

REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI MODENA  
COMUNE DI CARPI

## RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

ai sensi del 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; DGR RER n. 1677 del 24/10/2005; DGR 2193/2015; DGR 630/2019;  
DM 17/01/2018 Norme Tecniche per le costruzioni;

### Progetto

REALIZZAZIONE DI UN NUOVO FABBRICATO AD USO DEPOSITO  
(MAGAZZINO ROBOTIZZATO) E IMPIANTO AGROALIMENTARE

### Localita'

SANTA CROCE - VIA CARROBBIO

### Committente

DENIMMOBILIARE SRL

### Tecnico incaricato

DOTT. GEOL. CLAUDIO PRECI



### Data

NOVEMBRE 2020

Studio Preci  
Geologia, Geotecnica, Geofisica, Idrogeologia, Ambiente  
Via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena  
Tel: 059.823020 - Cell: 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>13</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>23</b>
5.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti.....	30
5.2 Misura del microtremore sismico.....	33
5.3 Azione Sismica.....	37
<b>6. Considerazioni conclusive.....</b>	<b>43</b>
<b>Allegato A - Elaborati delle indagini geognostiche.....</b>	<b>44</b>

## 1. Premessa

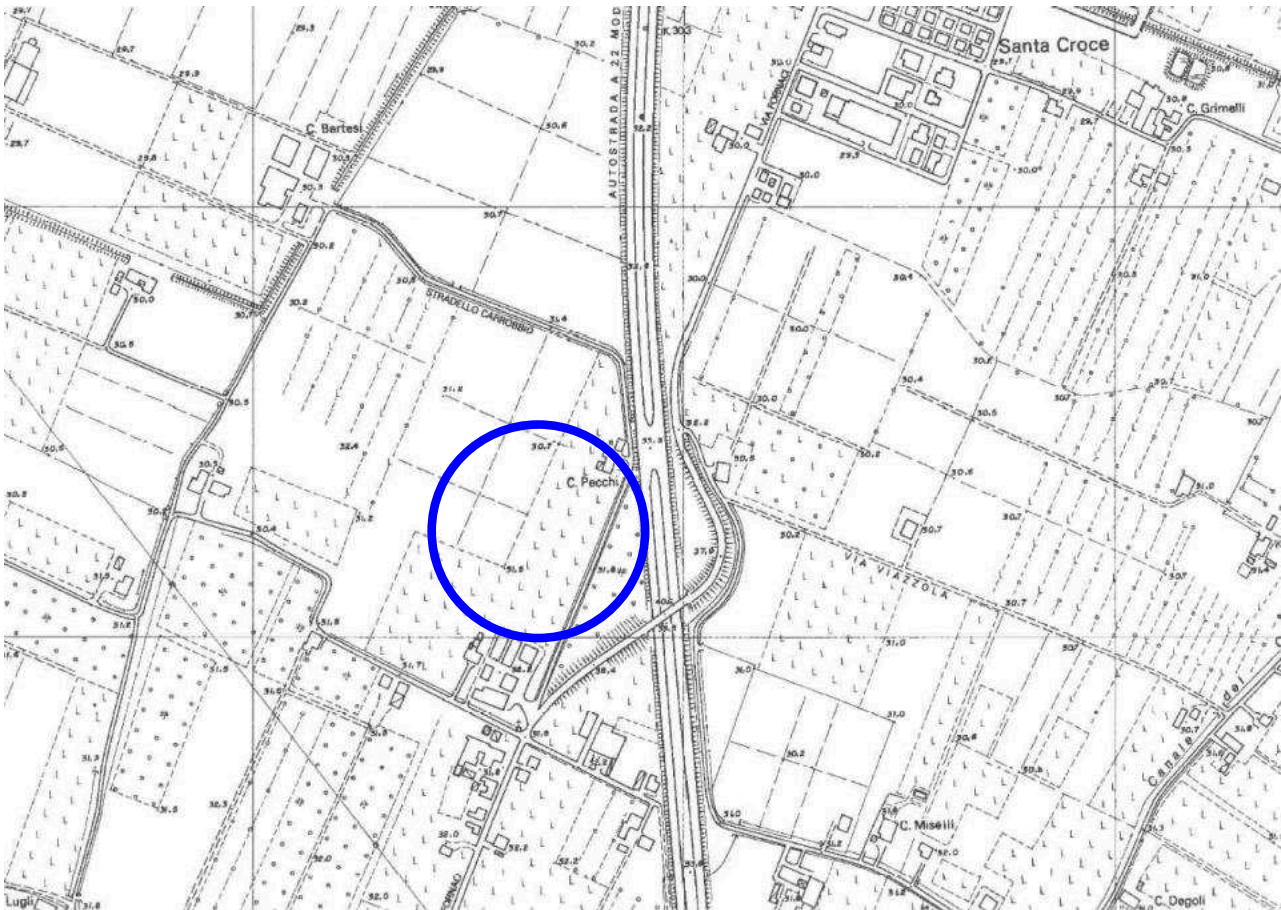
La presente relazione è stata eseguita per conto della committenza al fine di verificare le caratteristiche dei terreni di un'area del Comune di Carpi, per la realizzazione di un nuovo fabbricato ad uso deposito (magazzino robotizzato) e impianto agroalimentare presso il sito aziendale "De Nigris".



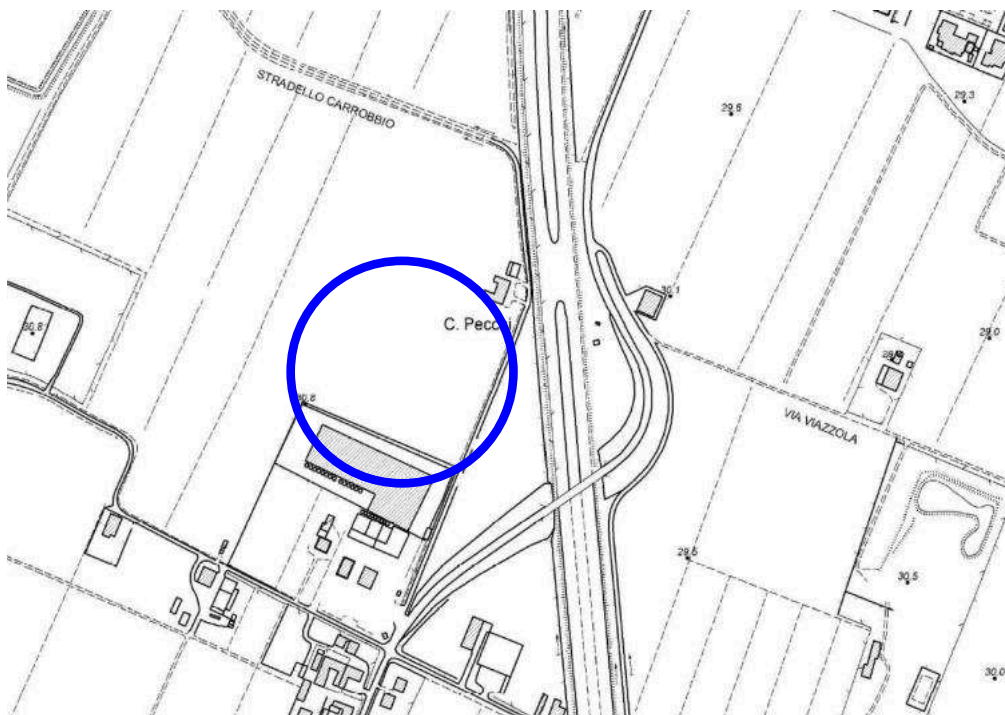
Secondo il DM 17/01/2018 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni, le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. Nella presente relazione vengono riportate la modellazione geologica e sismica dell'area in 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;
- DM 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni (Testo aggiornato delle NTC; sostituiscono quelle approvate con il decreto ministeriale 14 gennaio 2008);
- 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 a ovest della frazione di Santa Croce presso il sito produttivo aziendale "De Nigris", in via Carrobbio a una quota media di 31.5 m slm. Nell'archivio cartografico della Regione Emilia Romagna è rappresentata nella Carta Topografica a scala 1:25'000 nella Tavola 201 NE "Carpi" e nei CTR a scala 1:5'000 nell'elemento n. 201033 "S. Croce".



dott. Claudio Preci geologo

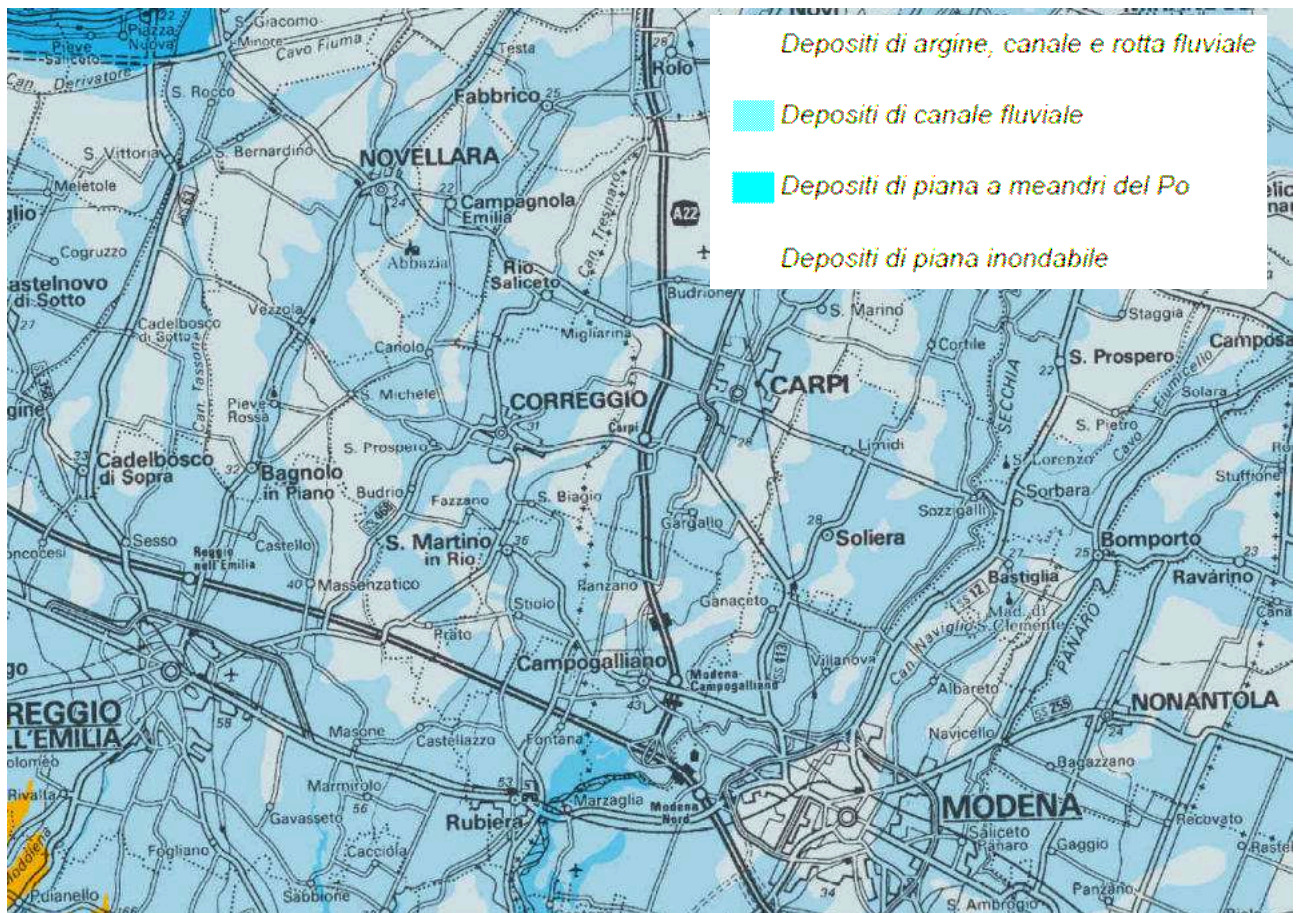
Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel. 059/823020 - cell. 339/8264394 - e-mail precigeo55@gmail.com

## 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.

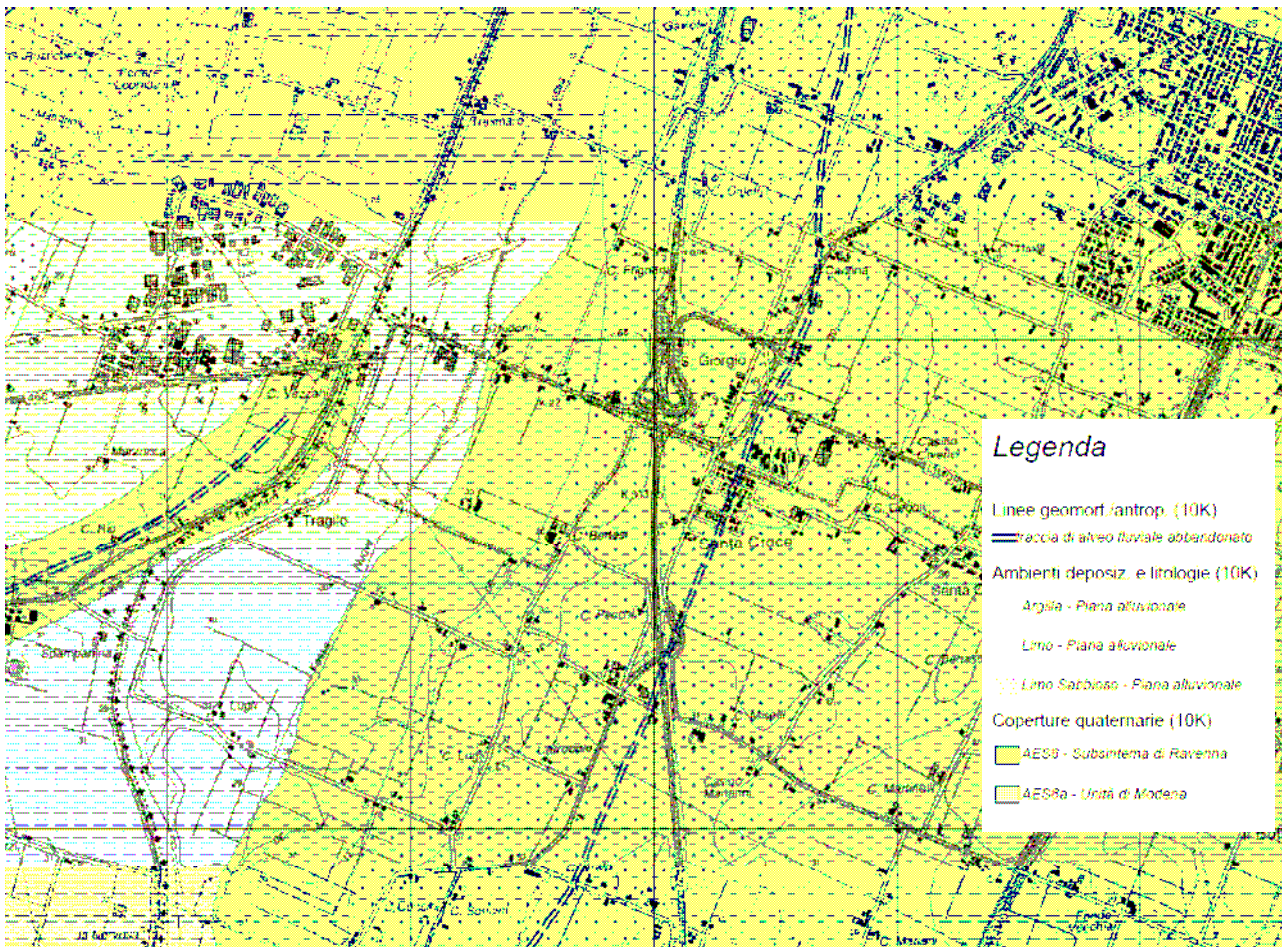
La Pianura Padana nel suo complesso costituisce un grande bacino sedimentario che, sin dal mesozoico, è stato caratterizzato da una notevole subsidenza con grande accumulo di sedimenti, raggiungendo i massimi apporti nel pliocene e nel quaternario, prima con sedimentazione marina e successivamente, dal 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.



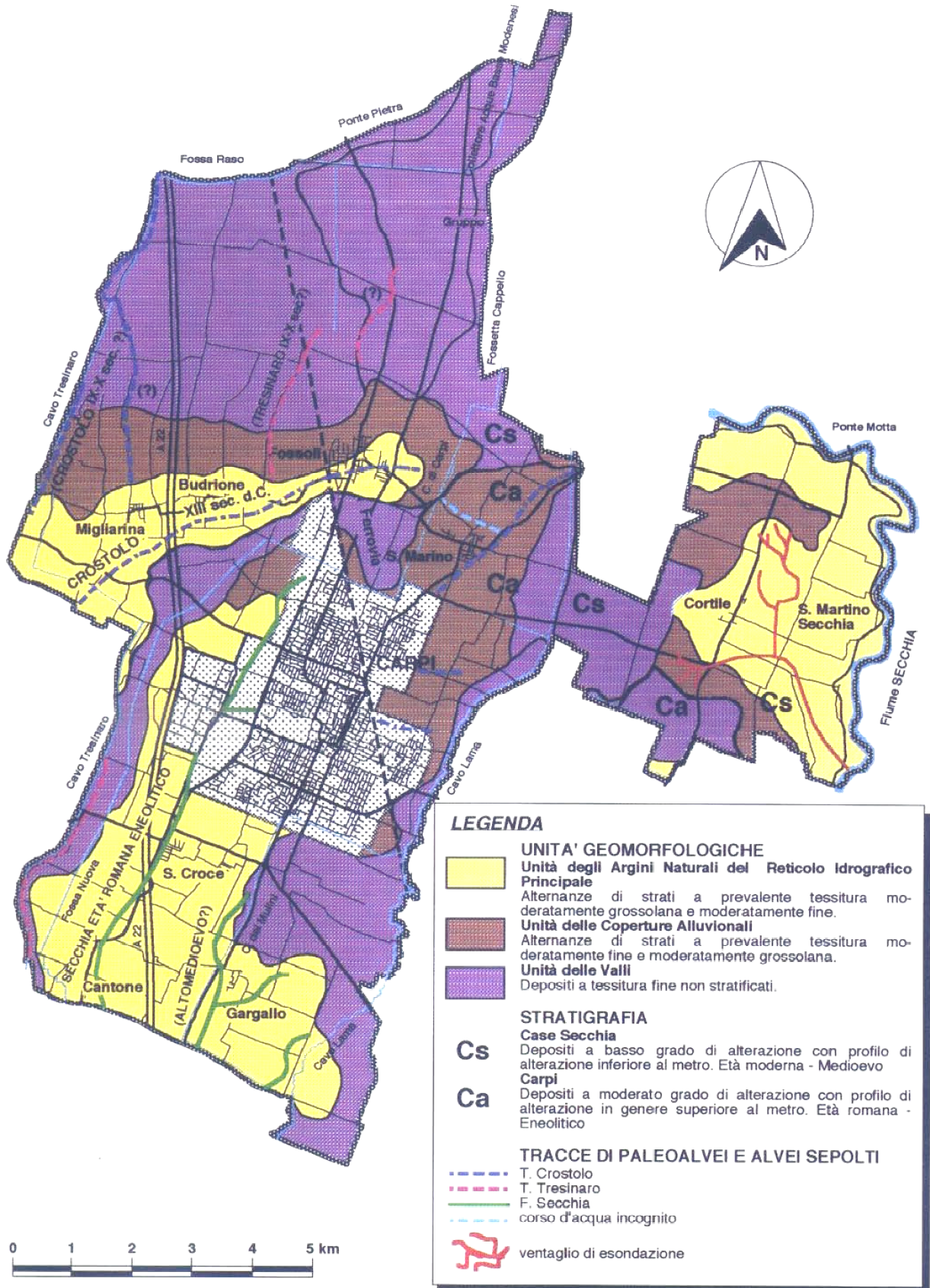
All'interno della pianura alluvionale sono state distinte, sulla base di sequenze litostratigrafiche tipiche determinate dalle stratigrafie dei pozzi idrici, due macro-ambienti deposizionali: la piana pedemontana, contraddistinta da depositi a sequenze prevalentemente grossolane (ghiaie) e la piana alluvionale vera e propria, caratterizzata da sequenze generalmente fini (sabbie, limi, argille). 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 e da sabbie e limi nella bassa. Litotipi argillosi, anche torbe e argille organiche, si ritrovano invece nelle aree depresse della bassa pianura, occupate in passato da zone paludose, poi oggetto di numerosi interventi di bonifica che hanno richiesto la creazione della fitta rete di scoli artificiali in uso tuttora.

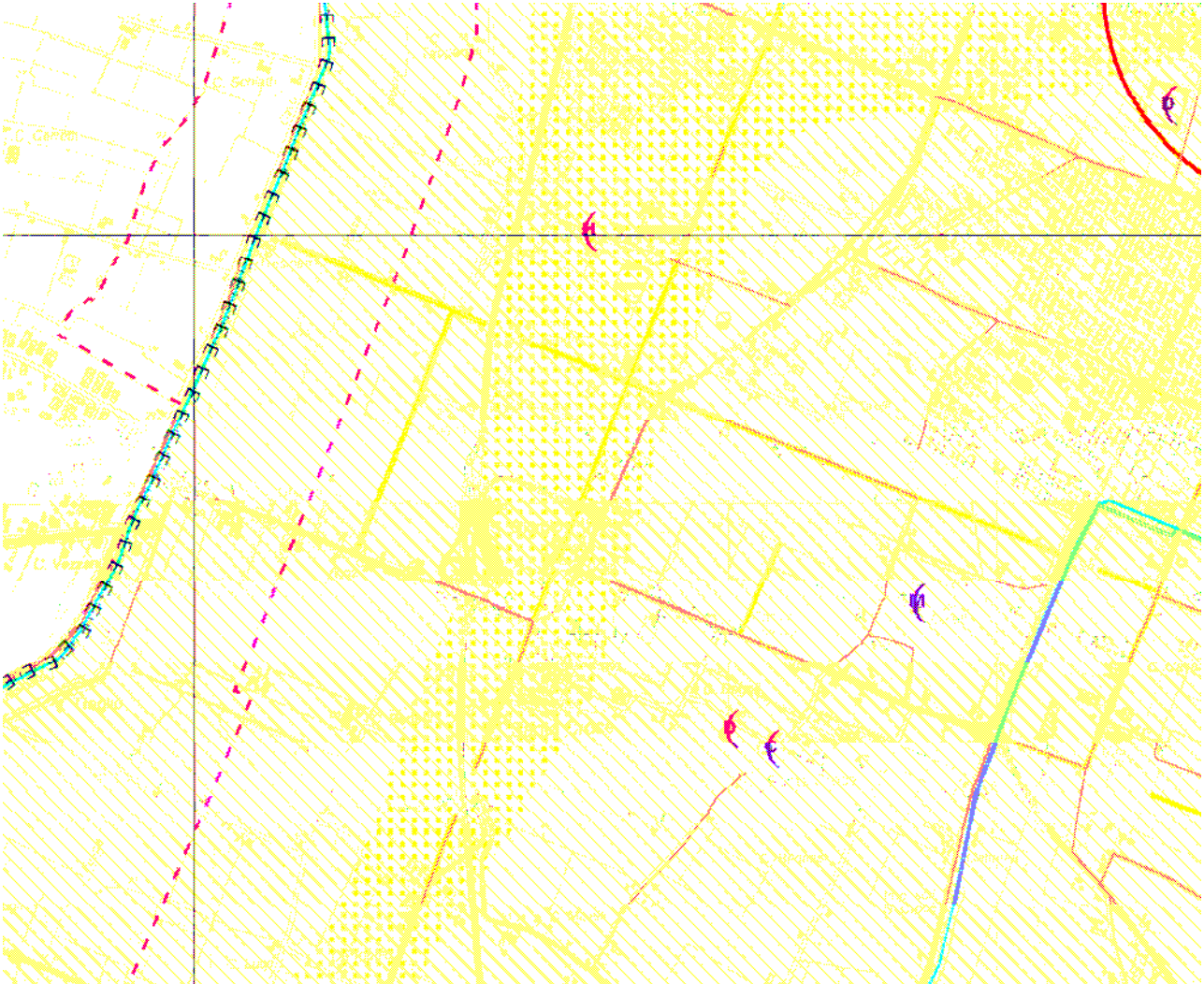
L'area di Carpi dal punto di vista geologico appartiene alla medio-bassa pianura ed è caratterizzata in superficie da sedimenti di epoca recente, corrispondenti a depositi alluvionali come paleoalvei e ventagli di esondazione o palustri di piana alluvionale e costituiti da limi argillosi con intercalazioni di spessi livelli sabbiosi, che localmente possono essere sostituiti da sabbie grossolane miste a ghiaie, in corpi lenticolari nastriformi.



Alle rete naturale si affianca una rete idrografica di superficie artificiale, formata da un fitto e organizzato sistema di canali e fossi scolanti, che seguono prevalentemente una direzione nord-est nel senso della massima pendenza e garantiscono la regimazione delle acque superficiali e l'irrigazione della pianura mediante derivazioni dai principali corsi d'acqua. Gli elementi idraulici più importanti presenti nel territorio sono i torrenti Tresinaro e Crostolo, i canali di Santa Croce e Fossa Nuova, il Canale di Carpi e il Cavo Lama, il collettore principale della rete di bonifica delle Acque Basse Reggiane e ad est il fiume Secchia, che riveste una notevole importanza come recettore di scolo dell'intero quantitativo di acque del territorio comunale. I cavi minori presenti nel territorio, come d'altro canto la maggior parte di quelli della media e bassa pianura, vennero progettati e costruiti essenzialmente per il drenaggio delle aree paludose per scopi agricoli e a scopo irriguo; solo successivamente, in seguito allo sviluppo dell'urbanizzazione, divennero in alcuni casi anche luogo di recapito delle reti fognarie.



Sono presenti vari paleoalvei, attribuibili al torrente Crostolo e al fiume Secchia: i principali si diramano a partire dall'attuale corso del fiume Secchia nella zona di Campogalliano, con direzione prevalente verso nord e nord-est (cartografati con puntinato giallo nella Tavola 1.1.1 del PTCP).



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.

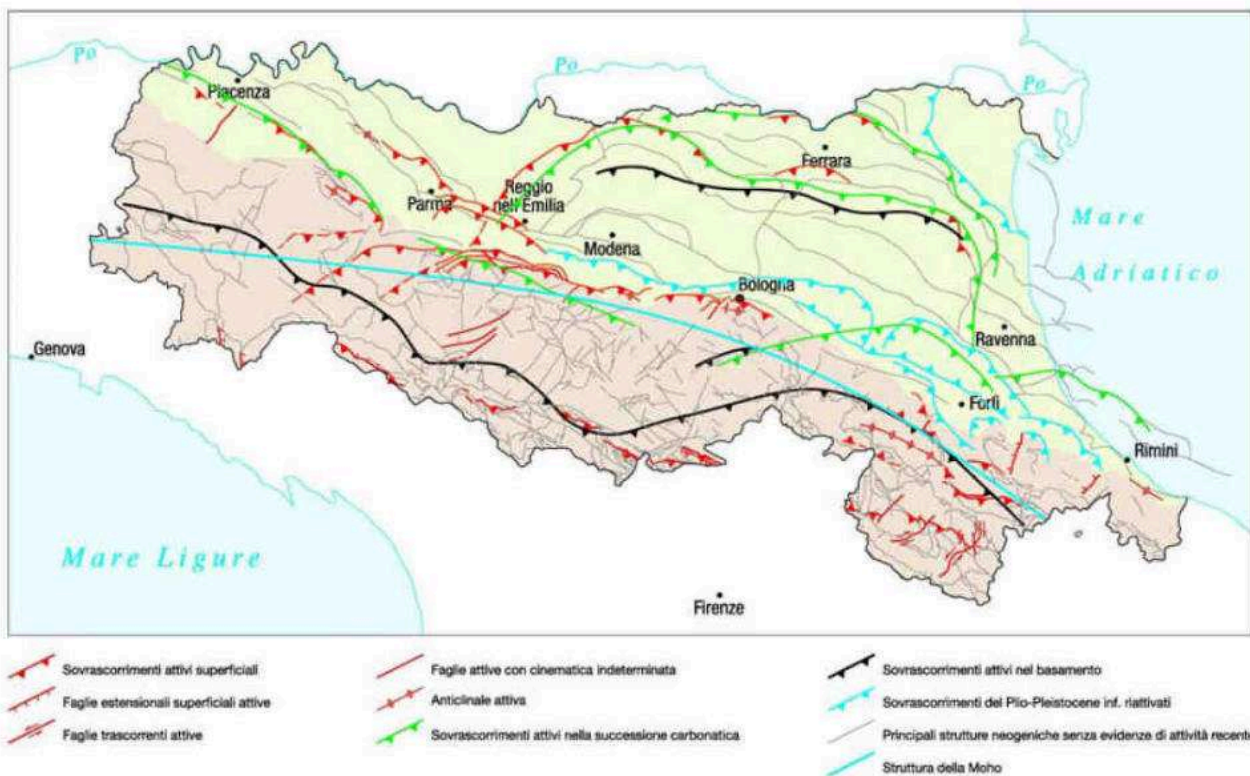
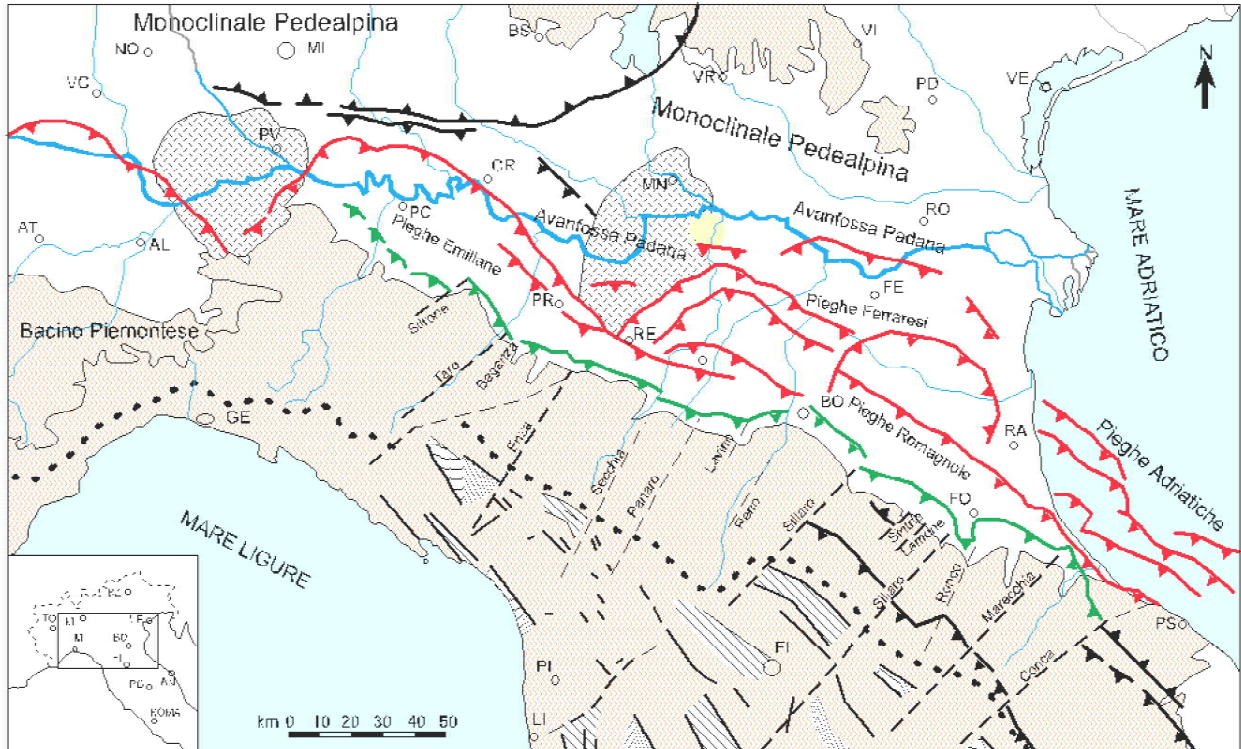


Figura 1 - Attività neotettonica in Emilia-Romagna (da: "Note illustrative - Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004)

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 (Pedeappenninic 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 precedenza 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.

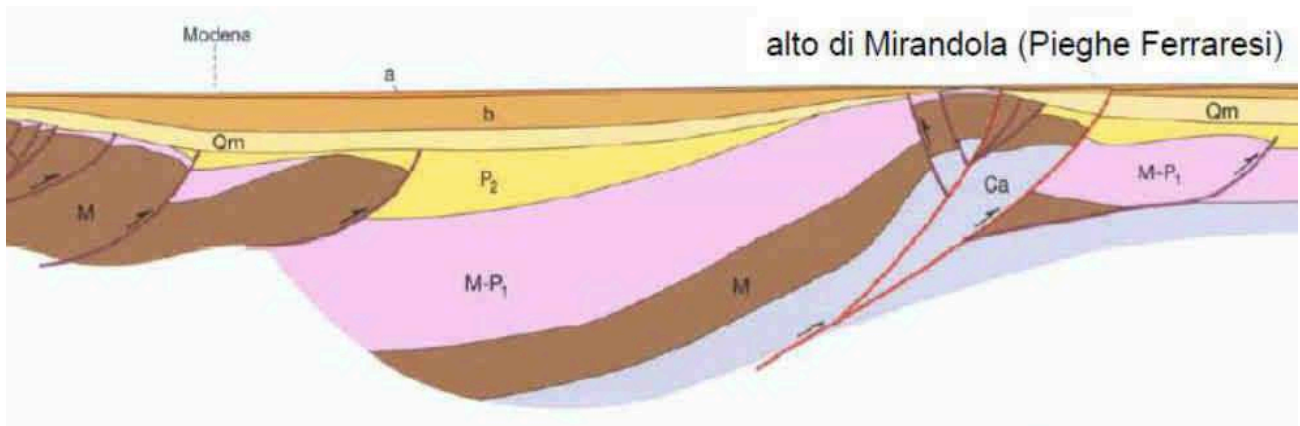
Il sottosuolo della pianura reggiana e modenese, appartiene in generale alla Regione delle Pieghe Padane, che formano l'Arco delle Pieghe Ferraresi e più a sud la fascia della Pieghe Romagnole ed Emiliane, che assumono una larghezza variabile, da più di 50 Km nell'Emilia orientale a 25 Km in quella occidentale 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.



- Massimo relativo dell'anomalia magnetica residua
- Spartiacque principale
- Comune di San Benedetto PO
- Depressioni tettoniche principali
- Faglie trasverse
- External Thrust Front
- Alpi ed Appennini
- Faglie dirette
- Pedeapenninic Thrust Front
- Sovrascorimenti (Thrusts)

- Pleistocene Medio-Olocene
- Miocene
- Succ. Plio-Pleistocenica
- Successione Carbonatica
- Messiniano Sup-Pliocene Inf
- Triassico Inf-Medio e Basamento



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-Novì-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.

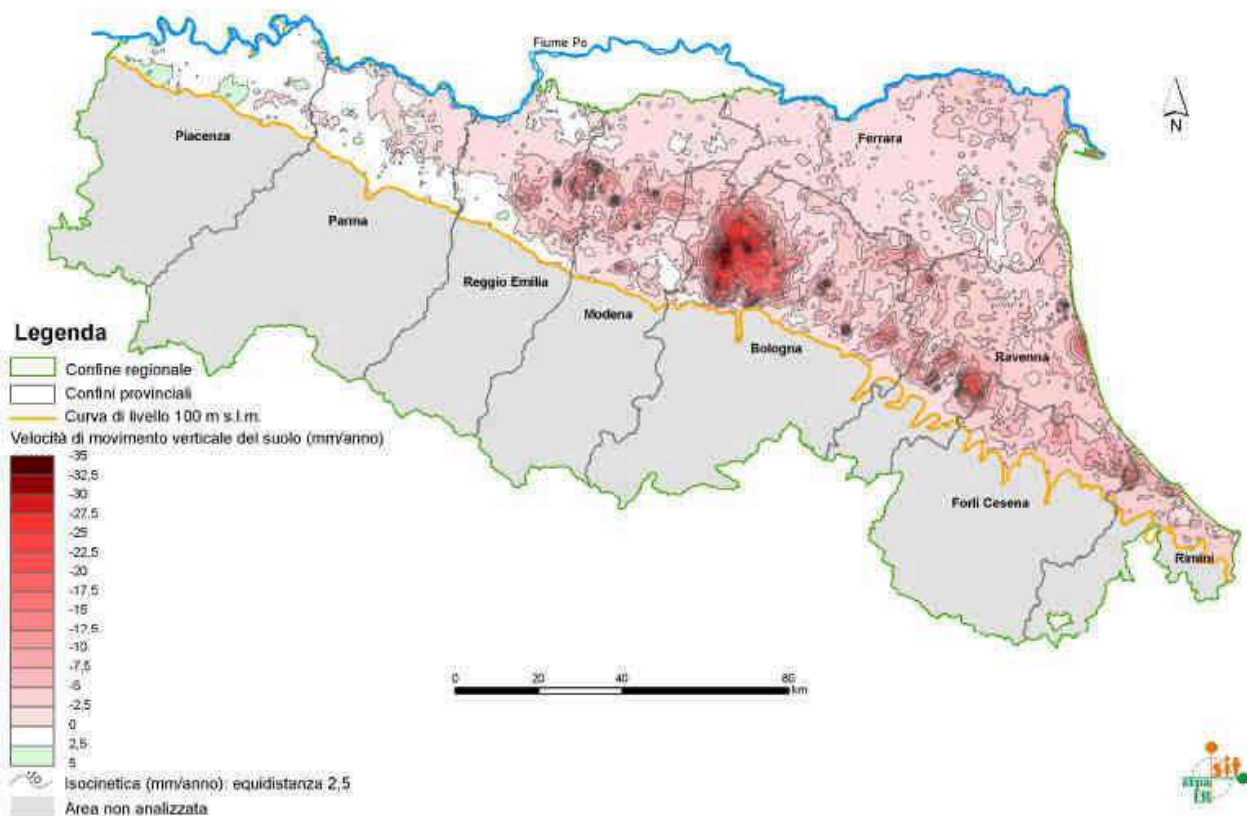
L'interazione tra le Pieghe Emiliane e la parte più esterna della Struttura di Bagnolo (rampa laterale delle Pieghe Ferraresi interne) ha manifestato influenze che hanno determinato sollevamenti negli ultimi  $0,45 \div 0,22$  Ma e con tutta probabilità anche in epoca storica, come suggeriscono la diversione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

La subsidenza è il fenomeno di abbassamento della superficie terrestre causato da cambiamenti che avvengono nel sottosuolo. A partire dal secondo dopoguerra è apparso chiaro che la Pianura Padana e, in particolare, quella emiliano romagnola, è soggetta a fenomeni estesi di subsidenza. Questo processo, che può avere cause sia naturali che artificiali, diviene un vero e proprio fattore di rischio quando l'abbassamento del terreno è particolarmente forte o quando la topografia è già depressa e vicina, o al di sotto, del livello del mare.

In generale per una pianura alluvionale come quella dell'Emilia-Romagna i valori di subsidenza naturali attesi sono dell'ordine di 0,1-0,3 cm/anno.

La Regione Emilia-Romagna ha realizzato tramite ARPA Emilia-Romagna e in collaborazione con il DISTART dell'Università di Bologna, la Rete Regionale di Controllo della Subsidenza a partire dalla fine degli anni '90.



Essa consta di una rete di linee di livellazione di alta precisione integrata con una rete di stazioni di misura GPS. A partire dal 2005 il monitoraggio della Regione ha inoltre beneficiato, di una tecnica di misura innovativa, l'Interferometria satellitare tipo SAR. Le carte dell'abbassamento del suolo in Emilia-Romagna mettono in luce le aree più critiche e le relazioni con i principali ambienti geologici della pianura, ovvero le conoidi alluvionali allo sbocco delle valli appenniniche, la pianura deltizia del Po e la costa emiliano romagnola, dove i tassi di subsidenza arrivano a 0,8-1,6 cm/anno. Arpa ha realizzato nel 2011-2012 il rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola, utilizzando la tecnica dell'analisi interferometrica di dati radar satellitari come per il precedente rilievo 2006, mediante anche un insieme di stazioni permanenti GPS presenti sul territorio regionale per la calibrazione dei dati interferometrici. Il risultato finale è costituito dalla nuova cartografia delle velocità di movimento verticale del suolo sull'intera area di pianura della regione, relativamente al periodo 2006-11 e 2011-2016. Dall'esame degli elaborati prodotti si evince che la gran parte del territorio di pianura della regione non presenta nel periodo 2006-2011 variazioni di tendenza rispetto al periodo 2002-2006. Circa un terzo della superficie evidenzia una riduzione della subsidenza e appena il 3% un incremento, presente in particolare nel Modenese, Bolognese, Ravennate e Forlivese.

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.

PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE				ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE		
AFFIORANTI		SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO	
QUATERNARIO CONTINENTALE	DILUVIUM p.p.	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE	UNITA' DI VILLA DEL BOSSO	UNITA' DI CA' DI SOLA	SUPER SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	UNITA' DI BORGIO PANIGALE	A	A1
								FORMAZIONE DI OLMATELLO
	TERRI ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	UNITA' DI VILLA DEL BOSSO	UNITA' DI BORGIO PANIGALE	A3				
	CRIZZONE DI FORREDOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' ALLUVIONALE INFERIORE	A4				
QUATERNARIO MARINO	MILAZZANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	SUPER SISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 2	UNITA' ALLUVIONALE INFERIORE	Pleistocene Medio	B	B1	
	MILAZZANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.		SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3				B2	
	CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTECICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2	B3					
	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1	B4					
	P2 FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPER SISTEMA DEL Pliocene MEDIO-SUPERIORE	PLIOCENE MEDIO SUPERIORE	C1				
P2	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPER SISTEMA DEL Pliocene MEDIO-SUPERIORE	PLIOCENE MEDIO SUPERIORE	PLIOCENE MEDIO SUPERIORE	Pliocene Medio - Superiore	C	C2	
							C3	
							C4	
							C5	
							ACQUITARDO BASALE	

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.

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 acquitardo o impermeabile di ciascuna Unità. Viene definito Acquitardo 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 pleistocenica delle Argille Azzurre e le peliti dei Pliocene intrappenninico.

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico delle acque sotterranee, in questa area il sistema acquifero corrisponde al sistema deposizionale della media pianura, formata dalle alluvioni dei corsi d'acqua appenninici, che si estende all'incirca fino ai comuni di Novellara e Novi ed è caratterizzata da limi argillosi e argille con intercalazione di lenti sabbiose. Più a nord subentra l'unità idrogeologica della bassa pianura, costituita dai depositi alluvionali del fiume Po e formata da spessi corpi sabbiosi intercalati a lenti limo-argillose.

Il limite inferiore dell'acquifero si individua invece al contatto fra i depositi e le argille Plioceniche che costituiscono il basamento della Pianura Padana e sono pressoché impermeabili. Dallo studio del moto della falda emergono l'elevata trasmissività delle aree di conoide, separate tra loro da marcate linee di drenaggio fluviale ed alimentate dai principali corsi d'acqua della pianura, generalmente fino al limite tra la media e la bassa pianura. Nella bassa pianura i depositi alluvionali sono caratterizzati da sequenze prevalentemente impermeabili con sottili intercalazioni sabbiose, a bassa trasmissività. Si tratta di depositi più fini che caratterizzano un settore meno ricco di risorse idriche sotterranee. Dai dati esistenti si nota che la superficie piezometrica si muove secondo una direzione di flusso di tipo appenninico, da sud a nord. Solo le falde più superficiali e corrispondenti alle aree topograficamente più elevate (dossi fluviali), sono attribuibili alle alluvioni dei fiumi appenninici.

Normalmente le acque superficiali, sfruttate mediante tipici pozzi a camicia, non presentano una caratterizzazione idrochimica individuabile e i valori sono notevolmente variabili e legati a situazioni idrogeologiche locali e ai tempi brevi di ricambio e permanenza nel suolo. La loro alimentazione deriva dagli apporti meteorici e dalle infiltrazioni dalla rete idrica superficiale e per questo la loro qualità ai fini idropotabili è scarsa. Gli studi petroliferi e idrogeologici hanno permesso di approfondire in modo sostanziale le conoscenze relative all'acquifero emiliano-

romagnolo, riconoscendo sulla verticale tre gruppi acquiferi (A-B-C) separati dall'interposizione di importanti acquitardi. Ciascun gruppo acquifero a sua volta viene suddiviso in diversi complessi acquiferi e acquitardi, secondo un modello di suddivisione gerarchico per ranghi decrescenti, sulla base della dimensione e dell'estensione areale dei corpi idrogeologici che li compongono. Le opere di presa esistenti interessano generalmente la porzione sommitale del gruppo acquifero A. In particolare sono attraversati il complesso acquifero A0 (superficiale), costituito dalle unità AES8a/AES8 (Unità di Modena e Subsistema di Ravenna) del Sistema Emiliano Romagnolo Superiore e il complesso acquifero A1.

I parametri idraulici caratteristici del Gruppo Acquifero A sono riassunti in "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna" (Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico dei Suoli, ENI - AGIP - 1998). Per le zone di Conoide e Pianura Alluvionale ad alimentazione appenninica, fascia Piacenza-Modena, si indicano i seguenti parametri:  $k_m = 10^{-3} - 10^{-5} \text{ m/s}$ ,  $S_{sm} = 10^{-4} - 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ ,  $n_e = 15 - 25\%$ .

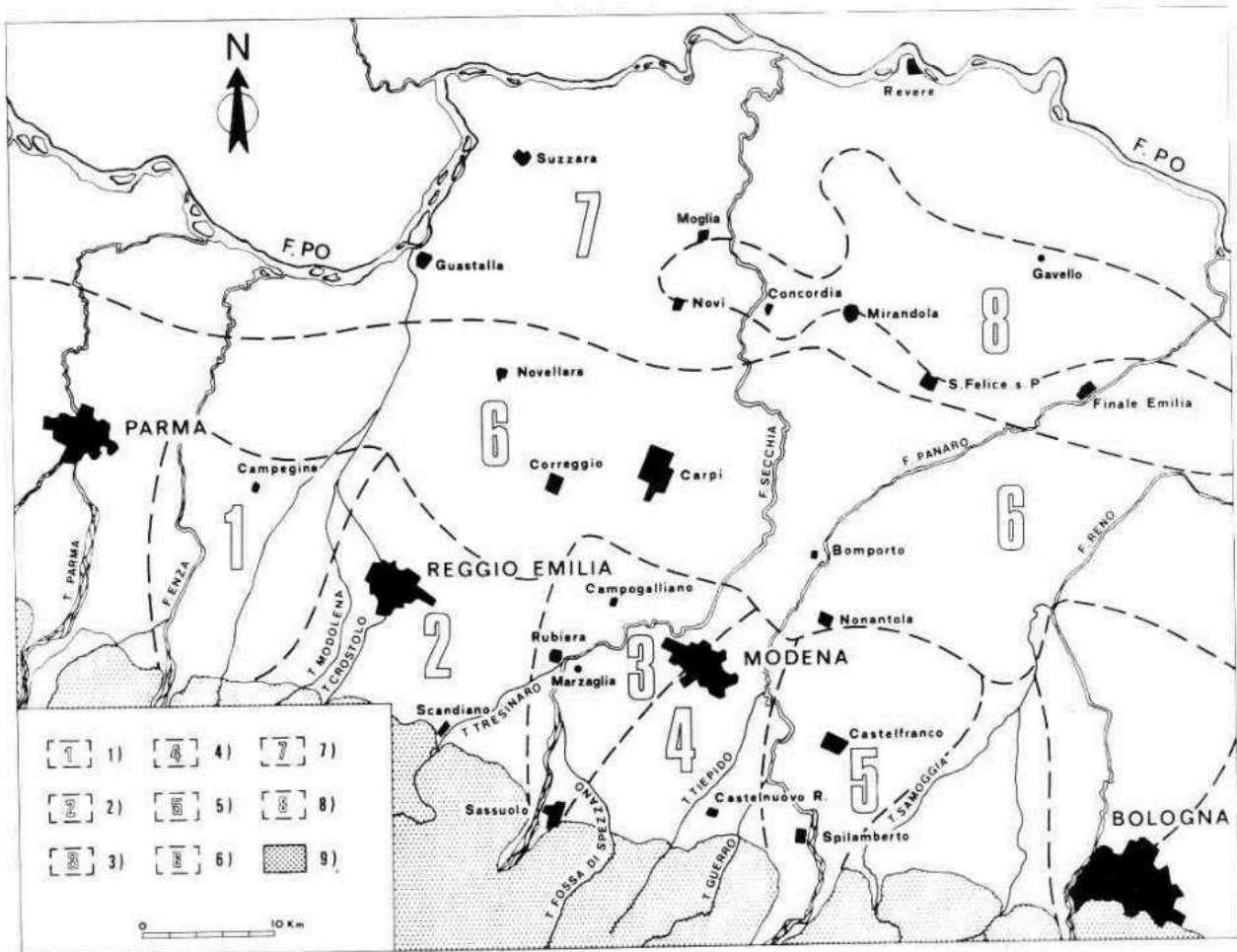


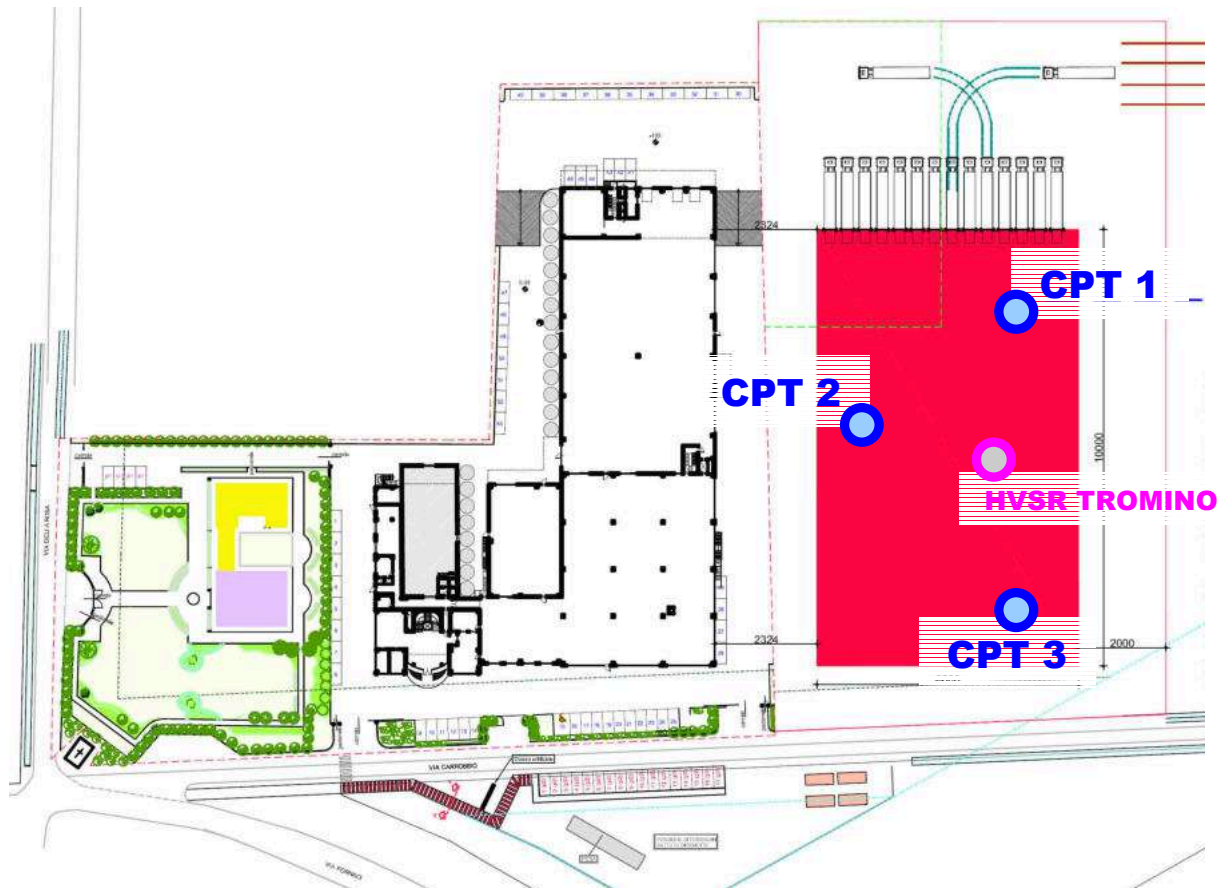
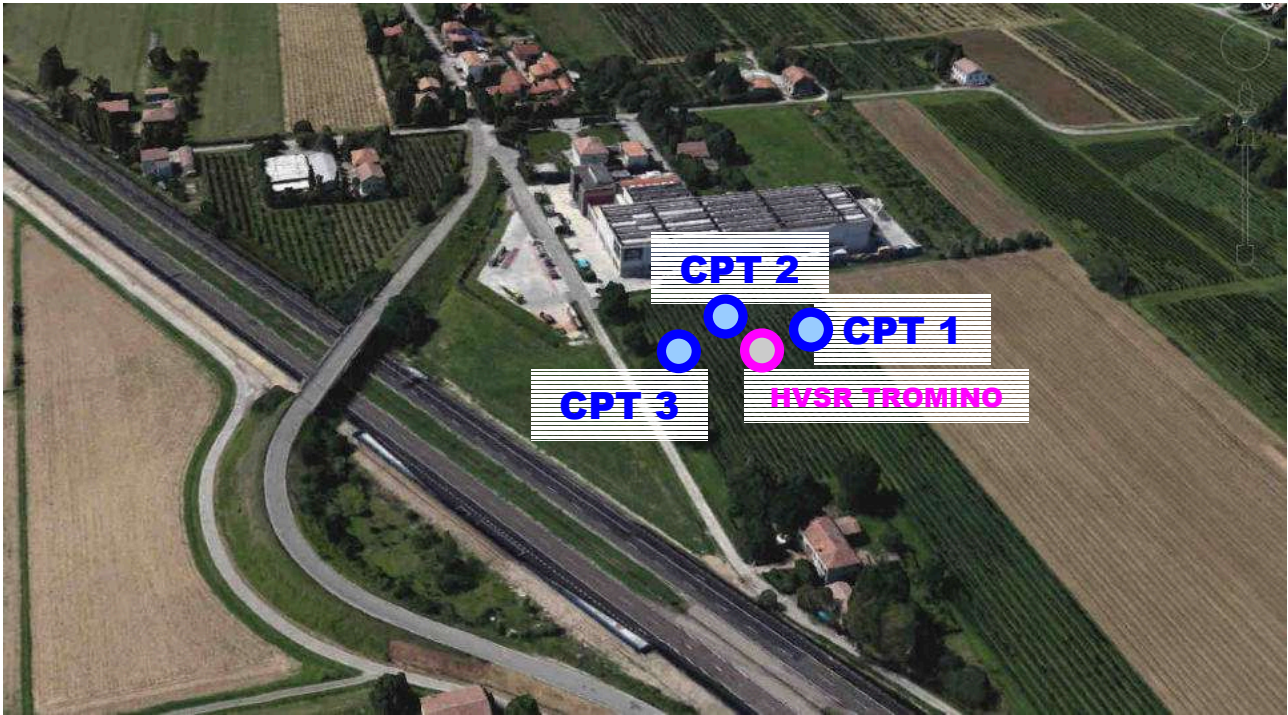
Fig. 1 - Carta indice dell'area studiata. Legenda: 1) conoide del F. Enza; 2) conoidi dei torrenti minori tra il F. Enza e il F. Secchia; 3) conoide del F. Secchia; 4) conoidi dei torrenti minori tra il F. Secchia e il F. Panaro; 5) conoide del F. Panaro; 6) settore di media pianura; 7) settore di bassa 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.

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

L'indagine geognostica di campagna per la caratterizzazione dei terreni è stata eseguita in data 02/11/2020 all'interno dell'area verde del fabbricato esistente, mediante n. 3 prove penetrometriche statiche CPT che hanno raggiunto la profondità massima di -26 m circa rispetto all'attuale piano campagna del terreno agricolo.

Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nei fori di prova, si attesta a una profondità di -2/-2.20 m dal piano campagna del terreno agricolo.

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.



dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel. 059/823020 - cell. 339/8264394 - e-mail precigeo55@gmail.com

### 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 "σ" 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 (Kp)

Questo parametro è determinato in base ai parametri di qc 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 dissipasi 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.

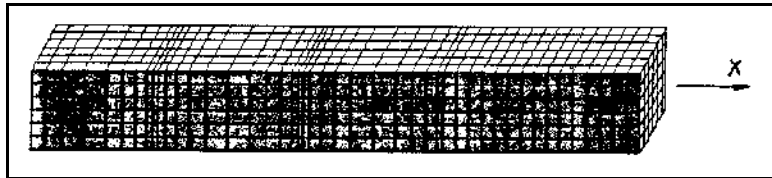


Figura 1

• 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.

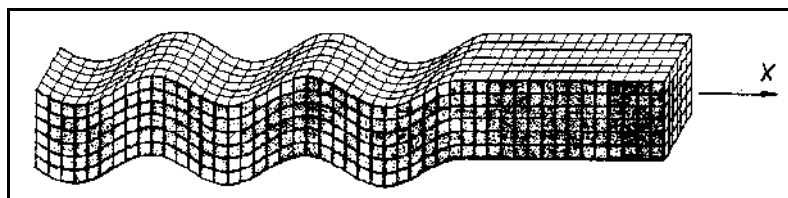


Figura 2

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 secondaria 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:

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

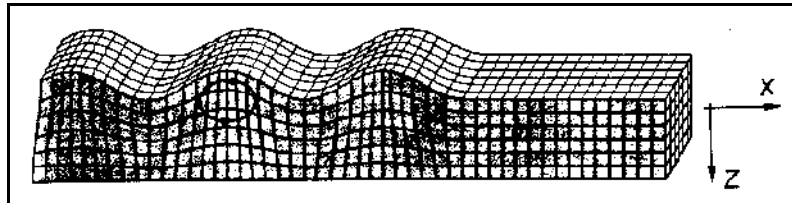
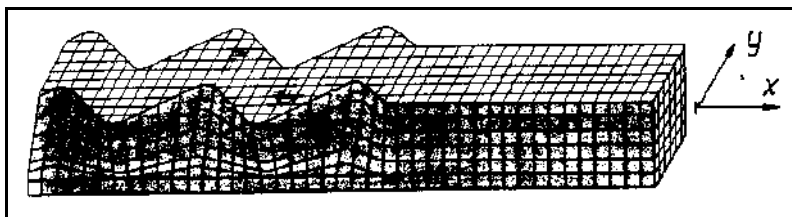


Figura 3

• 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<sup>®</sup>, 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. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geologica, che comprende, sulla base di specifici rilievi ed indagini, l'identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi. La relazione geologica definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche. 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. ml	Terreno	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec
1.20	Argilla limosa plastica	1765	1765	0.212	0.531	26	0	0.0182	1.0833	3.9e-6
2.20	Limo argil-sabbioso scio	1747	1747	0.387	0.461	23	0	0.0157	0.6400	4.4e-3
2.60	Argilla limosa soffice	1720	1070	0.429	0.379	21	0	0.0192	0.8000	1.8e-5
4.80	Limo argil-sabbioso scio	1786	1136	0.679	0.589	21	0	0.0142	0.8303	1.5e-3
8.00	Limo argilloso soffice	1731	1081	1.025	0.380	17	0	0.0166	0.5750	2.3e-4
8.40	Limo argil-sabbioso scio	1753	1103	1.069	0.447	17	0	0.0154	0.6667	9.4e-4
11.20	Limo argilloso plastico	1780	1130	1.386	0.531	17	0	0.0144	0.8000	1.0e-4
12.20	Limo argil-sabbioso adde	1838	1188	1.505	0.805	19	0	0.0148	1.1733	1.1e-3
14.80	Limo argilloso plastico	1800	1150	1.804	0.594	16	0	0.0140	0.9128	1.8e-4
15.80	Limo argil-sabbioso adde	1849	1199	1.923	0.854	18	0	0.0157	1.2667	2.7e-3
18.60	Limo argilloso plastico	1779	1129	2.240	0.484	15	0	0.0144	0.7952	5.1e-4
19.60	Limo argilloso soffice	1720	1070	2.347	0.283	12	0	0.0174	0.5333	2.6e-4
25.80	Limo argilloso plastico	1856	1206	3.094	0.842	16	0	0.0166	1.3290	2.5e-4

## Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 2

Prof. ml	Terreno	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec
1.60	Argilla limosa plastica	1783	1783	0.285	0.598	25	0	0.0163	1.2250	5.3e-6
2.20	Limo argilloso soffice	1737	1087	0.351	0.432	23	0	0.0162	0.6000	2.6e-4
4.20	Limo argil-sabbioso adde	1780	1130	0.577	0.571	22	0	0.0144	0.8000	6.3e-4
5.00	Sabbia ghiaiosa sciolta	1700	1050	0.661	0.000	23	34	0.0161	1.5500	1.7e-1
5.80	Limo argilloso soffice	1710	1060	0.745	0.338	18	0	0.0181	0.5000	2.1e-4
9.00	Limo argil-sabbioso scio	1760	1110	1.101	0.467	18	0	0.0151	0.6958	1.6e-3
9.80	Limo argilloso plastico	1771	1121	1.190	0.503	18	0	0.0147	0.7500	6.7e-5
10.40	Argilla limosa soffice	1737	1087	1.255	0.387	16	0	0.0185	0.9000	2.4e-5
12.40	Limo argilloso plastico	1796	1146	1.485	0.591	17	0	0.0141	0.8867	1.2e-4
16.20	Limo argil-sabbioso adde	1814	1164	1.927	0.656	17	0	0.0140	1.0035	5.7e-4
24.80	Limo argilloso plastico	1874	1224	2.980	0.974	16	0	0.0148	1.4977	8.0e-5

## Interpretazione stratigrafia

Prof. ml	Terreno	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec
0.80	Argilla limosa plastica	1741	1741	0.139	0.456	28	0	0.0184	0.9250	2.4e-6
2.20	Limo argil-sabbioso scio	1722	1072	0.289	0.393	23	0	0.0172	0.5429	5.5e-4
3.00	Limo argilloso soffice	1745	1095	0.377	0.456	23	0	0.0158	0.6333	3.9e-4
5.00	Limo argil-sabbioso adde	1778	1128	0.603	0.560	21	0	0.0144	0.7867	8.5e-4
7.60	Limo argilloso soffice	1727	1077	0.883	0.375	18	0	0.0169	0.5590	2.8e-4
8.80	Limo argil-sabbioso scio	1740	1090	1.013	0.408	17	0	0.0161	0.6111	1.3e-3
11.80	Limo argilloso plastico	1793	1143	1.356	0.586	18	0	0.0141	0.8711	1.5e-4
13.00	Limo argil-sabbioso adde	1823	1173	1.497	0.725	18	0	0.0142	1.0667	1.1e-3
15.80	Limo argilloso plastico	1777	1127	1.813	0.495	16	0	0.0145	0.7810	2.8e-4
16.40	Limo argil-sabbioso scio	1832	1182	1.884	0.756	17	0	0.0145	1.1333	3.2e-3
25.80	Limo argilloso plastico	1839	1189	3.001	0.737	15	0	0.0149	1.1830	1.3e-4

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
1.20	10.83	0.92	11.75
2.20	9.60	0.32	30.00
2.60	8.00	0.57	14.12
4.80	12.45	0.50	24.76
8.00	8.62	0.45	18.99

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel. 059/823020 - cell. 339/8264394 - e-mail precigeo55@gmail.com

8.40	10.00	0.43	23.08
11.20	12.00	0.71	16.91
12.20	17.60	0.75	23.57
14.80	13.69	0.75	18.16
15.80	19.00	0.69	27.40
18.60	11.93	0.57	21.05
19.60	8.00	0.41	19.35
25.80	19.94	1.04	19.15

Dati medi prova discretizzata CPT n. 2

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
1.60	12.25	1.02	11.95
2.20	9.00	0.47	19.29
4.20	12.00	0.55	21.69
5.00	31.00	0.33	93.70
5.80	7.50	0.40	18.75
9.00	10.44	0.42	25.05
9.80	11.25	0.70	16.07
10.40	9.00	0.62	14.46
12.40	13.30	0.77	17.35
16.20	15.05	0.71	21.34
24.80	22.47	1.37	16.45

Dati medi prova discretizzata

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.80	9.25	0.83	11.10
2.20	8.14	0.38	21.38
3.00	9.50	0.47	20.36
5.00	11.80	0.52	22.69
7.60	8.38	0.43	19.46
8.80	9.17	0.38	24.26
11.80	13.07	0.74	17.71
13.00	16.00	0.68	23.61
15.80	11.71	0.60	19.37
16.40	17.00	0.60	28.33
25.80	17.74	1.02	17.47

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.	$\gamma t_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma' t_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	$Cu_k$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\varphi^{\circ}_k$	Dr% (livelli incoerenti)	$mv_k$ (cm <sup>2</sup> /kg)	$Ed_k$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.60 - 4.20	1740	1090	0.40	21	/	0.0157	63
2	4.20 - 5.00	1700	1050	/	22	34	0.0161	62
3	5.00 - 9.80	1760	1110	0,30	16	/	0.0159	63
4	9.80 - 11.80	1780	1130	0.40	17	/	0.0143	70
5	11.8 - 16.20	1800	1170	0.50	15	/	0.0140	71
6	16.20 - 25.8	1850	1200	0.60	14	/	0.0148	67

In base all'elaborazione delle indagini effettuate, la stratigrafia dell'area risulta costituita da terreni prevalentemente coesivi, con alternanze di litotipi limo-argillosi da soffici a plastici e limi argilloso-sabbiosi da sciolti a mediamente addensati, con rare intercalazioni sabbiose. Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nei fori di prova, si attesta a una profondità di -2/-2.20 m dal piano campagna del terreno agricolo (novembre 2020).

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

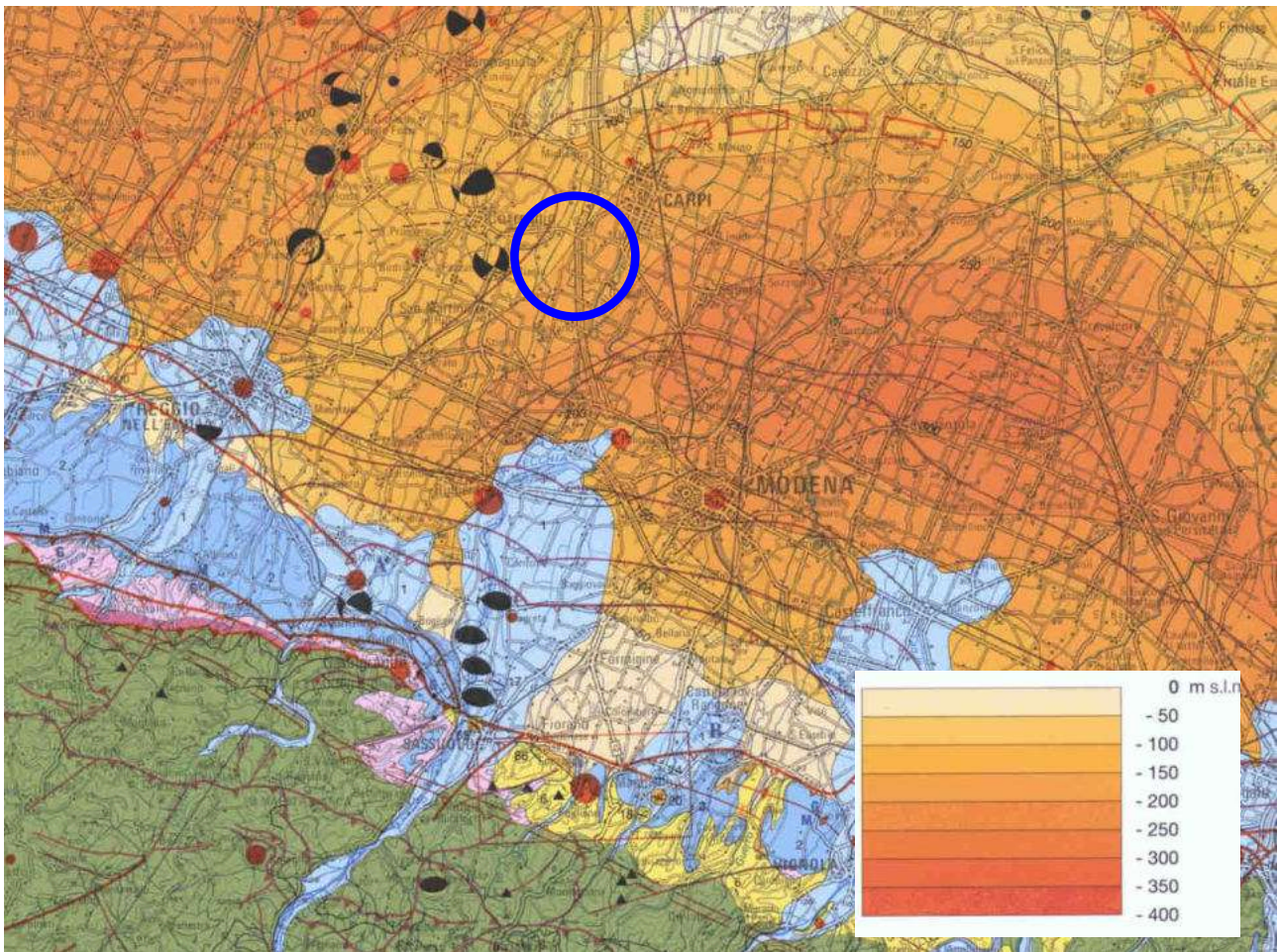
La valutazione del rischio sismico in aree ad estensione regionale, viene effettuata mediante la macrozonazione sismica, definita come l'individuazione di aree che possono essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità. All'interno di queste aree si possono valutare,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

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.



CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA








1	Depositi di conoide e alluvionali intramontani (Pleistocene medio-Olocene, 0,8 Ma - Presente) <i>Alluvial fan and intramountain alluvial deposits (Middle Pleistocene-Holocene, 0,8 My - Present)</i>
2	Depositi alluvionali terrazzati della Pianura Padana (Pleistocene medio e superiore, 0,8- 0,01 Ma) <i>Po Plain terraced alluvial deposits (Middle and Late Pleistocene, 0,8 - 0,01 My)</i>
3	Sabbie di Imola (Pleistocene medio, 0,8 - 0,65 Ma) <i>Imola Sands (Middle Pleistocene, 0,8 - 0,65 My)</i>
4	Sabbie gialle (Pleistocene inferiore, 1 - 0,8 Ma) <i>Yellow sands (Early Pleistocene, 1 - 0,8 My)</i>
5	Depositi fluvio-lacustri intramontani (Pliocene superiore-Pleistocene medio, 2,1 - 0,2 Ma) <i>Intramountain fluvio-lacustrine deposits (Late Pliocene-Middle Pleistocene, 2,1 - 0,2 My)</i>
6	Depositi marini post fase Pliocene inferiore (zona a G. Puncticulata) (Pliocene inferiore-Pleistocene inferiore, 4,5 - 1 Ma) <i>Post Early Pliocene (G. Puncticulata zone) tectonic phase marine deposits (Early Pliocene - Early Pleistocene, 4,5 - 1 My)</i>
7	Depositi lagunari e marini compresi tra le fasi tettoniche del Messiniano superiore e del Pliocene inferiore (zona a G. Puncticulata) (6,3 - 4,5 Ma) <i>Late Messinian-Early Pliocene (G. Puncticulata zone) lagoonal and marine deposits (6,3 - 4,5 My)</i>
8	Depositi evaporitici e clastici del Messiniano inferiore e medio (6,8 - 6,3 Ma) <i>Early and Middle Messinian evaporitic and clastic deposits (6,8 - 6,3 My)</i>
9	Depositi delle avansosse dell'Oligocene superiore-Miocene: Macigno, Arenarie del M. Cervarola, Arenarie del M. Falterona, Marnoso-Arenacea (28 - 6,8 Ma) <i>Foredeep deposits Late Oligocene-Miocene in age: Macigno, Mt Cervarola Sandstones, Mt Falterona Sandstones, Marnoso-Arenacea (28 - 6,8 My)</i>
10	Unità Liguri, Subliguri ed Epiliguri (Giurassico - Miocene, 205 - 6,8 Ma) <i>Ligurian, Subligurian and Epiligurian Units (Jurassic - Miocene, 205 - 6,8 My)</i>
11	Evaporiti triassiche (220 - 210 Ma) <i>Triassic evaporites (220 - 210 My)</i>
 Limite Pliocene-Pleistocene <i>Pliocene-Pleistocene boundary</i>	

### 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 subsol geological data*

	Sovrascorrimento <i>Thrust fault</i>
	Anticlinale <i>Anticline</i>
	Sinclinale <i>Syncline</i>
	Fronti di accavallamento della successione carbonatica meso-cenozoica <i>Meso-Cenozoic carbonates thrust front</i>
	Fronte di accavallamento del basamento <i>Basament thrust front</i>

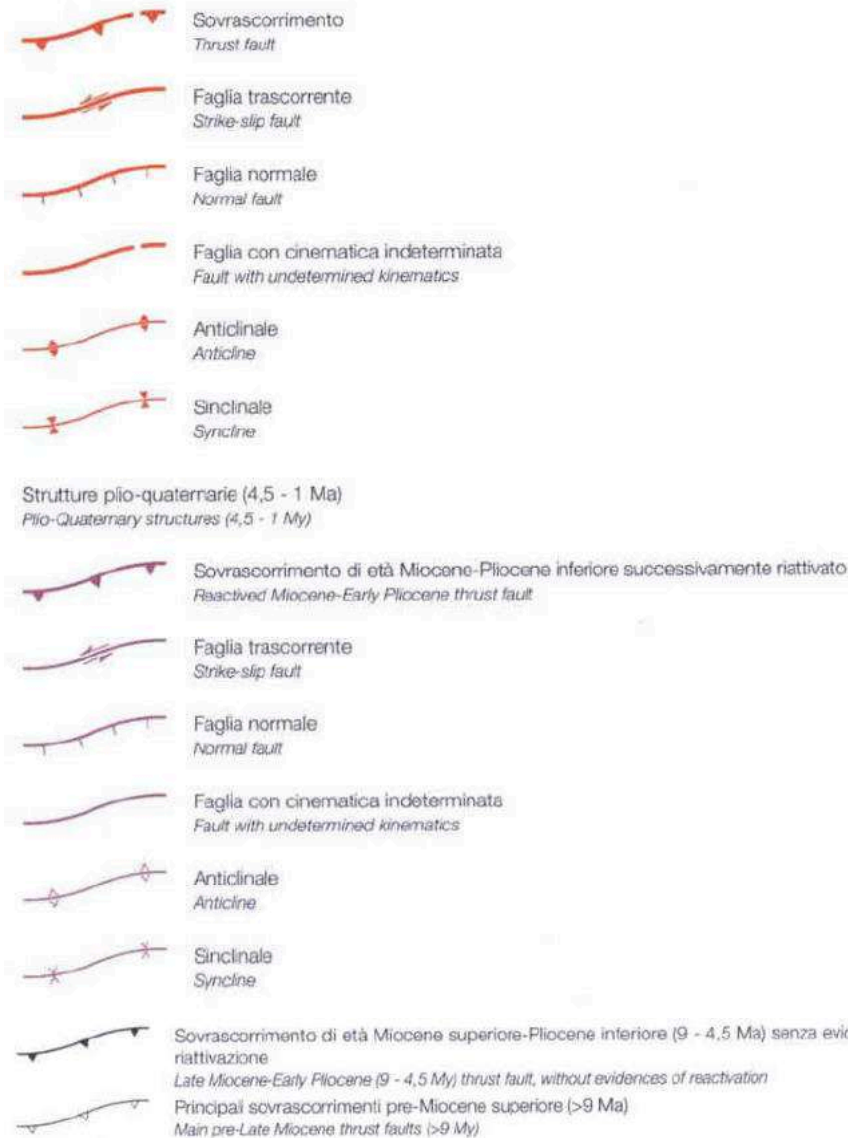
Fronti dei principali sovrascorrimenti di età Pliocene-Pleistocene inferiore (4,5 - 1 Ma) (da Structural Model of Italy, 1:500,000)

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

	Sovrascorrimento riattivato <i>Reactivated thrust fault</i>
	Sovrascorrimento con possibili riattivazioni <i>Thrust faults with possible reactivations</i>

**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



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.

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.

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:

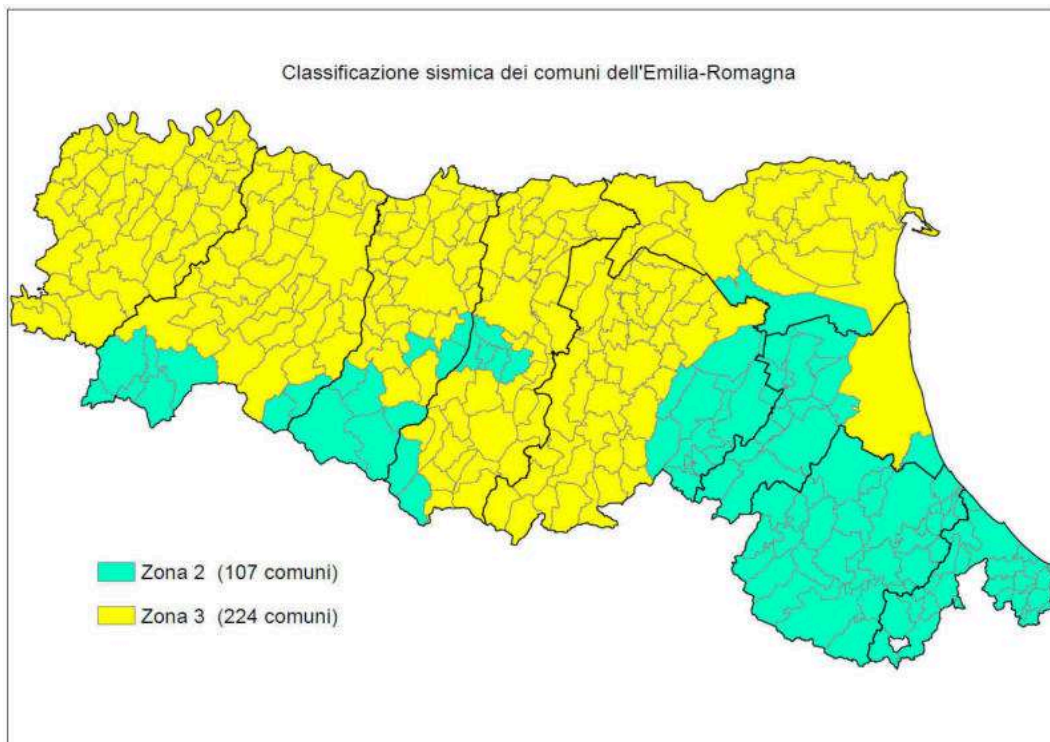
General information	
Region	Central Mediterranean
Code	ITCS049
Name	Reggio Emilia-Rolo
Compiler(s)	Burrato P.(1), Mariano S.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), Mariano S.(1)
Created	08/01/2005
Updated	17/05/2012

	Parameter
Min Depth (km)	3
Max Depth (km)	10
Strike (deg)	35 - 65
Dip (deg)	30 - 50
Rake (deg)	60 - 90
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.25
Max Magnitude (Mw)	5.5

General information	
Region	Central Mediterranean
Code	ITCS051
Name	Novi-Poggio Renatico
Compiler(s)	Burrato P.(1), Mariano S.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), Mariano S.(1)
Created	08/01/2005
Updated	30/08/2007

	Parameter
Min Depth (km)	3
Max Depth (km)	10
Strike (deg)	95 - 125
Dip (deg)	25 - 45
Rake (deg)	80 - 100
Slip Rate (mm/y)	0.25 - 0.5
Max Magnitude (Mw)	5.9

Questa analisi recepisce le indicazioni applicative delle DGR n. 2193/2015 e DGR 630/2019 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 Carpi rientra in zona 3.

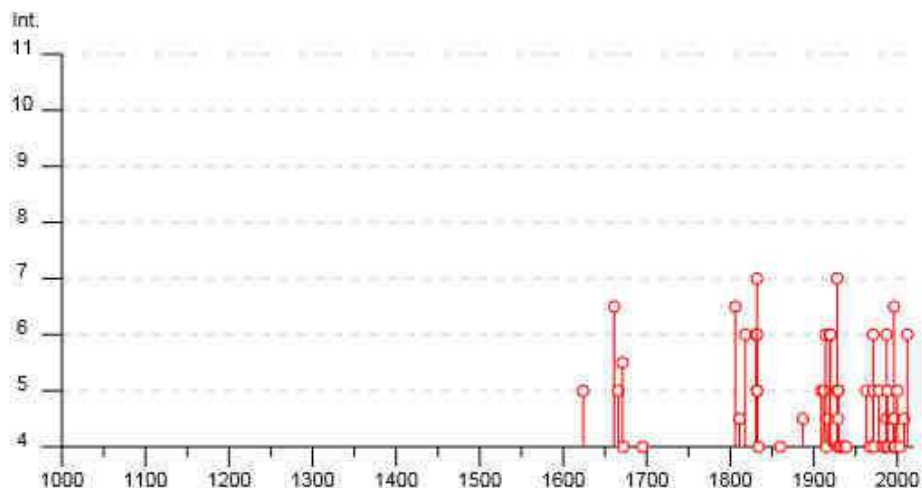


L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6 della scala Richter.

Si riporta di seguito un elenco degli eventi sismici più significativi per la storia sismica del sito di indagine, oltre alla sequenza degli ultimi importanti eventi sismici del maggio 2012 :

Anno	Me	Gi	AREA	l <sub>mx</sub>	l <sub>o</sub>	Lat	Lon	M <sub>aw</sub>
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)

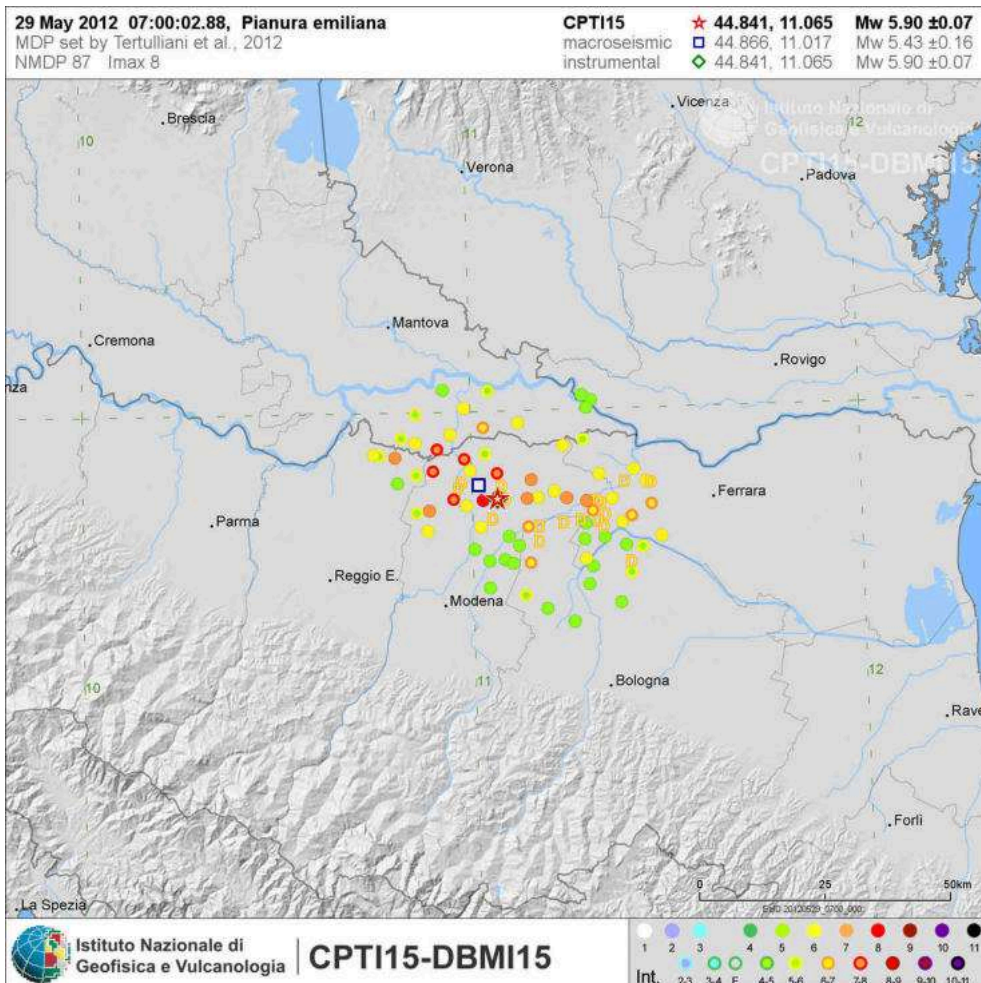
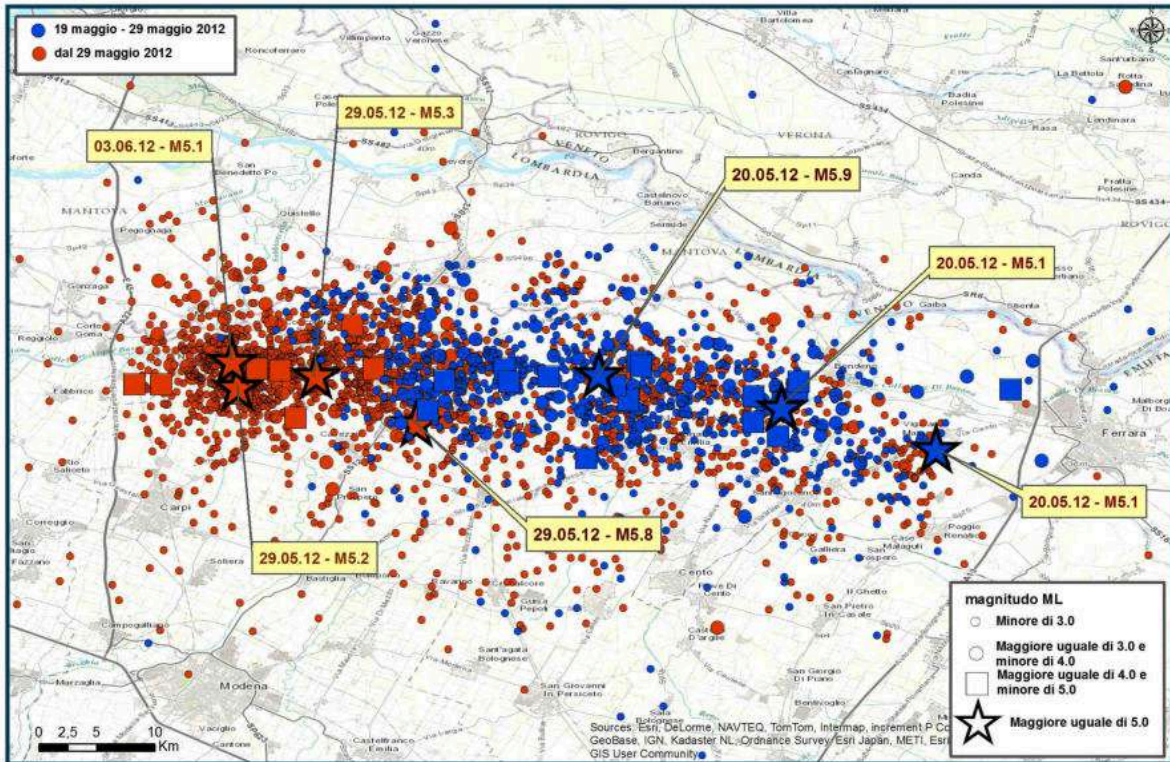
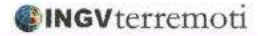


dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel. 059/823020 - cell. 339/8264394 - e-mail precigeo55@gmail.com

### SEQUENZA Pianura Padana Emiliana

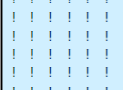
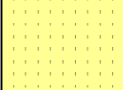



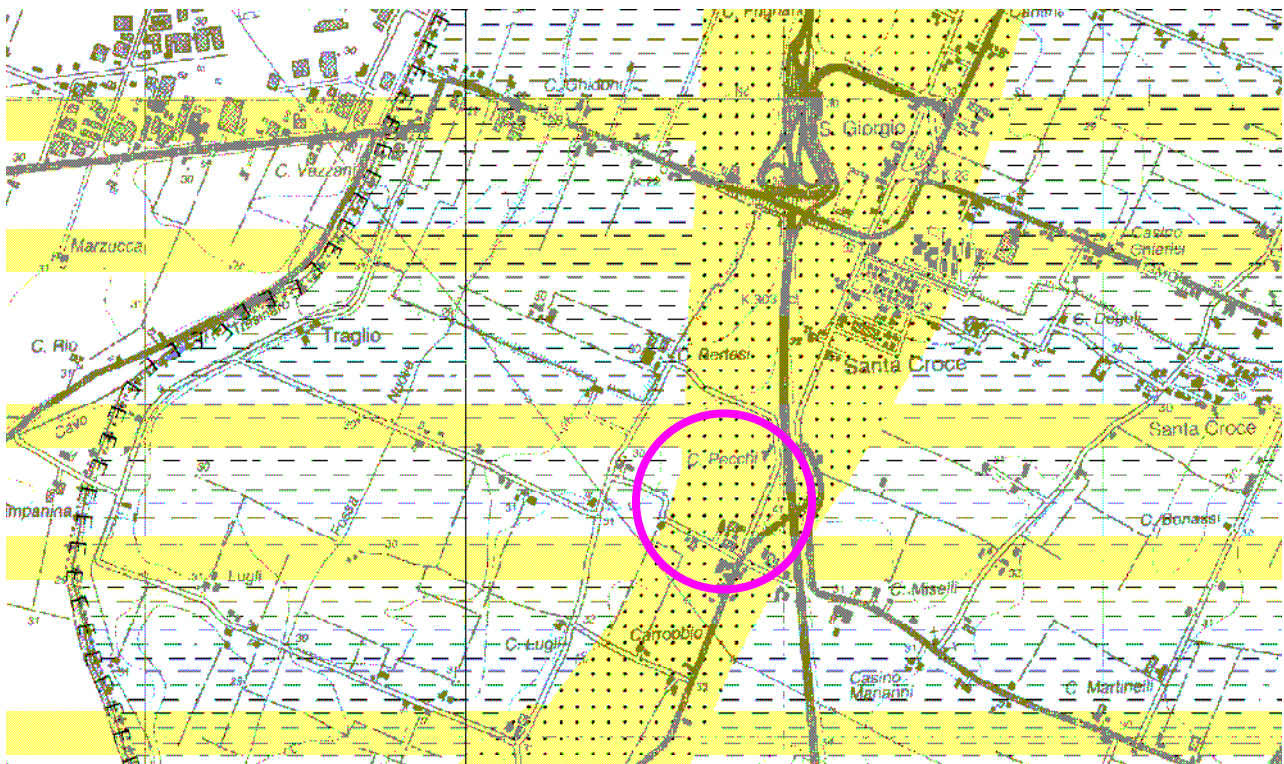
dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel. 059/823020 - cell. 339/8264394 - e-mail precigeo55@gmail.com

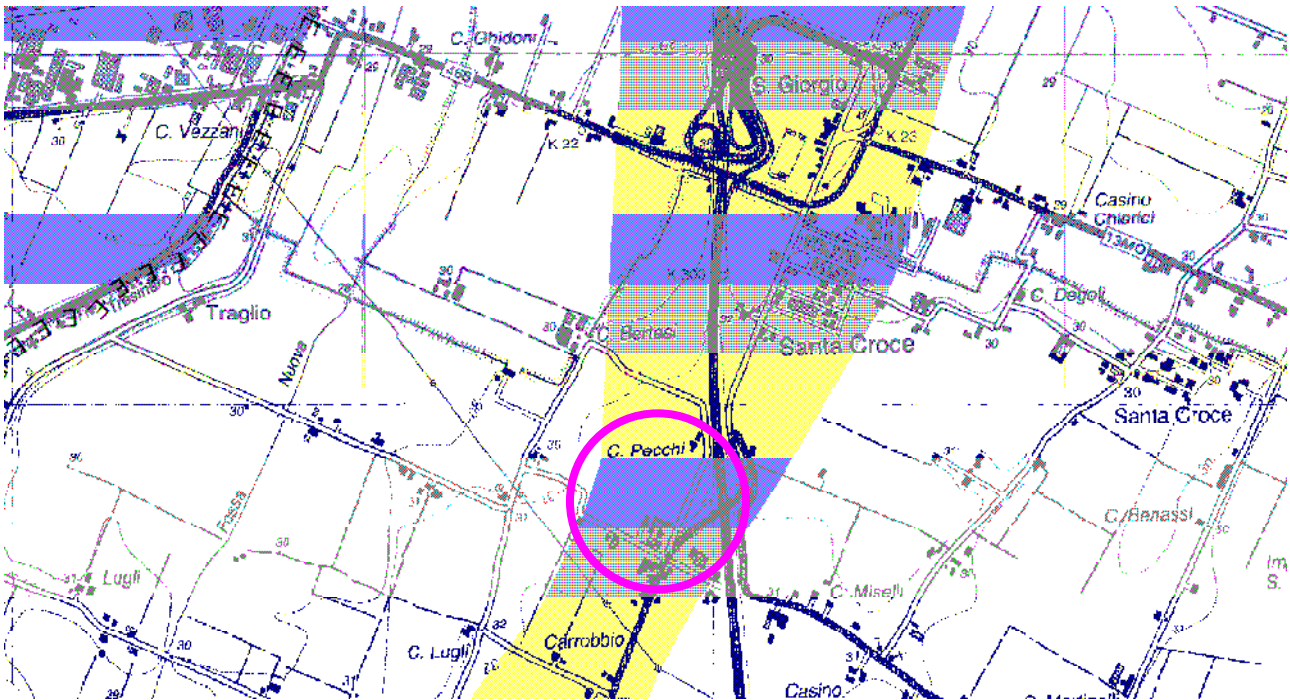
Nel quadro conoscitivo del PTCP della Provincia di Modena, Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali - Tavola 2 a.1 a scala 1:25:000, si indica che l'area in esame insiste su "sabbie di canale". Pertanto in caso di sisma si possono attendere "amplificazione, potenziale liquefazione e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

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 a.1 a scala 1:25'000, l'area in esame è classificata come "Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione". Sono richiesti la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi, con approfondimenti di III livello per la microzonazione sismica.

7	<b>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione</b> studi*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi; microzonazione sismica*: approfondimenti di III livello.
8	<b>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti</b> studi*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi; microzonazione sismica*: sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti.



### 5.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti

Il rischio di liquefazione può essere stimato con metodi semplificati da prove SPT e da prove CPT mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI (o IL) di Iwasaki et al. (1982). Le prove CPT sono preferibili per la migliore ripetibilità delle misure e per la continuità dei profili penetrometrici. 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 6.1 della scala Richter, compatibile con i dati storici esistenti per l'area in esame (Servizio Geologico RER - INGV).

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 1

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.20 Argilla limosa plastica	Terreno	coerente	
2.20 Limo argil-sabbioso scio	Terreno	coerente	
2.60 Argilla limosa soffice	Terreno	coerente	
4.80 Limo argil-sabbioso scio	Terreno	coerente	
8.00 Limo argilloso soffice	Terreno	coerente	
8.40 Limo argil-sabbioso scio	Terreno	coerente	
11.20 Limo argilloso plastico	Terreno	coerente	
12.20 Limo argil-sabbioso adde	Terreno	coerente	
14.80 Limo argilloso plastico	Terreno	coerente	

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel. 059/823020 - cell. 339/8264394 - e-mail precigeo55@gmail.com

15.80	Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente
18.60	Limo argilloso plastico	Terreno coerente
19.60	Limo argilloso soffice	Terreno coerente
25.80	Limo argilloso plastico	Terreno coerente

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 2

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.60	Argilla limosa plastica	Terreno coerente	
2.20	Limo argilloso soffice	Terreno coerente	
4.20	Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente	
5.00	Sabbia ghiaiosa sciolta	0.2100	0.1301 no (FSL = 2.082)
5.80	Limo argilloso soffice	Terreno coerente	
9.00	Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente	
9.80	Limo argilloso plastico	Terreno coerente	
10.40	Argilla limosa soffice	Terreno coerente	
12.40	Limo argilloso plastico	Terreno coerente	
16.20	Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente	
24.80	Limo argilloso plastico	Terreno coerente	

Caratteristiche sismiche

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
0.80	Argilla limosa plastica	Terreno coerente	
2.20	Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente	
3.00	Limo argilloso soffice	Terreno coerente	
5.00	Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente	
7.60	Limo argilloso soffice	Terreno coerente	
8.80	Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente	
11.80	Limo argilloso plastico	Terreno coerente	
13.00	Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente	
15.80	Limo argilloso plastico	Terreno coerente	
16.40	Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente	
25.80	Limo argilloso plastico	Terreno coerente	

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dalle indagini geognostiche eseguite e con le ipotesi sopra riportate, la verifica effettuata non evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità (LPI = 0).

In base alle NTC, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, DGR 630/2019 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 630/2019.

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. 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.

I risultati devono essere riportati in una carta di microzonazione dei cedimenti indotti dall'azione sismica ove, oltre alla perimetrazione delle zone dell'area in studio, devono essere localizzate le verticali esplorate ed a ciascuna di esse deve essere associato il valore del cedimento totale stimato. Qualora il cedimento totale sia dovuto a più di uno dei meccanismi in precedenza elencati, dovrà essere specificato il valore di ciascuno dei tre contributi.

Le metodologie di calcolo per i vari casi sono espone nell'Allegato A3-B della DGR 630/2019.

Considerando prove edometriche di laboratorio, limiti di Atterberg e analisi granulometriche di terreni aventi le stesse caratteristiche litologiche di quelli del sito in esame, per uno spessore massimo di 10 m, si ottiene un valore teorico stimato di circa 3 cm.

Si riporta di seguito come riferimento la Carta di microzonazione sismica, livello 3° - Cedimenti post-sismici - PS15/MS Tav. B della Varante al PRG in adeguamento al piano per la ricostruzione, per l'area in esame, dove si riportano cedimenti prossimi allo zero:

## PS15/MS

### MICROZONAZIONE SISMICA 3° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Carta di microzonazione sismica, livello 3° -

Cedimenti post-sismici

Tav. B

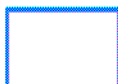
SCALA 1:10.000

4.5

● Valore cedimento assoluto post-sismico nei terreni coesivi "soffici" (cm)

4.5

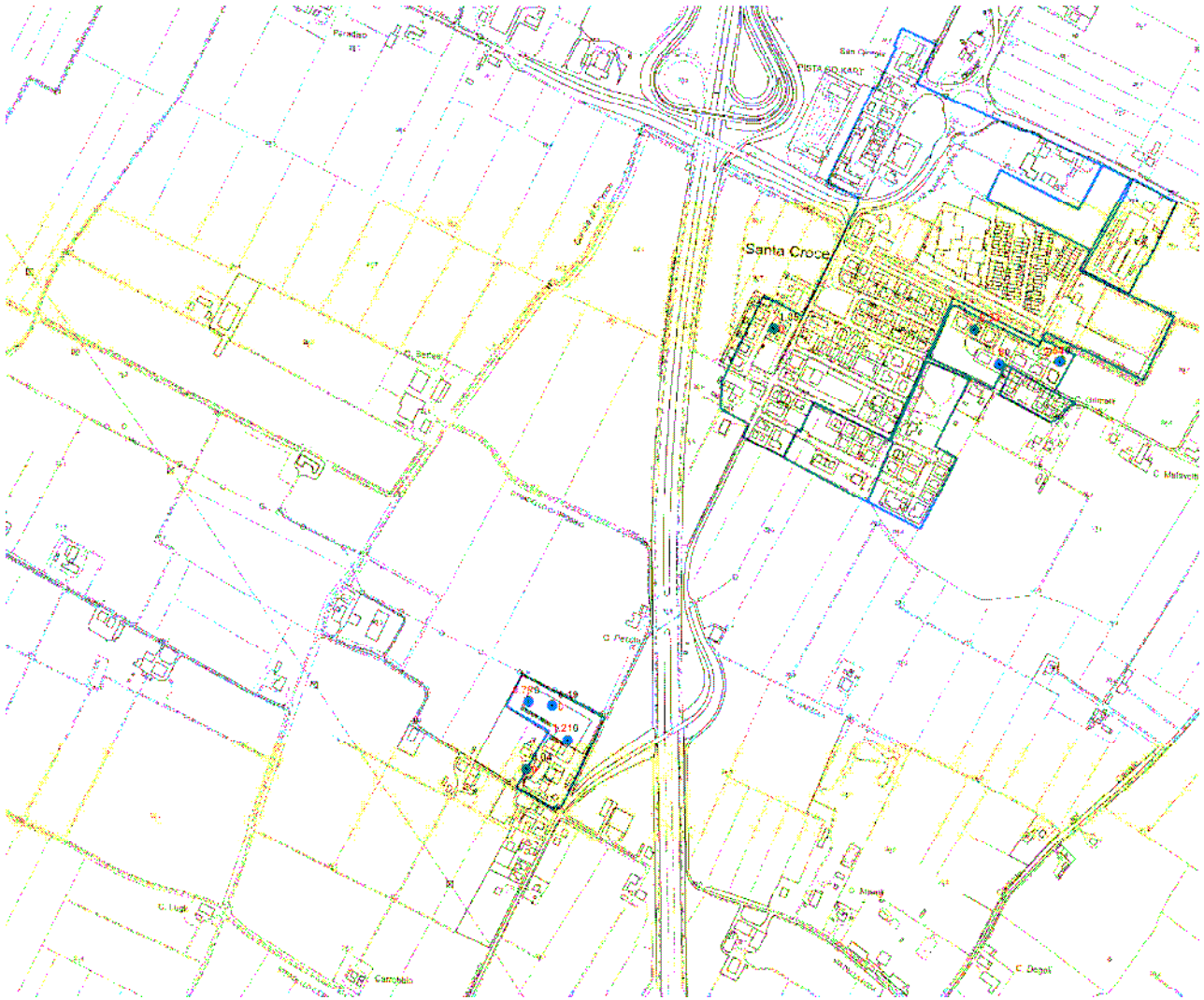
● Valore cedimento assoluto post-sismico nei terreni liquefacibili (cm)



Perimetro degli sviluppi considerati



Confine comunale



### 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 – DENIMMOBILIARE SRL – CARPI, SITO PRODUTTIVO DE NIGRIS

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 02/11/20 10:40:52 Fine registrazione: 02/11/20 10:54:53

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

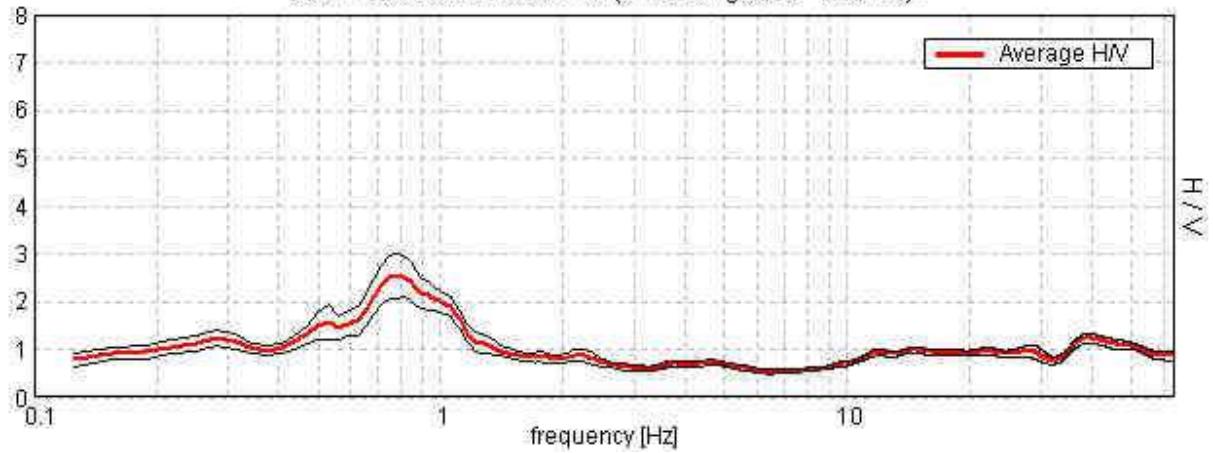
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

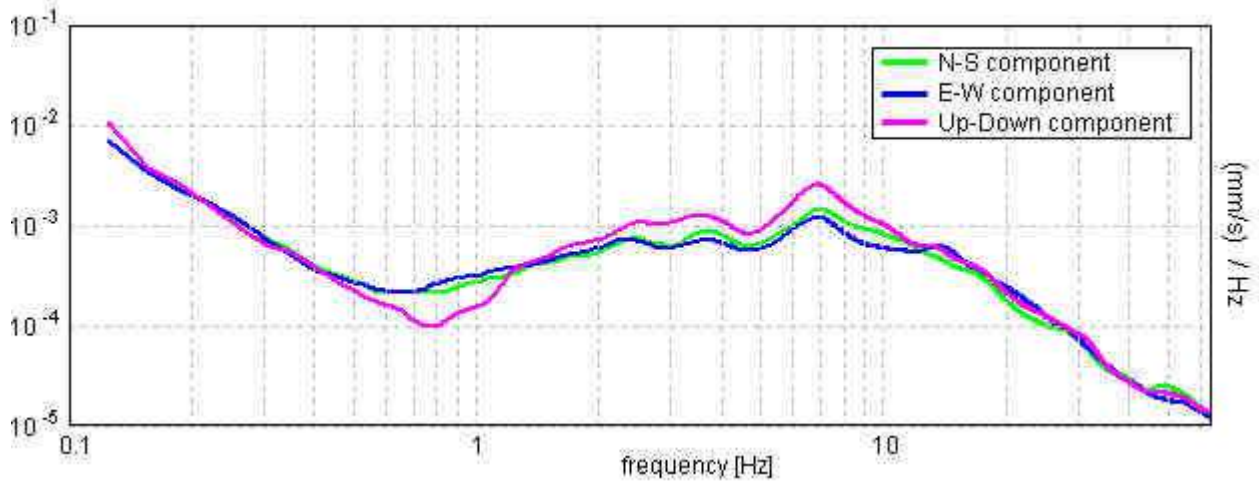
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE – HVSR

Max. H/V at  $0.78 \pm 0.09$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz)

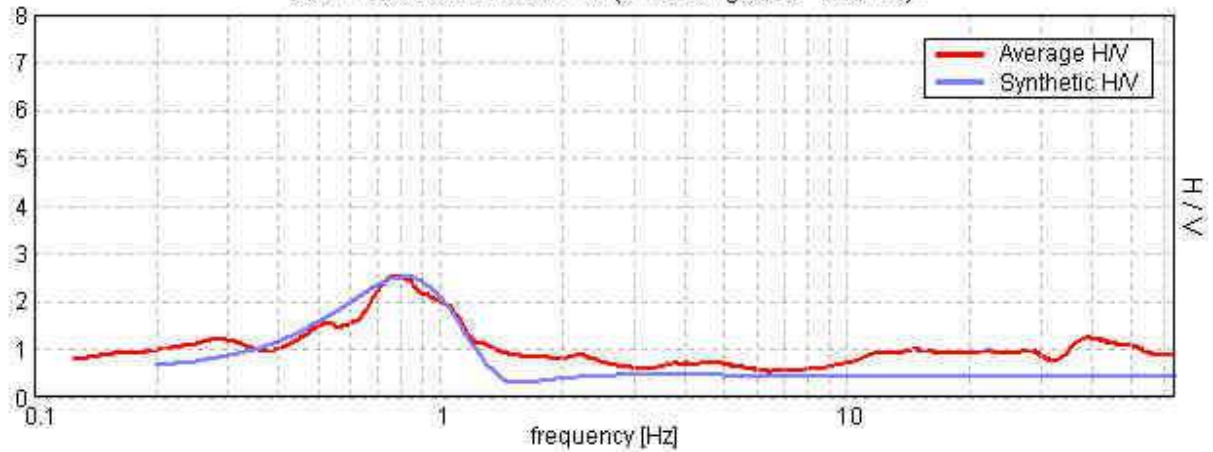


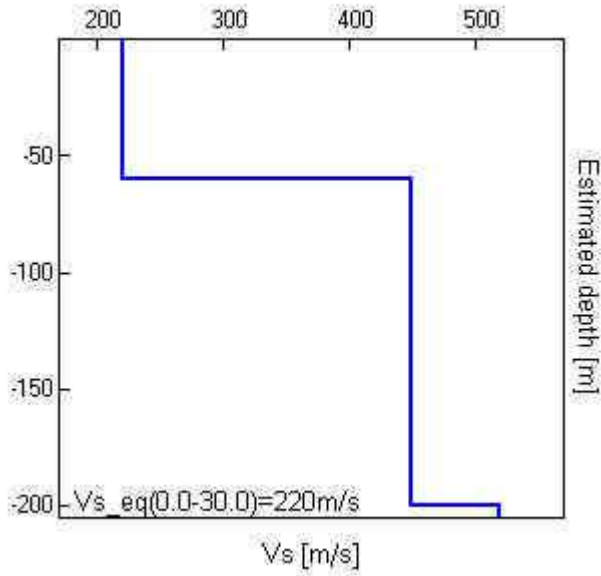
### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



### H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO

Max. H/V at  $0.78 \pm 0.09$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz)





Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
60.00	60.00	220
200.00	140.00	450
inf.	inf.	520

$V_{sEQ-30} = 220 \text{ m/s}$

[Interpretazione secondo le linee guida SESAME, 2005].

**Picco H/V a  $0.78 \pm 0.09 \text{ Hz}$  (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.78 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$578.1 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 38	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.438 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.188 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.54 > 2$	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.11275  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.08809 < 0.11719$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.46 < 2.0$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un picco principale a circa 0.8 Hz ( $0.79 \pm 0.09$  Hz), corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito, tipica del Bacino Sedimentario Padano.

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>

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;
- $VS_i$  - 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  $VS$  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  $VS_{eq}$  è definita dal parametro  $VS_{30}$  ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Determinata la velocità delle onde "S" dei vari strati, si ottiene il dato di  $VS_{EQ-30} = 220$  m/s, pertanto il substrato dell'area d'indagine è riconducibile alla categoria C che comprende "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".

### 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.

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.



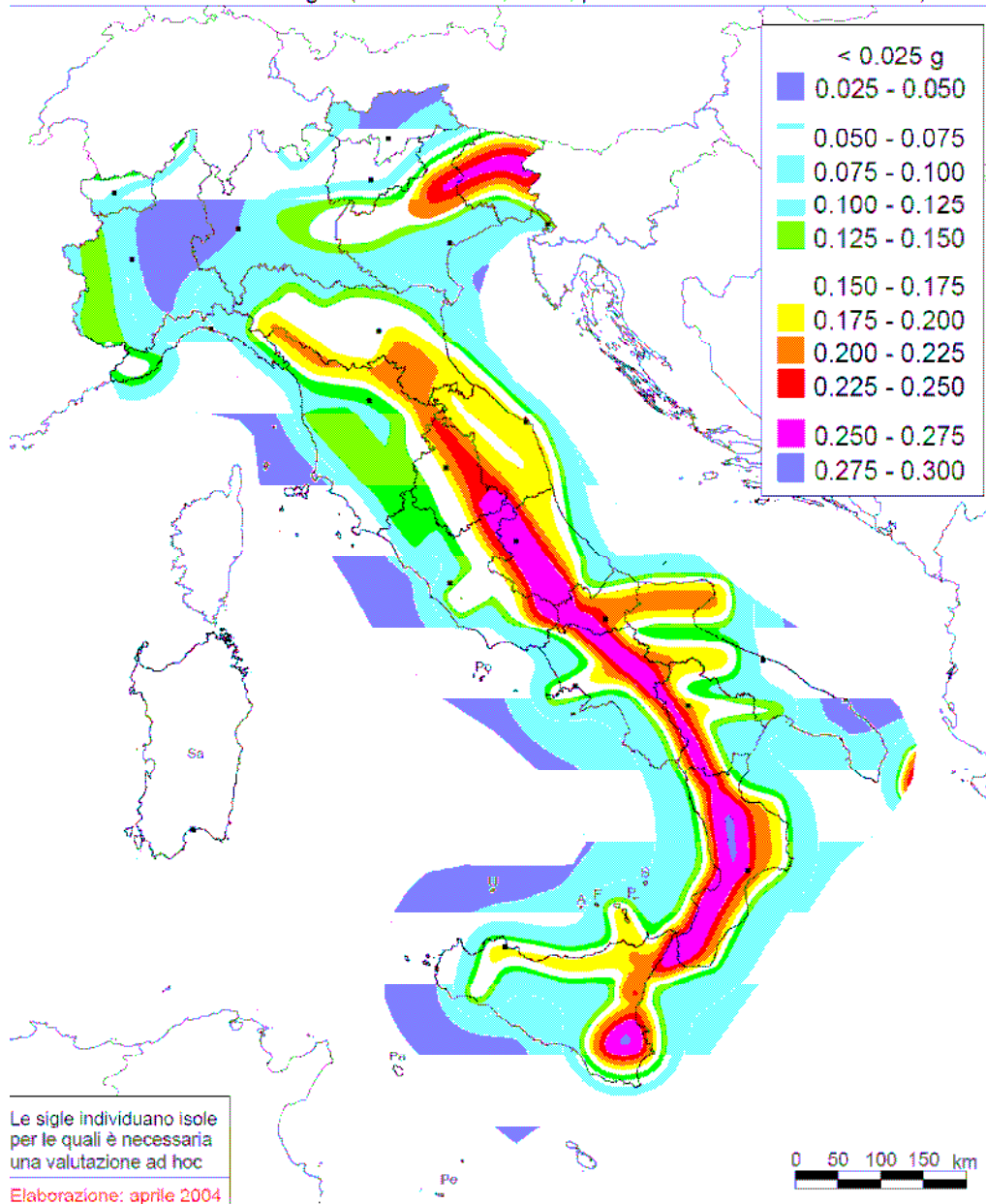
**ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA**

### 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)



Vita nominale per diversi tipi di opere - TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale
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

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel. 059/823020 - cell. 339/8264394 - e-mail precigeo55@gmail.com

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 $C_u$			
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 C.

Coordinate geografiche del punto - tipo di interpolazione: media ponderata

Vita nominale ( $V_n$ ): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso ( $C_u$ ): 1  
 Periodo di riferimento ( $V_r$ ): 50 [anni]

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

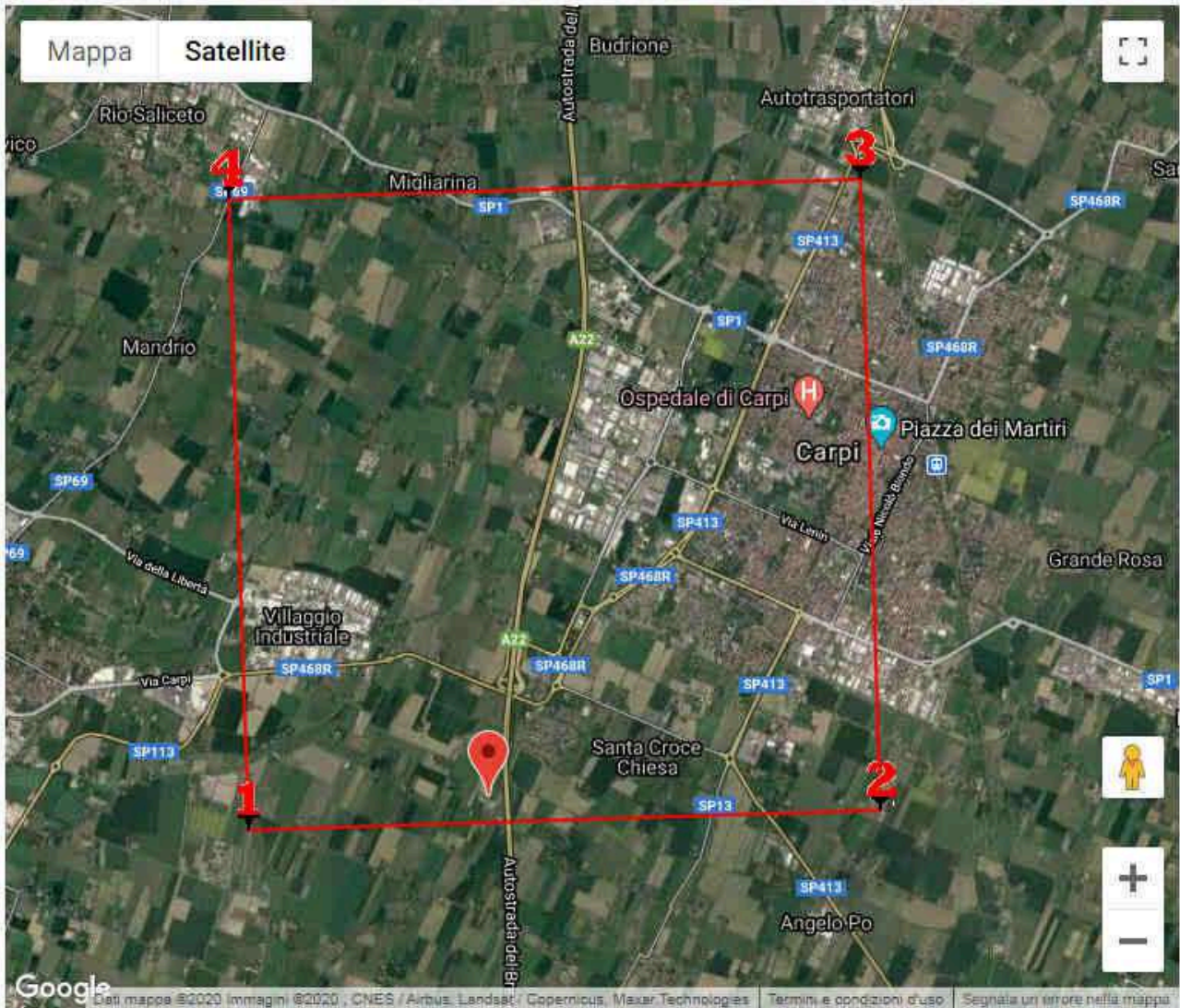
Sito in esame

latitudine ED50 44,757569  
 longitudine ED50: 10,843004  
 latitudine WGS84: 44.756632  
 longitudine WGS84: 10.841995

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 15613	Lat: 44,7549	Lon: 10,8162	Distanza: 2135,128
Sito 2	ID: 15614	Lat: 44,7564	Lon: 10,8866	Distanza: 3441,448
Sito 3	ID: 15392	Lat: 44,8064	Lon: 10,8843	Distanza: 6335,595
Sito 4	ID: 15391	Lat: 44,8049	Lon: 10,8139	Distanza: 5737,079





#### Parametri sismici

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

#### Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
 Tr: 30 [anni]  
 ag: 0,043 g  
 Fo: 2,505  
 Tc\*: 0,249 [s]

#### Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
 Tr: 50 [anni]  
 ag: 0,055 g  
 Fo: 2,503  
 Tc\*: 0,265 [s]

## Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,154	g
Fo:	2,571	
Tc*:	0,271	[s]

## Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,206	g
Fo:	2,528	
Tc*:	0,277	[s]

## Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

## SLO:

Ss:	1,500
Cc:	1,660
St:	1,000
Kh:	0,013
Kv:	0,006
Amax:	0,637
Beta:	0,200

## SLD:

Ss:	1,500
Cc:	1,630
St:	1,000
Kh:	0,016
Kv:	0,008
Amax:	0,805
Beta:	0,200

## SLV:

Ss:	1,460
Cc:	1,620
St:	1,000
Kh:	0,054
Kv:	0,027
Amax:	2,209
Beta:	0,240

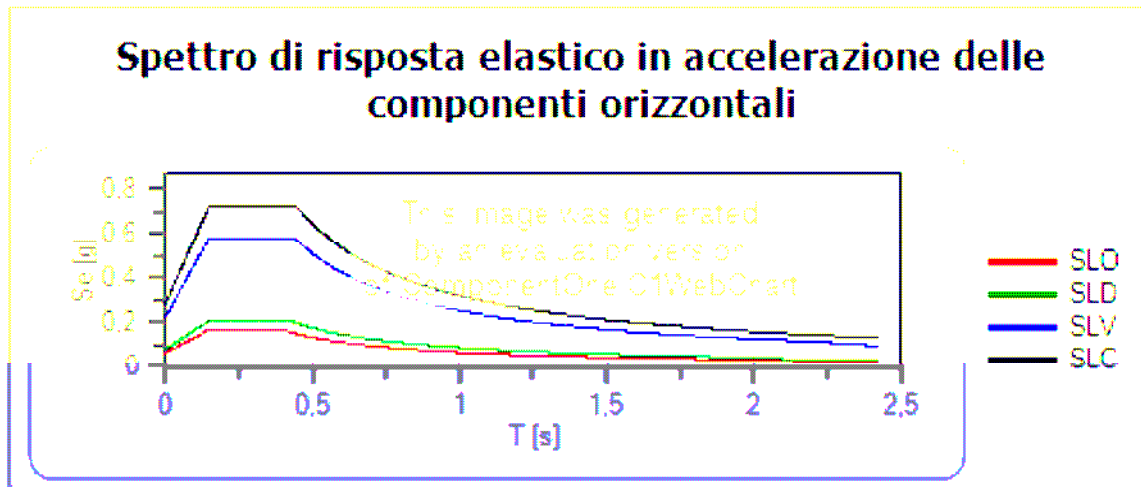
## SLC:

Ss:	1,390
Cc:	1,600
St:	1,000
Kh:	0,080
Kv:	0,040
Amax:	2,808
Beta:	0,280

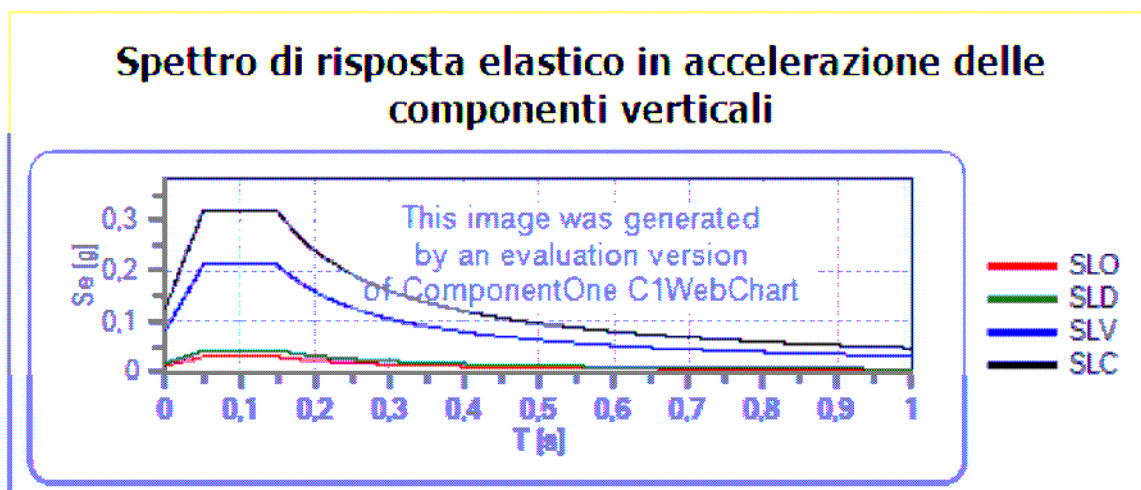
**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali**

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5 %

Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,043	2,505	0,249	1,500	1,660	1,000	1,500	1,000	0,138	0,414	1,773
SLD	1	0,055	2,503	0,265	1,500	1,630	1,000	1,500	1,000	0,144	0,432	1,819
SLV	1	0,154	2,571	0,271	1,460	1,620	1,000	1,460	1,000	0,146	0,439	2,217
SLC	1	0,206	2,528	0,277	1,390	1,600	1,000	1,390	1,000	0,148	0,444	2,424



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,043	2,505	0,249	1,000	1,660	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,055	2,503	0,265	1,000	1,630	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,154	2,571	0,271	1,000	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,206	2,528	0,277	1,000	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

In base alle NTC, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, DGR 630/2019 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 630/2019:

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

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

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

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	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  $V_{SEQ-30} = 220$  m/s, si indicano per l'area in esame i seguenti valori per i fattori di amplificazione:

- F.A. P.G.A. = 1.7
- F.A. SA1 = 1.8; SA2 = 2.4; SA3 = 2.8; SA4 = 2.7
- F.A. SI 1 = 1.9; SI 2 = 2.7; SI 3 = 2.9

## 6. Considerazioni conclusive

La presente relazione è stata eseguita per conto della committenza al fine di verificare le caratteristiche dei terreni di un'area in Comune di Carpi, per la realizzazione di un nuovo fabbricato ad uso deposito (magazzino robotizzato) e impianto agroalimentare presso il sito aziendale "De Nigris".

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 costituita da terreni prevalentemente coesivi, con alternanze di litotipi limo-argillosi da soffici a plastici e limi argilloso-sabbiosi da sciolti a mediamente addensati, con rare intercalazioni sabbiose.
- Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nei fori di prova, si attesta a una profondità di -2/-2.20 m dal piano campagna del terreno agricolo (novembre 2020).
- 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 (LPI = 0).

- Dall'elaborazione della registrazione del microtremore sismico HVSR, nel grafico H/V si individua un picco principale a circa 0.8 Hz ( $0.79 \pm 0.09$  Hz), corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito, tipica del Bacino Sedimentario Padano.
  - In relazione alla classificazione sismica l'area rientra in zona 3 e il profilo stratigrafico del terreno è riconducibile alla categoria C che comprende "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".
- 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, 10 novembre 2020

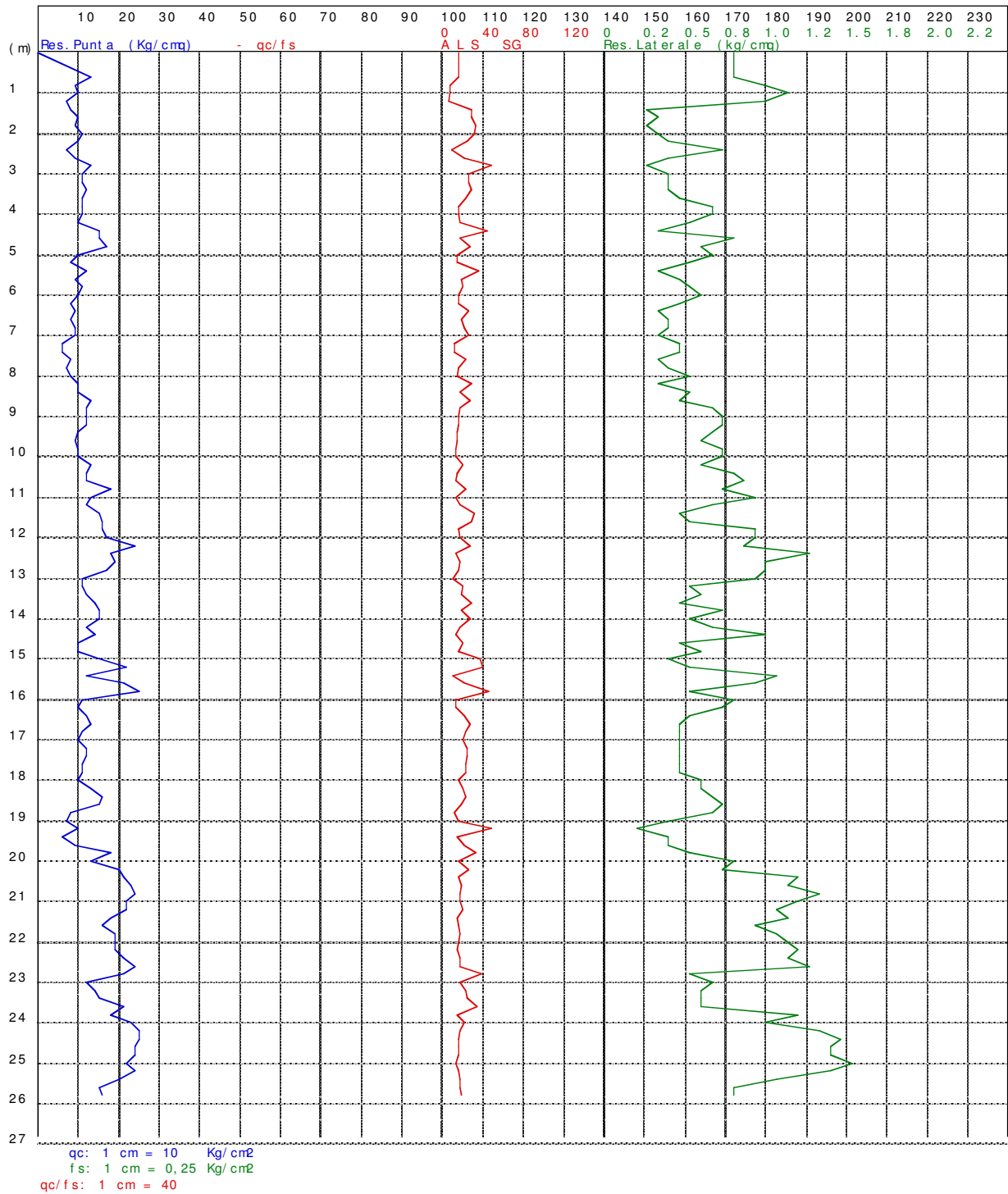
dott. geol. Claudio Preci



ELABORATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

ALLEGATO **A**

CPT n°1      data: 02/11/20      elaborato n° 337  
 Cantiere: v. Carrobbio - Carpi  
 Committente: DENI MODI LI ARE srl



dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com

Prof m	Strati	Tipologia	Gamma kg/m³	Gamma' kg/m³	Sigma' V kg/cm²	CU kg/cm³	FI °	DR %	M cm²/Kg	K oriz Kg/cm³	Per m cm/sec
1.20		Argilla limosa plastica	1765	1765	0.212	0.531	26	0	0.018159	1.0833	3.9e-6
		Limo argil-sabbioso sciolto	1747	1747	0.387	0.461	23	0	0.015688	0.6400	4.4e-3
2.20											
2.60		Argilla limosa soffice	1720	1070	0.429	0.379	21	0	0.019231	0.8000	1.8e-5
		Limo argil-sabbioso sciolto	1786	1136	0.679	0.589	21	0	0.014234	0.8303	1.5e-3
4.80		Limo argilloso soffice	1731	1081	1.025	0.380	17	0	0.016608	0.5750	2.3e-4
		Limo argil-sabbioso sciolto	1753	1103	1.069	0.447	17	0	0.015385	0.6667	9.4e-4
8.40		Limo argilloso plastico	1780	1130	1.386	0.531	17	0	0.014368	0.8000	1.0e-4
		Limo argil-sabbioso addensato medio	1838	1188	1.505	0.805	19	0	0.014796	1.1733	1.1e-3
11.20											
12.20		Limo argilloso plastico	1800	1150	1.804	0.594	16	0	0.014024	0.9128	1.8e-4
		Limo argil-sabbioso addensato medio	1849	1199	1.923	0.854	18	0	0.015711	1.2667	2.7e-3
15.80		Limo argilloso plastico	1779	1129	2.240	0.484	15	0	0.014392	0.7952	5.1e-4
		Limo argilloso soffice	1720	1070	2.347	0.283	12	0	0.017361	0.5333	2.6e-4
18.60											
19.60		Limo argilloso plastico	1856	1206	3.094	0.842	16	0	0.016596	1.3290	2.5e-4
25.80											

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com

RELAZIONE TECNICA

CPT n°1 data:02/11/20 elaborato n° 337  
 Cantiere: v. Carrobbio - Carpi  
 Committente: DENIMMOBILIARE srl

Quota livello di falda: 2.20

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	13.00	0.80	16.25
0.80	9.00	1.00	9.00
1.00	10.00	1.13	8.82
1.20	7.00	1.00	7.00
1.40	8.00	0.27	30.00
1.60	10.00	0.33	30.00
1.80	9.00	0.27	33.75
2.00	11.00	0.33	33.00
2.20	10.00	0.40	25.00
2.40	7.00	0.73	9.55
2.60	9.00	0.40	22.50
2.80	13.00	0.27	48.75
3.00	11.00	0.40	27.50
3.20	11.00	0.40	27.50
3.40	12.00	0.40	30.00
3.60	11.00	0.47	23.57
3.80	11.00	0.67	16.50
4.00	11.00	0.67	16.50
4.20	10.00	0.53	18.75
4.40	15.00	0.33	45.00
4.60	15.00	0.80	18.75
4.80	17.00	0.60	28.33
5.00	10.00	0.67	15.00
5.20	8.00	0.53	15.00
5.40	12.00	0.33	36.00
5.60	9.00	0.47	19.29
5.80	11.00	0.53	20.63
6.00	10.00	0.60	16.67
6.20	8.00	0.47	17.14
6.40	9.00	0.33	27.00
6.60	8.00	0.40	20.00
6.80	9.00	0.40	22.50
7.00	9.00	0.33	27.00
7.20	6.00	0.47	12.86
7.40	6.00	0.47	12.86
7.60	8.00	0.33	24.00
7.80	7.00	0.40	17.50
8.00	8.00	0.53	15.00
8.20	10.00	0.33	30.00
8.40	10.00	0.53	18.75
8.60	13.00	0.47	27.86
8.80	12.00	0.67	18.00
9.00	12.00	0.73	16.36
9.20	12.00	0.73	16.36
9.40	10.00	0.67	15.00
9.60	9.00	0.60	15.00
9.80	10.00	0.73	13.64
10.00	10.00	0.73	13.64
10.20	13.00	0.60	21.67
10.40	12.00	0.80	15.00
10.60	12.00	0.87	13.85
10.80	18.00	0.73	24.55
11.00	13.00	0.93	13.93
11.20	12.00	0.67	18.00
11.40	15.00	0.47	32.14
11.60	16.00	0.53	30.00
11.80	16.00	0.93	17.14
12.00	17.00	0.93	18.21
12.20	24.00	0.87	27.69
12.40	18.00	1.27	14.21
12.60	19.00	1.00	19.00
12.80	17.00	1.00	17.00
13.00	11.00	0.93	11.79
13.20	11.00	0.53	20.63
13.40	12.00	0.60	20.00

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com



13.60	14.00	0.47	30.00
13.80	15.00	0.73	20.45
14.00	15.00	0.53	28.13
14.20	12.00	0.67	18.00
14.40	14.00	1.00	14.00
14.60	10.00	0.47	21.43
14.80	10.00	0.60	16.67
15.00	15.00	0.40	37.50
15.20	22.00	0.53	41.25
15.40	12.00	1.07	11.25
15.60	21.00	0.93	22.50
15.80	25.00	0.53	46.88
16.00	11.00	0.80	13.75
16.20	10.00	0.73	13.64
16.40	12.00	0.53	22.50
16.60	13.00	0.47	27.86
16.80	11.00	0.47	23.57
17.00	10.00	0.47	21.43
17.20	12.00	0.47	25.71
17.40	12.00	0.47	25.71
17.60	11.00	0.47	23.57
17.80	11.00	0.47	23.57
18.00	10.00	0.60	16.67
18.20	13.00	0.60	21.67
18.40	16.00	0.67	24.00
18.60	15.00	0.73	20.45
18.80	8.00	0.67	12.00
19.00	7.00	0.40	17.50
19.20	10.00	0.20	50.00
19.40	6.00	0.40	15.00
19.60	9.00	0.40	22.50
19.80	18.00	0.53	33.75
20.00	13.00	0.80	16.25
20.20	20.00	0.73	27.27
20.40	21.00	1.20	17.50
20.60	23.00	1.13	20.29
20.80	24.00	1.33	18.00
21.00	22.00	1.20	18.33
21.20	22.00	1.07	20.63
21.40	18.00	1.13	15.88
21.60	16.00	0.93	17.14
21.80	19.00	1.07	17.81
22.00	19.00	1.13	16.76
22.20	19.00	1.20	15.83
22.40	21.00	1.13	18.53
22.60	24.00	1.27	18.95
22.80	21.00	0.53	39.38
23.00	12.00	0.67	18.00
23.20	14.00	0.60	23.33
23.40	15.00	0.60	25.00
23.60	21.00	0.60	35.00
23.80	18.00	1.20	15.00
24.00	23.00	1.00	23.00
24.20	25.00	1.33	18.75
24.40	25.00	1.47	17.05
24.60	24.00	1.40	17.14
24.80	24.00	1.40	17.14
25.00	22.00	1.53	14.35
25.20	24.00	1.40	17.14
25.40	20.00	1.07	18.75
25.60	15.00	0.80	18.75
25.80	16.00	0.80	20.00

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com

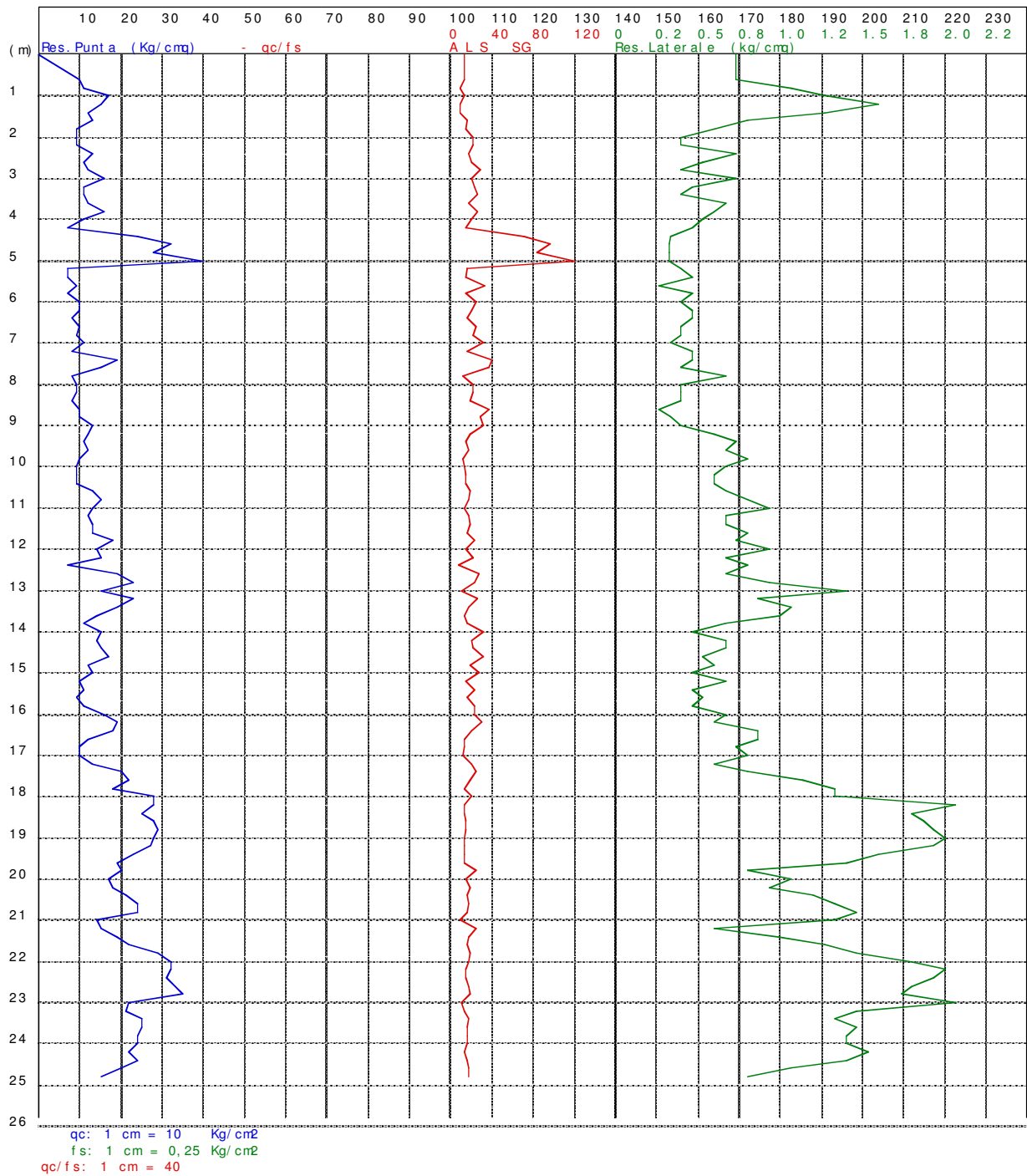


dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com

CPT n°2      data: 02/11/20      elaborato n° 338  
 Cantiere: v. Carrobbio - Carpi  
 Committente: DENIMMOBILIARE srl



dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com

Prof m	Strati	Ti pol ogia	Gamma kg/ m <sup>3</sup>	Gamma' kg/ m <sup>3</sup>	Si gma' V kg/ cm <sup>2</sup>	CU kg/ cm <sup>2</sup>	FI °	DR %	Mw cm <sup>2</sup> / Kg	K oriz Kg/ cm <sup>3</sup>	Per m cm/ sec
1.60		Argilla limosa plastica	1783	1783	0.285	0.598	25	0	0.016327	1.2250	5.3e-6
		FALDA									
2.20		Limo argilloso soffice	1737	1087	0.351	0.432	23	0	0.016221	0.6000	2.6e-4
		Limo argil-sabbioso addensato medio	1780	1130	0.577	0.571	22	0	0.014368	0.8000	6.3e-4
4.20		Sabbia ghiaiosa sciolta	1700	1050	0.661	0.000	23	34	0.016129	1.5500	1.7e-1
		Limo argilloso soffice	1710	1060	0.745	0.338	18	0	0.018079	0.5000	2.1e-4
5.80		Limo argil-sabbioso sciolto	1760	1110	1.101	0.467	18	0	0.015095	0.6958	1.6e-3
		Limo argilloso plastico	1771	1121	1.190	0.503	18	0	0.014662	0.7500	6.7e-5
9.80		Argilla limosa soffice	1737	1087	1.255	0.387	16	0	0.018519	0.9000	2.4e-5
		Limo argilloso plastico	1796	1146	1.485	0.591	17	0	0.014067	0.8867	1.2e-4
12.40		Limo argil-sabbioso addensato medio	1814	1164	1.927	0.656	17	0	0.014040	1.0035	5.7e-4
		Limo argilloso plastico	1874	1224	2.980	0.974	16	0	0.014838	1.4977	8.0e-5
24.80		Limo argilloso plastico									

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com

RELAZIONE TECNICA

-----

CPT n°2            data:02/11/20            elaborato n° 338  
 Cantiere: v. Carrobbio - Carpi  
 Committente: DENIMMOBILIARE srl

Quota livello di falda: 1.80

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	10.00	0.73	13.64
0.80	11.00	1.07	10.31
1.00	17.00	1.27	13.42
1.20	15.00	1.60	9.38
1.40	12.00	1.27	9.47
1.60	13.00	0.80	16.25
1.80	9.00	0.60	15.00
2.00	9.00	0.40	22.50
2.20	9.00	0.40	22.50
2.40	13.00	0.73	17.73
2.60	11.00	0.53	20.63
2.80	12.00	0.40	30.00
3.00	16.00	0.73	21.82
3.20	11.00	0.47	23.57
3.40	11.00	0.40	27.50
3.60	12.00	0.67	18.00
3.80	16.00	0.60	26.67
4.00	11.00	0.53	20.63
4.20	7.00	0.47	15.00
4.40	24.00	0.33	72.00
4.60	32.00	0.33	96.97
4.80	28.00	0.33	84.85
5.00	40.00	0.33	121.21
5.20	7.00	0.40	17.50
5.40	7.00	0.47	15.00
5.60	9.00	0.27	33.75
5.80	7.00	0.47	15.00
6.00	10.00	0.40	25.00
6.20	10.00	0.47	21.43
6.40	8.00	0.47	17.14
6.60	10.00	0.40	25.00
6.80	9.00	0.40	22.50
7.00	11.00	0.33	33.00
7.20	8.00	0.47	17.14
7.40	19.00	0.47	40.71
7.60	15.00	0.40	37.50
7.80	8.00	0.67	12.00
8.00	9.00	0.40	22.50
8.20	9.00	0.40	22.50
8.40	8.00	0.40	20.00
8.60	10.00	0.27	37.50
8.80	10.00	0.33	30.00
9.00	13.00	0.40	32.50
9.20	12.00	0.60	20.00
9.40	11.00	0.73	15.00
9.60	12.00	0.67	18.00
9.80	10.00	0.80	12.50
10.00	9.00	0.67	13.50
10.20	9.00	0.60	15.00
10.40	9.00	0.60	15.00
10.60	13.00	0.67	19.50
10.80	15.00	0.80	18.75
11.00	13.00	0.93	13.93
11.20	12.00	0.67	18.00
11.40	13.00	0.67	19.50
11.60	13.00	0.80	16.25
11.80	18.00	0.73	24.55
12.00	14.00	0.93	15.00
12.20	15.00	0.67	22.50
12.40	7.00	0.80	8.75
12.60	19.00	0.67	28.50
12.80	23.00	0.93	24.64
13.00	15.00	1.40	10.71
13.20	23.00	0.87	26.54
13.40	19.00	1.07	17.81

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com

13.60	14.00	1.00	14.00
13.80	11.00	0.67	16.50
14.00	15.00	0.47	32.14
14.20	14.00	0.67	21.00
14.40	15.00	0.67	22.50
14.60	17.00	0.53	31.88
14.80	12.00	0.60	20.00
15.00	13.00	0.47	27.86
15.20	10.00	0.67	15.00
15.40	11.00	0.47	23.57
15.60	9.00	0.53	16.88
15.80	11.00	0.47	23.57
16.00	16.00	0.67	24.00
16.20	19.00	0.60	31.67
16.40	18.00	0.87	20.77
16.60	12.00	0.87	13.85
16.80	10.00	0.73	13.64
17.00	10.00	0.80	12.50
17.20	13.00	0.60	21.67
17.40	20.00	0.80	25.00
17.60	22.00	1.13	19.41
17.80	18.00	1.33	13.50
18.00	28.00	1.33	21.00
18.20	28.00	2.07	13.55
18.40	25.00	1.80	13.89
18.60	28.00	1.87	15.00
18.80	29.00	1.93	15.00
19.00	28.00	2.00	14.00
19.20	27.00	1.93	13.97
19.40	23.00	1.60	14.38
19.60	19.00	1.40	13.57
19.80	20.00	0.80	25.00
20.00	17.00	1.07	15.94
20.20	18.00	0.93	19.29
20.40	21.00	1.20	17.50
20.60	24.00	1.33	18.00
20.80	24.00	1.47	16.36
21.00	14.00	1.33	10.50
21.20	15.00	0.60	25.00
21.40	19.00	1.00	19.00
21.60	22.00	1.27	17.37
21.80	29.00	1.47	19.77
22.00	32.00	1.80	17.78
22.20	32.00	2.00	16.00
22.40	31.00	1.93	16.03
22.60	33.00	1.80	18.33
22.80	35.00	1.73	20.19
23.00	22.00	2.07	10.65
23.20	21.00	1.47	14.32
23.40	25.00	1.33	18.75
23.60	25.00	1.47	17.05
23.80	24.00	1.40	17.14
24.00	24.00	1.40	17.14
24.20	22.00	1.53	14.35
24.40	24.00	1.40	17.14
24.60	20.00	1.07	18.75
24.80	15.00	0.80	18.75

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com

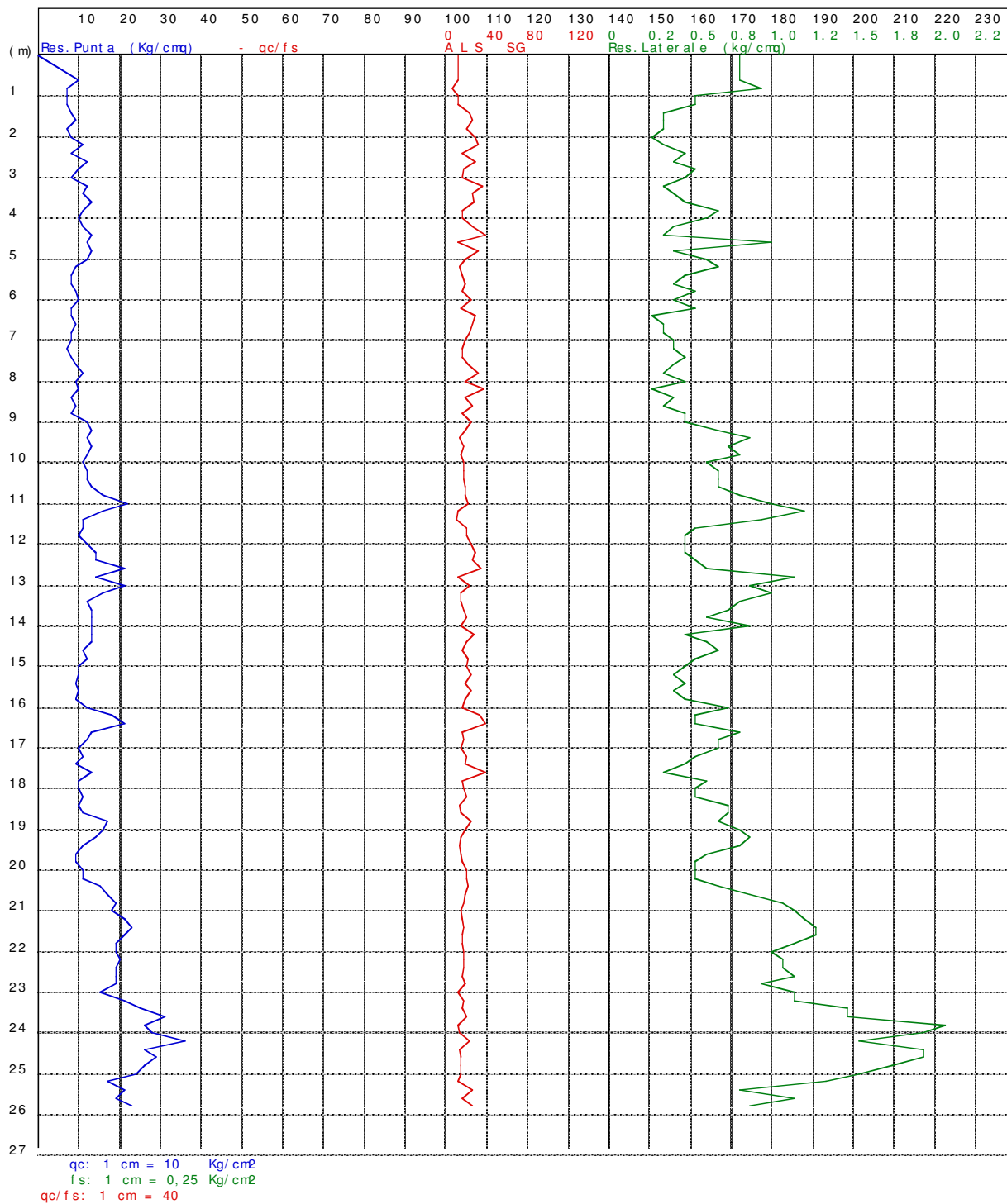


dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com

CPT n°3      data: 02/11/20      elaborato n°339  
 Cantiere: v. Carobbio - Carpi  
 Committente: DENIMODILIARE srl



dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com



Prof m	Strati	Tipologia	Gamma kg/m³	Gamma' kg/m³	Sigma' V kg/cm²	CU kg/cm³	FI °	DR %	M cm²/Kg	K oriz Kg/cm³	Per m. cm/sec
0.80		Argilla limosa plastica	1741	1741	0.139	0.456	28	0	0.018401	0.9250	2.4e-6
		Lim argil-sabbioso sciolto	1722	1072	0.289	0.393	23	0	0.017176	0.5429	5.5e-4
2.20	FALDA										
3.00		Lim argilloso soffice	1745	1095	0.377	0.456	23	0	0.015770	0.6333	3.9e-4
		Lim argil-sabbioso addensato medio	1778	1128	0.603	0.560	21	0	0.014437	0.7867	8.5e-4
5.00		Lim argilloso soffice	1727	1077	0.883	0.375	18	0	0.016880	0.5590	2.8e-4
7.60		Lim argil-sabbioso sciolto	1740	1090	1.013	0.408	17	0	0.016062	0.6111	1.3e-3
8.80		Lim argilloso plastico	1793	1143	1.356	0.586	18	0	0.014103	0.8711	1.5e-4
11.80		Lim argil-sabbioso addensato medio	1823	1173	1.497	0.725	18	0	0.014205	1.0667	1.1e-3
13.00		Lim argilloso plastico	1777	1127	1.813	0.495	16	0	0.014469	0.7810	2.8e-4
15.80		Lim argil-sabbioso sciolto	1832	1182	1.884	0.756	17	0	0.014524	1.1333	3.2e-3
16.40		Lim argilloso plastico	1839	1189	3.001	0.737	15	0	0.014872	1.1830	1.3e-4
25.80											

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com

RELAZIONE TECNICA

CPT n°3 data:02/11/20 elaborato n°339  
 Cantiere: v. Carobbio - Carpi  
 Committente: DENIMMOBILIARE srl

Quota livello di falda: 2.00

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	10.00	0.80	12.50
0.80	7.00	0.93	7.50
1.00	7.00	0.53	13.13
1.20	7.00	0.53	13.13
1.40	8.00	0.33	24.00
1.60	9.00	0.33	27.00
1.80	7.00	0.33	21.00
2.00	8.00	0.27	30.00
2.20	11.00	0.33	33.00
2.40	8.00	0.47	17.14
2.60	12.00	0.40	30.00
2.80	10.00	0.53	18.75
3.00	8.00	0.47	17.14
3.20	12.00	0.33	36.00
3.40	11.00	0.40	27.50
3.60	13.00	0.47	27.86
3.80	11.00	0.67	16.50
4.00	10.00	0.60	16.67
4.20	11.00	0.40	27.50
4.40	13.00	0.33	39.00
4.60	12.00	1.00	12.00
4.80	13.00	0.40	32.50
5.00	12.00	0.60	20.00
5.20	9.00	0.67	13.50
5.40	8.00	0.47	17.14
5.60	8.00	0.40	20.00
5.80	9.00	0.53	16.88
6.00	10.00	0.40	25.00
6.20	8.00	0.53	15.00
6.40	8.00	0.27	30.00
6.60	9.00	0.33	27.00
6.80	8.00	0.33	24.00
7.00	8.00	0.40	20.00
7.20	7.00	0.40	17.50
7.40	8.00	0.47	17.14
7.60	9.00	0.40	22.50
7.80	11.00	0.33	33.00
8.00	9.00	0.47	19.29
8.20	10.00	0.27	37.50
8.40	8.00	0.40	20.00
8.60	9.00	0.33	27.00
8.80	8.00	0.47	17.14
9.00	12.00	0.47	25.71
9.20	13.00	0.67	19.50
9.40	12.00	0.87	13.85
9.60	13.00	0.73	17.73
9.80	12.00	0.80	15.00
10.00	11.00	0.60	18.33
10.20	12.00	0.67	18.00
10.40	12.00	0.67	18.00
10.60	13.00	0.67	19.50
10.80	16.00	0.80	20.00
11.00	22.00	1.00	22.00
11.20	16.00	1.20	13.33
11.40	11.00	0.93	11.79
11.60	11.00	0.53	20.63
11.80	10.00	0.47	21.43
12.00	12.00	0.47	25.71
12.20	14.00	0.47	30.00
12.40	14.00	0.53	26.25
12.60	21.00	0.60	35.00
12.80	14.00	1.13	12.35
13.00	21.00	0.87	24.23
13.20	16.00	1.00	16.00
13.40	12.00	0.80	15.00

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com

13.60	13.00	0.73	17.73
13.80	13.00	0.60	21.67
14.00	13.00	0.87	15.00
14.20	13.00	0.47	27.86
14.40	13.00	0.60	21.67
14.60	11.00	0.67	16.50
14.80	12.00	0.53	22.50
15.00	10.00	0.47	21.43
15.20	10.00	0.40	25.00
15.40	9.00	0.47	19.29
15.60	10.00	0.40	25.00
15.80	9.00	0.47	19.29
16.00	12.00	0.73	16.36
16.20	18.00	0.53	33.75
16.40	21.00	0.53	39.38
16.60	13.00	0.80	16.25
16.80	12.00	0.67	18.00
17.00	10.00	0.67	15.00
17.20	11.00	0.53	20.63
17.40	9.00	0.47	19.29
17.60	13.00	0.33	39.00
17.80	10.00	0.60	16.67
18.00	10.00	0.53	18.75
18.20	11.00	0.53	20.63
18.40	10.00	0.73	13.64
18.60	11.00	0.73	15.00
18.80	17.00	0.67	25.50
19.00	16.00	0.80	20.00
19.20	14.00	0.87	16.15
19.40	11.00	0.80	13.75
19.60	9.00	0.60	15.00
19.80	9.00	0.53	16.88
20.00	11.00	0.53	20.63
20.20	11.00	0.53	20.63
20.40	15.00	0.67	22.50
20.60	17.00	0.87	19.62
20.80	19.00	1.07	17.81
21.00	18.00	1.13	15.88
21.20	21.00	1.20	17.50
21.40	23.00	1.27	18.16
21.60	21.00	1.27	16.58
21.80	19.00	1.13	16.76
22.00	19.00	1.00	19.00
22.20	20.00	1.07	18.75
22.40	19.00	1.07	17.81
22.60	19.00	1.13	16.76
22.80	19.00	0.93	20.36
23.00	15.00	1.13	13.24
23.20	21.00	1.13	18.53
23.40	25.00	1.47	17.05
23.60	31.00	1.47	21.14
23.80	26.00	2.07	12.58
24.00	28.00	1.93	14.48
24.20	36.00	1.53	23.48
24.40	26.00	1.93	13.45
24.60	29.00	1.93	15.00
24.80	26.00	1.73	15.00
25.00	24.00	1.53	15.65
25.20	17.00	1.33	12.75
25.40	21.00	0.80	26.25
25.60	19.00	1.13	16.76
25.80	23.00	0.87	26.54

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com



dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo55@gmail.com