:

- AGI Associazione Geotecnica Italiana "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" (1977);
- DM del 11/03/1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni ecc.";
- Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483;
- DPR 554/1999;
- DPR 328/2001;
- OPCM n. 3274 del 20/03/2003;
- Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 1677 del 24/10/2005;
- Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 2193 del 21/12/2015;
- Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 1164 del 23/07/2018;
- Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 630 del 29/04/2019;
- Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 476 del 12/04/2021 e n. 564 del 26/04/2021;
- DM 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 - "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".





L'area oggetto d'indagine è ubicata al margine est dell'abitato di Castelnuovo Rangone, in via IV Novembre n. 10 a una quota media di 78.5 m s.l.m. Nell'archivio cartografico della Regione Emilia Romagna è rappresentata nella Carta Topografica a scala 1:25'000 nella Tavola 219 NE "Formigine" e nei CTR a scala 1:5'000 nell'elemento n. 219072 "Gorzano".

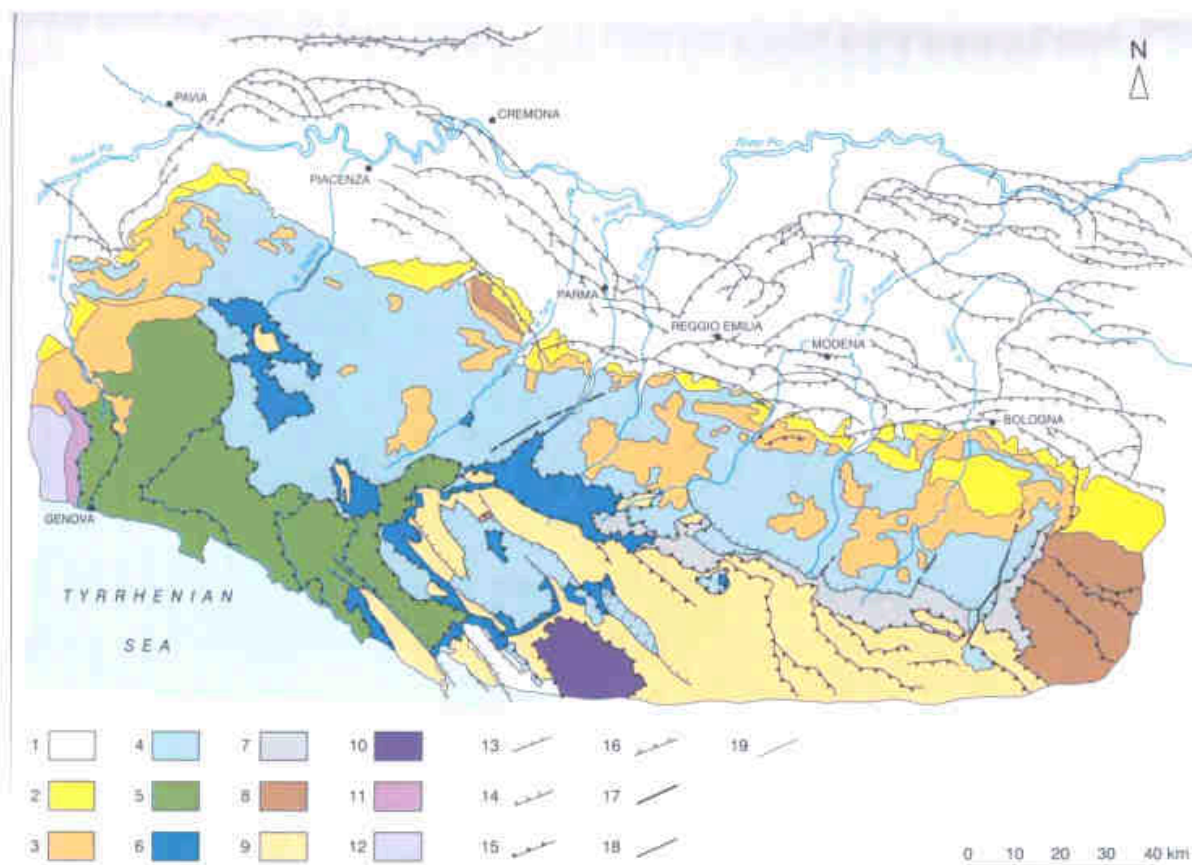




## 2. Modellazione geologica del sito

Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento.

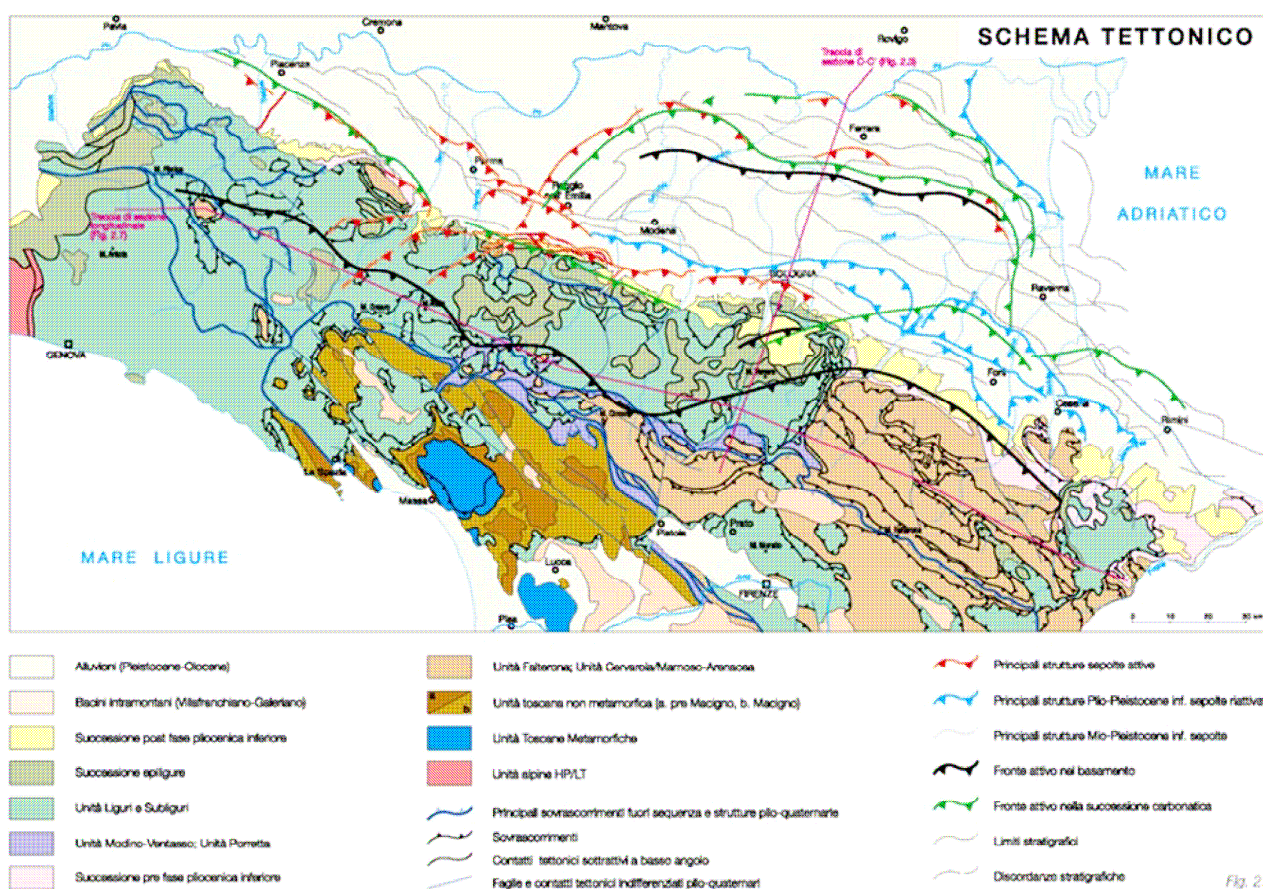
L'Appennino Settentrionale è una catena orogenica strutturalmente complessa, costituita da un arco a virgazione semplice con vergenza verso nord-est e delimitato a nord dalla linea Sestri-Voltaggio, un grande lineamento tettonico a forte componente trascorrente, che lo separa dalle Alpi Liguri aventi vergenza opposta. Il limite meridionale è costituito dalla linea Ancona-Anzio, sempre a componente trascorrente. Come le altre catene montuose formatesi nel corso dell'orogenesi alpina, esso è formato da strutture rocciose di estensione areale e spessori notevoli, definite come Falde o Unità tettoniche. Le diverse fasi dell'orogenesi hanno portato alla migrazione di queste unità dagli originari bacini di sedimentazione, con spostamenti nell'ordine anche delle centinaia di chilometri, e al loro impilamento come falde tettoniche separate da superfici di sovrascorrimento. Lo sviluppo dell'Appennino ebbe inizio nel cretaceo superiore con la cosiddetta fase eoalpina: l'avvicinamento della placca adriatica (zona dinarica) alla placca europea (zona iberica), portò prima alla tettonizzazione dell'Oceano Ligure-Piemontese e poi alla sua subduzione sotto al margine europeo, costituito dal blocco Sardo-corso.



**CARTA GEOLOGICA SCHEMATICA DELL' APPENNINO SETTENTRIONALE**

Legenda: 1 Depositi quaternari; 2 Depositi marini del Miocene sup.-Pleistocene; 3 Successione Epiligure; 4 Unità Liguri esterne; 5 Unità Liguri interne; 6 Unità Subliguri; 7 Unità tettonica Sestola-Vidiciatico; 8 Unità Umbro-Romagnole; 9 Unità Toscane; 10 Unità metamorfiche Toscane; 11 Zona Sestri-Voltaggio; 12 Gruppo di Voltri; 13 Faglie dirette; 14 Faglie dirette nel sottosuolo; 15 Faglie inverse e sovrascorrimenti; 16 Faglie inverse nel sottosuolo; 17 Faglie trascorrenti, di strappo o di trasferimento; 18 Faglie ad alto angolo a cinematica ignota (nel sottosuolo); 19 Limiti litologici.

Nell'eocene medio termina la fase oceanica dell'orogenesi appenninica con la completa chiusura dell'oceano; a partire dall'oligocene superiore comincia invece la fase intracontinentale, dovuta all'apertura del bacino del Mediterraneo Occidentale e alla conseguente rotazione in senso antiorario del blocco Sardo-Corso, che staccatosi dal margine della placca europea si portò nella sua posizione attuale nel miocene medio, provocando la completa chiusura dell'Oceano Ligure-piemontese. La rotazione del blocco che subduce la crosta oceanica portò a un fenomeno di migrazione dell'avanfossa verso est: fra le falde tettoniche che costituiscono i rilievi appenninici si trovano infatti le Unità Epiliguri sedimentatesi nelle diverse avanfosse, principalmente flysch torbiditici ed emipelagiti di chiusura. Lo spostamento del fronte compressivo verso est fu seguito dalla formazione di una zona di distensione crostale legata all'apertura del Bacino Tirrenico: si formarono, nelle aree più occidentali, una serie di depressioni tettoniche costituite da faglie principali normali immergenti verso ovest (si tratta probabilmente di faglie listriche che si raccordano in profondità a una faglia basale), che smembrarono la catena a falde del neo-appennino.



Nel caso dell'Appennino Settentrionale è difficile stabilire esattamente la portata, in termini di distanze e direzione, del trasporto tettonico subito dalle diverse Unità Tettoniche; è possibile invece risalire alle loro posizioni reciproche, ipotizzando la presenza di diversi domini paleogeografici a partire da quelli prossimi al margine europeo, detti interni, per arrivare ai più orientali, detti esterni. Si distinguono quindi due domini di sedimentazione su crosta oceanica, Liguridi interne e Liguridi esterne, e due domini su crosta continentale, Dominio Toscano e Dominio Umbro-romagnolo. Dominio Ligure Interno Costituito essenzialmente dalle ofioliti, resti dell'antico fondale oceanico, dalla loro copertura sedimentaria di età giurassico-cretacica (brecce ofiolitiche, diaspri, calcari a calpionelle, argille a palombini, Formazione d. Val Lavagna e Arenarie d. Gottero) e da flysch torbiditici provenienti dallo smantellamento dei rilievi del Massiccio Sardo-Corso. Dominio Ligure Esterno Più orientale del Ligure Interno ma ancora di ambiente di piana abissale, si differenzia dal precedente poiché i flysch torbiditici (Flysch ad



Elmintoidi), che vanno a ricoprire i complessi basali formati da ofioliti e loro copertura sedimentaria, derivano dalla risedimentazione dei fanghi calcareo-marnosi provenienti dal margine settentrionale della placca europea. I movimenti traslativi che portarono all'impilamento in falde di questi domini oceanici, avvennero sempre in ambiente subacqueo e mentre prosegue la loro tettonizzazione, su questi terreni si formarono dei bacini di sedimentazione minori, nei quali si depongono sequenze di detriti silicoclastici che vanno a costituire i termini della cosiddetta Successione Epiligure. Queste formazioni sono contemporanee ad altre analoghe sequenze silicoclastiche che si depositarono sulle successioni di ambiente continentale.

La Pianura Padana nel suo complesso costituisce un grande bacino sedimentario che, sin dal mesozoico, è stato caratterizzato da una notevole subsidenza con grande accumulo di sedimenti, raggiungendo i massimi apporti nel pliocene e nel quaternario, prima con sedimentazione marina e successivamente, dal pleistocene medio, con sedimentazione continentale. La messa in posto depositi più antichi è riconducibile all'idrodinamica fluviale determinata dall'alternarsi di fasi erosive e deposizionali, causate dalle variazioni climatiche che si sono succedute nel tempo ed in particolare del periodo interglaciale pre-Wurm (pleistocene superiore). Periodi umidi hanno portato alla deposizione dei sedimenti e alla messa in posto delle unità, periodi di minor piovosità hanno portato all'alterazione dei depositi con conseguente formazione dei suoli e all'erosione delle unità determinando la formazione di scarpate e incisioni fluviali. Questo tipo di pianura presenta una crescita di tipo verticale, dovuta prevalentemente a processi di tracimazione e rotta fluviale che hanno portato alla deposizione di strati suborizzontali a geometria lenticolare, probabilmente riferibili a singoli eventi alluvionali.

La granulometria superficiale e del sottosuolo appare quindi differenziata in base alla posizione rispetto al corso d'acqua o al paleoalveo di dominio: nella pianura sviluppatasi dall'olocene ad oggi, che si estende dal margine collinare al corso del fiume Po, gli attuali corsi d'acqua o i paleoalvei sono caratterizzati da depositi allungati in direzione nord-sud, costituiti da ghiaie nell'alta pianura, sabbie e limi nella bassa pianura e litotipi argillosi, anche torbe e argille organiche, nelle aree depresse.





## Legenda

### Risorse e prospezioni (50K)

- cava attiva
- cava inattiva
- cava riempita
- ◆ manifestazione di idrocarburi
- ⊗ pozzo per ricerca mineraria

### Punti geomorf./antrop. (50K)

- ◆ discarica, deposito di origine antropica

### Punti di osservaz. e misura (50K)

- stratificazione dritta
- + stratificazione orizzontale
- stratificazione rovesciata
- stratificazione verticale a polarità sconosciuta
- stratificazione verticale con polarità
- superficie di clivaggio o scistosità inclinata

### Tracciati geologici (50K)

- traccia di sezione geologica

### Linee geomorf./antrop. (50K)

### Limiti strutturali (50K)

- sovrascorrimento profondo post-tortoniano dedotto
- traccia di superficie assiale di anticlinale con asse orizzontale certa
- traccia di superficie assiale di anticlinale con asse orizzontale sepolta
- traccia di superficie assiale di sinclinale con asse orizzontale certa
- traccia di superficie assiale di sinclinale con asse orizzontale sepolta

### Limiti di unità geologiche (50K)

- contatto con area non rilevabile
- contatto stratigrafico inconforme certo
- contatto stratigrafico o litologico certo
- contatto tettonico certo
- faglia certa
- faglia incerta
- faglia inversa certa
- faglia sepolta
- sovrascorrimento principale sepolto

### Aree geomorf./antrop. (50K)

- ⊗ discarica, deposito di origine antropica

### limo di piana alluvionale

- limo sabbioso di piana alluvionale

- sabbia limosa di piana alluvionale

- sabbia limoso-argillosa di piana alluvionale

### Unità geologiche (50K)

- AESI - Sintema emiliano-romagnolo inferiore

- AES5 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Torre Stagni

- AES6 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Bazzano

- AES7a - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Villa Verucchio - unità di Niviano

- AES7b - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Villa Verucchio - unità di Vignola

- AES8 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna

- AES8a - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna - unità di Modena

### APA - Argille a palombini

- AVI - Argille di Viano

- AVIC - Argille di Viano - litofacies calcareo-mamosa

- AVV - Argille varicolori di Cassio

- BAI1 - Breccie argillose di Baiso - Membro della Val Fossa

- BAI2 - Breccie argillose di Baiso - Membro di Pian di Setta

- BAI6 - Breccie argillose di Baiso - Membro di Pra' Cavallazzo

- CTG - Formazione di Contignaco

- FAA - Formazione delle Argille Azzurre

- FAA7 - Formazione delle Argille Azzurre - Membro di Monte Amone

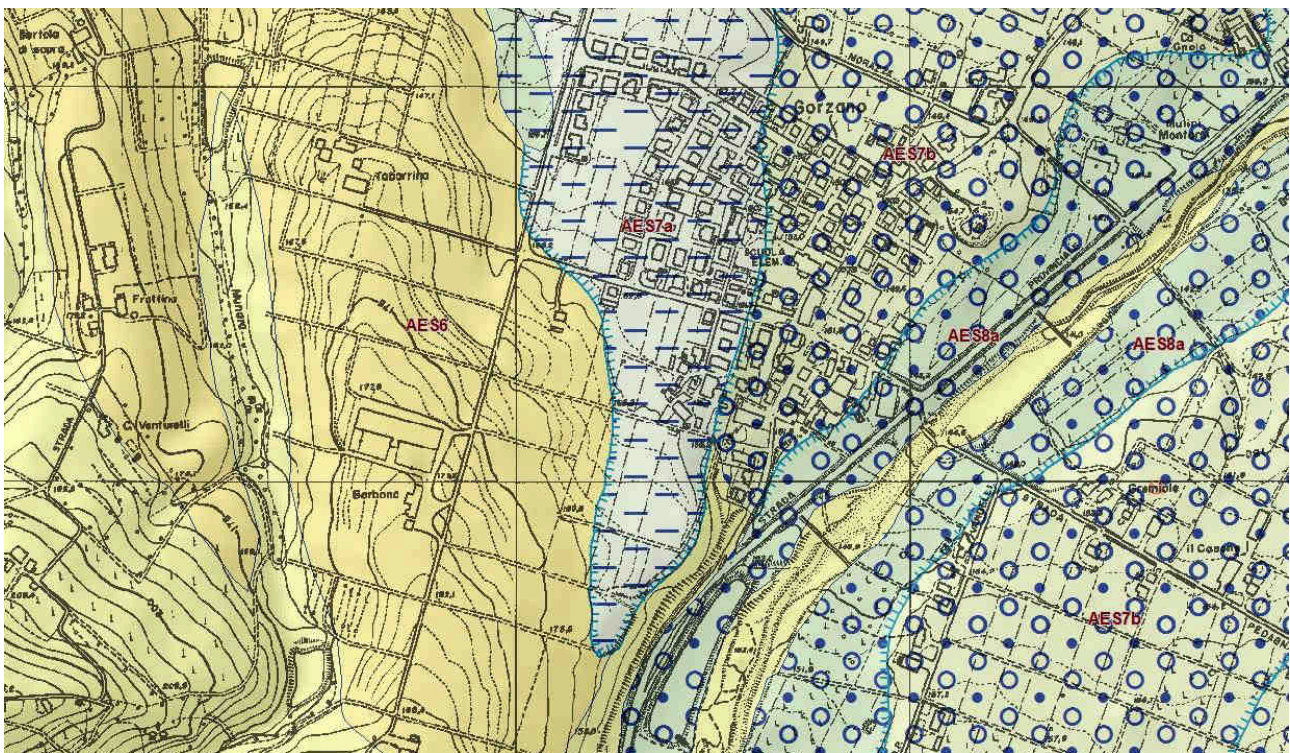
- FAAb - Formazione delle Argille Azzurre - litofacies arenaceo-conglomeratica

- FCO - Formazione a colombacci

- GES - Formazione Gessoso-Solfifera

- IMO1 - Sabbie di Imola - Membro di

La fascia di passaggio tra il margine appenninico e l'alta pianura insiste su depositi alluvionali costituiti da terreni limo argiloso-sabbiosi consistenti con intercalazioni di ghiaie e sabbie ghiaiose addensate, che poggiano su una sedimentazione marino-continentale precedente. L'area in esame appartiene alla fascia adiacente al margine collinare che costituisce il fronte dell'Appennino Emiliano. Nel tratto compreso tra i fiumi Secchia e Panaro la successione delle unità litostratigrafiche affioranti è riferibile ad un periodo compreso tra il miocene inferiore e l'olocene attuale e suddivisibile in vari cicli sedimentari, che testimoniano gli eventi principali che hanno caratterizzato l'evoluzione geologica del margine appenninico.





dott. Claudio Preci geologo


Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali


Studio: v. W. Tabacchi n° 125 - 41123 Modena tel. 059/823020 mob. 339/8264394 e-mail precigeo55@gmail.com




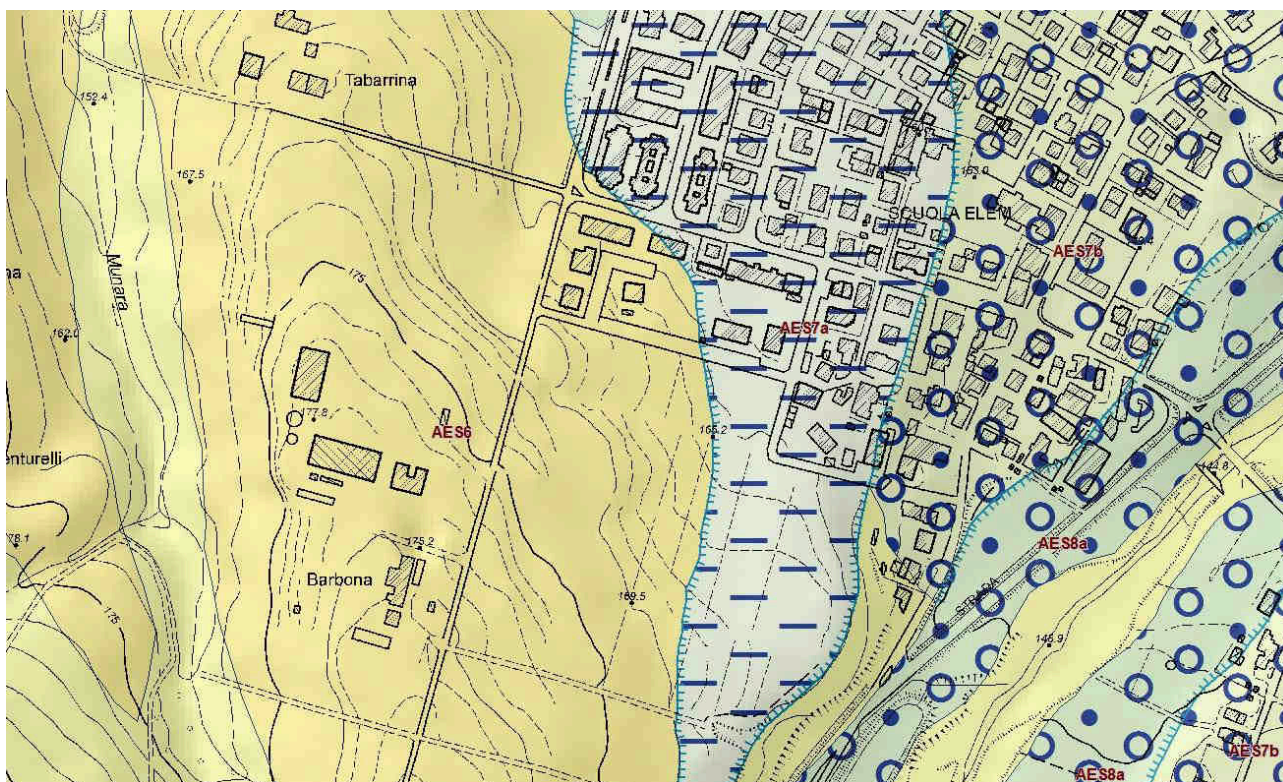
 **AES6 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Bazzano**

 **AES7a - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Villa Verucchio - unità di Niviano**

 **AES7b - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Villa Verucchio - unità di Vignola**

 **AES8 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Ravenna**

 **AES8a - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Ravenna - unità di Modena**



Formazione delle Argille Azzurre - FAA (pliocene-pleistocene inf): argille e argilliti grigio azzurre compatte di ambiente marino di piana abissale, che costituiscono un corpo sedimentario spesso mediamente 500/800 m con contatto discordante trasgressivo sulle unità sottostanti. Sono diffuse, in affioramento o in profondità, in tutto l'Appennino Settentrionale: nell'area trattata sono spesso indicate col nome di "Argille di Marano".

Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore - AES (pleistocene medio): unità costituita da depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, di conoide alluvionale ghiaiosa e di interconoide. Il tetto è rappresentato dalla superficie topografica, mentre il contatto di base è erosivo e discordante su unità più antiche. Lo spessore complessivo varia da 0 a 120 m circa.

Subsistema di Villa Verrucchio - AES7: depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati, con ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, localmente con copertura discontinua di limi argillosi. Il profilo della copertura di alterazione presenta uno spessore fino a 4/5 m. Si divide in Unità di Niviano (AES7a) e Unità di Vignola (AES7b).

Unità di Niviano - AES7a (pleistocene medio-sup): comune in tutto il fronte del margine appenninico comprende vari corpi sedimentari, prima di ambiente marino (sabbie con grado di cementazione variabile e bancate di arenarie fossilifere) e poi di ambiente di transizione marino-continentale (depositi di conglomerati marini e di litotipi limo-argillosi di conoide

fluviale). Ricca di numerosi fossili di vertebrati e mammiferi, testimonia la regressione marina in atto in questa epoca e la graduale emersione della catena appenninica con sviluppo delle prime conoidi alluvionali.

Unità di Vignola - AES7b (quaternario): depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati, con ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, localmente con copertura discontinua di limi argillosi. Il profilo della copertura di alterazione presenta uno spessore fino a 2 m. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 30 m.

Subsistema di Ravenna - AES8 (quaternario): depositi continentali ghiaioso-sabbiosi o limosi nei terrazzi fluviali, copertura limosa e argillosa alla base dei versanti. Al tetto suoli e paleosuoli alterati. Il contatto di base è discordante sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 m.

Unità di Modena - AES8a (olocene recente): depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri.

In particolare l'area in esame è ubicata nella sua totale estensione su un substrato riconducibile ai più antichi depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, costituiti da terreni prevalentemente limo-argillosi da consistenti a molto consistenti, con rare intercalazioni di limi argilloso-sabbiosi mediamente addensati, che ricoprono orizzonti ghiaiosi a partire da -8.50/-9 m circa.

L'area in esame e la zona circostante presentano una morfologia omogenea e sub-pianeggiante, con una pendenza media compresa tra lo 0.5% e l'1%; inoltre il sito appare antropizzato per la presenza di aree agricole, zone abitate e circostanti insediamenti produttivi. Nell'idrografia dell'area, la principale via di deflusso per le acque superficiali è rappresentata dal torrente Tiepido.

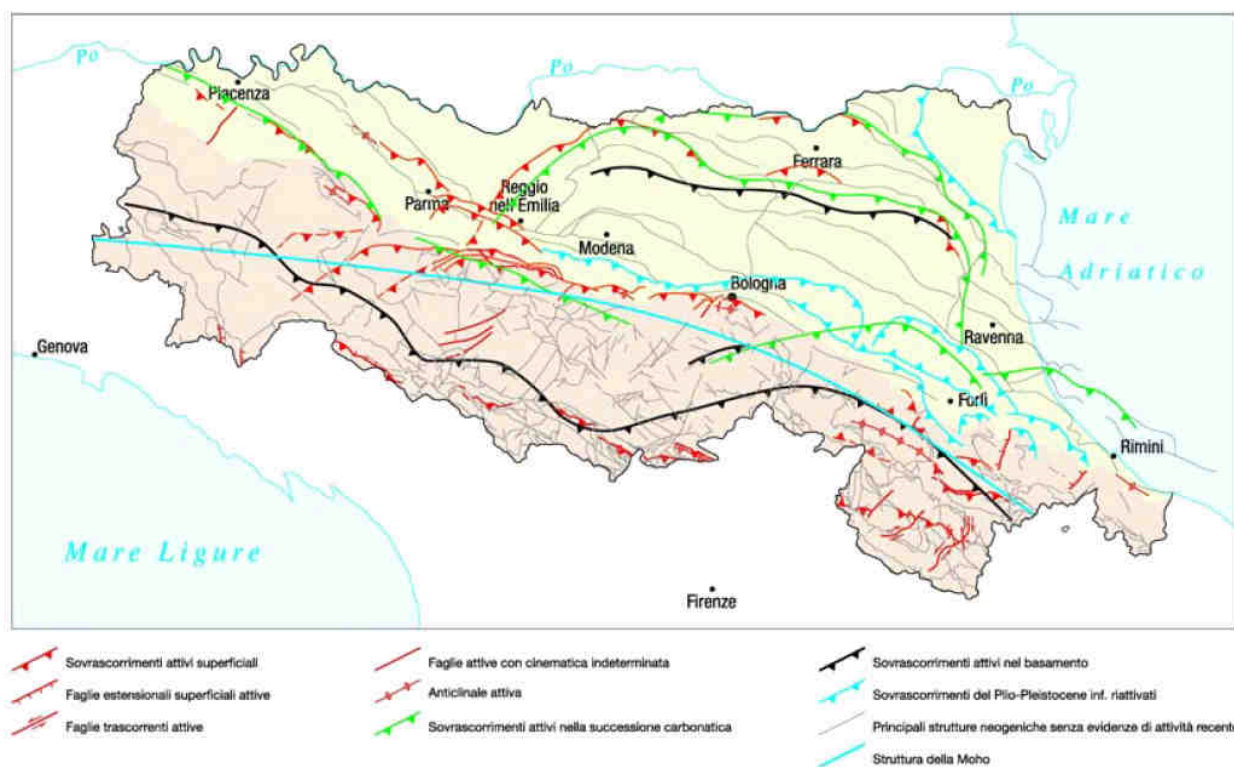
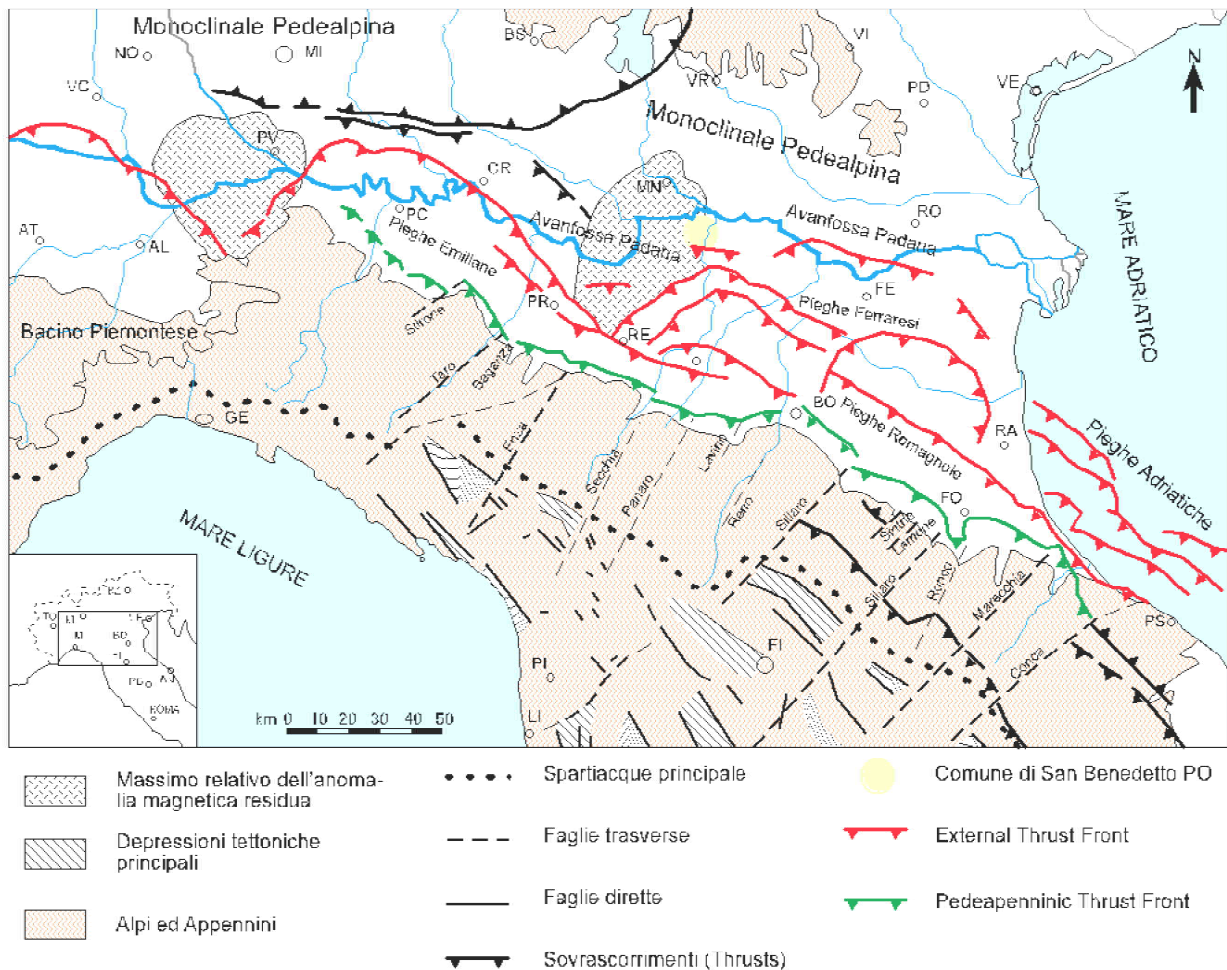


Figura 1 - Attività neotettonica in Emilia-Romagna (da: "Note illustrative - Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004)



Dal punto di vista strutturale, il substrato profondo di questa parte della pianura alluvionale è caratterizzata da strutture tettoniche con asse parallelo alla catena appenninica, che ne rappresentano la continuazione sepolta. In generale il substrato marino di età pliocenica e plio-pleistocenica, è interessato da un complicato reticolato di faglie e tutta quest'area costituisce uno degli alti strutturali più elevati della zona assiale della Pianura Padana. La coltre alluvionale di copertura risente anch'essa della situazione profonda, sia per il suo spessore notevolmente variabile, sia per gli effetti di movimenti neotettonici.

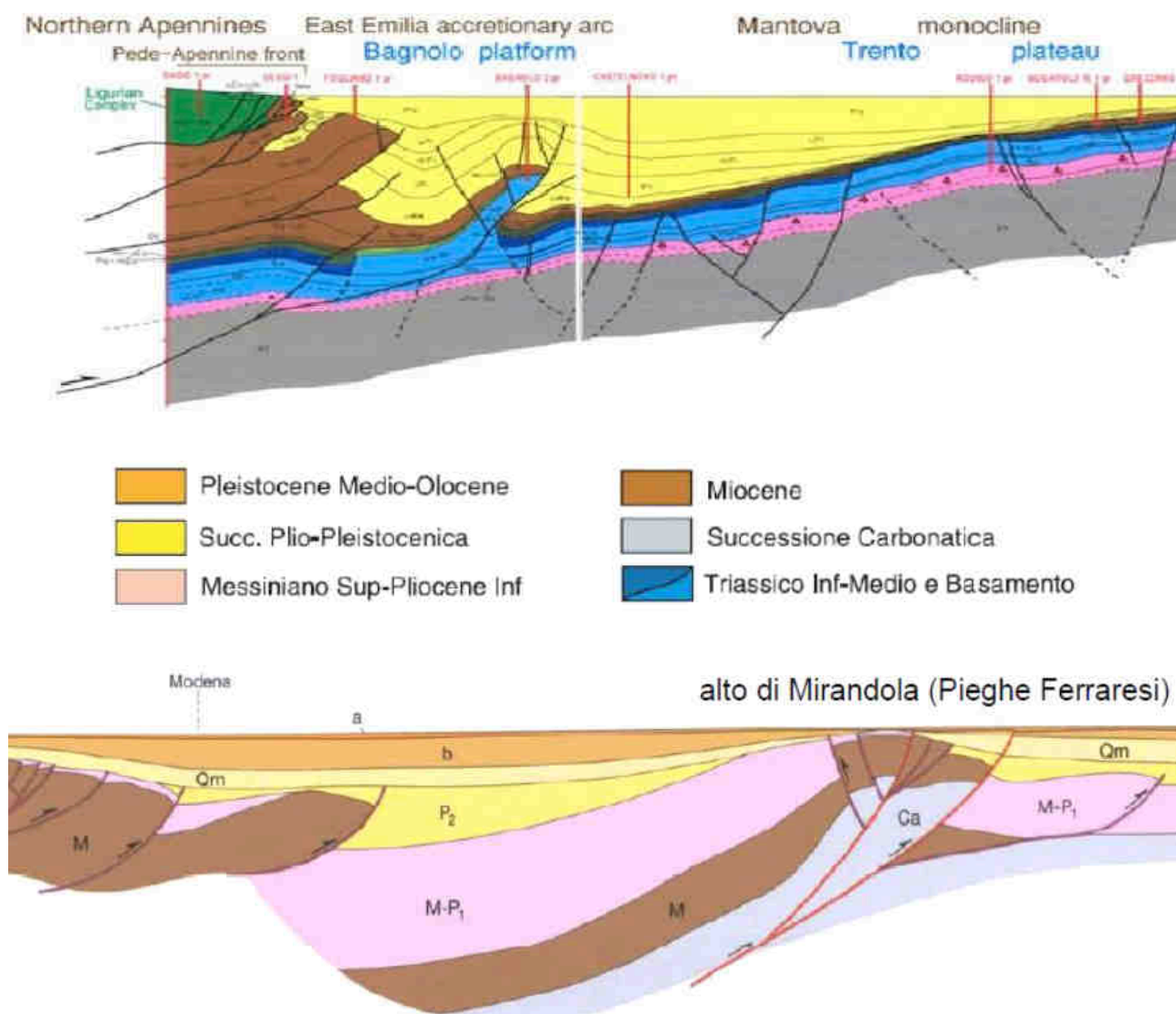
Sotto il profilo tettonico le recenti ricerche avviate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna" (2004), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici.



La fascia di alta pianura si inserisce in un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano. Tale raccorciamento si è prodotto attraverso due importanti fasci paralleli di strutture di embricazione sepolte aventi direzione NW-SE e vergenza verso NE, le cui superfici di distacco interessano la copertura mesozoica e terziaria. Il fascio più settentrionale, denominato Fronte di accavallamento esterno (External Thrust Front = ETF), appartiene all'arco delle "Pieghe Emiliane e Ferraresi" che costituiscono il fronte della catena appenninica, sepolto dai sedimenti quaternari padani, che circa all'altezza del Po sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta. Il fascio meridionale, coincidente con il margine morfologico appenninico, si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani ed è denominato Fronte di accavallamento pedeappenninico (Pedeapenninic Thrust Front = PTF), evidenziato da morfostrutture tipiche delle strutture attive e dallo sviluppo di una piccola

anticlinale di thrust. Anche questo fronte risulta coinvolto da discontinuità trasversali (linee) coincidenti con alcuni corsi d'acqua appenninici, che delimitano settori a diverso comportamento tettonico-sedimentario.

L'attività recente ed attuale di tale struttura si manifesta nella morfologia, determinando il tilting di paleosuperfici (sia verso la pianura che verso i rilievi) e modificazioni sull'andamento idrografico locale. Infatti durante il sollevamento tettonico, mentre i corsi d'acqua principali mantengono il loro andamento originario, mostrando quindi relazioni di antecedenza rispetto all'anticlinale, i corsi d'acqua minori sono notevolmente influenzati dalla crescita dell'anticlinale. Di conseguenza tali corsi d'acqua subiscono talvolta deflessioni, mentre in altri casi si osserva una inversione di drenaggio locale, con piccoli torrenti costretti a scorrere verso sud prima di essere catturati dal corso d'acqua principale. Il sottosuolo della pianura reggiana e modenese, appartiene in generale alla Regione delle Pieghe Padane, che formano l'Arco delle Pieghe Ferraresi e più a sud la fascia della Pieghe Romagnole ed Emiliane, che assumono una larghezza variabile, da più di 50 Km nell'Emilia orientale a 25 Km in quella occidentale nell'area parmense. Queste pieghe costituiscono un elemento strutturale sensibilmente complesso, caratterizzato da un'intensa tettonizzazione che nella parte più settentrionale (Dorsale Ferrarese) ha determinato un notevole innalzamento del substrato carbonatico mesozoico, che presso Novi di Modena e Camurana, si rinviene già a -215/-310 m (pozzo Novi 4bis, 1952 - pozzo Cavone di Carpi 2, 1978) e nelle zone più ad oriente nel ferrarese (Casaglia e Pontelagoscuro) si attesta a -120/-150 m.



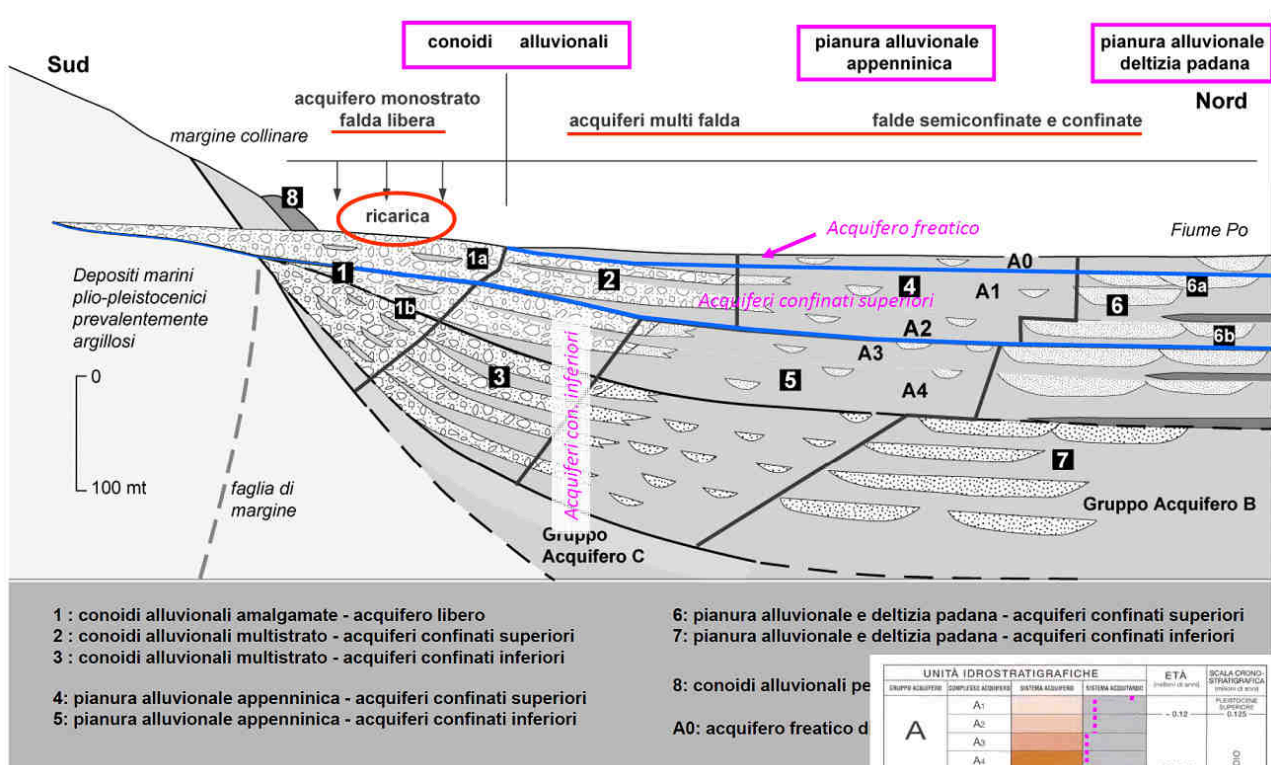
Nell'ambito del sistema plicativo, l'arco delle Pieghe Ferraresi costituisce la parte più esterna della strutturazione del fronte appenninico, presenta vergenza settentrionale ed è suddivisa in due dorsali:

- una più interna, Struttura Bagnolo -Novellara-Campagnola E.-Rolo-Novi-Mirandola-Cento;
- una più esterna, esterna, Struttura Quarantoli-Bondeno-Ferrara.

L'assetto delle strutture profonde visualizzato nella Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna (M. Boccaletti - L. Martelli; 2004), indica attività della linea di sovrascorrimento al bordo occidentale della Dorsale Ferrarese, orientata sud-ovest/nord-est con allineamento Cadelbosco di Sopra-Cadelbosco di Sotto-Novellara-Fabbrico, e dei fronti di accavallamento del basamento sedimentario individuati nel sottosuolo della zona in esame a tra -9 km e -12 km, secondo l'allineamento Villa Sesso-Novellara-Fabbrico-Rolo-Concordia sS.

L'interazione tra le Pieghe Emiliane e la parte più esterna della Struttura di Bagnolo (rampa laterale delle Pieghe Ferraresi interne) ha manifestato influenze che hanno determinato sollevamenti negli ultimi  $0,45 \div 0,22$  Ma e con tutta probabilità anche in epoca storica, come suggeriscono la diversione verso occidente del Torrente Enza e del Fiume Secchia.

I sollevamenti delle strutture trovano riscontro nei minori tassi di abbassamento per subsidenza nel territorio considerato, generalmente  $<1$  cm anno rispetto alle zone circostanti.



In base alle caratteristiche geometriche gli acquiferi nel sottosuolo si distinguono in:

- acquifero monostrato, che si sviluppa a ridosso della catena appenninica dove è presente un unico sistema acquifero costituito da ghiaie che dalla superficie continuano nel sottosuolo senza soluzione di continuità. Tale zona corrisponde anche all'area di ricarica degli acquiferi;
- acquifero multistrato, che si sviluppa più a nord del precedente dove i corpi di ghiaie e sabbie si separano gli uni dagli altri per la presenza di intercalazioni di terreni più fini limo-argillosi, costituendo diversi acquiferi verticalmente sovrapposti.

Un acquifero monostrato può essere un acquifero freatico o libero, cioè con una falda libera di oscillare all'interno del deposito permeabile in cui è contenuta, o un acquifero in pressione o confinato, quando la falda presente all'interno dei depositi permeabili è confinata superiormente dalla presenza di depositi impermeabili o poco permeabili, detti acquitardi.



Nelle zone di apice di conoide le alluvioni sono costituite generalmente da unico strato indifferenziato di materiali grossolani ghiaiosi, che procedendo verso nord aumenta progressivamente di spessore suddividendosi in più livelli separati tra loro da corpi sedimentari limo-argillose. In "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna" (RER), si definisce Unità Idrostratigrafico-Sequenziale (UIS) una particolare sottoclasse di Unità Idrostratigrafiche i cui componenti sono costituiti da una o più Sequenze Deposizionali (cf. Bottino et Al., 1994) e sono comprensivi di un livello geologico basale, scarsamente permeabile (acquitardo) o impermeabile (acquicludo), arealmente continuo in senso geologico.

Una UIS è un corpo geologico complesso, formato da gruppi di strati con geometrie e caratteri petrofisici variabili ma depositi in ambienti sedimentari contigui ed in continuità di sedimentazione: le superfici di strato possono toccare ma non intersecare i limiti di una UIS.

Dal momento che, se si escludono le aree di ricarica diretta, negli acquiferi regionali i flussi idrici avvengono con componente parallela alle superfici di strato molto maggiore di quella ortogonale, si può concludere che tali flussi sono necessariamente confinati all'interno della medesima UIS. Inoltre ogni UIS può essere considerata idraulicamente isolata da quelle adiacenti, sicché il livello piezometrico misurato in un acquifero appartenente ad una determinata UIS è di norma indipendente dai livelli piezometrici misurati, sulla stessa verticale, in acquiferi contenuti in altre UIS. Pertanto l'idrodinamica sotterranea risulta guidata e condizionata dai rapporti geometrici intercorrenti tra le diverse sequenze deposizionali, a causa della deposizione di barriere di permeabilità regionali alla base di ciascuna di esse.

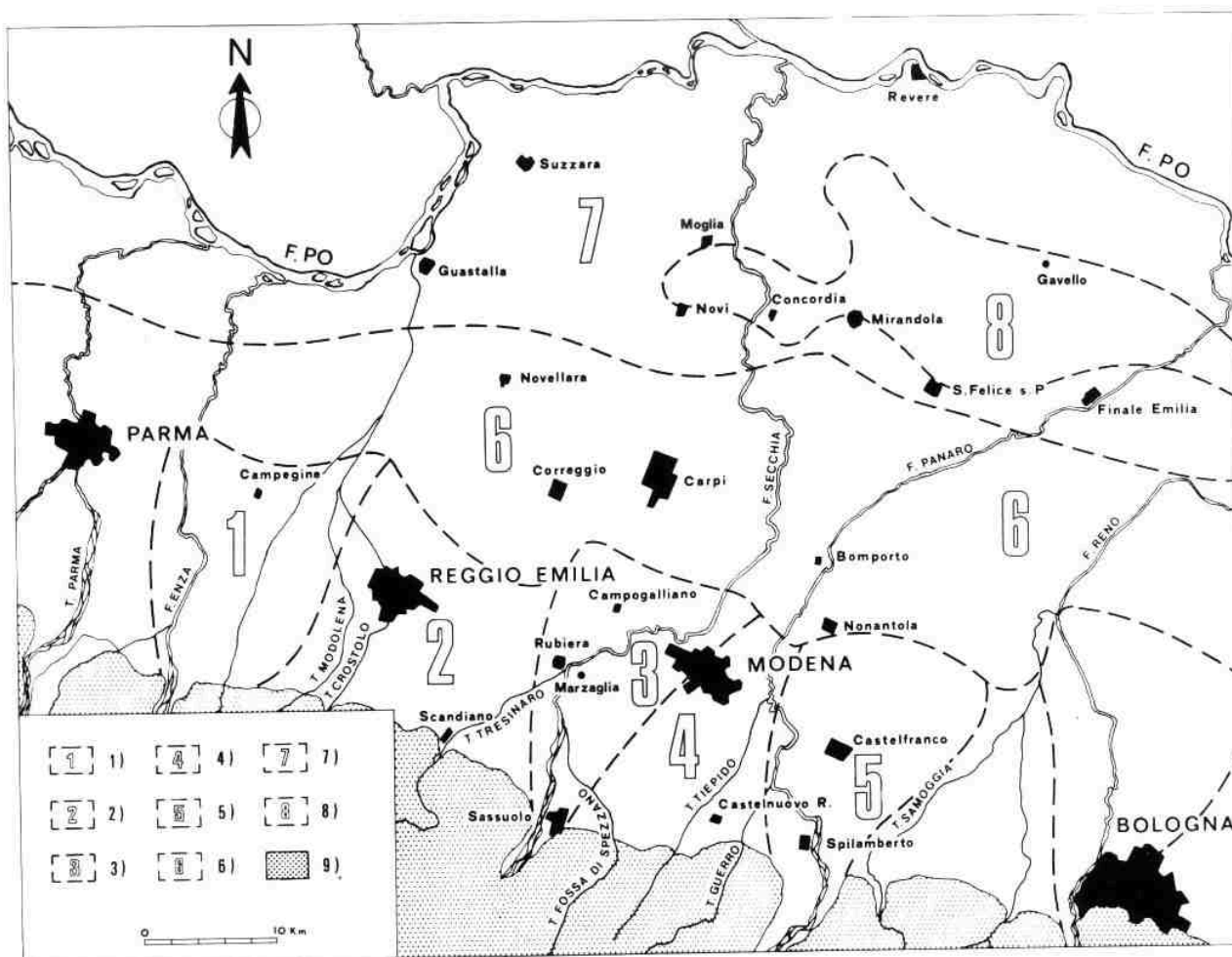


Fig. 1 - Carta indice dell'area studiata. Legenda: 1) conoide del F. Enza; 2) conoidi dei torrenti minori tra il F. Enza e il F. Secchia; 3) conoide del F. Secchia; 4) conoidi dei torrenti minori tra il F. Secchia e il F. Panaro; 5) conoide del F. Panaro; 6) settore di media pianura; 7) settore di bassa pianura con falde acquifere alimentate dal F. Po; 8) idem, con acque ad elevato contenuto alogenico, connesse con la struttura sepolta della «Dorsale ferrarese»; 9) margine collinare: affioramenti di formazioni marine prevalentemente argillose di età pleistocenica e pre-pleistocenica.

Le Unità Idrostratigrafiche che si distinguono nella pianura emiliana, derivano dalle suddivisioni effettuate tra le unità stratigrafiche esistenti. La differenziazione gerarchica si basa sul volume complessivo di acquiferi utili e su spessore, continuità ed estensione areale del livello acquifero o impermeabile di ciascuna Unità. Viene definito Acquifero Basale l'insieme delle Unità complessivamente impermeabili, che, estendendosi nel sottosuolo della pianura ed affiorando sul Margine Appenninico Padano, costituiscono il limite della circolazione idrica-sotterranea. Tra le varie unità litostratigrafiche che lo compongono, le principali sono la Formazione plio-pleistocenica delle Argille Azzurre e le peliti dei Pliocene intrappenninico.

In particolare l'area in esame è compresa nell'Unità dei Corsi d'acqua minori, di composizione prevalentemente limo-sabbiosa con livelli di ghiaie discontinui, che è interposta tra quelle del Secchia e del Panaro e mostra uno sviluppo areale più contenuto. L'acquifero principale è costituito dai livelli ghiaiosi dei corpi alluvionali e dalle acque in essi contenute; acquiferi di minore importanza, per quantità e qualità delle acque, sono nei livelli sabbiosi delle conoidi minori e della piana alluvionale.

### **3. Metodologia d'indagine delle prove in sito**

L'indagine geognostica di campagna per la caratterizzazione dei terreni è stata eseguita in data 31/10/2022 all'interno dell'area interessata dall'intervento in progetto, mediante n. 1 prova penetrometrica statica CPT che ha raggiunto la profondità massima di -9 m rispetto all'attuale piano campagna dell'area verde esistente, per la presenza di orizzonti di ghiaie addensate.

Al momento dell'esecuzione dell'indagine, non è stata rilevata la presenza di acqua e/o di una falda libera superficiale nel foro di prova. Si possono comunque verificare escursioni del livello piezometrico in senso positivo o negativo, legate alla normale variabilità stagionale o a eventi meteorici eccezionali.

Inoltre è stata svolta nel sito un'indagine geofisica, basata sulla registrazione a stazione singola del microtremore sismico HVSR con strumentazione TROMINO, per misurare la frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, valutare i possibili effetti sismici di sito e definire l'andamento delle Vs, come richiesto dalle normative vigenti.



### 3.1 Indagini geognostiche - Prove penetrometriche statiche CPT

Per l'esecuzione dell'indagine di campagna si è utilizzato un penetrometro statico PAGANI TG63, attrezzato con punta meccanica Begemann (punta conica standard  $\varnothing$  3.57 cm e angolo d'apertura  $60^\circ$ , con manicotto mobile di  $150 \text{ cm}^2$ , infissa nel terreno ad una velocità costante di  $2 \text{ cm/sec}$ ).

I dati acquisiti attraverso una cella estensimetrica di carico hanno permesso di determinare:

- $R_p$  resistenza alla punta in  $\text{Kg/cm}^2$
- $R_{lt}$  resistenza laterale totale (punta+manicotto) in  $\text{Kg/cm}^2$
- $R_l$  resistenza laterale locale (al manicotto) in  $\text{Kg/cm}^2$

Successivamente il processo di discretizzazione dei parametri di campagna, ha permesso la determinazione di:

- classificazione litologica (Begemann - Schmestron)
- peso specifico medio del terreno naturale
- peso specifico efficace
- pressione litostatica efficace al centro dello strato
- coesione non drenata
- angolo d'attrito
- densità relativa
- coefficiente di compressibilità di volume
- modulo di reazione orizzontale
- permeabilità
- liquefazione

I grafici delle curve di  $R_p$  e  $R_l$  sono riportati nell'allegato A.

Di seguito si descrivono alcune delle modalità seguite per la determinazione delle grandezze fisiche considerate.

- Peso specifico naturale ed efficace ( $\gamma_t$ ,  $\gamma'_t$ )

Questo parametro è determinato in base al valore medio di  $R_p$  applicando relazioni ottenute sperimentalmente sui litotipi della pianura Padana. Definito  $\gamma_t$  il peso specifico naturale per il terreno sotto falda e  $\gamma_w$  il peso specifico dell'acqua, si applica la relazione  $\gamma'_t = \gamma_t - \gamma_w$ , che considera la spinta di Archimede dovuta all'elemento liquido.

- Pressione litostatica efficace ( $\sigma'_v$ )

Il calcolo della pressione litostatica efficace è effettuato applicando la relazione:

$\sigma'_v = \sum \gamma_{ti} \cdot h_{im} + \sum \gamma_{ti} \cdot h_{im}$  riferita alla pressione relativa al punto medio dello strato considerato ( $h_m$ ). E' considerata la falda freatica se presente. Infatti si ha ( $\sigma'_v = \sigma - u$ ) dove " $\sigma$ " è il carico totale ( $= \gamma \cdot z$  in condizioni idrostatiche) e " $u$ " è la pressione interstiziale ( $= \gamma_w \cdot z_w$  in condizioni idrostatiche).

- Coesione non drenata ( $C_u$ )

Si utilizza la relazione di De Beer che consente il calcolo della  $C_u$  in base al valore di  $R_p$  per i livelli coesivi saturi (coesione non drenata apparente, cioè la resistenza al taglio dei terreni a comportamento coerente in situ).

- Angolo d'attrito ( $\theta^\circ$ )

La determinazione dell'angolo d'attrito per i terreni incoerenti segue la metodologia di Durgunoglu e Mitchell, applicando l'equazione  $\theta^\circ = f(R_p ; \sigma'_v)$ . Per i terreni coerenti in condizioni non drenate si utilizza la relazione (Durgunoglu):  $\theta^\circ = 14.4 + 4.8 \ln(qc) - 4.5 \ln(\sigma'_v)$ .

- Densità relativa ( $D_r$ )

Per questo parametro si utilizza il diagramma proposto da Jamiolkowski mod.

- Coefficiente di compressibilità di volume ( $M_v$ )

Si utilizzano le correlazioni di Buisman e Sanglerat che collegano il parametro al valore di  $R_p$ .

- Modulo di reazione orizzontale ( $K_o$ )

E' ricavato utilizzando la relazione:  $K_o = Ch \cdot R_p / C_k$  dove  $Ch$  varia fra 0.1 a 0.3 e  $C_k$  dipende dal tipo di terreno e varia da 1 a 4.

#### ▪ Calcolo della permeabilità ( $K_p$ )

Questo parametro è determinato in base ai parametri di  $q_c$  e di  $Fr$ , applicando relazioni ottenute sperimentalmente sui litotipi della pianura Padana. Campo di validità da  $10^{-2}$  cm/s per le sabbie e  $10^{-8}$  cm/s per le argille.

#### ▪ Liquefazione

Per la verifica alla suscettibilità alla liquefazione si utilizza il metodo di Seed e Idriss (1982), che confronta le caratteristiche meccaniche dei terreni ottenute in base ai risultati delle prove in sito e l'eventuale potenzialità nel medesimo sito del fenomeno della liquefazione, a seguito di una sollecitazione sismica stimata attraverso la massima accelerazione attesa in superficie. Per la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR il metodo prevede l'utilizzo di un abaco, in cui in ordinata è riportato il rapporto tensionale ciclico CSR (carico sismico) e in ascissa la resistenza del terreno stimata mediante le prove in sito. Per i terreni coerenti non viene effettuata nessuna verifica per la suscettibilità alla liquefazione. Per i terreni incoerenti vengono calcolati il coefficiente  $C_2$  (rapporto di sforzo ciclico del terreno) ed il coefficiente  $C_1$  (relativo alla curva di magnitudo in caso di evento sismico). Per  $C_1 > C_2$  non si ha la liquefazione, viceversa il livello di terreno esaminato è suscettibile alla liquefazione.

### 3.2 Indagine geofisica - Misura del microtremore sismico

Un evento tellurico (terremoto) in una regione genera delle oscillazioni cicliche, indotte dalla propagazione di onde sismiche attraverso il terreno. Tali onde sismiche, propagandosi nello strato più superficiale della crosta terrestre, subiscono riflessioni e rifrazioni causate dalle eterogeneità della crosta stessa.

In certe condizioni tali fenomeni generano effetti di sito capaci di modificare le caratteristiche del terreno interessato dall'evento sismico. Queste alterazioni possono limitarsi a semplici variazioni della capacità portante e della deformabilità, oppure dare luogo a incrementi di spinta sulle opere di sostegno. Tali oscillazioni possono inoltre causare veri e propri fenomeni di instabilità particolarmente pericolosi nei terreni potenzialmente liquefacibili o posti in pendio.

Il moto vibratorio del terreno causato da un terremoto induce degli effetti diversi, a seconda che i terreni interessati abbiano un comportamento stabile o instabile sotto le sollecitazioni cicliche generate dal passaggio di onde sismiche.

Un terreno ha comportamento stabile quando l'ampiezza delle tensioni tangenziali cicliche generate dal sisma è una frazione della resistenza a rottura del terreno. In altri termini, le sollecitazioni indotte dal sisma sono inferiori alla resistenza a taglio del terreno, con possibile plasticizzazione limitata, ma con comportamento non degradante. La condizione di rottura del terreno in sito può essere definita come la condizione per la quale i livelli di deformazione eccedono uno stato limite di servizio. Questo non accade quando i terreni sono costituiti da ghiaie, sabbie addensate o argille consistenti, anche sotto l'azione di scosse sismiche violente.

In tal caso dovrà essere valutato, non tanto il grado di sicurezza rispetto a un'eventuale condizione di rottura, ma l'entità dell'amplificazione che le onde sismiche potranno subire propagandosi verso la superficie. Si tratterà quindi di caratterizzare la risposta dinamica del terreno in termini di ampiezza, frequenza e durata nelle varie situazioni geotecniche e morfologiche. Un terreno ha comportamento instabile quando la tensione ciclica di origine sismica mobilita la resistenza a rottura del terreno, e questo può avvenire anche con scosse non molto violente in depositi di argille poco consistenti o di sabbie sciolte sature d'acqua. In questa condizione insorgono notevoli deformazioni permanenti che modificano l'assetto originario del materiale. Durante un sisma può avvenire la mobilitazione, anche ripetuta della resistenza a taglio dei materiali, che potrebbe causare plasticizzazioni significative, con effetti di degradazione legati alla pressione interstiziale in terreni saturi. In queste condizioni possono insorgere cedimenti permanenti per addensamento di terreni granulari sciolti non saturi, con fratture nel suolo ed espulsioni d'acqua. La verifica sismica è in tal caso rivolta alla valutazione del grado di sicurezza nei riguardi della rottura per la previsione dei fenomeni di instabilità, in base alle condizioni geotecniche e geologiche in sito, attraverso la stima di cedimenti e deformazioni permanenti causati dal sisma.

Si consideri un materiale omogeneo, isotropo, elastico lineare indefinito. Si assuma l'ipotesi che il materiale non dissipi energia elastica nella sua deformazione, insieme all'ipotesi di piccoli spostamenti e forze di volume trascurabili. Partendo dalle equazioni indefinite di equilibrio e di congruenza, si dimostra che le equazioni del moto per un volume elementare di tale materiale assumono, in un riferimento cartesiano (x, y, z), la forma seguente:

(1)

$$\mu \nabla^2 \mathbf{s} + (\lambda + \mu) \nabla(\nabla \mathbf{s}) = \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \mathbf{s}$$

essendo:

$\mathbf{s} = (u, v, w)$  il vettore delle componenti cartesiane dello spostamento;

$\rho$  la densità del materiale;

$\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$  l'operatore vettoriale gradiente;

$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  l'operatore scalare di Laplace;

$\lambda$  e  $\mu$  le costanti elastiche di Lamé, funzioni dei moduli elastico E e tangenziale G del materiale;

t è il tempo.

La (1) in componenti cartesiane assume le seguenti espressioni:

$$(2) \quad \mu \nabla^2 u + (\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial x} = \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} u$$

$$(3) \quad \mu \nabla^2 v + (\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} = \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} v$$

$$(4) \quad \mu \nabla^2 w + (\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial z} = \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} w$$

dove si è indicato con:

$$(5) \quad \Delta = \nabla \mathbf{s} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$$

la deformazione unitaria di volume (dilatazione cubica). Dalle relazioni (2), (3) e (4) si dimostra che è possibile ricavare le seguenti equazioni:

$$(6) \quad \nabla^2 \Delta = \frac{\rho}{\lambda + 2\mu} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \Delta$$

$$(7) \quad \nabla^2 \boldsymbol{\omega} = \frac{\rho}{\mu} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \boldsymbol{\omega}$$

essendo  $\boldsymbol{\omega} = \frac{1}{2} \text{rot } \mathbf{s}$  il vettore rotazione, pari alla metà del rotore del campo vettoriale  $\mathbf{s}$  degli spostamenti. Ora il modello matematico più generale descrivente la propagazione delle onde in un mezzo è dato dalla seguente equazione differenziale alle derivate parziali:

$$(8) \quad \nabla^2 A = \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} A$$

nella quale A è l'effetto (scalare o vettoriale) che si propaga nel mezzo con velocità V. Confrontando la (6) con la (8) si vede che la (6) esprime la propagazione ondosa della dilatazione cubica  $\Delta$  con velocità:

$$(9) \quad V_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$



Analogamente, il confronto della (7) con la (8) dimostra che la (7) esprime la propagazione ondosa della rotazione  $\omega$  con velocità:

$$(10) \quad v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Si conclude che la (1) rappresenta allora la propagazione di due tipi di onde. Essendo  $v_p > v_s$ , le onde governate dalla (6) sono dette ONDE PRIMARIE (o ONDE P), mentre le onde governate dalla (7) sono dette ONDE SECONDARIE (o ONDE S). Le onde P ed S sono definite ONDE DI VOLUME.

Il significato fisico delle onde P e delle onde S può essere facilmente dedotto analizzando la propagazione monodimensionale, ad esempio lungo x.

• Ponendo allora  $\frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} = 0$  l'equazione (6) diventa:

$$(11) \quad \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right) = \frac{\rho}{\lambda + 2\mu} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)$$

La (11) mostra che le onde P comportano spostamenti nella direzione di propagazione. Per effetto di queste onde un elemento di volume subisce una serie di successive compressioni e rarefazioni, conservando inalterata la propria forma (Figura 1). Per questo motivo le onde P sono anche chiamate ONDE DI COMPRESSIONE.

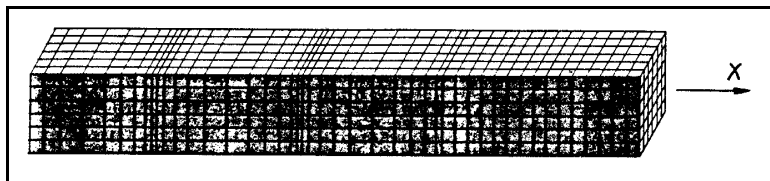


Figura 1

• Ponendo, invece,  $\frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} = 0$  nell'equazione (7) otteniamo, in componenti cartesiane, le seguenti equazioni:

$$(12) \quad \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} \right) = \frac{\rho}{\mu} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$

$$(13) \quad \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right) = \frac{\rho}{\mu} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right)$$

La (12) e la (13) mostrano che le onde S inducono spostamenti puramente ortogonali alla direzione di propagazione. Un generico elemento di volume attraversato da queste onde subisce una serie di successive distorsioni, conservando inalterato il proprio volume (Figura 2). Per questo motivo le onde S sono anche chiamate ONDE DI TAGLIO.

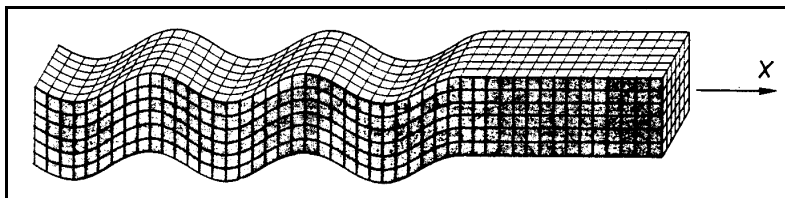


Figura 2

Si è quindi dimostrato che attraverso un mezzo continuo elastico, omogeneo, isotropo, indefinito possono propagarsi due e soltanto due tipi di onde, le onde primarie P e le onde secondarie S. La presenza di una superficie libera determina la propagazione, in prossimità di questa, di una nuova classe di onde, le ONDE DI SUPERFICIE. Esse si formano quando l'energia di vibrazione delle onde sismiche si propaga dagli strati profondi verso la superficie terrestre. Queste onde

possiedono caratteristiche simili alle onde gravitazionali che perturbano la superficie libera delle masse fluide, dando luogo a moti ondulatori la cui ampiezza tende rapidamente a decrescere verso l'interno. Si assuma che la superficie di discontinuità coincida con il piano xy, con l'asse z diretto verso l'interno del semi-spazio, e che la direzione della propagazione ondosa sia concorde all'asse x. Come per le onde di volume, anche le onde di superficie appartengono a due categorie distinte: ONDE DI RAYLEIGH, e ONDE DI LOVE. L'onda di Rayleigh, costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione  $V_R \approx 0,9 \div 0,96 V_S$ . L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

Si dimostra che una generica particella solida, investita da un'onda di Rayleigh (detta anche ONDA R), tende a oscillare sia in direzione x che in direzione z, seguendo di fatto un'orbita ellittica (Figura 3). Le ampiezze u degli spostamenti lungo x tendono rapidamente a decrescere verso l'interno del mezzo, mentre le ampiezze w lungo z decrescono con minore rapidità. La velocità di propagazione  $V_R$  risulta, approssimativamente:

$$(14) \quad V_R \approx 0,92 V_S$$

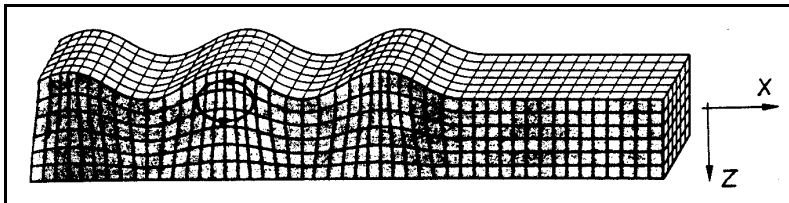
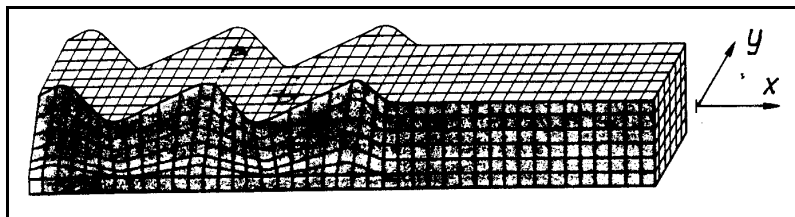


Figura 3

Un'onda di Love (detta anche ONDA L) può propagarsi unicamente attraverso uno strato omogeneo limitato, da un lato, da una superficie libera, dall'altro, da un semispazio le cui caratteristiche meccaniche differiscono da quelle dello strato. Si dimostra che essa produce spostamenti v in direzione y delle sole particelle (Figura 4). La velocità di propagazione  $V_L$  è intermedia fra la velocità delle onde di taglio dello strato e la velocità delle onde di taglio del semispazio.



Le tecniche di indagine geofisica da superficie, rispetto ai metodi in foro, oltre al vantaggio economico e ad un impatto nullo, consentono una valutazione volumetricamente rappresentativa del comportamento dei materiali in posto, in condizioni non perturbate (per esempio a causa dei lavori di perforazione). Per indagini a piccola scala si preferisce solitamente misurare le onde superficiali, generate dall'interferenza costruttiva fra onde di volume (P ed S) che impattano la superficie libera del terreno. Alla superficie libera si riconoscono due tipi di onde superficiali: le onde di Love e le onde di Rayleigh. Dato che si tratta di onde vincolate a muoversi lungo la superficie del terreno, sono caratterizzate da una dispersione assai minore rispetto alle onde di volume: si tratta quindi di fasi sismiche molto energetiche e facilmente identificabili. Una caratteristica importante di queste tecniche è il loro carattere indiretto, nel senso che il profilo di velocità delle onde nel sottosuolo viene dedotto da misure di velocità di propagazione di onde sismiche condotte in superficie mediante metodi attivi (SASW, MASW) o passivi (ReMi, SPAC, ESAC, HVSr). Successivamente si esegue l'inversione di queste misure, ovvero la messa in opera di una procedura (più o meno assistita e vincolata) per dedurre dalle misure effettuate il dato di

interesse (profilo di Vs, il valore medio di Vs fino al basamento, la frequenza di risonanza delle coperture, la profondità del basamento).

Una strategia efficace di difesa dai terremoti necessita di accurate valutazioni preventive della vulnerabilità sismica, determinata essenzialmente dall'instabilità dei suoli (frane, liquefazione dei terreni) e dagli effetti di sito. Gli effetti di sito sono amplificazioni locali delle onde sismiche dovute a particolari condizioni geologiche e topografiche, che portano al fenomeno della risonanza del terreno. Se la frequenza di risonanza del suolo coincide con quella propria degli edifici (fenomeno della doppia risonanza), si produce un'amplificazione delle onde sismiche molto grande e vengono indotte sollecitazioni con forte potere distruttivo: l'amplificazione sismica è infatti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto. Il rumore sismico generato dai fenomeni atmosferici (moti oceanici, del vento ecc.) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre; è detto anche microtremore, poichè riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. Il rumore di fondo agisce da funzione di eccitazione per le risonanze specifiche degli edifici e del sottosuolo, rendendole chiaramente visibili nello spettro di rumore, analogamente a quanto avviene durante un terremoto, che si può immaginare come un episodio di rumore fortissimo con ampiezze sino a  $10^{10}$  volte maggiori del microtremore. La metodologia di misura del microtremore sismico mediante strumentazione TROMINO®, permette la misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la stratigrafia superficiale e la Vs, come richiesto dalle normative antisismiche vigenti. La tecnica maggiormente consolidata per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico generato in un sito, è quella dell'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti del moto sismico orizzontali e verticali (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSr o H/V - Nogoshi e Igarashi, 1970). Il codice utilizzato per la creazione di curve H/V sintetiche si basa sulla simulazione del campo di onde di superficie di Rayleigh e Love in sistemi multistrato a strati piani e paralleli (Aki, 1964 - Ben-Menahem e Singh, 1981), considerando che l'onda sismica viene parzialmente riflessa dall'interfaccia che separa due mezzi (litotipi) a rigidità differente, con la determinazione di un contrasto di impedenza. L'onda riflessa interferisce con quelle incidenti sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza), quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o multipli dispari) lo spessore H del primo strato: la frequenza fondamentale di risonanza F relativa alle onde S risulta pari a  $F = V_s / 4H$ .

#### **4. Modellazione geotecnica del volume significativo di terreno**

In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico. Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche. Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento e devono riguardare il volume significativo. Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Le indagini devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Ai fini dell'analisi quantitativa di uno specifico problema, per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti i valori caratteristici dei parametri geotecnici, ovvero 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.

L'elaborazione dei dati ottenuti dall'indagine di campagna ha permesso di effettuare un riconoscimento di massima dei terreni attraversati e di ottenere indicazioni sulla parametrizzazione geotecnica dei terreni studiati, di seguito riportata.

## Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 1

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU FI kg/cm2	DR °	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec	
1.80 Argilla limosa consisten	1926	1926	0.347	1.572	29	0	0.0063	3.1778	1.1e-4
5.20 Argilla limosa molto con	1981	1981	1.020	2.246	26	0	0.0044	4.5941	4.4e-4
6.20 Limo argilloso-sabbioso	2070	2070	1.227	4.099	28	0	0.0040	5.5467	3.7e-3
8.60 Limo argilloso molto con	2024	2024	1.713	2.989	24	0	0.0054	4.1000	1.9e-4
9.00 Ghiaia mediamente addens	1800	1800	1.785	0.000	28	95	0.0022	15.0500	7.9e-1

Si è proceduto alla parametrizzazione dell'indagine geognostica CPT secondo il metodo di Searle, che permette una definizione più dettagliata dei vari livelli di terreno studiati.

## Dati medi prova discretizzata CPT n. 1

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
1.80	31.78	2.13	14.90
5.20	45.94	3.76	12.22
6.20	83.20	3.00	27.73
8.60	61.50	3.88	15.84
9.00	301.00	0.43	694.62

In base alle elaborazioni delle indagini effettuate, la stratigrafia dell'area in esame risulta piuttosto omogenea e costituita da terreni prevalentemente limo-argillosi da consistenti a molto consistenti, con rare intercalazioni di limi argilloso-sabbiosi mediamente addensati, che ricoprono orizzontidi ghiaiosi a partire da -8.50/-9 m circa.

Non è stata rilevata la presenza della prima falda libera superficiale nel foro di prova, che risulta asciutto. Si possono comunque verificare escursioni del livello piezometrico in senso positivo o negativo, legate alla normale variabilità stagionale o a eventi meteorici eccezionali (ottobre 2022).

Allo scopo di definire un modello geotecnico per il sito in esame in base alle elaborazioni delle indagini effettuate, nella tabella seguente sono riportati i principali parametri geotecnici caratteristici delle unità litologiche individuate.

## SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

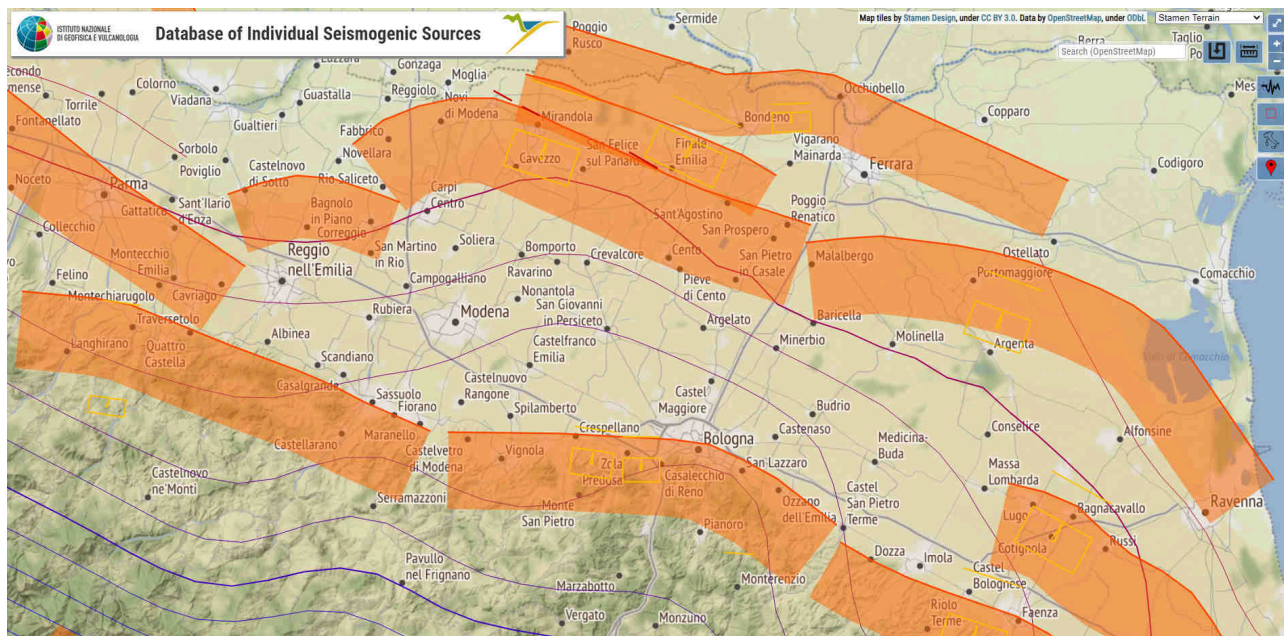
Unità	Profondità -m da p.c.	$\gamma_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_{tk}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$Cu_k$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\varphi^\circ_k$	Densità Dr% (livelli incoerenti)	$mv_k$ (cm <sup>2</sup> /kg)	$Ed_k$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.80 - 1.80	1920	1920	1.1	26	/	0.006	64
2	1.80 - 5.20	1980	1980	1.7	25	/	0.004	37
3	5.20 - 6.20	2070	2070	2.6	23	/	0.004	22
4	6.20 - 8.60	2020	2020	2.0	21	/	0.005	51
5	8.60 - 9.00	1800	1800	/	24	95	0.002	69

## 5. Modellazione sismica e pericolosità sismica di base del sito

La valutazione del rischio sismico in aree ad estensione regionale, viene effettuata mediante la macrozonazione sismica, definita come l'individuazione di aree che possono essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità. All'interno di queste aree si possono valutare, con maggiore dettaglio, le differenze di intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche locali attraverso procedimenti di microzonazione sismica.

Tale procedimento è volto a prevedere e mitigare gli effetti di un evento sismico in una zona di dimensioni urbane, considerando la morfologia superficiale e del substrato, la sua costituzione, la presenza e la profondità della falda freatica e l'eventuale presenza di faglie.

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al proprio assetto tettonico-strutturale, dunque alla presenza di quelle che vengono definite strutture geologicamente attive. Alla base di ogni stima della pericolosità sismica, oltre alle conoscenze legate all'evoluzione delle principali strutture deformative esistenti, risultano fondamentali anche quelle relative alla storia sismica dello territorio, vale a dire tutte le informazioni riguardanti i terremoti avvenuti in epoca storica e gli effetti ad essi associati.

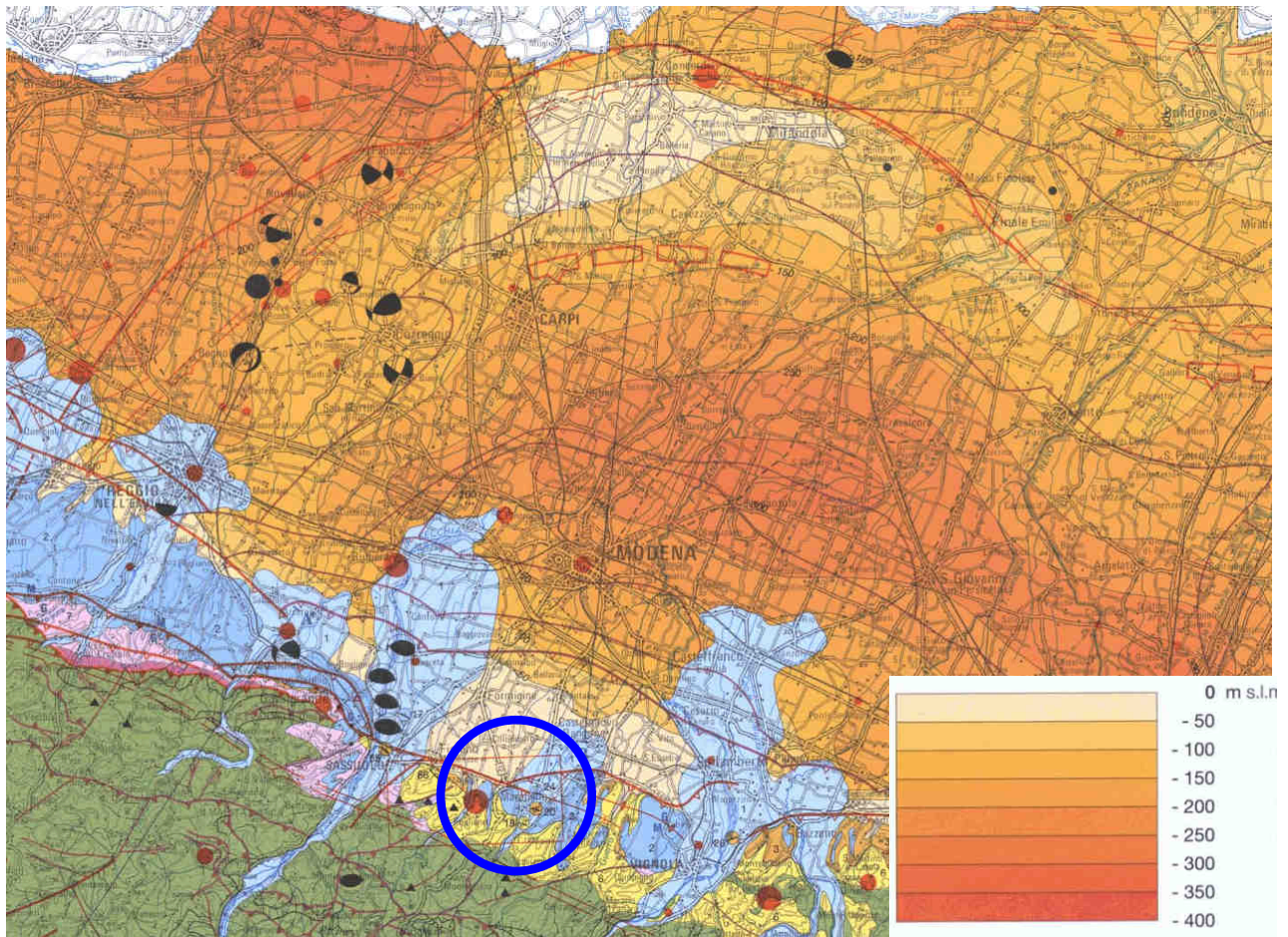


Dal 1999 il DISS Working Group (DISSWG) dell'INGV utilizza congiuntamente dati geomorfologici e dati geologico-geofisici del sottosuolo per individuare le sorgenti sismogenetiche della Pianura Padana. Una notevole anomalia del drenaggio in un'area priva di sismicità storica nei pressi di Mirandola fu messa in evidenza già dal 2000, rimarcandone la relazione con la presenza di un'anticlinale riconducibile a una importante faglia attiva sepolta. Poiché la sismicità italiana è caratterizzata da tempi di ricorrenza dei forti terremoti piuttosto lunghi (anche più di 2000 anni), il dato geologico è di fondamentale importanza nella stima della pericolosità sismica.

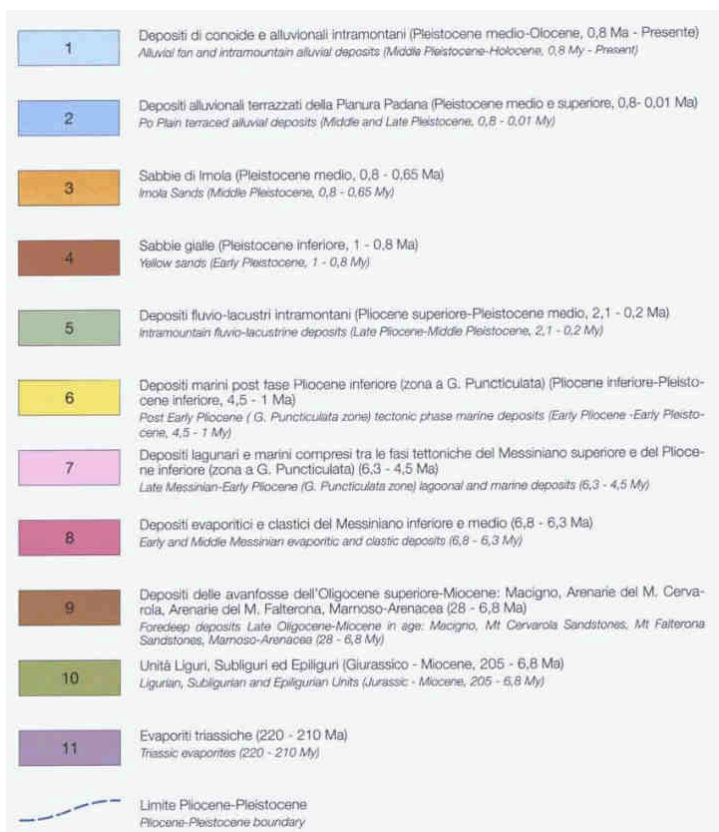
La faglia di Mirandola, ritenuta essere la potenziale sorgente di un terremoto di magnitudo di poco superiore a 6.0, fu inclusa nel DISS 2.0 (Valensise e Pantosti, 2001) e successivamente aggiornata nell'ambito del DISS 3.0 (Basili et al., 2008). La sequenza sismica del maggio 2012, con i forti terremoti del 20 e del 29 maggio, ha riattivato porzioni delle sorgenti identificate come ITCS050-Poggio Rusco-Migliarino e ITCS051-Novi-Poggio Renatico.

Il ferrarese è interessato anche dalla presenza della struttura sismogenetica composta Malalbergo-Ravenna (ITCS012). In generale queste strutture fragili, i cui lineamenti principali mostrano vergenza tendenzialmente nordest, sono soggette ad un attivo campo di stress tettonico compressivo, che induce movimenti inversi o inverso - trascorrenti, associati ad una attività sismica relativamente frequente. La fascia corrispondente alla sorgente composta ITCS050 delimita il settore esterno dell'Arco Ferrarese; in essa rientra la sorgente individuale di Ferrara (ITIS090) a cui è assegnata magnitudo massima pari a 5.5, profondità tra 1.4 e 4.5 km e slip-rate compreso tra 0.1 e 0.5 mm/anno. L'ubicazione della sorgente è stata proposta anche sulla base di anomalie del reticolo idrografico, in particolare in relazione alla deviazione dell'alveo del fiume Po in prossimità di Stellata, interpretata come possibile conseguenza della deformazione cosismica indotta dall'attività tettonica di tale struttura sepolta. Il database DISS indica la presenza di altre due sorgenti sismogenetiche composite orientate anch'esse approssimativamente ESEWNW e denominate rispettivamente Finale Emilia - Mirabello (ITCS103) e Carpi - Poggio Renatico (ITCS051). Alla prima è associata la sorgente individuale di Finale Emilia (ITIS134), caratterizzata da una magnitudo massima pari a 6.1; la profondità della struttura è indicata tra 4 e 8.4 km, mentre lo slip-rate è compreso tra 0.25 e 0.5 mm/anno.





CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA



dott. Claudio Preci geologo

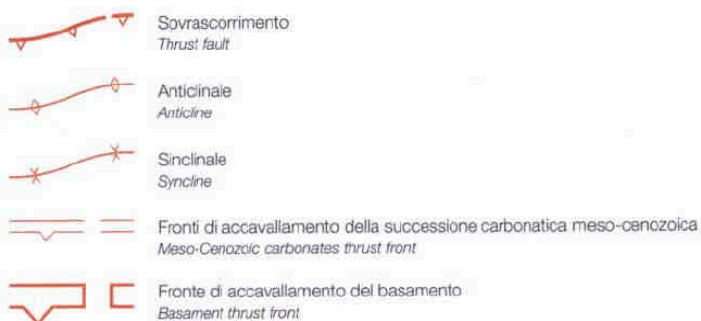
Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: v. W. Tabacchi n° 125 - 41123 Modena tel. 059/823020 mob. 339/8264394 e-mail precigeo55@gmail.com

### Strutture sepolte *Buried structures*

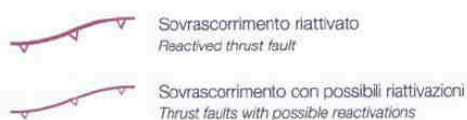
Strutture attive e recenti (<1 Ma), determinate sulla base di dati morfologici di superficie e di dati geologici di sottosuolo

*Active and recent structures (<1 My), recognized on the basis of surface morphological data and subsoil geological data*



Fronti dei principali sovrascorrimenti di età Pliocene-Pleistocene inferiore (4,5 - 1 Ma) (da Structural Model of Italy, 1:500,000)

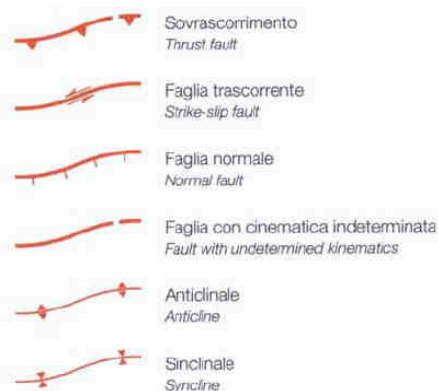
*Fronts of the main Pliocene-Early Pleistocene thrust faults (4,5 - 1 My) (from Structural Model of Italy, 1:500,000)*



### Strutture affioranti *Outcropping structures*

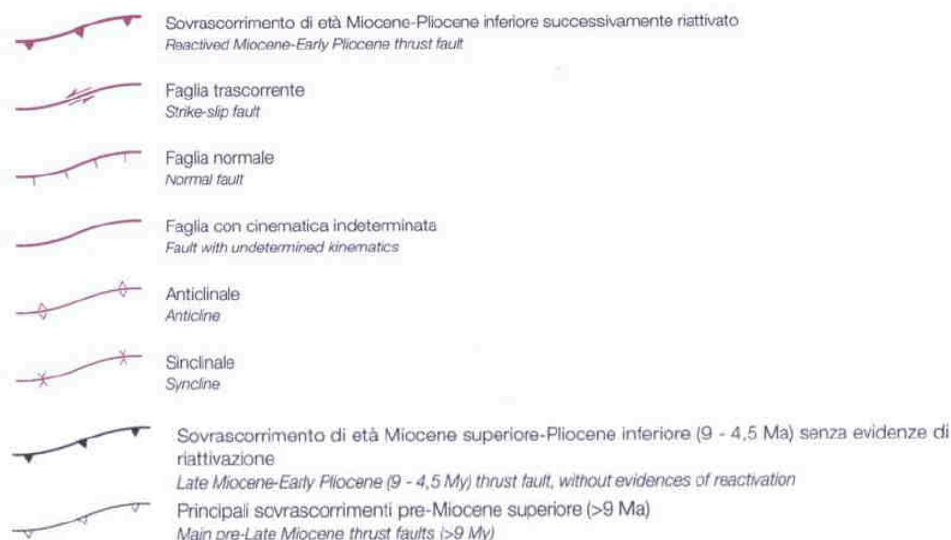
Strutture attive e recenti (<1 Ma), determinate su base morfostrutturale (M) e/o geologica (G)

*Active and recent structures (<1 My), recognized on the basis of morphostructural (M) and/or geological (G) data*



Strutture plio-quadernarie (4,5 - 1 Ma)

*Plio-Quaternary structures (4,5 - 1 My)*





Alla seconda è, invece, associata la sorgente individuale di Mirandola (ITIS107), caratterizzata da una magnitudo massima pari a 6; in questo caso la profondità della struttura è indicata tra 4 e 7 km, mentre lo slip-rate è compreso tra 0.5 e 1.04 mm/anno. Dette sorgenti individuali sono responsabili degli eventi sismici del maggio 2012; in particolare della scossa del 20 maggio, prodotta dalla sorgente di Finale Emilia, e di quella del 29 maggio, dovuta alla sorgente di Mirandola. I caratteri strutturali e sismogenetici di queste strutture fragili sepolte, i cui singoli lineamenti tettonici mostrano scarsa estensione areale, determinano - in caso di sisma - la liberazione di un quantitativo di energia normalmente moderato, in grado comunque di determinare effetti significativi in superficie, data la ridotta profondità delle strutture e gli importanti fattori di focalizzazione e amplificazione sismica. Nonostante siano tra le meglio documentate tra quelle presenti nel sottosuolo della pianura, per le strutture sismogenetiche appartenenti all'Arco Ferrarese permangono interrogati relativi ai tempi di ritorno degli eventi associati alle sorgenti individuali e alla magnitudo massima attesa per l'area sottesa alla sorgente composita. Queste sorgenti erano state individuate come responsabili del sollevamento delle dorsali di Ferrara e Mirandola, che nel corso di numerose decine di migliaia di anni ha causato la deviazione del corso dei fiumi Po, Secchia, Panaro e Reno. In particolare il terremoto del 29 maggio sembra essere stato generato proprio dalla "ITIS107-Mirandola", come suggerito anche dall'esame della deformazione cosismica del suolo documentata con la tecnica DInSAR.

A seguito del terremoto del Molise del 31 ottobre 2002, l'INGV stesso ha ricevuto dal Governo l'incarico di elaborare una nuova Mappa di Pericolosità Sismica di riferimento per il territorio nazionale. Il punto di partenza della Mappa è stata la zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004; Meletti et al., 2008), un modello sintetico che descrive la localizzazione delle sorgenti di futuri terremoti, la magnitudo massima che questi potranno raggiungere e i ratei di sismicità attesa zona per zona.

Il modello ZS9 si è avvalso delle conoscenze disponibili nel DISS 2.0, inclusa l'estensione esatta dei fronti attivi nella Pianura Padana e la magnitudo massima attesa, che per la zona di Mirandola fu fissata a 6.2.

In particolare l'area in esame è soggetta alle strutture sismogenetiche:

- ITCS046 Langhirano Sassuolo a sud;
- ITCS051 Carpi-Poggio Renatico/ITIS107 Mirandola a nord.

#### ITCS046 Langhirano Sassuolo

PARAMETRIC INFORMATION			
	Parameter	Quality	Evidence
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	8.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	95...120	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from regional geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.2400... 0.6300	EJ	Inferred from geological data by Ponza et al. (2010) and Gunderson et al. (2013)
Max Magnitude [Mw]	6.8	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

## ITCS051 Carpi-Poggio Renatico

## PARAMETRIC INFORMATION

Parameter		Quality	Evidence
Min depth [km]	2.0	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Max depth [km]	10.0	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Strike [deg] min... max	50...120	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Dip [deg] min... max	25...45	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	OD	Inferred from geological and active stress data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.5000... 1.0400	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	6.9	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

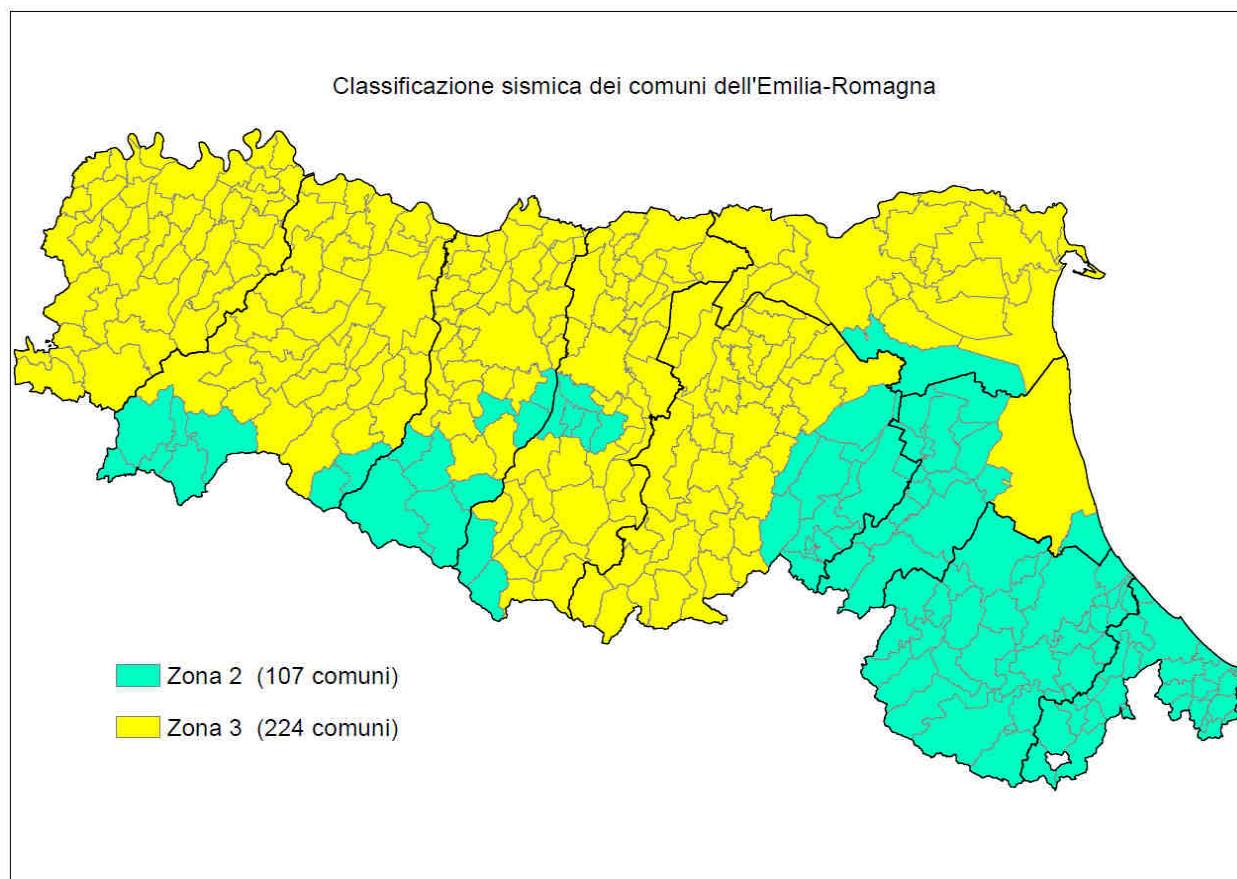
## ITIS107 Mirandola

## PARAMETRIC INFORMATION

Parameter		Quality	Evidence
Location [Lat/Lon]	44.85 / 11.07	LD	Based on seismological, geodetic and geological data.
Length [km]	9.0	LD	Based on geological, geodetic and seismological data.
Width [km]	5.9	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Min depth [km]	4.0	LD	Based on seismological, geodetic and geophysical data.
Max depth [km]	7.0	LD	Based on seismological, geodetic and geophysical data.
Strike [deg]	108	LD	Based on modelling of SAR and geological data.
Dip [deg]	30	LD	Based on seismological and geophysical data.
Rake [deg]	90	LD	Based on seismological data.
Slip Per Event [m]	0.40	LD	Based on seismological data and SAR modelling.
Slip rate [mm/y] min...max	0.5000... 1.0400	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Recurrence [y] min... max	385... 800	AR	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	6.0	LD	Based on seismological data.

Questa analisi recepisce le indicazioni applicative delle DGR n. 2193/2015, DGR 630/2019 DGR RER n. 476 del 12/04/2021 e n. 564 del 26/04/2021 attualmente in vigore.

Si considera inoltre la classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia Romagna riportata nella OPCM n. 3274 del 20/03/2003 e nella Delibera di Giunta Regionale n. 1164 del 23/07/2018, secondo cui il comune di Maranello rientra in zona 2.



L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6 della scala Richter. Si riporta di seguito un elenco degli eventi sismici più significativi per la storia sismica del sito di indagine:

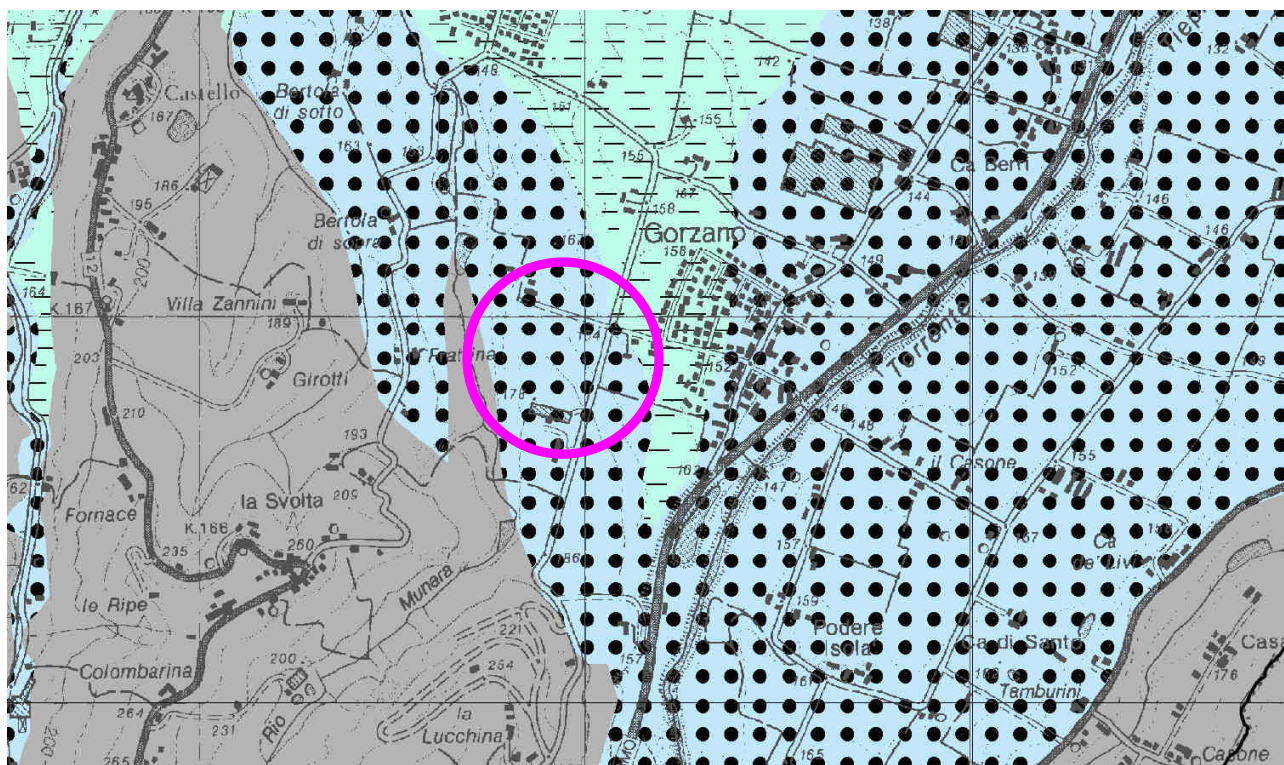
Anno	Me	Gi	AREA	Imx	Io	Lat	Lon	Maw
1561	11	24	FERRARA	65	55	44.78	11.45	4.63
1570	11	17	FERRARA	80	75	44.82	11.63	5.48
1574	3	17	FINALE EMILIA	70	70	44.833	11.294	5.12
1586	1	12	SPILAMBERTO		60	44.583	11	4.83
1666	4	14	BOLOGNA		60	44.5	11.333	4.83
1695	2	28	FERRARA	55	55	44.836	11.618	4.63
1743	5	29	FERRARA	65	65	44.836	11.618	5.03
1779	6	4	BOLOGNESE	70	65	44.45	11.52	4.97
1780	2	6	BOLOGNESE	65	55	44.62	11.32	4.85
1787	7	16	FERRARA	65	55	44.83	11.62	4.63
1796	10	22	EMILIA ORIENTALE	70	70	44.62	11.67	5.63
1801	10	8	BOLOGNA	55	55	44.498	11.34	4.63
1811	7	15	SASSUOLO	70	70	44.572	10.728	5.24



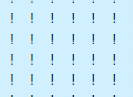
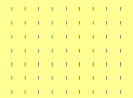
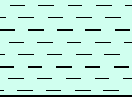
1834	10	4	BOLOGNA	60	55	44.6	11.37	4.63
1850	9	18	MODENA	60	60	44.614	10.965	4.83
1878	3	12	BOLOGNESE	60	60	44.42	11.55	4.83
1881	1	24	BOLOGNESE	70	65	44.32	11.35	5.14
1889	3	8	BOLOGNA	60	60	44.518	11.237	4.83
1908	6	28	FINALE EMILIA SUD		60	44.8	11.3	4.83
1909	1	13	BASSA PADANA	65	65	44.579	11.688	5.53
1922	5	24	CENTO	45	35	44.862	11.517	4.5
1923	6	28	FORMIGINE	60	60	44.595	10.799	5.21
1929	4	20	BOLOGNESE	80	70	44.47	11.13	5.55
1931	6	10	MODENESE	40	40	44.541	11.021	4.84
1934	9	18	VIGNOLA	40	40	44.495	11.012	4.5
1967	10	1	FORMIGINE		50	44.567	10.95	4.52
1986	12	6	BONDENO	60	60	44.879	11.334	4.56
1996	10	15	CORREGGIO	70	70	44.782	10.683	5.44
2012	1	25	POVIGLIO			44.854	10.538	4.9
2012	5	20	FINALE EMILIA			44.89	11.23	5.9
2012	5	20	FERRARESE			44.831	11.49	5.1
2012	5	29	MEDOLLA/BASSA MODENESE			44.85	11.09	5.8

(Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI- INGV, Bologna)

Nel quadro conoscitivo del PTCP della Provincia di Modena, Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali - Tavola 2 a.4 a scala 1:25'000, si indica che l'area in esame insiste su "ghiaie di conoide". Pertanto in caso di sisma si può attendere "amplificazione".

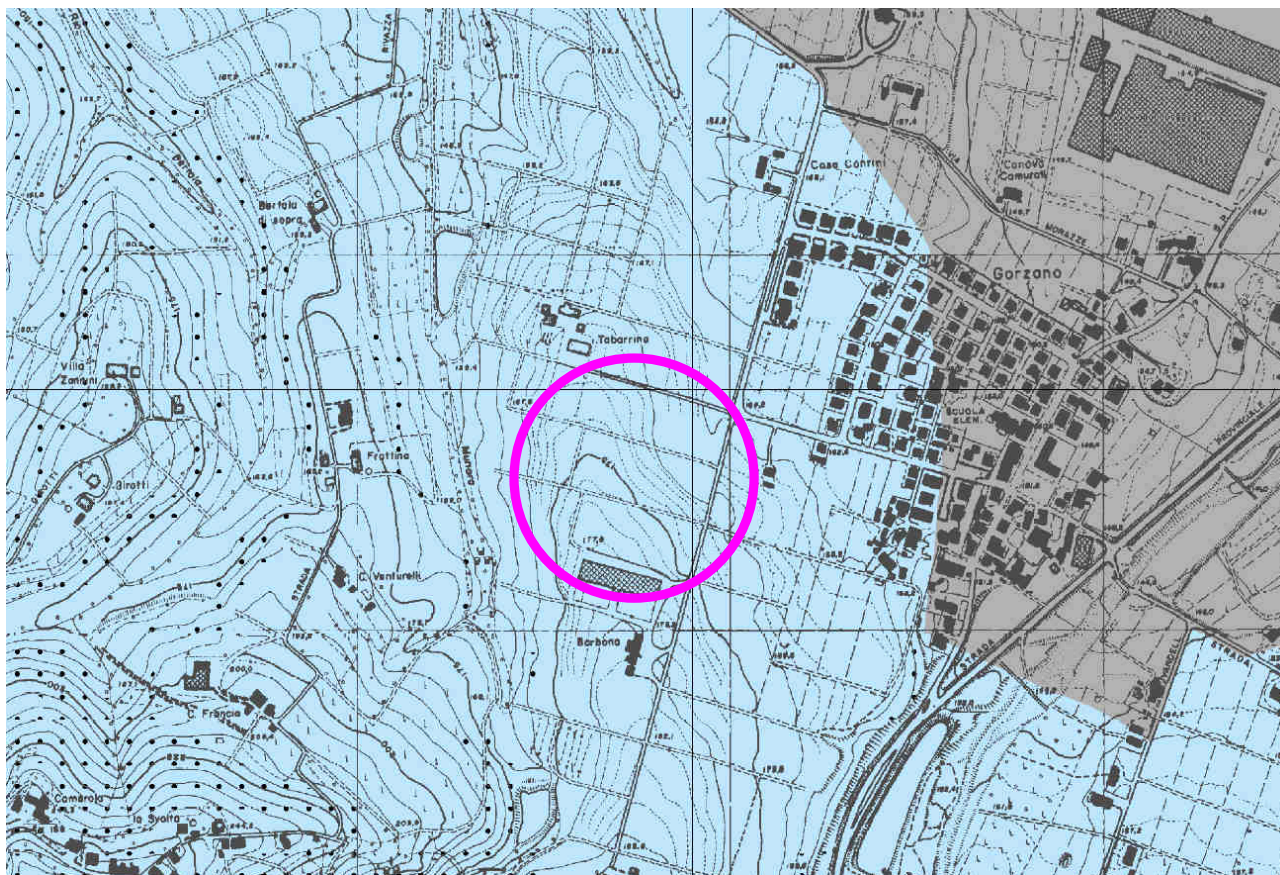




Depositi che possono determinare effetti locali	
	<b>ghiaie di conoide</b> effetti attesi: amplificazione; studi: valutazione amplificazione
	<b>sabbie di canale</b> effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti; studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi
	<b>limi e argille (peliti) di piana alluvionale</b> effetti attesi: amplificazione, possibili cedimenti; studi: valutazione amplificazione e stima dei cedimenti attesi

In relazione al rischio sismico, nelle Carte delle Sicurezze del Territorio del PTCP della Provincia di Modena, Tavola 2.2 b.3 a scala 1:10'000, l'area in esame è classificata come "Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche".

	<b>5</b> <b>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche</b> <u>studi</u> *: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico; <u>microzonazione sismica</u> *: approfondimenti di II livello.
	<b>6</b> <b>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche</b> <u>studi</u> *: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico; <u>microzonazione sismica</u> *: approfondimenti di II livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.





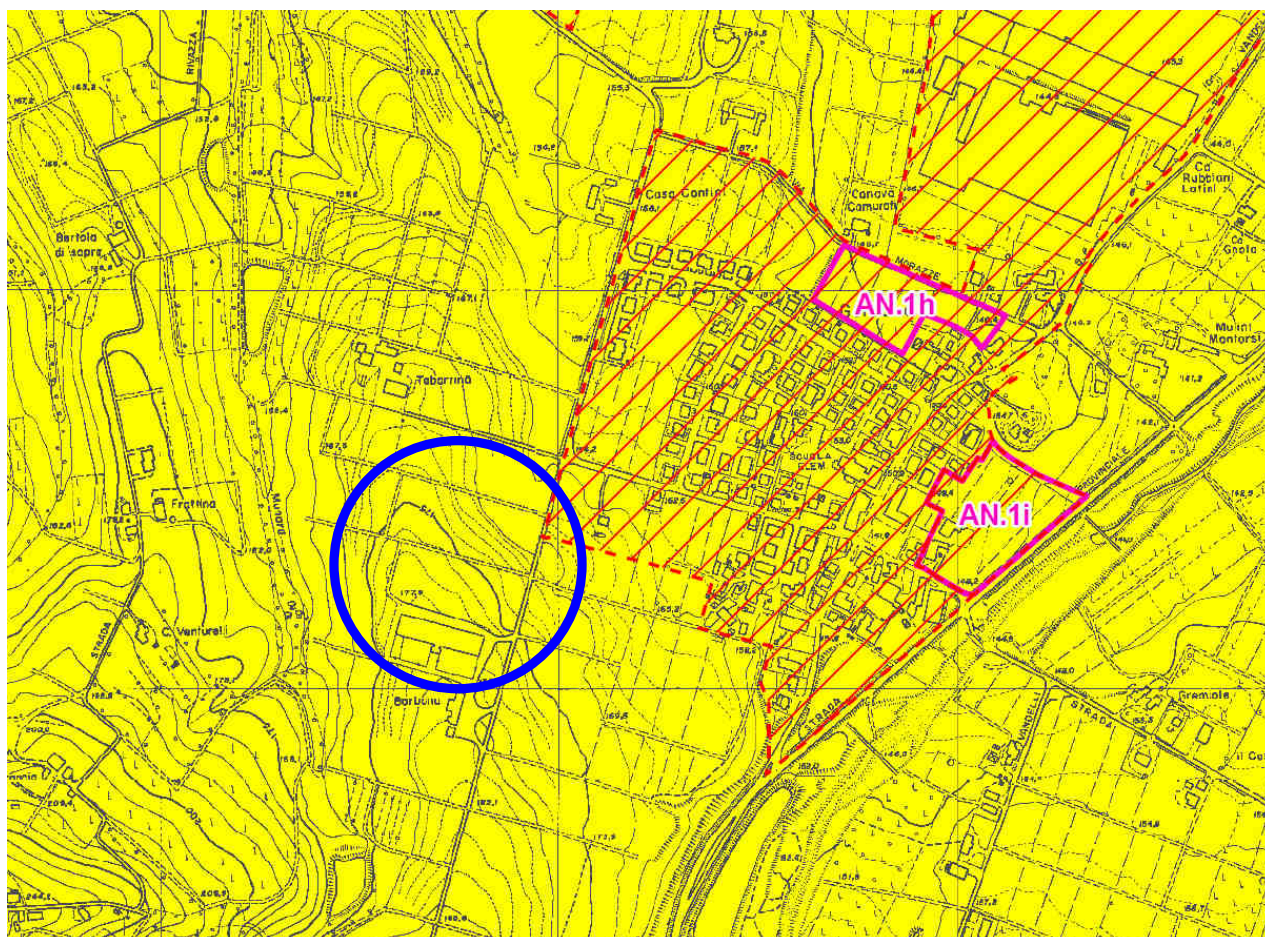
Negli elaborati relativi al rischio sismico del PSC comunale, l'area in esame è classificata come:

## STUDIO SISMICO DEL TERRITORIO

### TAV.2 - CARTA DI SINTESI

ADOZIONE: Del C.C. n.51 del 31.07.2007

APPROVAZIONE: Del. C.C. n... del.....



Aree che generalmente non necessitano di approfondimento oltre il primo livello (Del. Reg. 112/2007).  
In caso di  $V_s 30 < 800$  m/s è richiesta la valutazione del coefficiente di amplificazione litostratigrafico.

Aree che necessitano dell'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento) Del. Reg. 112/2007.

Aree che necessitano di un'analisi approfondita (terzo livello di approfondimento) Del. Reg. 112/2007.

#### 5.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti

Il rischio di liquefazione può essere stimato mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI (o IL). L'indice LPI (o IL) è un parametro di sintesi che quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie, tenendo conto della severità dell'azione sismica e dei parametri di profondità, spessore e valore del fattore di sicurezza degli strati liquefacibili.

Le classi di potenziale di liquefazione, secondo la proposta di Sonmez (2003), sono le seguenti:

LPI	potenziale di liquefazione
0	non liquefacibile
$0 < LPI \leq 2$	basso
$2 < LPI \leq 5$	moderato
$5 < LPI \leq 15$	alto
$15 < LPI$	molto alto

L'elaborazione dell'indagine di campagna fornisce una verifica della suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti, individuati con la discretizzazione dei dati delle prove penetrometriche. Il calcolo viene eseguito secondo le modalità riportate nel par. 3.1, considerando un evento sismico avente una magnitudo pari al grado 6.14 della scala Richter, compatibile con i dati storici esistenti per l'area in esame (Servizio Geologico RER - INGV).

Caratteristiche sismiche CPT n. 1

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.80 Argilla limosa consisten	Terreno coerente		
5.20 Argilla limosa molto con	Terreno coerente		
6.20 Limo argilloso-sabbioso	Terreno coerente		
8.60 Limo argilloso molto con	Terreno coerente		
9.00 Ghiaia mediamente addens	9.7192	0.0975	no

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica e con le ipotesi sopra riportate, la verifica effettuata non evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità (quindi  $LPI = 0$ ). In assenza di litotipi incoerenti saturi come nel caso in esame, il fenomeno della liquefacibilità non sussiste.

In base alla normativa vigente, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 476/2021.

La stima dei cedimenti post-sismici indotti dall'azione sismica nei terreni alluvionali della Pianura Padana, è affetta da notevoli incertezze e risulta poco significativa, in quanto si tratta di terreni già consolidati per desaturazione sedimentaria e inoltre già sottoposti a diversi eventi sismici. I valori che si ottengono devono intendersi solo orientativi, in quanto per produrre un calcolo significativo e realistico di tali cedimenti, sarebbe necessario sottoporre a carichi ciclici crescenti e decrescenti i terreni considerati, mediante prove di laboratorio su campioni indisturbati prelevati in sito. Per cedimento si intende l'abbassamento del piano campagna, ovvero l'integrale della deformazione del terreno in direzione verticale, o anche la sommatoria dei prodotti della deformazione verticale media per lo spessore di ciascuno degli strati deformati. In condizioni edometriche, ovvero in presenza di strati di terreno orizzontali ed omogenei, e con tensione costante in direzione orizzontale, le deformazioni laterali sono nulle e pertanto la deformazione verticale coincide con la deformazione volumetrica. Per semplicità e con approssimazione accettabile, salvo casi di morfologia con forti pendenze e stratigrafie molto variabili in direzione orizzontale, per la stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica si può fare riferimento alle condizioni edometriche. Il cedimento permanente indotto dall'azione sismica in corrispondenza di una verticale di esplorazione si ottiene dalla somma dei contributi al cedimento stimati per i diversi strati del sottosuolo, fino alla profondità alla quale tali contributi non sono più significativi.

I cedimenti permanenti indotti dall'azione sismica possono essere dovuti alle deformazioni volumetriche (e quindi verticali) di terreni granulari saturi, terreni granulari insaturi, terreni coesivi soffici. I cedimenti conseguenti a liquefazione di terreni granulari saturi hanno luogo immediatamente dopo il terremoto o comunque in un tempo non superiore a un giorno, i cedimenti per densificazione di terreni granulari insaturi avvengono durante lo scuotimento sismico, mentre i cedimenti per consolidazione di terreni coesivi soffici possono richiedere tempi anche molto lunghi in funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche.

Il cedimento permanente post-sismico può dunque essere stimato con l'equazione:

$$s = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{vi} \cdot \Delta z_i$$

in cui  $\varepsilon_{vi}$  è la deformazione volumetrica e verticale dello strato i-esimo e  $\Delta z_i$  il suo spessore. I cedimenti permanenti indotti dall'azione sismica possono essere dovuti alle deformazioni volumetriche e verticali di terreni granulari saturi, terreni granulari insaturi, terreni coesivi soffici. I cedimenti conseguenti a liquefazione di terreni granulari saturi hanno luogo immediatamente dopo il terremoto o comunque in un tempo non superiore a un giorno, i cedimenti per densificazione di terreni granulari insaturi avvengono durante lo scuotimento sismico, mentre i cedimenti per consolidazione di terreni coesivi soffici possono richiedere tempi anche molto lunghi in funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche.

Le metodologie di calcolo per i vari casi sono espone nell'Allegato A3-B della DGR 630/2019 e nell'Allegato B della DGR 476/2021. In base all'elaborazione delle indagini geognostiche, in assenza di rilevanti spessori di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti o molto soffici, si ritiene di poter ragionevolmente escludere l'eventuale insorgere di cedimenti post-sismici nei terreni considerati.

#### *B1. Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni granulari saturi*

La deformazione volumetrica (e verticale)  $\varepsilon_v$  nei terreni granulari saturi può essere stimata da prove CPT in funzione della resistenza penetrometrica di punta normalizzata e corretta,  $(q_{c1N})_{cs}$  e del coefficiente di sicurezza alla liquefazione  $F_L$  con il grafico di Figura 3a (Zhang et al., 2002), e da prove SPT in funzione della resistenza SPT normalizzata e corretta  $(N_1)_{60,cs}$  e del rapporto di tensione ciclica CSR con il grafico di Figura 3b (Wu e Seed, 2004). Il cedimento post-sismico per ciascuno strato è dato da:  $\Delta s_i = \varepsilon_{vi} \cdot \Delta z_i$ .

In alternativa, la deformazione volumetrica,  $\varepsilon_v$  (espressa in decimali), può essere stimata mediante le seguenti espressioni (Idriss e Boulanger, 2008):

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp \left( 2.551 - 1.147 \cdot (q_{c1Ncs})^{0.264} \right) \cdot \min(0.08, \gamma_{max}) \quad \text{con } q_{c1Ncs} \geq 21$$

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp \left( -0.369 \cdot \sqrt{(N_1)_{60cs}} \right) \cdot \min(0.08, \gamma_{max})$$

in cui  $\gamma_{max}$  (decimale) è la massima deformazione di taglio indotta dall'azione sismica, determinabile, in prima approssimazione, con la relazione empirica:

$$\gamma_{max} = \frac{a_{maxs}}{g} \cdot \sigma_{v0} \cdot r_d \cdot \frac{1}{G}$$

dove  $r_d$  può essere determinato con l'equazione riportata nel §A.2.1 e  $G$  è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo  $\gamma$ , che può essere determinato per via iterativa, noto il valore della rigidezza iniziale  $G_0 (= \rho \cdot V_s^2)$ , utilizzando la legge di variazione  $G(\gamma)/G_0$  ottenuta con prove dinamiche in laboratorio o, in modo approssimato, desunta da curve di letteratura per terreni con proprietà simili (si veda ad es. Figura 4 da AGI, 2005).



*B2. Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni granulari insaturi*

Il cedimento indotto dall'azione sismica nei terreni granulari insaturi può essere stimato dai risultati di prove SPT con il metodo di Pradel (1998), nel modo seguente:

$\Delta s = 2 \Delta z \cdot \varepsilon_{Nc}$  in cui  $\Delta s$  è il cedimento dello strato di spessore  $\Delta z$ ,

$\varepsilon_{Nc} = \varepsilon_{15} \cdot \left( \frac{N_c}{15} \right)^{0.45}$  è la deformazione volumetrica per un numero di cicli equivalente del terremoto  $N_c$  il cui valore è funzione della magnitudo momento secondo l'equazione:  $N_c = (M - 4)^{2.17}$

$\varepsilon_{15} = \gamma \cdot \left( \frac{(N_1)_{60}}{20} \right)^{-1.2}$  è la deformazione volumetrica dopo 15 cicli di ampiezza  $\gamma$ ,

$(N_1)_{60}$  è il numero di colpi della prova SPT normalizzato alla pressione atmosferica, e  $\gamma$  è la deformazione di taglio media indotta dall'azione sismica.

Quest'ultima può essere determinata, in prima approssimazione, con la relazione empirica:

$$\gamma = 0.65 \cdot \frac{a_{\max}}{g} \cdot \sigma_{v0} \cdot r_d \cdot \frac{1}{G}$$

dove  $r_d = 1/[1+(z/30.5)^2]$  con  $z$  in metri.

$G$  è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo  $\gamma$ , che può essere determinato per via iterativa, noto il valore della rigidità iniziale  $G_0 (= \rho \cdot V_s^2)$ , utilizzando la legge di variazione  $G(\gamma)/G_0$  ottenuta con prove dinamiche in laboratorio o, in modo approssimato,

10

desunta da curve di letteratura per terreni con proprietà simili (si veda ad es. Figura 4 da AGI, 2005).

In alternativa la deformazione di taglio media indotta dall'azione sismica può essere stimata con la relazione empirica (Pradel, 1998):

$$\gamma = \left( \frac{1 + a \cdot e^b \cdot \frac{\tau_{\text{media}}}{G_0}}{1 + a} \right) \quad \text{in cui:} \quad \tau_{\text{media}} = 0.65 \cdot \frac{a_{\max}}{g} \cdot \sigma_{v0} \cdot r_d$$

dove  $r_d = 1/[1+(z/30.5)^2]$  ( $z$  in metri).

$G_0$  è il modulo di taglio iniziale, che può essere determinato con la relazione  $G_0 = \rho \cdot V_s^2$  o stimato in prima approssimazione con relazioni empiriche in funzione dei risultati di prove in sito (ad es. SPT, CPT, etc).

$$a = 0.0389 \cdot \left( \frac{p'_0}{p_a} \right) + 0.124$$

$$b = 6400 \cdot \left( \frac{p'_0}{p_a} \right)^{-0.6}$$

Ove  $p_a$  è la pressione atmosferica e  $p'_0$  è la pressione media efficace alla profondità considerata

$$p'_0 = \left( \frac{1 + 2k_0}{3} \right) \cdot \sigma'_{v0}$$

In mancanza di determinazione sperimentale si può assumere per il coefficiente di spinta a riposo  $k_0$  il valore 0.5.

### B3. Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni coesivi soffici

Nei depositi coesivi soffici ( $c_u \leq 70 \text{ kPa}$ ;  $V_s < 180 \text{ m/s}$ ) e plastici ( $I_p \geq 30\%$ ), in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali  $\frac{\Delta u}{p_0} \geq 0.3$  durante l'azione sismica di

riferimento, la deformazione volumetrica (e verticale) e quindi l'entità del cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto può essere stimata con l'equazione (Yasuhara e Andersen, 1991):

$$\varepsilon_v = \frac{\alpha \cdot C_r}{1 + e_0} \cdot \log \left( \frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{p_0}} \right) \quad \text{in cui}$$

$C_r$  è l'indice di ricomprensione, che si assume pari all'indice di rigonfiamento  $C_s$ , determinabile con prova edometrica,

$\alpha = 1.5$  è un coefficiente empirico che tiene conto della particolare storia di carico ciclico,

$e_0$  è l'indice dei vuoti naturale in sito dell'argilla,

$\frac{\Delta u}{p_0} = r_u$  è il rapporto fra l'incremento di pressione interstiziale indotta dallo scuotimento sismico e la tensione media efficace iniziale

11

Per la stima del rapporto di sovrappressione interstiziale può essere utilizzata la seguente relazione empirica (Matsui et al., 1980):

$$r_u = \frac{\Delta u}{p_0} = \beta \cdot \left[ \log \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_v} \right] \quad \text{in cui}$$

$\beta \cong 0.45$  è un coefficiente sperimentale,

$\gamma_{\max}$  è la deformazione di taglio massima in semplice ampiezza indotta dal terremoto, determinabile, in prima approssimazione, con la relazione empirica:

$$\gamma_{\max} = \frac{a_{\max s}}{g} \cdot \sigma_{v0} \cdot r_d \cdot \frac{1}{G} \quad \text{dove } r_d = 1 - 0.015z \text{ (z in metri)}$$

$G$  è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo  $\gamma_{\max}$ , che può essere determinato per via iterativa, noto il valore della rigidezza iniziale  $G_0 (= \rho \cdot V_s^2)$ , utilizzando la legge di variazione  $G(\gamma)/G_0$  ottenuta con prove dinamiche di laboratorio o, in modo approssimato, desunta da curve di letteratura per terreni con proprietà simili (si veda ad es. Figura 4 da AGI (2005))<sup>3</sup>.

$\gamma_v$  è la deformazione di soglia volumetrica, determinabile con prove dinamiche di laboratorio, o in prima approssimazione con la relazione empirica (Matsui et al. 1980):  $\gamma_v = A \cdot (\text{OCR} - 1) + B$  in cui OCR è il rapporto di sovraconsolidazione e A e B sono coefficienti sperimentali che, in assenza di determinazione diretta, possono essere stimati in funzione dell'indice di plasticità,  $I_p$  (Tabella 1).

Tabella 1 - Valori suggeriti per i coefficienti A e B

$I_p$ (%)	A	B
20	$0.4 \cdot 10^{-3}$	$0.6 \cdot 10^{-3}$
40	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$
55	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$



## 5.2 Misura del microtremore sismico

La metodologia di misura del microtremore sismico HVSR mediante strumentazione TROMINO®, permette la misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la stratigrafia superficiale e la  $V_s$ , come richiesto dalle normative antisismiche vigenti. L'elaborazione dei dati, acquisiti con tempi di registrazione di 14 min con una frequenza di campionamento di 128 Hz, permette di evidenziare, sottoforma di picchi nello spettro del rapporto H/V, i contrasti di impedenza tra litotipi a rigidità diversa che determinano possibili fenomeni di amplificazione delle onde sismiche.

### HVSR TROMINO – AMM. COM. MARANELLO – GORZANO, VIA CAPPELLA

Instrument: TEB-0634/01-21

Start recording: 31/10/2022 09:15:16 End recording: 31/10/2022 09:31:16

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down  
length: 0h16'00". Analyzed 75% trace (manual window selection)

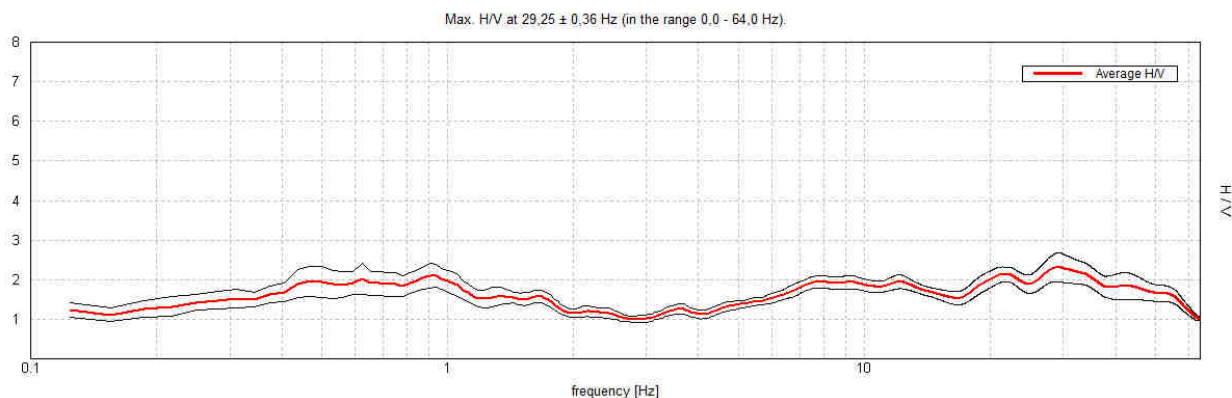
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

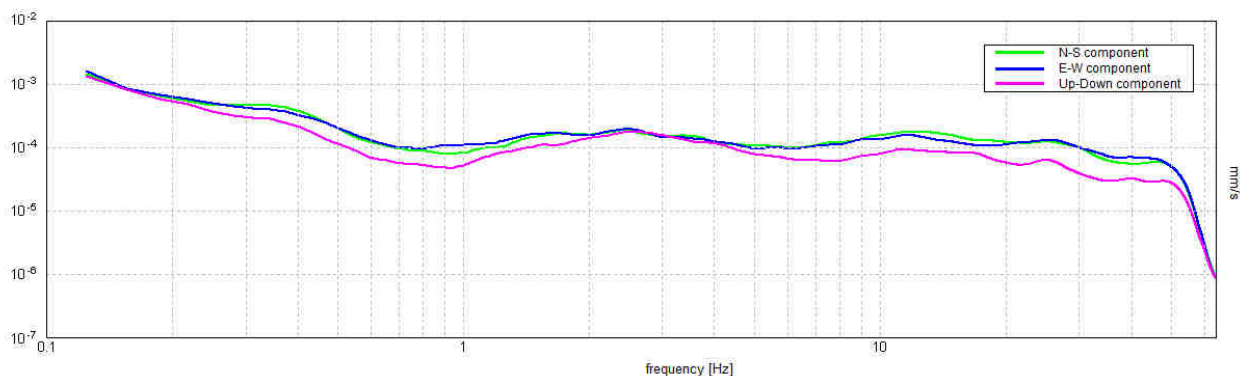
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

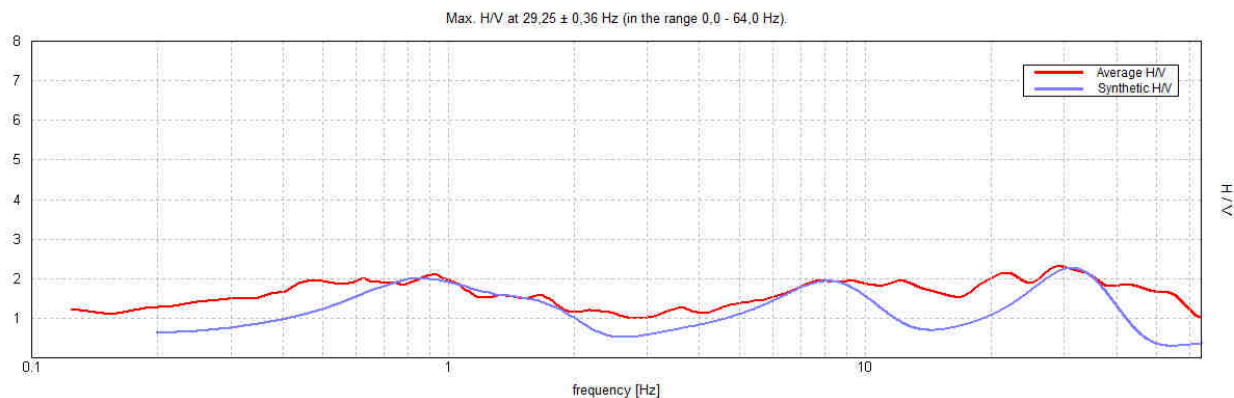
#### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE H/V



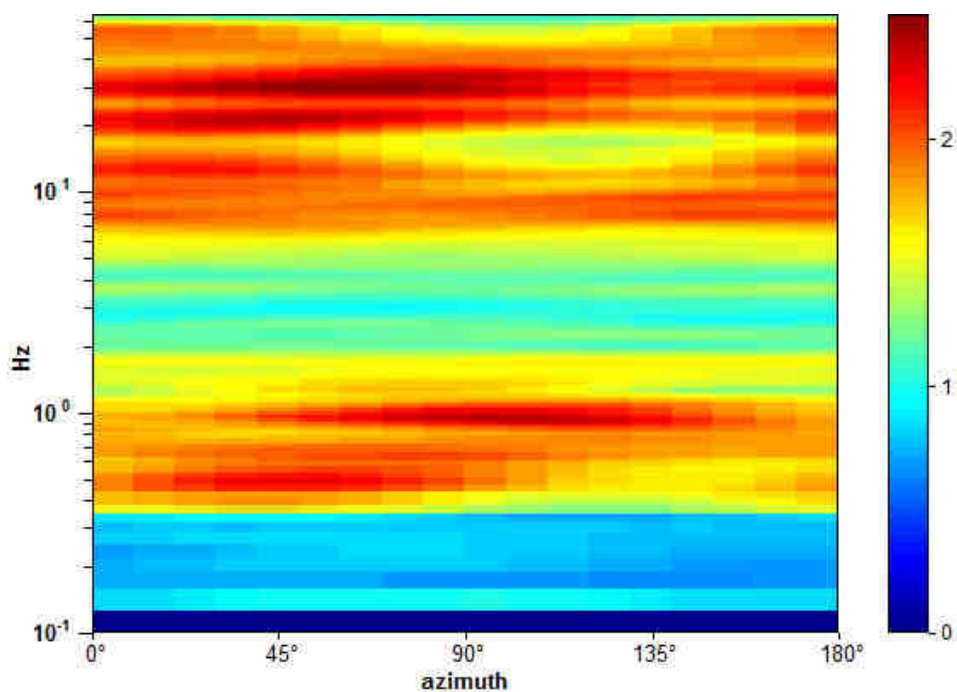
#### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

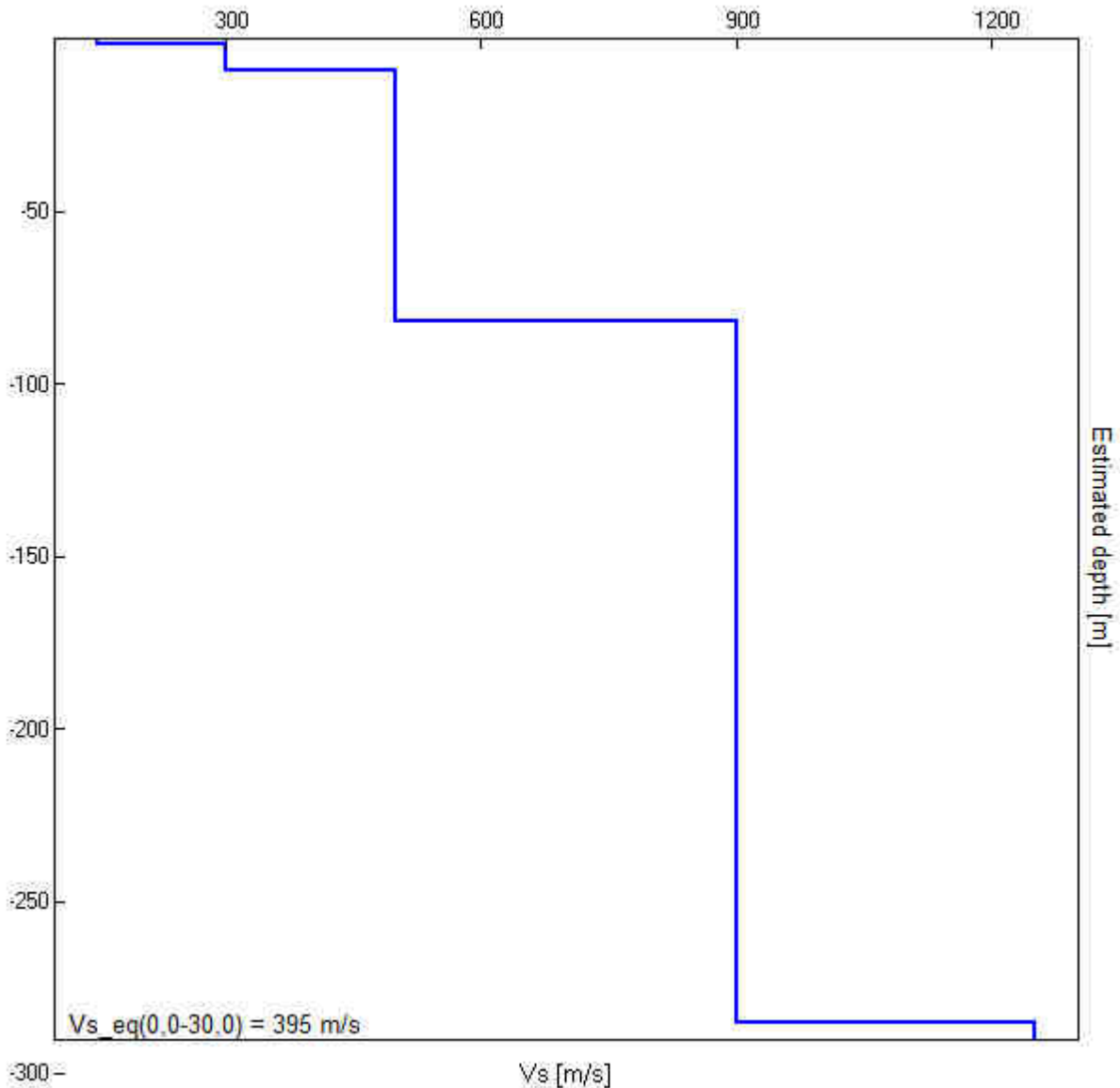


## DIRECTIONAL H/V



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1,20	1,20	150
9,00	7,80	300
82,00	73,00	500
285,00	203,00	900
inf.	inf.	1250

**Vs<sub>EQ-30</sub> = 395 m/s**



Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua una frequenza fondamentale di vibrazione del sito a circa 8 Hz, riconducibile al primo passaggio terreni limo argillosi/ghiaie a circa -9 m di profondità, come riscontrato anche dall'indagine geognostica.

[Interpretazione secondo le linee guida SESAME, 2005].

Criteria for a reliable H/V curve			
$f_0 > 10 / L_w$	$29,25 > 0,50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$21060,0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1405 times	OK	

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: v. W. Tabacchi n° 125 - 41123 Modena tel. 059/823020 mob. 339/8264394 e-mail precigeo55@gmail.com



Criteria for a clear H/V peak			
Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	60,781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2,31 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0,0123  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0,35979 < 1,4625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0,3651 < 1,58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

- $h_i$  - spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$  - velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- $N$  - numero di strati;
- $H$  - profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S30}$  ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

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

Determinata la velocità delle onde “S” dei vari strati, si ottiene il dato di  $V_{SEQ-30} = 395$  m/s, pertanto il substrato dell’area d’indagine è riconducibile alla categoria B che comprende “Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”.

### 5.3 Azione Sismica

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell’azione sismica l’obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali.

Tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali, che sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

- $a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica,

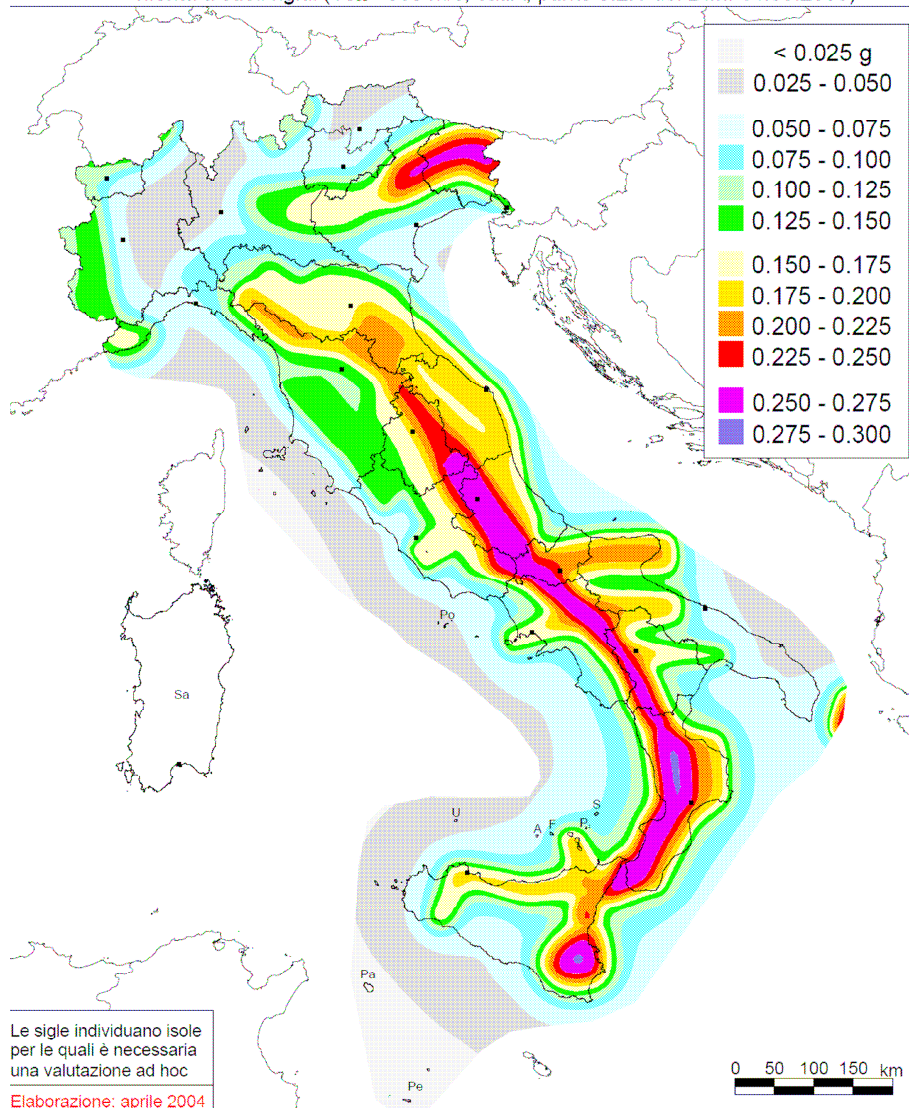
$F_0$  e  $T_C^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.


**ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA**
**Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale**

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

 riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)


Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare la vita di riferimento VR della costruzione, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche. La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

<b>Vita nominale per diversi tipi di opere - TIPI DI COSTRUZIONE</b>	<b>Vita Nominale</b>
Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10 anni
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50 anni
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100 anni



In presenza di azioni sismiche le costruzioni sono suddivise in classi d'uso:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", 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.

CLASSE D'USO			
I	II	III	IV
Coefficiente d'uso Cu			
0.7	1	1.5	2

Di seguito vengono riportati i dati sismici e i grafici degli spettri elastici SLU, ottenuti in relazione alle caratteristiche dell'opera considerata per un terreno di tipo B.

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

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

#### Sito in esame

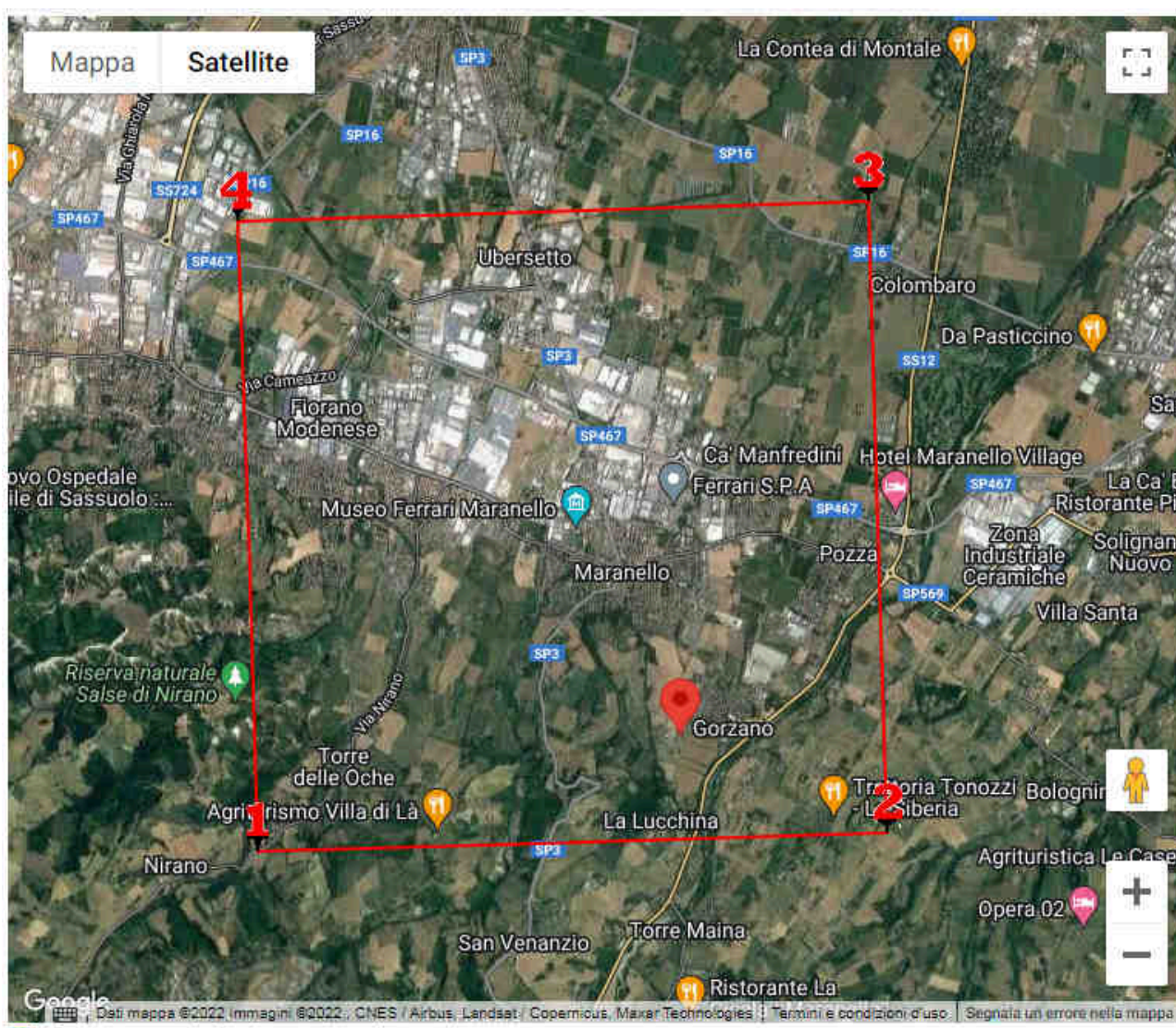
latitudine ED50 44,514172  
 longitudine ED50: 10,874122

latitudine WGS84: 44.513229  
 longitudine WGS84: 10.873118

#### Siti di riferimento

Sito 1	ID: 16723	Lat: 44,5050	Lon: 10,8272	Distanza: 3855,421
Sito 2	ID: 16724	Lat: 44,5066	Lon: 10,8973	Distanza: 2021,291
Sito 3	ID: 16502	Lat: 44,5565	Lon: 10,8952	Distanza: 4996,462
Sito 4	ID: 16501	Lat: 44,5550	Lon: 10,8250	Distanza: 5979,966

Coordinate geografiche del punto - tipo di interpolazione: media ponderata



#### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B  
 Categoria topografica: T1  
 Periodo di riferimento: 50 anni  
 Coefficiente cu: 1

#### Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
 Tr: 30 [anni]  
 ag: 0,053 g  
 Fo: 2,487  
 Tc\*: 0,253 [s]

#### Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
 Tr: 50 [anni]  
 ag: 0,065 g  
 Fo: 2,495  
 Tc\*: 0,266 [s]

## Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,163	g
Fo:	2,394	
Tc*:	0,290	[s]

## Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,205	g
Fo:	2,403	
Tc*:	0,302	[s]

## Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

## SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,450
St:	1,000
Kh:	0,013
Kv:	0,006
Amax:	0,618
Beta:	0,200

## SLD:

Ss:	1,200
Cc:	1,430
St:	1,000
Kh:	0,016
Kv:	0,008
Amax:	0,768
Beta:	0,200

## SLV:

Ss:	1,200
Cc:	1,410
St:	1,000
Kh:	0,047
Kv:	0,023
Amax:	1,916
Beta:	0,240

## SLC:

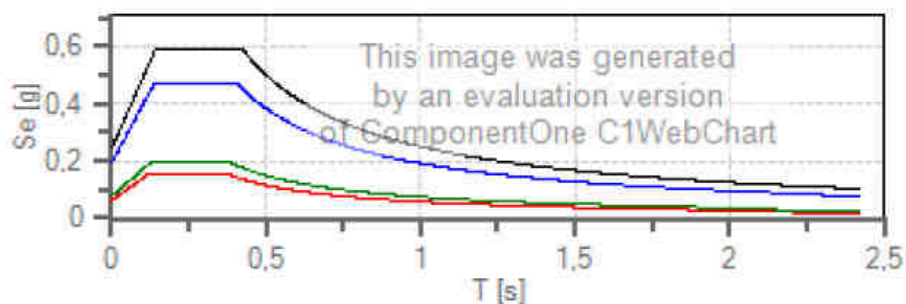
Ss:	1,200
Cc:	1,400
St:	1,000
Kh:	0,069
Kv:	0,034
Amax:	2,411
Beta:	0,280



**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali**

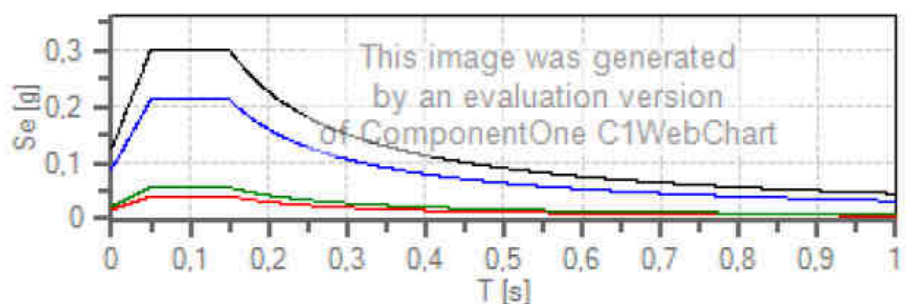
Coefficiente di smorzamento viscoso = 5 %

Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000

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

— SLO  
— SLD  
— SLV  
— SLC

	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,053	2,487	0,253	1,200	1,450	1,000	1,200	1,000	0,122	0,367	1,810
SLD	1	0,065	2,495	0,266	1,200	1,430	1,000	1,200	1,000	0,127	0,381	1,861
SLV	1	0,163	2,394	0,290	1,200	1,410	1,000	1,200	1,000	0,136	0,409	2,251
SLC	1	0,205	2,403	0,302	1,200	1,400	1,000	1,200	1,000	0,141	0,423	2,420

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

— SLO  
— SLD  
— SLV  
— SLC

	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,053	2,487	0,253	1,000	1,450	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,065	2,495	0,266	1,000	1,430	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,163	2,394	0,290	1,000	1,410	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,205	2,403	0,302	1,000	1,400	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

In base alla normativa vigente, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 476/2021:

MARGINE di tipo B: caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini;

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5
SA2	2,6	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7
SA3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1
SA4	3,0	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), **SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ) e **SA4** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1	2,0
SI3	3,3	3,1	2,7	2,4	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ), **SI3** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

Considerando la  $V_{SEQ}$  del sito pari a  $V_{SEQ-30} = 395$  m/s, si indicano per l'area in esame i seguenti valori per i fattori di amplificazione:

- F.A. P.G.A. = 1.5
- F.A. SA1 = 1.5; SA2 = 1.7; SA3 = 2.1; SA4 = 1.9
- F.A. SI 1 = 1.6; SI 2 = 2.0; SI 3 = 2.0

## 6. Considerazioni conclusive

La presente relazione ha studiato le caratteristiche terreni di un'area del Comune di Maranello, per un intervento di ristrutturazione di un fabbricato ad uso ricovero attrezzi agricoli.

Le indagini geognostiche e geofisiche hanno permesso di definire le caratteristiche geologiche e sismiche dei terreni dell'area in oggetto e trarre le seguenti conclusioni:

- la stratigrafia dell'area risulta piuttosto omogenea e costituita da terreni prevalentemente limo-argillosi da consistenti a molto consistenti, con rare intercalazioni di limi argilloso-sabbiosi mediamente addensati, che ricoprono orizzonti ghiaiosi a partire da -8.50/-9 m circa.
- Non è stata rilevata la presenza della prima falda libera superficiale nel foro di prova, che risulta asciutto. Si possono comunque verificare escursioni del livello piezometrico in senso positivo o negativo, legate alla normale variabilità stagionale o a eventi meteorici eccezionali (ottobre 2022).

- Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica e con le ipotesi considerate, la verifica effettuata non evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità (quindi  $LPI = 0$ ). In assenza di litotipi incoerenti saturi come nel caso in esame, il fenomeno della liquefacibilità non sussiste.
- Dall'elaborazione della registrazione del microtremore sismico HVSR, nel grafico H/V si individua una frequenza fondamentale di vibrazione del sito a circa 8 Hz, riconducibile al primo passaggio terreni limo argillosi/ghiaie a circa -9 m di profondità, come riscontrato anche dall'indagine geognostica.
- In relazione alla classificazione sismica l'area rientra in zona 2 e il profilo stratigrafico del terreno è riconducibile alla categoria B che comprende "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s".

Da quanto sopra riportato, si ritengono sufficientemente documentate le condizioni geologiche geotecniche e sismiche del sito in esame, ai sensi del DM 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni.

## ALLEGATI

### A. Elaborati delle indagini geognostiche

Modena, 2 novembre 2022

dott. geol. Claudio Preci

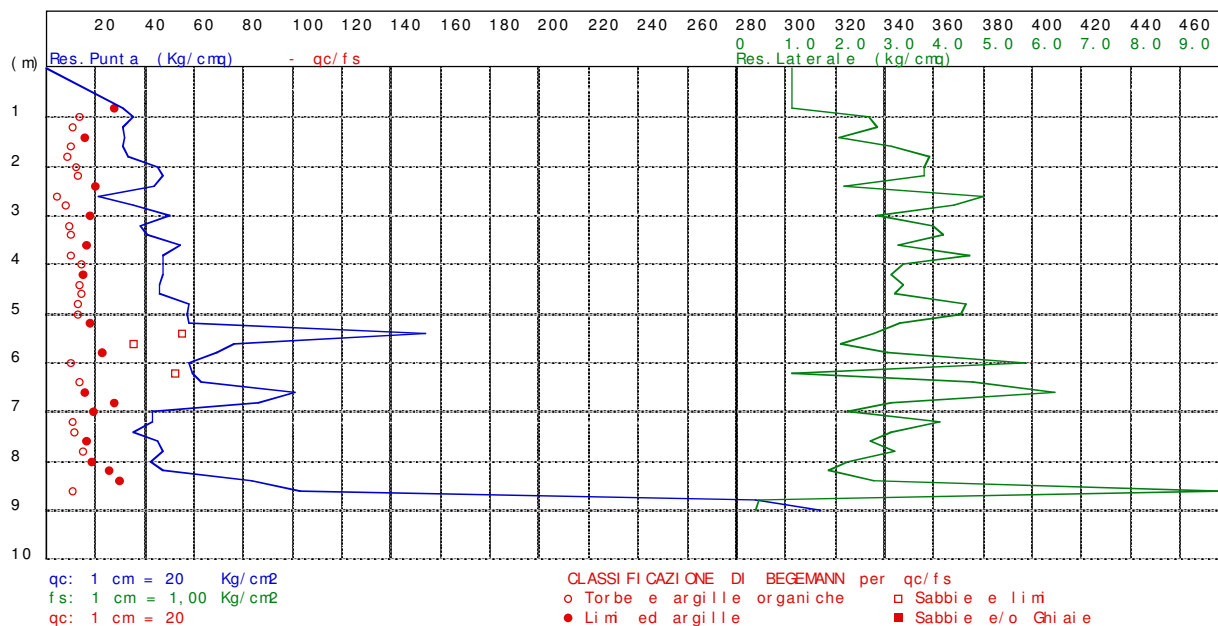


ELABORATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

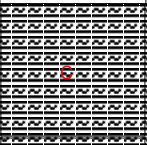
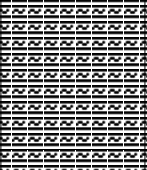
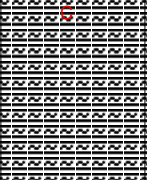



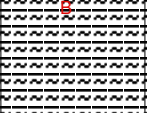


ALLEGATO **A**



CPT n°1 data: 31/10/2022 elaborato n°555  
 Cantiere: v. Cappella - Maranello  
 Committente: Comune di Maranello



CPT n°1 data: 31/10/2022 elaborato n°555  
 Cantiere: v. Cappella - Maranello  
 Committente: Comune di Maranello

Prof m	Strati	Tipologia	Gamma kg/m³	Gamma' kg/m³	Si gma' V kg/cm²	CU kg/cm²	FI °	DR %	Mv cm²/Kg	K oriz Kg/cm³	Per m cm/sec
1.80		Argilla limosa consistente	1926	1926	0.347	1.572	29	0	0.006294	3.1778	1.1e-4
		Argilla limosa molto consistente									
			1981	1981	1.020	2.246	26	0	0.004353	4.5941	4.4e-4
5.20		Lim argilloso-sabbioso addensato									
			2070	2070	1.227	4.099	28	0	0.004006	5.5467	3.7e-3
6.20		Lim argilloso molto consistente									
			2024	2024	1.713	2.989	24	0	0.005420	4.1000	1.9e-4
8.60											
9.00		Ghiaia mediamente addensata	1800	1800	1.785	0.000	28	95	0.002215	15.0500	7.9e-1

RELAZIONE TECNICA

CPT n°1 data: 31/10/2022 elaborato n°555  
 Cantiere: v. Cappella - Maranello  
 Committente: Comune di Maranello

Livello di falda inferiore alla profondità raggiunta

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.80	31.00	1.13	27.35
1.00	35.00	2.67	13.13
1.20	31.00	2.87	10.81
1.40	32.00	2.07	15.48
1.60	31.00	3.13	9.89
1.80	33.00	3.93	8.39
2.00	45.00	3.80	11.84
2.20	47.00	3.80	12.37
2.40	44.00	2.20	20.00
2.60	21.00	5.00	4.20
2.80	35.00	4.40	7.95
3.00	50.00	2.87	17.44
3.20	38.00	4.00	9.50
3.40	41.00	4.20	9.76
3.60	54.00	3.27	16.53
3.80	47.00	4.73	9.93
4.00	47.00	3.40	13.82
4.20	47.00	3.13	15.00
4.40	46.00	3.40	13.53
4.60	46.00	3.20	14.38
4.80	58.00	4.67	12.43
5.00	57.00	4.53	12.57
5.20	58.00	3.33	17.40
5.40	154.00	2.80	55.00
5.60	76.00	2.13	35.63
5.80	69.00	3.07	22.50
6.00	58.00	5.87	9.89
6.20	59.00	1.13	52.06
6.40	63.00	4.80	13.13
6.60	101.00	6.47	15.62
6.80	86.00	3.13	27.45
7.00	43.00	2.27	18.97
7.20	43.00	4.13	10.40
7.40	35.00	3.13	11.17
7.60	45.00	2.73	16.46
7.80	47.00	3.20	14.69
8.00	42.00	2.27	18.53
8.20	47.00	1.87	25.18
8.40	83.00	2.80	29.64
8.60	103.00	9.80	10.51
8.80	288.00	0.47	617.14
9.00	314.00	0.40	785.00

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: v. W. Tabacchi n° 125 - 41123 Modena tel. 059/823020 mob. 339/8264394 e-mail precigeo55@gmail.com



