

PROVINCIA DI MODENA

COMUNE DI RAVARINO

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DI INIZIATIVA PRIVATA

ZONA OMOGENEA C PER NUOVI INSEDIAMENTI RESIDENZIALI n°5
PROSPICIENTE VIA MAESTRA

Richiedente:

JAHVÈ SRL
Via Milazzo n.39 43125 Parma
p.iva 01915620346 - c.f. 01489890366 - tel. 0521 986945

Jahve s.r.l.

del. Giorgio Tonzi

Progettista:

ARCH. VITTORIO GUASTI
Via Clivio n.10 43058 Sorbolo PR
p.iva 00853370344 - c.f. GSTVTR55R001845C - tel. 0521 493782 - email v.guasti@vg-architettura.it

Progettista:

GEOM. MANUELA GIBERTONI
Piazza Matteotti n.33 41030 Bomporto MO
p.iva 01812340360 - c.f. GBRMNL66C65A959D - tel. 059 818331 - email manuela@studiogibertoni.com

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

Scala:

Cod.Elab.:

PUA.P.24

Rev.:	Data.:	Eseguito/Controllato.:
00	25.05.2020	Geom. Gibertoni

REGIONE EMILIA ROMAGNA
PROVINCIA DI MODENA
COMUNE DI RAVARINO

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 PIANO PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVA
PRIVATA - ZONA OMOGENEA C, n. 5

Localita'

RAVARINO - VIA MAESTRA/VIA CANALETTO

Committente

LEONARDO SRL

Tecnico incaricato

DOTT. GEOL. CLAUDIO PRECI



Data

MARZO 2020

Studio Preci
Geologia, Geotecnica, Geofisica, Idrogeologia, Ambiente
Via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena
Tel: 059.823020 - Cell: 3398264394
e-mail: precigeo@virgilio.it

INDICE

1. Premessa.....	2
2. Modellazione geologica del sito.....	5
3. Metodologia d'indagine delle prove in sito.....	18
3.1 Indagini geognostiche - Prove penetrometriche statiche CPT.....	19
3.2 Indagine geofisica - Misura del microtremore sismico.....	20
4. Modellazione geotecnica del volume significativo di terreno.....	24
5. Modellazione sismica e pericolosità sismica di base del sito.....	27
5.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti.....	36
5.2 Misura del microtremore sismico.....	39
5.3 Azione Sismica.....	45
6. Considerazioni conclusive.....	60
Allegato A - Elaborati delle indagini geognostiche.....	61

Variante PRG 2019



Comune di Ravarino
Variante specifica al PRG

Relazione di Variante

Catasto – Scala 1:2.000



dott. Claudio Preci geologo

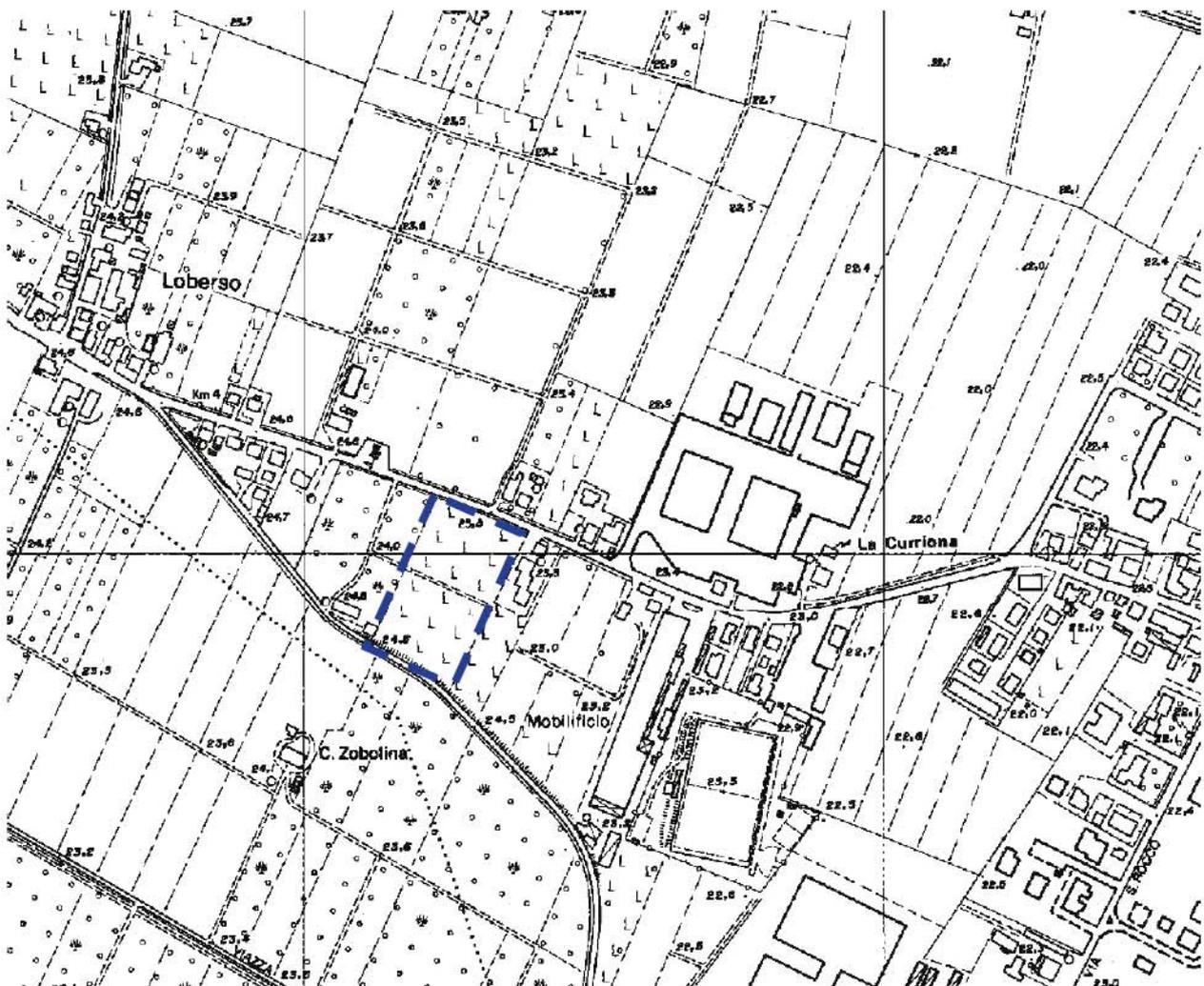
Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel 059/823020 - cell 339/8264394 - e-mail precigeo@virgilio.it

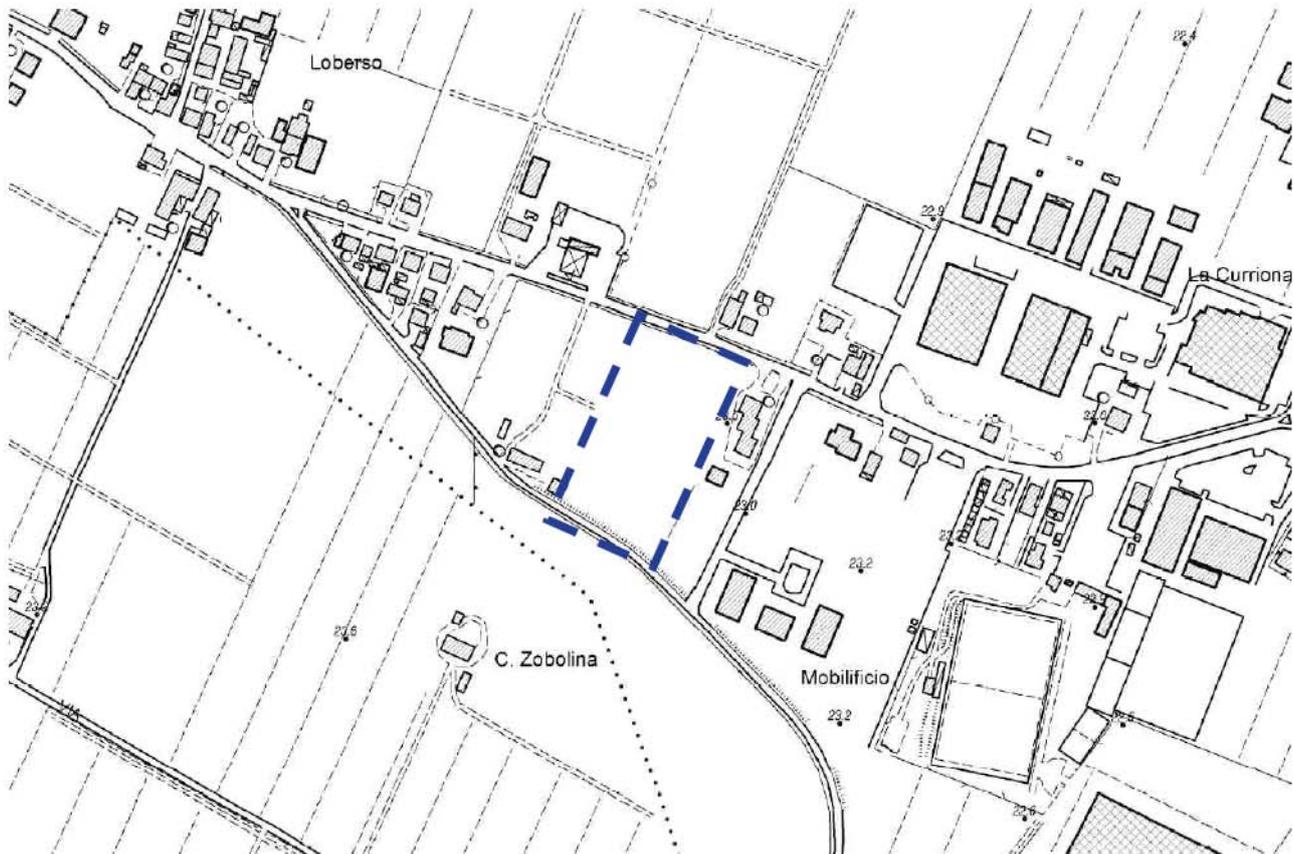
Secondo il DM 17/01/2018 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni, le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. Nella presente relazione vengono riportate la modellazione geologica e sismica dell'area in oggetto e la modellazione geotecnica sulle indagini geognostiche eseguite in sito, con particolare riferimento alla individuazione dei parametri geotecnici 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 al margine ovest del nucleo urbano di Ravarino ed è compresa tra la SP n. 1/via Maestra, via Salvo D'Acquisto e via Canaletto, a una quota media di 24 m slm. Tale area è classificata come "Zona omogenea C - n. 5", al foglio 28 - mappale 599. Nell'archivio cartografico della Regione Emilia Romagna è rappresentata nella Carta Topografica a scala 1:25'000 nella Tavola 202 NO "Crevalcore" e nei CTR a scala 1:5.000 nell'elemento n. 202063 "Ravarino Sud".

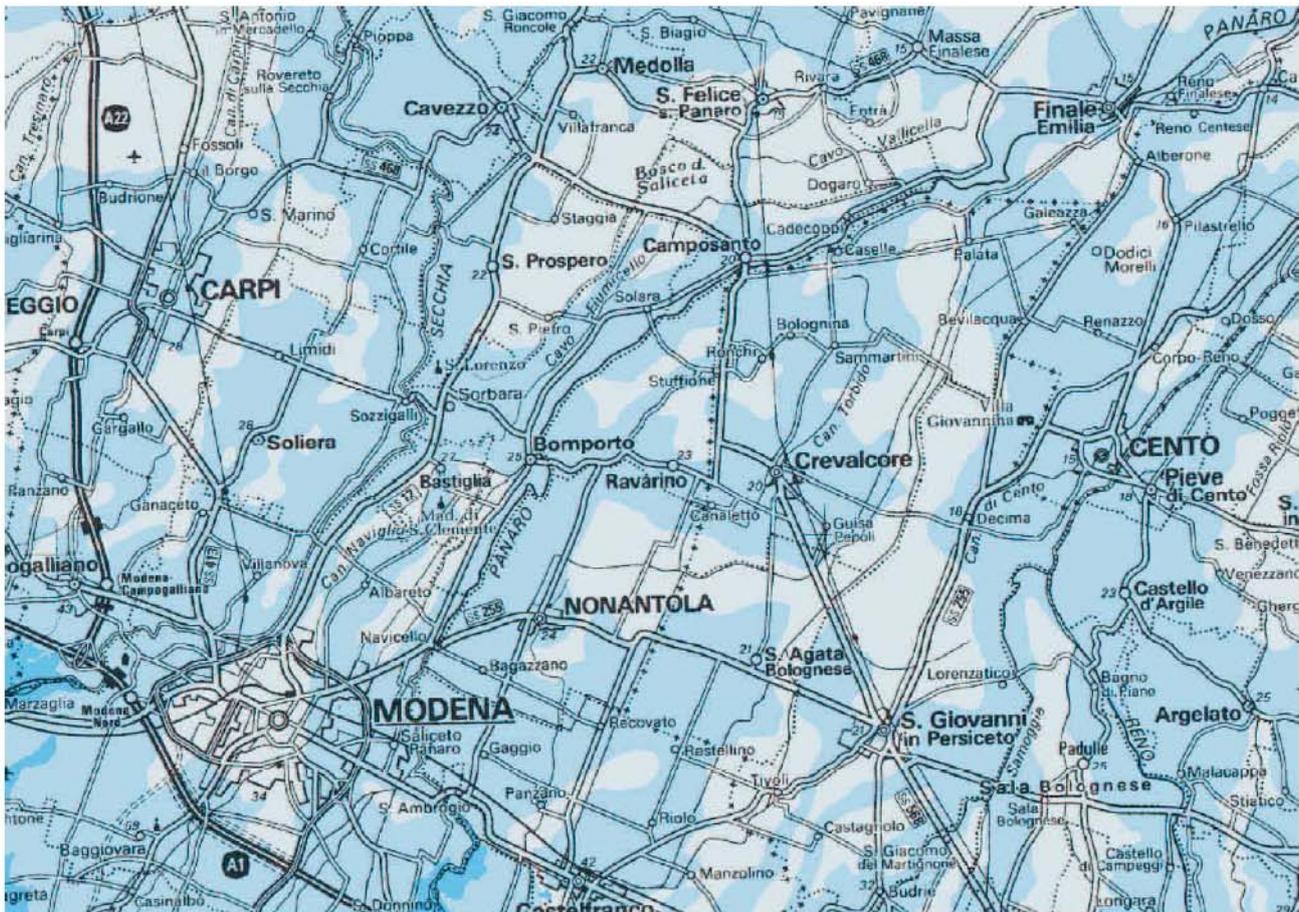


2. Modellazione geologica del sito

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.

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.

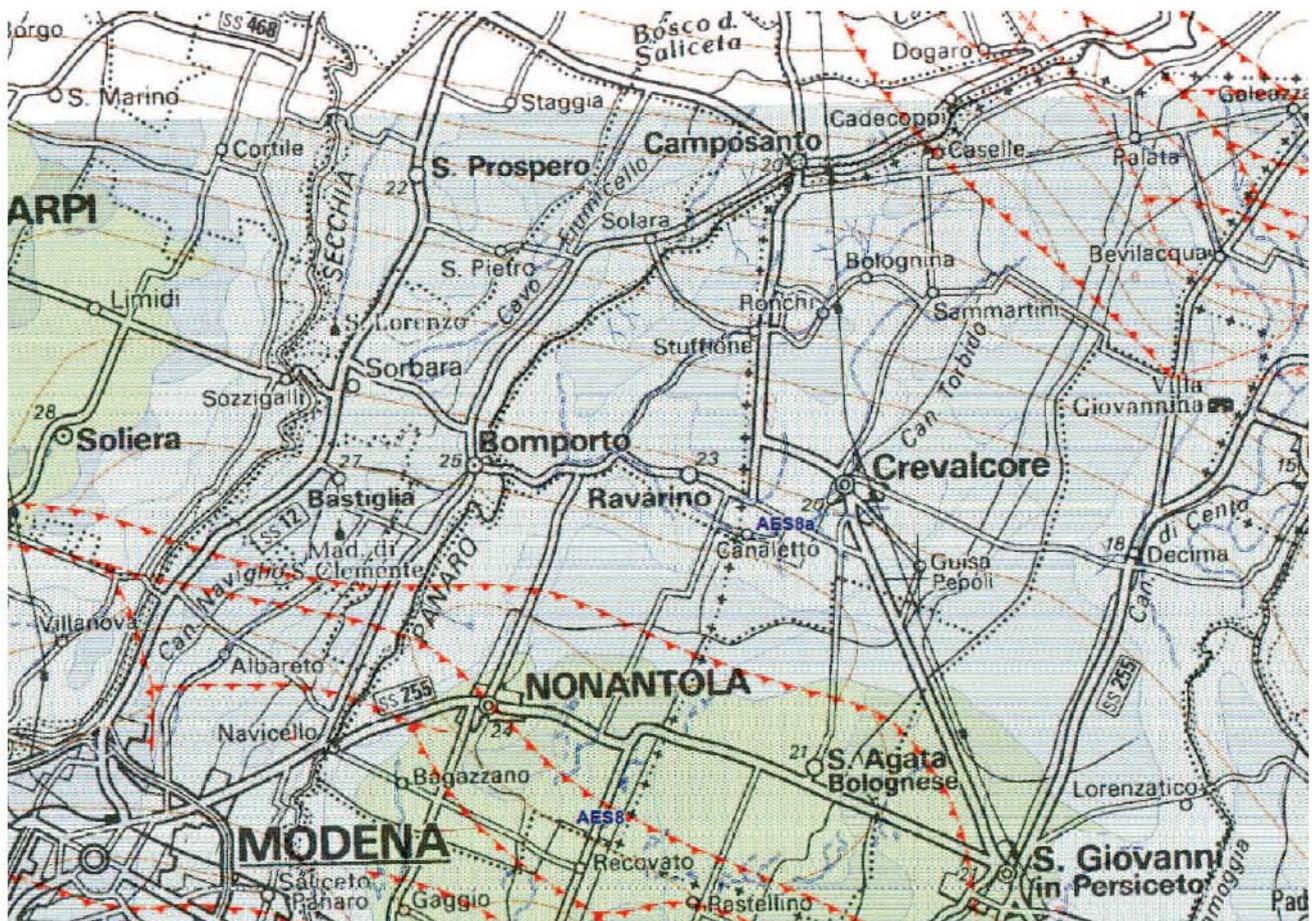


- Depositi di argine, canale e rotta fluviale
- Depositi di canale fluviale
- Depositi di piana a meandri del Po
- Depositi di piana inondabile

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.

La fascia di passaggio tra il margine appenninico e l'alta pianura insiste su depositi alluvionali costituiti da terreni limo argiloso-sabbiosi consistenti con intercalazioni di ghiaie e sabbie ghiaiose addensate, che poggiano su una sedimentazione marino-continentale precedente.

I depositi alluvionali della pianura compresa tra l'area pedemontana e la via Emilia sono il prodotto della sedimentazione prevalentemente verticale dovuta a processi di tracimazione di antichi corsi d'acqua sinuosi e meandriiformi che si sviluppavano a valle dei corsi caratteristici delle aree collinari e pedemontane: i processi deposizionali hanno portato alla formazione di argini naturali prevalentemente sabbiosi e piane d'inondazione formate da limi e argille con stratificazione lenticolare derivata dai singoli episodi di tracimazione.



AES8 - Sistema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Ravenna

AES8a - Sistema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Ravenna - unità di Modena

Isolinee di unità del sottosuolo (50k)

— isobata della base del pliocene

Elementi strutturali (50K)

faglia profonda indeterminata dedotta

▼ sovrascorrimento profondo post-tortoniano dedotto

La migrazione dei meandri e degli alvei ha condotto alla deposizione di corpi sabbiosi nastriformi allungati in senso sud-nord, in parte sepolti da depositi di piena più recenti.

Nell'alta pianura invece i depositi quaternari continentali risultano di origine fluvio-glaciale, riferibile al periodo interglaciale Mindel-Riss e sono costituiti prevalentemente da alluvioni ghiaiose (interglaciale Mindel-Ris), circondati da alluvioni più recenti (glaciazione Würm e olocene recente) e caratterizzate da un paleosuolo limo-argilloso rossastro per alterazione fisico-chimica (ferrettizzazione). La transizione tra le aree di conoide fluviale e la media pianura è molto graduale e mal distinguibile anche per i secolari effetti dell'antropizzazione ed è marcata solitamente da una notevole diminuzione della pendenza della superficie topografica. Inoltre è caratteristica la progressiva scomparsa dei depositi ghiaiosi, che da spesse bancate nelle conoidi pedemontane, successivamente diventano corpi lenticolari discontinui, rinvenibili a profondità variabile.

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

sono spesso indicate col nome di “Argille di Marano”.

Subsistema di Bazzano - AES6 (pleistocene medio): unità costituita da depositi alluvionali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi di terrazzo intravallivo e in parte di conoide. Il tetto è rappresentato dalla superficie topografica con suoli di colore variabile da rosso bruno a giallo bruno, mentre il contatto di base è erosivo e discordante su unità più antiche. Lo spessore complessivo è inferiore a 10 m.

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

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

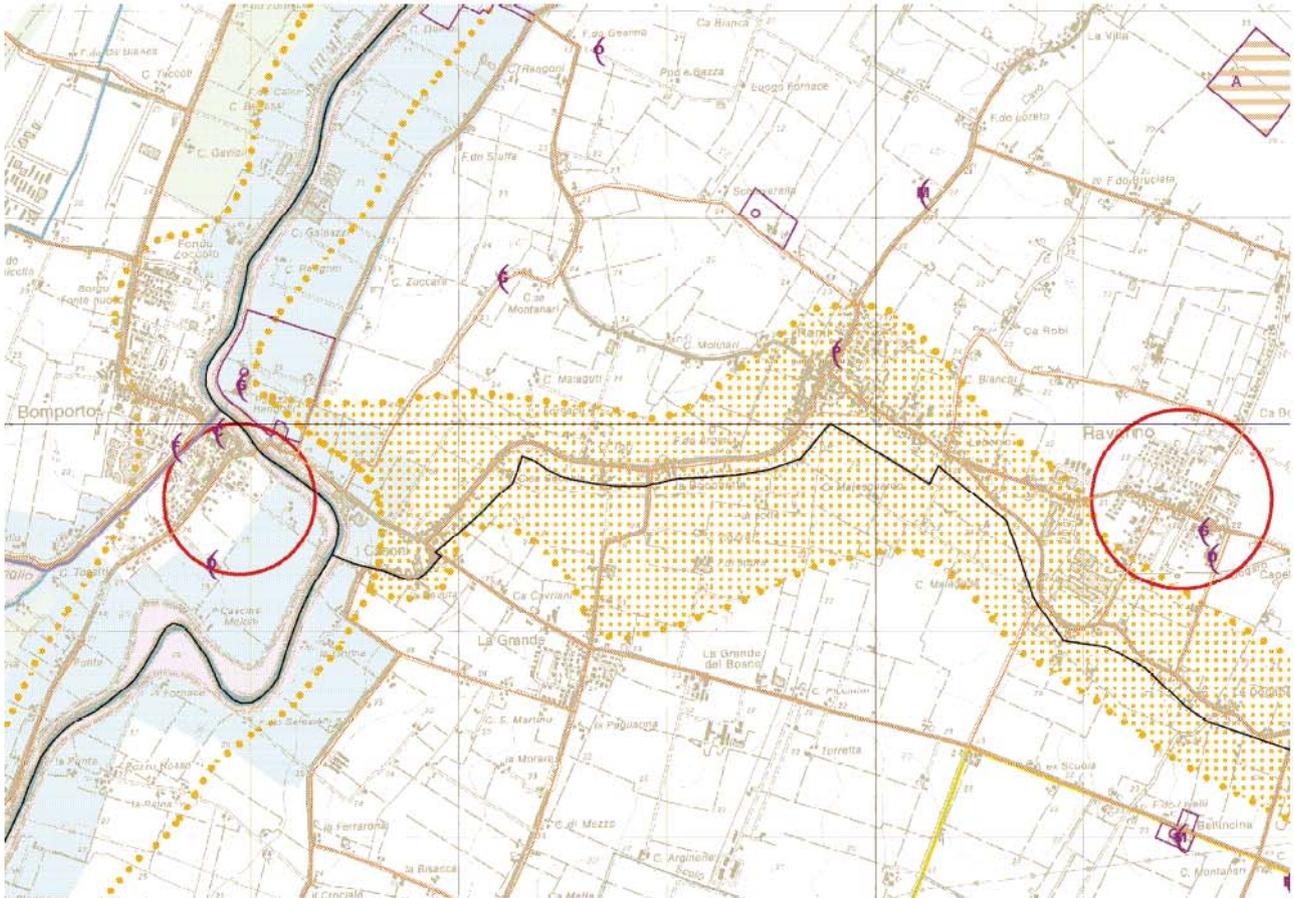
Unità di Modena - AES8a (olocene recente): depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri.

In particolare l'area in esame è ubicata su depositi alluvionali recenti del ciclo quaternario continentale attribuibili al Subsistema di Ravenna (AES8) e Unità di Modena (AES8a). Il substrato marino pliocenico su cui si è sviluppata tale sedimentazione alluvionale affiora presso il margine collinare ed è attribuibile alla Formazione della Argille Azzurre (FAA), che a nord di Vignola vengono rapidamente sepolte dalle alluvioni fluviali per motivi strutturali.

Il bacino principale di provenienza dei sedimenti è infatti quello del fiume Panaro la cui conoide, che si sviluppa tutta sul fianco destro del suo corso attuale, presenta i suoi limiti intermedio (Olocene) e distale (Pleistocene medio e sup.) qualche chilometro a valle di Castelfranco Emilia, lungo la linea Redù-Manzolino, dove raggiunge uno spessore superiore ai 250 m. Nel suo complesso risulta dalla sovrapposizione di più corpi alluvionali di diversa età: quelli più antichi sono databili al Pleistocene medio e superiore, mentre i più recenti, che ricoprono quasi totalmente i precedenti, sono riconducibili all'olocene post-glaciale. Il substrato su cui poggia la conoide affiora presso il margine collinare ed è costituito da formazioni marine argillose e argilloso-arenacee del pliocene-pleistocene medio. Da Vignola a S. Cesario i depositi alluvionali di conoide risultano costituiti quasi esclusivamente da ghiaie pulite o ghiaie con matrice fine coesiva; più a nord sono presenti anche intercalazioni limo-argillose, che procedendo verso la Via Emilia si fanno sempre più consistenti (zona intermedia e distale). Oltre la quota di 25 m s.l.m. le ghiaie scompaiono e sono sostituite da sabbie in sottili livelli intercalati entro sequenze limo-argillose prevalenti (zona di piana alluvionale). Lo spessore dei depositi alluvionali è di qualche metro fino alle decine di metri a Vignola dove, a seguito della fase erosiva degli ultimi decenni dovuta anche all'escavazione di inerti all'interno dell'alveo, l'incisione fluviale ha portato all'affioramento del substrato.

L'area in esame e la zona circostante si mostrano nel complesso penepianeggianti, con una morfologia omogenea tipica delle conoidi alluvionali di ampia estensione areale. Il sito appare antropizzato per la presenza di un tessuto agricolo fitto ed organizzato e di opere di regimazione idraulica della rete idrografica superficiale, che appare totalmente canalizzata e strutturata in modo da recepire gli scoli della rete fognaria e garantire il regolare deflusso delle acque, mediante una fitta rete di scoli e canali artificiali posti secondo una direttrice principale sud-ovest/nord-est.

La stratigrafia dei terreni più superficiali, costituita da depositi alluvionali recenti con alternanze di litotipi limo-argillosi soffici e limi argilloso-sabbiosi da sciolti a mediamente addensati e locali intercalazioni di sabbie limose in corpi lenticolari e nastriformi, passanti a litotipi limo-argillosi da plastici a consistenti, è da attribuirsi all'antica dinamica fluviale di un ampio palealveo principale del Fiume Panaro, chiaramente cartografato nella Tavola 1.1.5 del PTCP (puntinato giallo). Questo dosso fluviale in parte ospita anche l'alveo attuale e ricalca un tracciato relitto del corso d'acqua, che a partire dall'attuale abitato di Bomporto deviava verso est, in corrispondenza delle odierne Rami e Ravarino verso l'abitato di Crevalcore.



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

Sotto il profilo tettonico le recenti ricerche avviate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna" (2004), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici. La fascia di alta pianura si inserisce in un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano. Tale raccorciamento si è prodotto attraverso due importanti fasci paralleli di strutture di embricazione sepolte aventi direzione NW-SE e vergenza verso NE, le cui superfici di distacco interessano la copertura mesozoica e terziaria. Il fascio più settentrionale, denominato Fronte di accavallamento esterno (External Thrust Front = ETF), appartiene all'arco delle "Pieghe Emiliane e Ferraresi" che costituiscono il fronte della catena appenninica, sepolto dai sedimenti quaternari padani, che circa all'altezza del Po sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta.

Il fascio meridionale, coincidente con il margine morfologico appenninico, si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani ed è denominato Fronte di accavallamento pedeappenninico (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 antecedenza rispetto all'anticlinale, i corsi d'acqua minori sono notevolmente influenzati dalla crescita dell'anticlinale. Di conseguenza tali corsi d'acqua subiscono talvolta deflessioni, mentre in altri casi si osserva una inversione di drenaggio locale, con piccoli torrenti costretti a scorrere verso sud prima di essere catturati dal corso d'acqua principale.

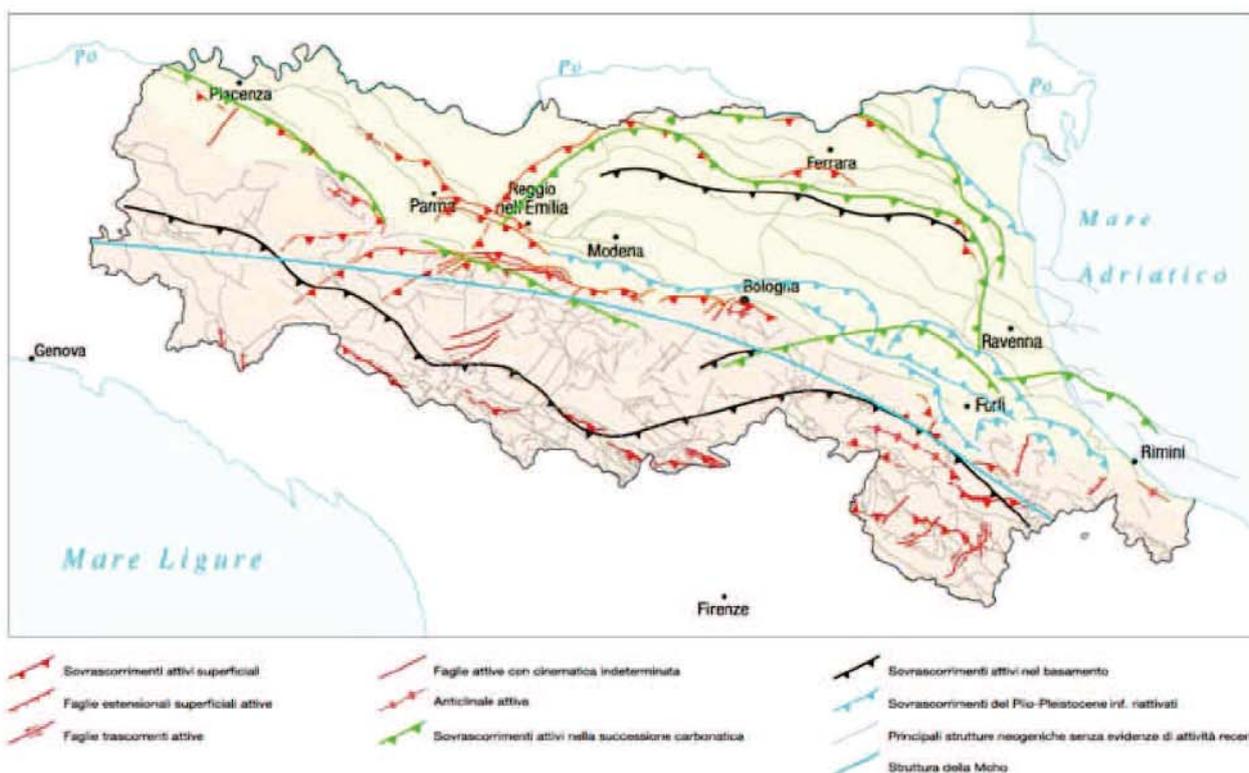


Figura 1 - Attività neotettonica in Emilia-Romagna (da: "Note illustrative - Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004)

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

Queste pieghe costituiscono un elemento strutturale sensibilmente complesso, caratterizzato da un'intensa tettonizzazione che nella parte più settentrionale (Dorsale Ferrarese) ha determinato un notevole innalzamento del substrato carbonatico mesozoico, che presso Novi di Modena e Camurana, si rinviene già a -215/-310 m (pozzo Novi 4bis, 1952 - pozzo Cavone di Carpi 2, 1978) e nelle zone più ad oriente nel ferrarese (Casaglia e Pontelagoscuro) si attesta a -120/-150 m. Nell'ambito del sistema plicativo, l'arco delle Pieghe Ferraresi costituisce la parte più esterna della strutturazione del fronte appenninico, presenta vergenza settentrionale ed è suddivisa in due dorsali:

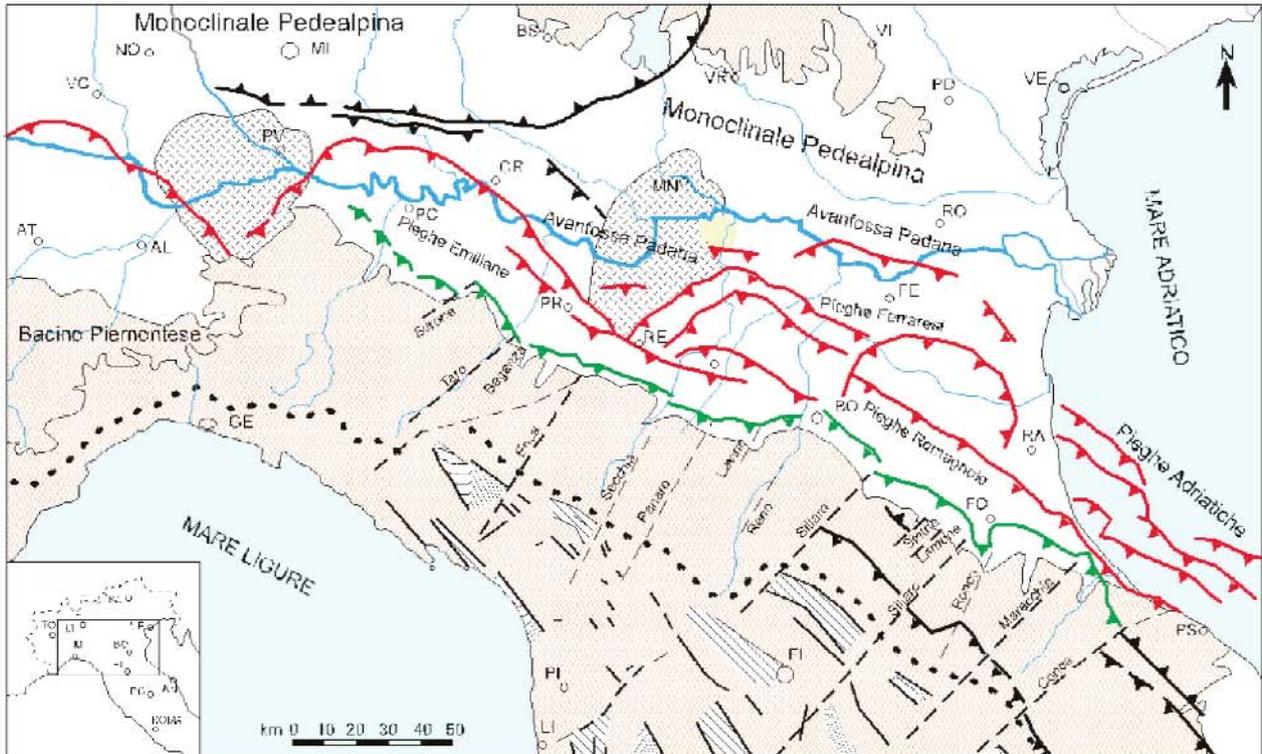
- una più interna, Struttura Bagnolo -Novellara-Campagnola E.-Rolo-Novì-Mirandola-Cento;
- una più esterna, esterna, Struttura Quarantoli-Bondeno-Ferrara.

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

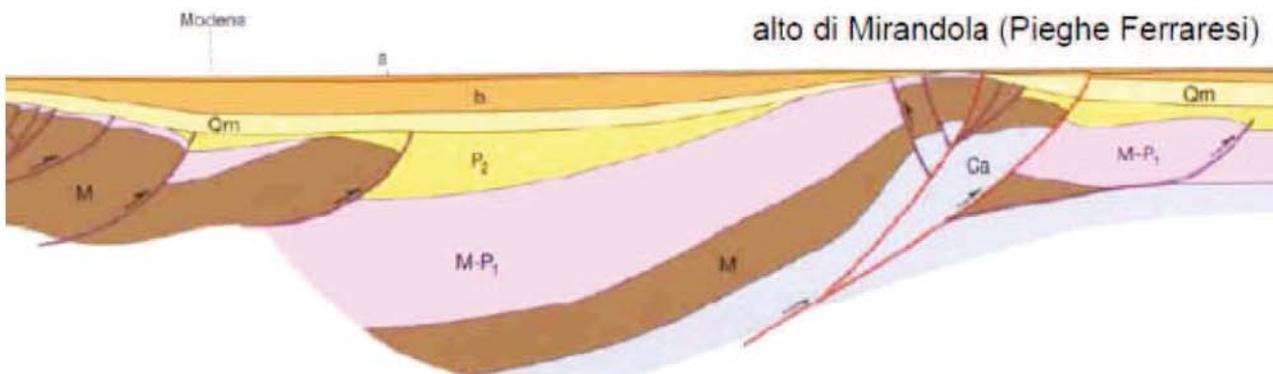
basamento sedimentario individuati nel sottosuolo della zona in esame a tra -9 km e -12 km, secondo l'allineamento Villa Sesso-Novellara-Fabbrico-Rolo-Concordia sS.

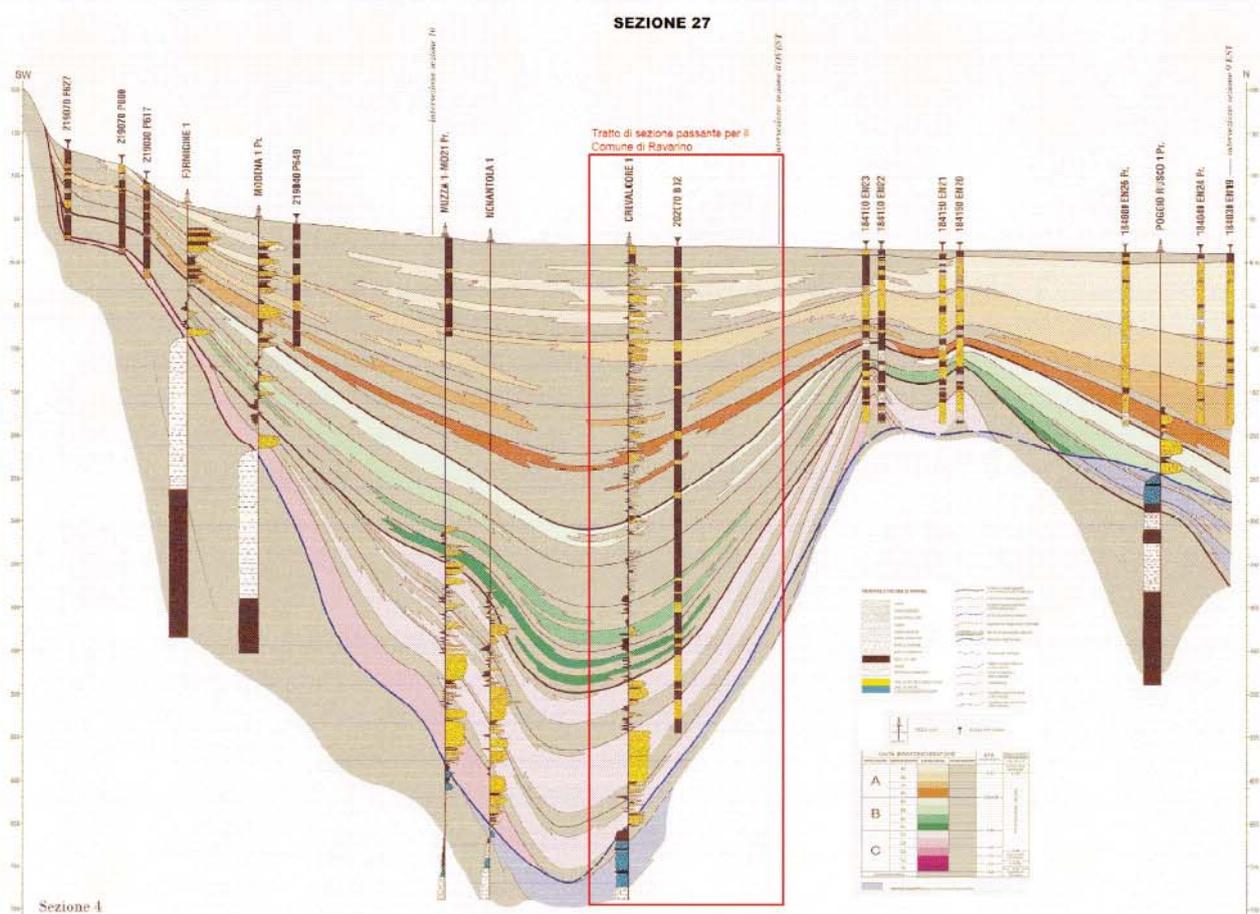
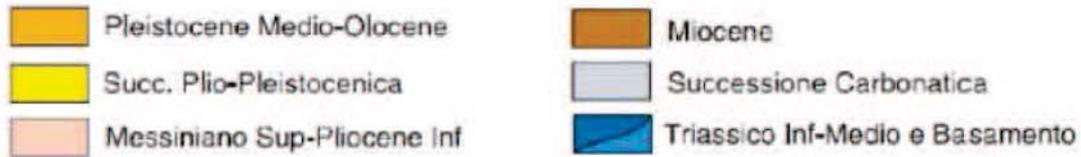
L'interazione tra le Pieghe Emiliane e la parte più esterna della Struttura di Bagnolo (rampa laterale delle Pieghe Ferraresi interne) ha manifestato influenze che hanno determinato sollevamenti negli ultimi $0,45 \div 0,22$ Ma e con tutta probabilità anche in epoca storica, come suggeriscono la diversione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



- | | | | | | |
|--|--|--|----------------------------|--|----------------------------|
| | 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 |
| | | | Sovrascorrimenti (Thrusts) | | |





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.

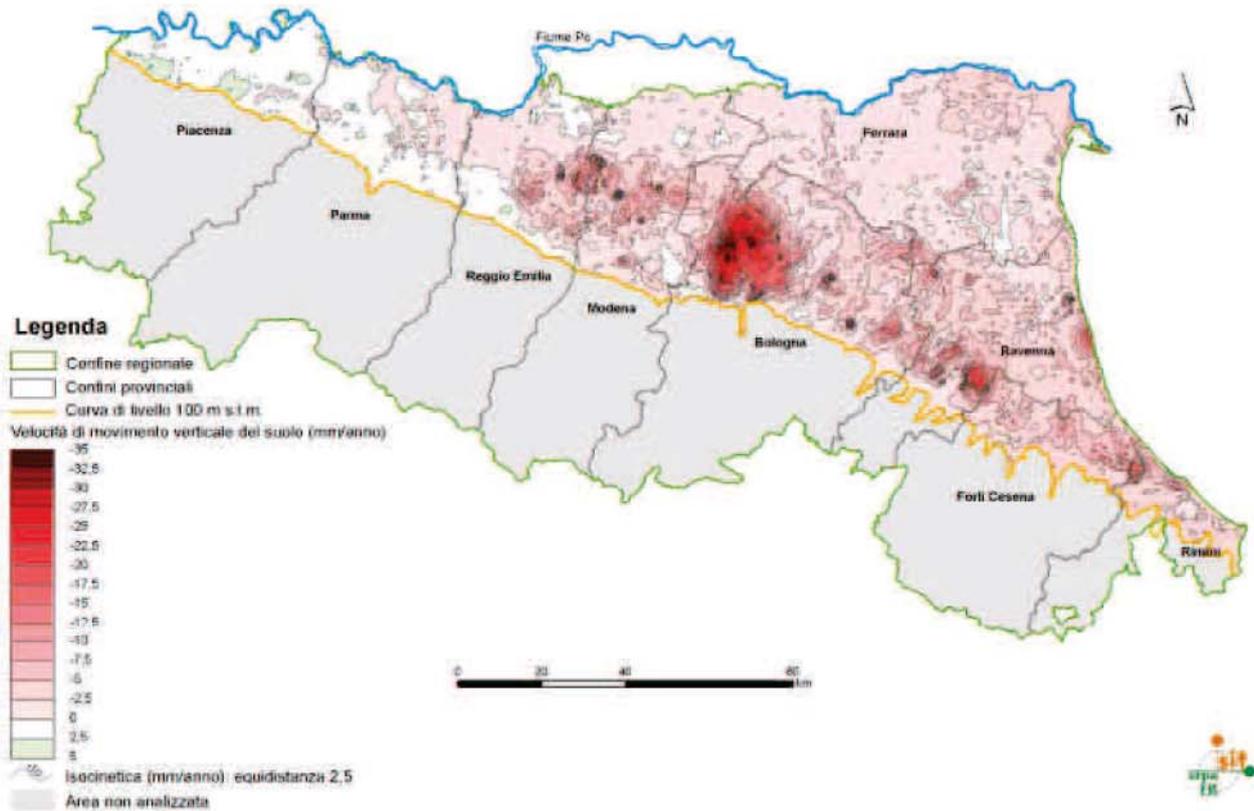
La Regione Emilia-Romagna ha realizzato tramite ARPA Emilia-Romagna e in collaborazione con il DISTART dell'Università di Bologna, la Rete Regionale di Controllo della Subsidenza a partire dalla fine degli anni '90.

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.

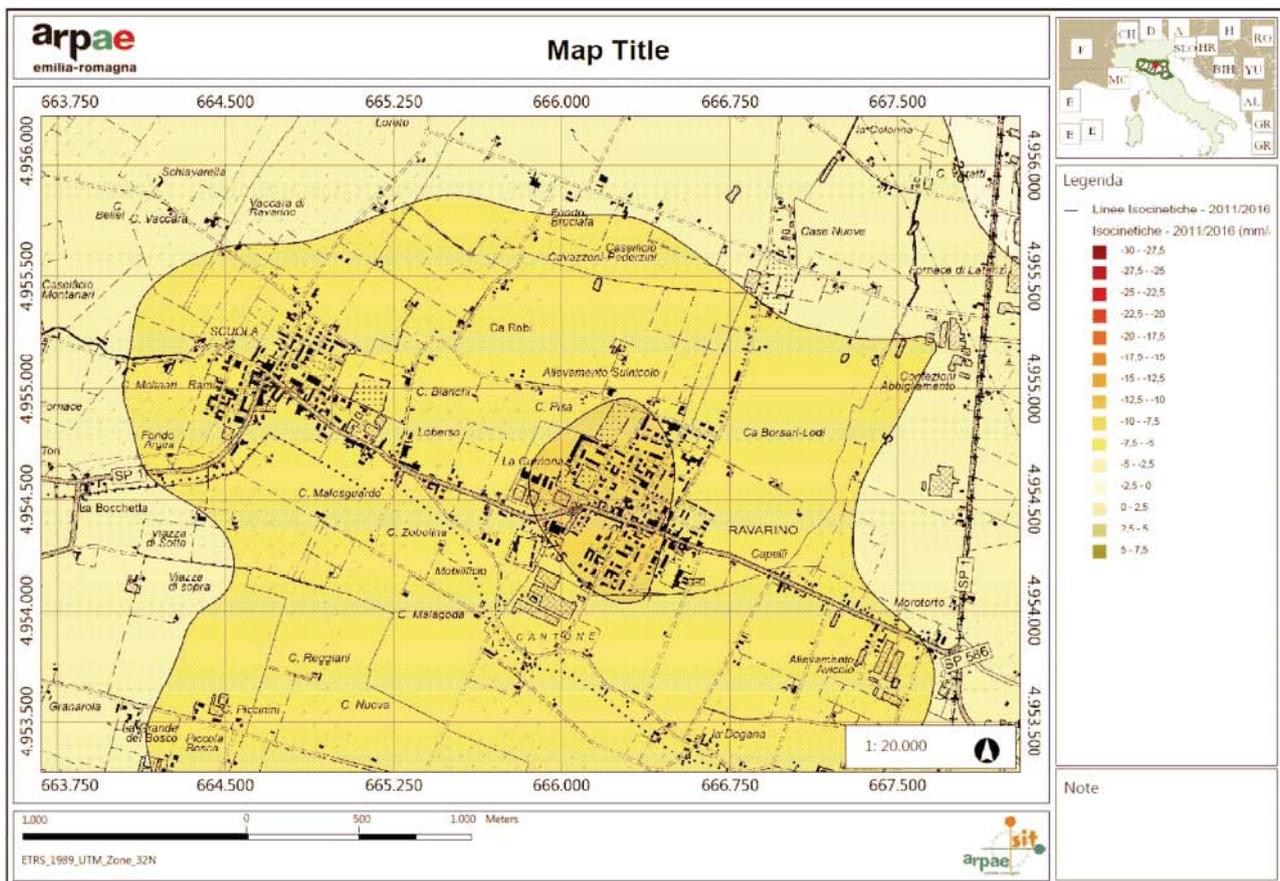
dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel 059/823020 - cell 339/8264394 - e-mail precigeo@virgilio.it



ANDAMENTO SUBSIDENZA 2011-2016



dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

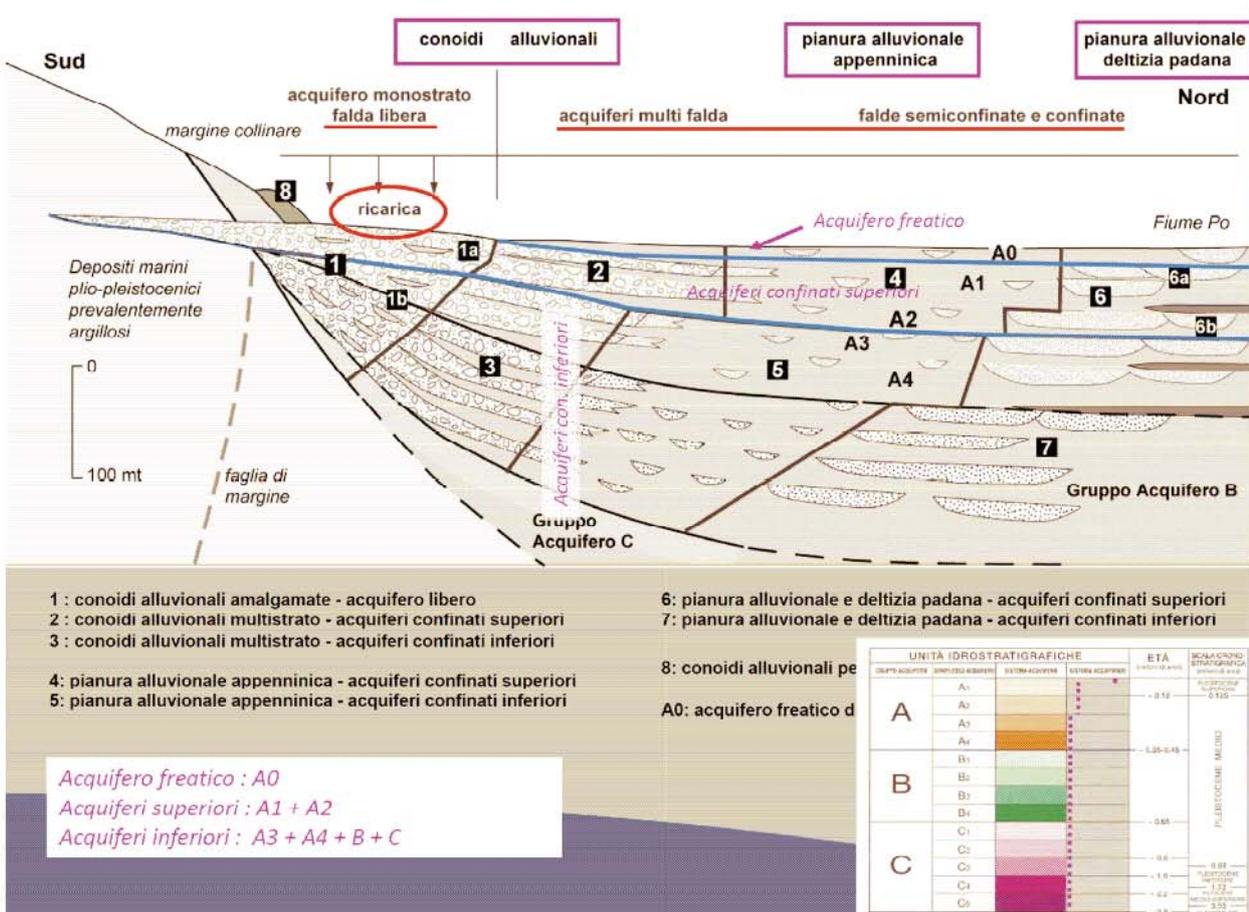
Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel 059/823020 - cell 339/8264394 - e-mail precigeo@virgilio.it

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 generale per l'area in esame e il territorio circostante non si evidenziano problematiche particolari relative all'ambito della subsidenza: nel periodo 2011-2016 si è evidenziato un trend con abbassamenti modesti che non eccedono il normale andamento, dovuto anche al naturale costipamento dei terreni più superficiali.

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

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



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

Nelle zone di apice di conoide le alluvioni sono costituite generalmente da unico strato indifferenziato di materiali grossolani ghiaiosi, che procedendo verso nord aumenta progressivamente di spessore suddividendosi in più livelli separati tra loro da corpi sedimentari limo-argillose.

In “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna” (RER), si definisce Unità Idrostratigrafico-Sequenziale (UIS) una particolare sottoclasse di Unità Idrostratigrafiche i cui componenti sono costituiti da una o più Sequenze Deposizionali (cf. Bottino et Al., 1994) e sono comprensivi di un livello geologico basale, scarsamente permeabile (acquitardo) o impermeabile (acquicludo), arealmente continuo in senso geologico.

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

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

PRINCIPALI UNITÀ STRATIGRAFICHE				ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE						
AFFIORANTI		SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO					
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE	UNITÀ DI VALLA DEL MOSCO	UNITÀ DI CA' DI SOLA	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	SUPERSTESIMA EMILIANO-ROMAGNOLA	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLA SUPERIORE	UNITÀ DI BORGO PANIGALE	~0.12	0.125	A	A1
												A2
	A3											
	A4											
DILUVIUM p.p.	FORMAZIONE DI QUATTELLO	UNITÀ ALLUVIONALE (INFERIORE)	UNITÀ ALLUVIONALE (INFERIORE)	~0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO	B	B1					
B2												
B3												
B4												
QUATERNARIO MARINO	MILAZZANO SABBIE (I) CASTELVETRO (p.p.) SABBIE GALLE (I) MOLA (p.p.)	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 2	~0.65	0.89	C	C1					
	MILAZZANO (I) CALABRIANO (p.p.) SABBIE (I) CASTELVETRO (p.p.) SABBIE GALLE (I) MOLA (p.p.)						C2					
	CALABRIANO (p.p.) SABBIE (I) NOTTERICO FORMAZIONE (I) TERRA (di SOLE) (p.p.)	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2	~0.8	PLEISTOCENE INFERIORE			C3					
	CALABRIANO (p.p.) FORMAZIONE (I) CASTELL'ARQUATO (p.p.)	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1					~1.0	1.72	C4			
P2	FORMAZIONE (I) CASTELL'ARQUATO (p.p.)	SUPERSTESIMA DEL PLOCCO (I) MEDIO-SUPERIORE	PLIOCCO (I) MEDIO SUPERIORE	~2.2	3.55	C5						
				~3.3-3.6	3.55	ACQUITARDO BASALE						
				~3.9			PLIOCCO (I) INFERIORE MIOCENE					

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 plio-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 (nel caso, fiumi Secchia e Panaro), che si estende all'incirca fino al comune di 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 e in particolare del fiume Secchia.

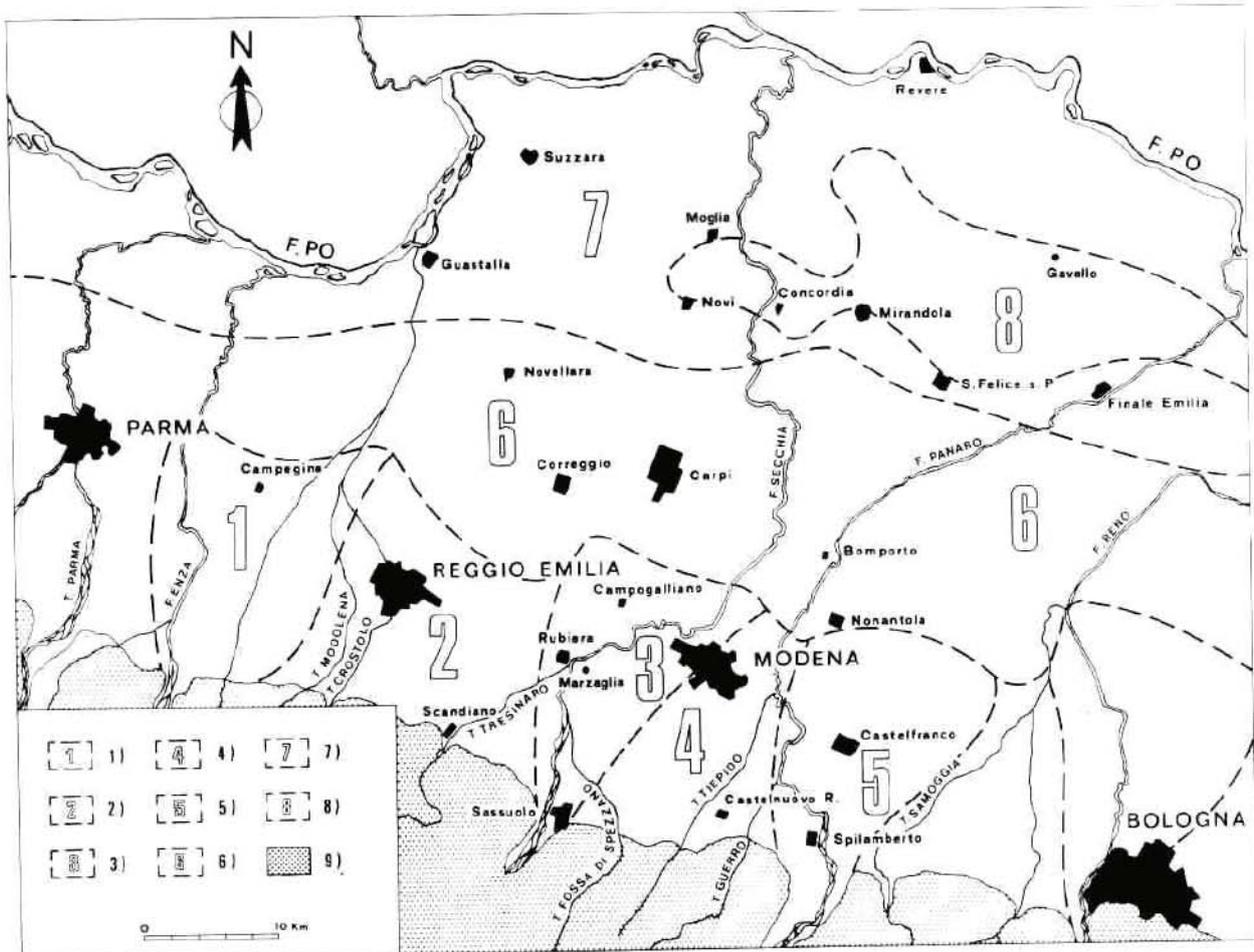
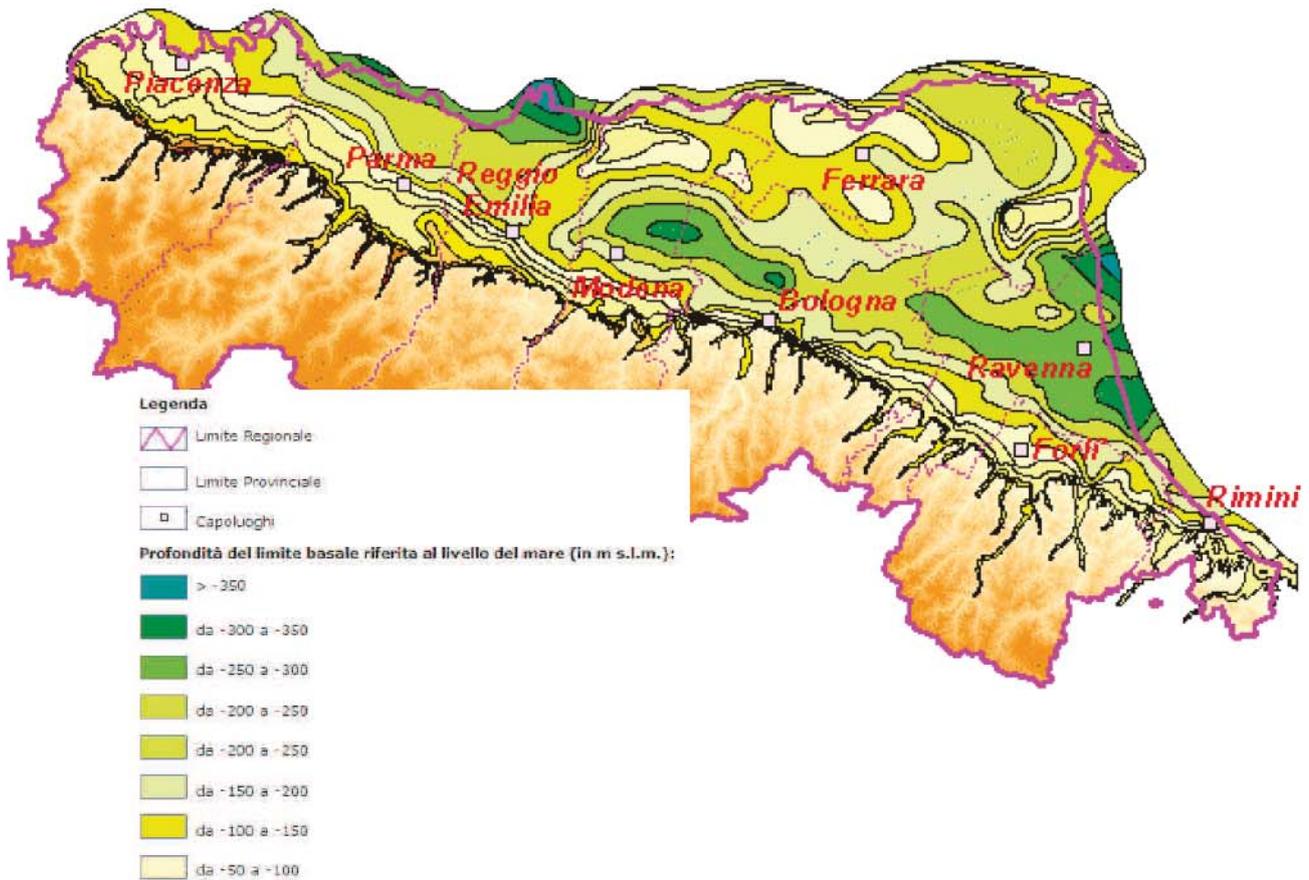
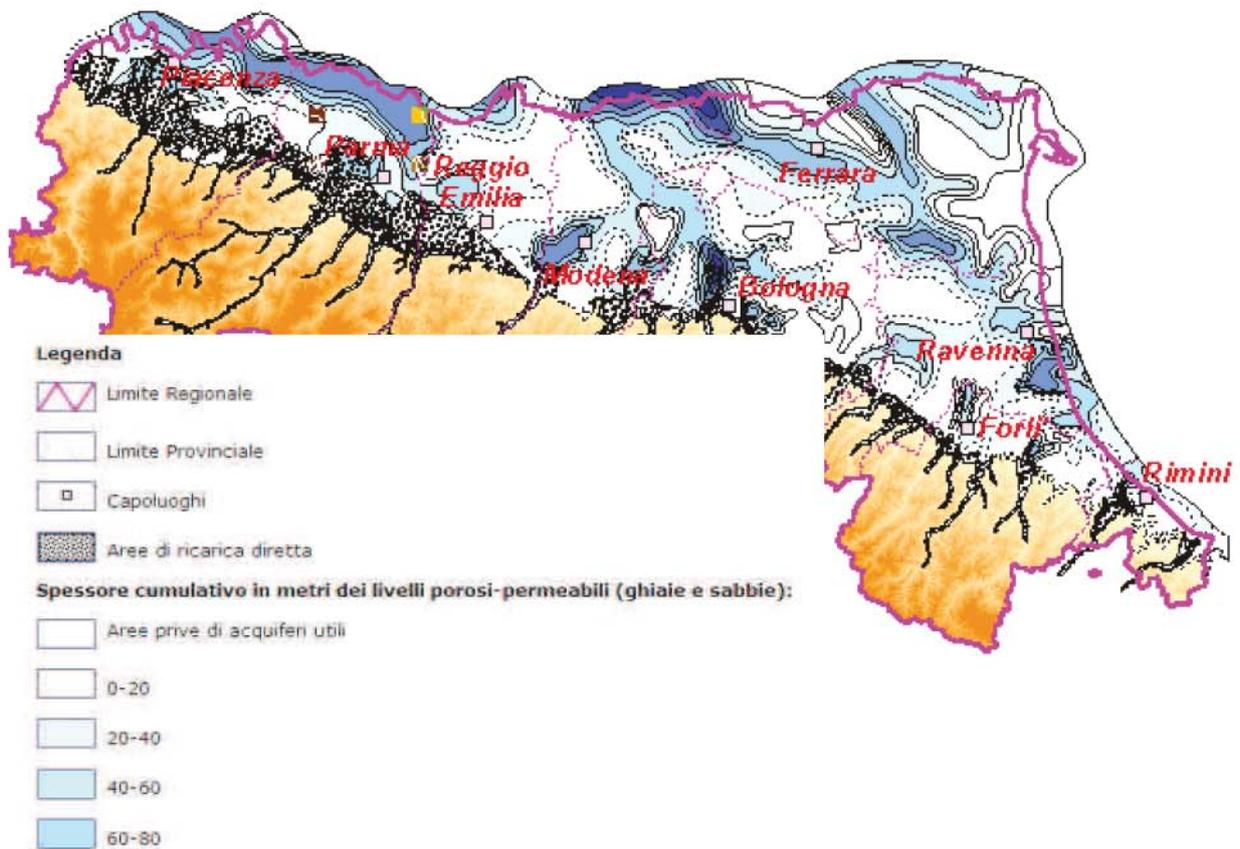


Fig. 1 - Carta indice dell'area studiata. Legenda: 1) conoide del F. Enza; 2) conoidi dei torrenti minori tra il F. Enza e il F. Secchia; 3) conoide del F. Secchia; 4) conoidi dei torrenti minori tra il F. Secchia e il F. Panaro; 5) conoide del F. Panaro; 6) settore di media pianura; 7) settore di bassa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



Profondità del limite basale del Gruppo Acquifero "A" (RER)



Depositi poroso permeabili del Gruppo acquifero "A" (RER)

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 precigeo@virgilio.it

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.

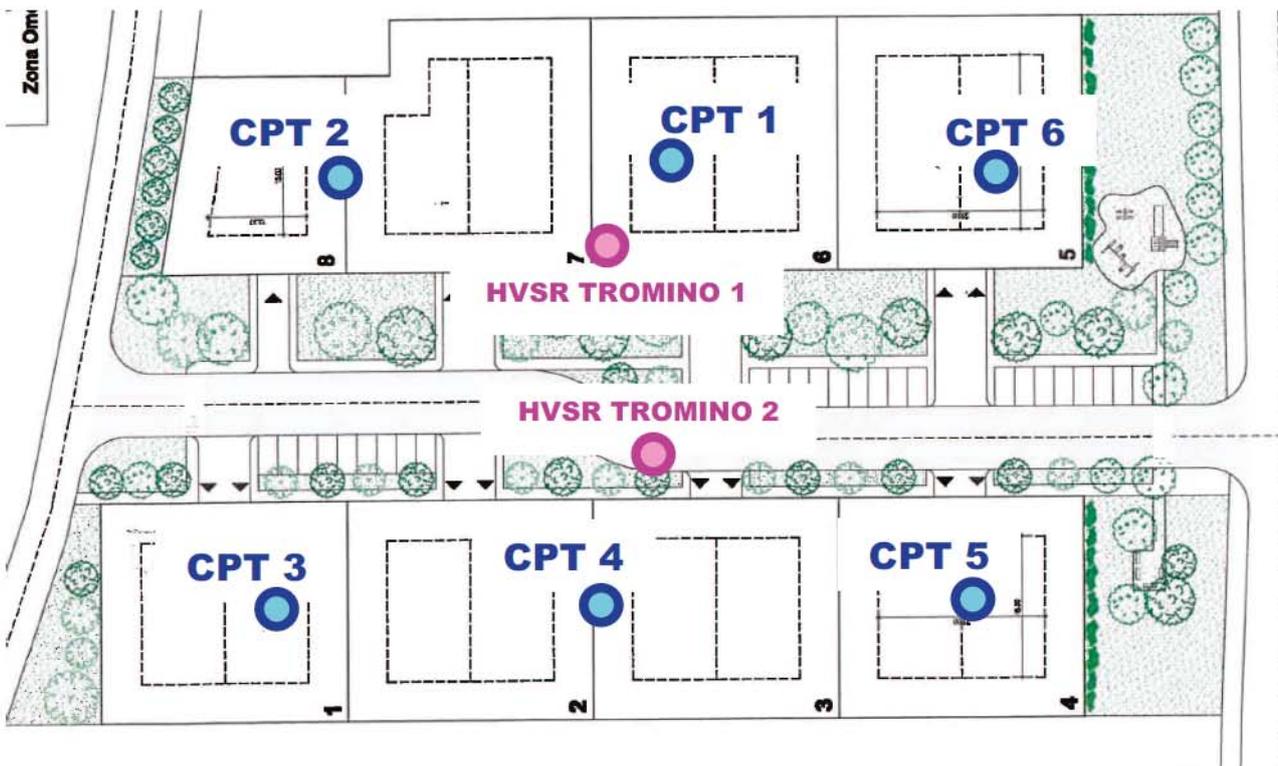
I parametri idraulici caratteristici del Gruppo Acquifero A sono riassunti in "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna" (Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico dei Suoli, ENI - AGIP - 1998). Per le zone di Conoide e Pianura Alluvionale ad alimentazione appenninica, fascia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

3. Metodologia d'indagine delle prove in sito

L'indagine geognostica di campagna per la caratterizzazione dei terreni è stata eseguita in data 10/03/2020 all'interno dell'area oggetto di intervento, mediante n. 6 prove penetrometriche statiche CPT che hanno raggiunto la profondità massima di -20 m rispetto al piano campagna del terreno agricolo in natura.

Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nei fori di prova, si attesta a una profondità di -1/-1.20 m dal piano campagna.

Inoltre è stata svolta nel sito un'indagine geofisica, basata su n. 2 registrazioni a stazione singola del microtremore sismico HVSR con strumentazione TROMINO, per misurare la frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, valutare i possibili effetti sismici di sito e definire l'andamento delle Vs, come richiesto dalle normative vigenti.



3.1 Indagini geognostiche - Prove penetrometriche statiche CPT

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

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

- R_p resistenza alla punta in Kg/cm^2
- R_{lt} resistenza laterale totale (punta+manicotto) in Kg/cm^2
- R_l resistenza laterale locale (al manicotto) in 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 (γ_t, γ'_t)

Questo parametro è determinato in base al valore medio di R_p applicando relazioni ottenute sperimentalmente sui litotipi della pianura Padana. Definito γ_t il peso specifico naturale per il terreno sotto falda e γ_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 (σ'_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 (θ°)

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: $K_o = C_h \cdot R_p / C_k$ dove C_h 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;

ρ 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;

λ e μ 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 Δ 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 ω 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.

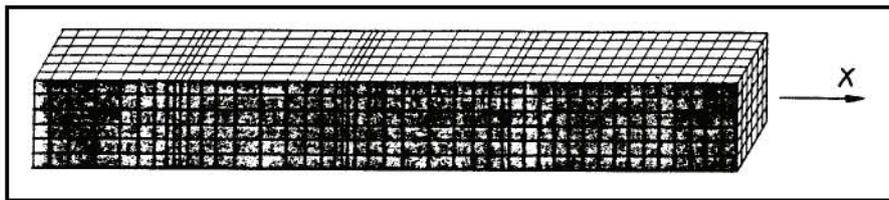


Figura 1

• 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.

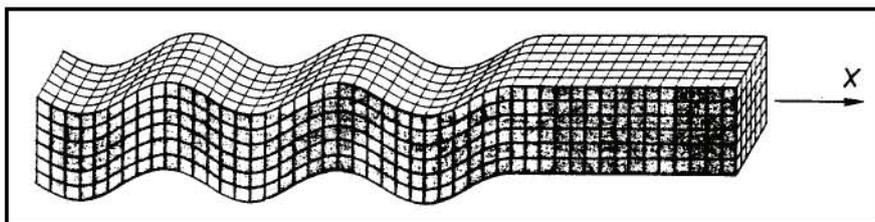


Figura 2

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:

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

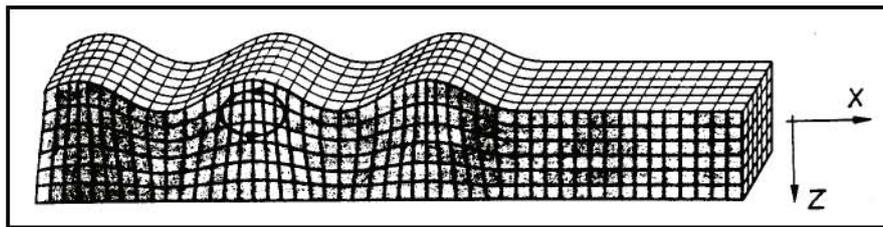
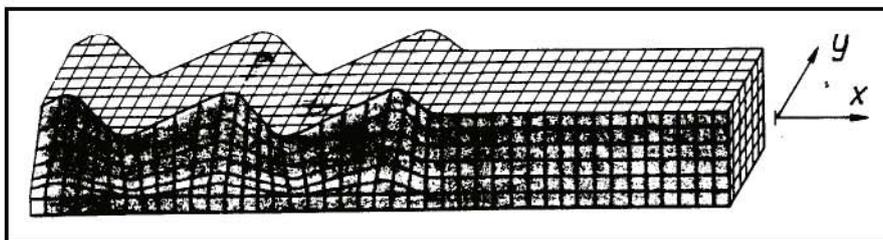


Figura 3

• 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 V_s , il valore medio di V_s fino al basamento, la frequenza di risonanza delle coperture, la profondità del basamento).

Una strategia efficace di difesa dai terremoti necessita di accurate valutazioni preventive della vulnerabilità sismica, determinata essenzialmente dall'instabilità dei suoli (frane, liquefazione dei terreni) e dagli effetti di sito. Gli effetti di sito sono amplificazioni locali delle onde sismiche dovute a particolari condizioni geologiche e topografiche, che portano al fenomeno della risonanza del terreno. Se la frequenza di risonanza del suolo coincide con quella propria degli edifici (fenomeno della doppia risonanza), si produce un'amplificazione delle onde sismiche molto grande e vengono indotte sollecitazioni con forte potere distruttivo: l'amplificazione sismica è infatti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto. Il rumore sismico generato dai fenomeni atmosferici (moti oceanici, del vento ecc.) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre; è detto anche microtremore, poichè riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. Il rumore di fondo agisce da funzione di eccitazione per le risonanze specifiche degli edifici e del sottosuolo, rendendole chiaramente visibili nello spettro di rumore, analogamente a quanto avviene durante un terremoto, che si può immaginare come un episodio di rumore fortissimo con ampiezze sino a 10^{10} volte maggiori del microtremore. La metodologia di misura del microtremore sismico mediante strumentazione TROMINO[®], permette la misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la stratigrafia superficiale e la V_s , 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. Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata su preesistenti indagini e prove documentate, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali. L'elaborazione dei dati ottenuti dall'indagine di campagna ha permesso di effettuare un riconoscimento di massima dei terreni attraversati e di ottenere indicazioni sulla parametrizzazione geotecnica dei terreni studiati, di seguito riportata.

Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 1

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec
1.60 Argilla limosa soffice	1717	1067	0.171	0.385	26	0	0.0193	0.7875	1.1e-5
3.20 Limo argilloso soffice	1689	1039	0.337	0.308	21	0	0.0199	0.4333	1.1e-4
4.00 Limo argilloso plastico	1764	1114	0.426	0.516	23	0	0.0149	0.7167	7.6e-5
8.80 Limo argilloso soffice	1696	1046	0.928	0.295	16	0	0.0192	0.4556	1.0e-4
9.60 Ghiaia sabb. mediamente	1750	1100	1.016	0.000	28	84	0.0041	8.2000	1.9e-1

Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 2

Prof. Terreno ml	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
1.40 Limo argilloso soffice	1753	1103	0.154	0.492	28	0	0.0154	0.6667	2.5e-4
2.80 Sabbia argil-limosa adde	1700	1050	0.301	0.000	24	34	0.0329	1.3524	1.1e-2
9.00 Limo argilloso soffice	1741	1091	0.978	0.411	17	0	0.0160	0.6129	2.9e-4
10.80 Limo argilloso plastico	1845	1195	1.193	0.868	20	0	0.0154	1.2370	3.2e-4
11.40 Argilla limosa plastica	1780	1130	1.261	0.537	18	0	0.0167	1.2000	1.8e-5
17.60 Limo argilloso consisten	1910	1260	2.042	1.325	20	0	0.0117	1.9032	5.0e-4
18.20 Argilla limosa plastica	1780	1130	2.109	0.495	15	0	0.0167	1.2000	4.6e-5
20.00 Limo argilloso consisten	1917	1267	2.337	1.378	19	0	0.0112	1.9926	1.3e-4

Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 3

Prof. Terreno ml	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	1786	1786	0.143	0.618	29	0	0.0160	1.2500	1.6e-5
9.20 Limo argilloso soffice	1712	1062	1.035	0.327	16	0	0.0180	0.5048	7.0e-5
11.20 Argilla limosa plastica	1817	1167	1.268	0.702	19	0	0.0131	1.5300	5.0e-5
18.80 Limo argilloso consisten	1921	1271	2.234	1.430	19	0	0.0108	2.0561	1.3e-4

Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 4

Prof. Terreno ml	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 Limo argilloso soffice	1720	1720	0.138	0.393	27	0	0.0174	0.5333	5.8e-5
2.20 Limo argil-sabbioso scio	1673	1023	0.281	0.279	22	0	0.0215	0.3905	6.3e-4
4.20 Limo argil-sabbioso scio	1769	1119	0.505	0.530	22	0	0.0147	0.7400	1.3e-3
8.80 Limo argilloso soffice	1719	1069	0.996	0.348	17	0	0.0174	0.5304	2.6e-4
11.00 Argilla limosa consisten	1853	1203	1.261	0.914	20	0	0.0102	1.9545	7.4e-5
17.80 Limo argilloso consisten	1925	1275	2.128	1.479	20	0	0.0105	2.1137	1.3e-4

Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 5

Prof. Terreno ml	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
0.60 Limo argil-sabbioso scio	1767	1767	0.106	0.545	30	0	0.0148	0.7333	1.1e-3
2.00 Argilla limosa soffice	1611	961	0.241	0.181	20	0	0.0302	0.3857	3.3e-6
3.20 Limo argilloso soffice	1740	1090	0.371	0.440	23	0	0.0161	0.6111	3.6e-4
4.00 Argilla limosa soffice	1710	1060	0.456	0.352	20	0	0.0198	0.7500	2.3e-5
8.80 Limo argilloso soffice	1729	1079	0.974	0.376	17	0	0.0167	0.5667	4.1e-4

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 precigeo@virgilio.it

11.20	Argilla limosa plastica	1817	1167	1.254	0.704	19	0	0.0130	1.5333	4.6e-5
17.80	Argilla limosa consisten	1920	1270	2.092	1.421	20	0	0.0066	3.0515	1.1e-4

Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 6

Prof. Terreno ml	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 soffice	1667	1017	0.163	0.273	24	0	0.0231	0.5625	5.0e-6
3.20	Limo argil-sabbioso scio	1745	1095	0.338	0.458	23	0	0.0158	0.6333	2.2e-3
3.60	Limo argilloso molto sof	1677	1027	0.379	0.281	20	0	0.0211	0.4000	3.2e-4
4.00	Limo argil-sabbioso adde	1803	1153	0.425	0.679	24	0	0.0140	0.9333	1.0e-3
6.20	Sabbia lim. mediamente a	1750	1100	0.667	0.000	23	30	0.0181	1.3818	2.4e-2
9.20	Limo argil-sabbioso scio	1701	1051	0.983	0.304	16	0	0.0188	0.4711	6.7e-4
10.00	Limo argilloso plastico	1806	1156	1.075	0.659	19	0	0.0140	0.9500	1.3e-4
10.40	Limo argil-sabbioso adde	1986	1336	1.129	2.319	25	0	0.0070	3.1667	5.0e-3
12.60	Sabbia argil-limosa adde	1700	1050	1.360	0.000	20	15	0.0275	1.6182	4.9e-3
17.80	Argilla limosa consisten	1908	1258	2.014	1.311	20	0	0.0071	2.8231	1.1e-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
1.60	7.88	0.59	13.31
3.20	6.50	0.37	17.33
4.00	10.75	0.66	16.35
8.80	6.83	0.40	17.20
9.60	164.00	1.65	99.39

Dati medi prova discretizzata CPT n. 2

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
1.40	10.00	0.52	19.09
2.80	20.29	0.56	36.10
9.00	9.19	0.47	19.52
10.80	18.56	0.94	19.72
11.40	12.00	0.87	13.85
17.60	28.55	1.37	20.77
18.20	12.00	0.77	15.52
20.00	29.89	1.74	17.13

Dati medi prova discretizzata CPT n. 3

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.80	12.50	0.92	13.64
9.20	7.57	0.46	16.39
11.20	15.30	1.00	15.30
18.80	30.84	1.80	17.10

Dati medi prova discretizzata CPT n. 4

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.80	8.00	0.50	16.00
2.20	5.86	0.27	21.96
4.20	11.10	0.46	24.13
8.80	7.96	0.41	19.33
11.00	19.55	1.25	15.66
17.80	31.71	1.87	16.93

Dati medi prova discretizzata CPT n. 6

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	11.00	0.47	23.57
2.00	3.86	0.31	12.27
3.20	9.17	0.46	20.12
4.00	7.50	0.52	14.52
8.80	8.50	0.41	20.54
11.20	15.33	1.01	15.16
17.80	30.52	2.01	15.20

Dati medi prova discretizzata CPT n. 6

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
1.60	5.62	0.45	12.50
3.20	9.50	0.36	26.51
3.60	6.00	0.30	20.00
4.00	14.00	0.60	23.33
6.20	27.64	0.62	44.27
9.20	7.07	0.32	22.08
10.00	14.25	0.82	17.45
10.40	47.50	1.57	30.32
12.60	24.27	0.79	30.81
17.80	28.23	1.82	15.51

In base all'elaborazione delle indagini effettuate, la stratigrafia dell'area risulta molto variabile sia in senso verticale che nella distribuzione areale dei litotipi. Il sito risulta ubicato su un ampio dosso fluviale/paleoalveo del Fiume Panaro, che a partire dall'attuale abitato di Bomporto si estende verso est, in corrispondenza delle odierne Rami e Ravarino e verso l'abitato di Crevalcore.

In generale fino a -10/-11 m circa si riscontrano terreni dalle scadenti caratteristiche geotecniche, con alternanze di litotipi limo-argillosi soffici e limi argilloso-sabbiosi da sciolti a mediamente addensati e locali intercalazioni di sabbie limose in corpi lenticolari e nastriformi. Seguono, all'aumentare della profondità, litotipi limo-argillosi da plastici a consistenti.

Fanno eccezione la CPT 1, arrestata a -9.60 m per rifiuto strumentale dovuto alla presenza di un orizzonte di ghiaie sabbiose mediamente addensate e la CPT 6, dove si è riscontrata una componente sabbiosa e/o limo-sabbiosa più elevata rispetto ai restanti punti di indagine.

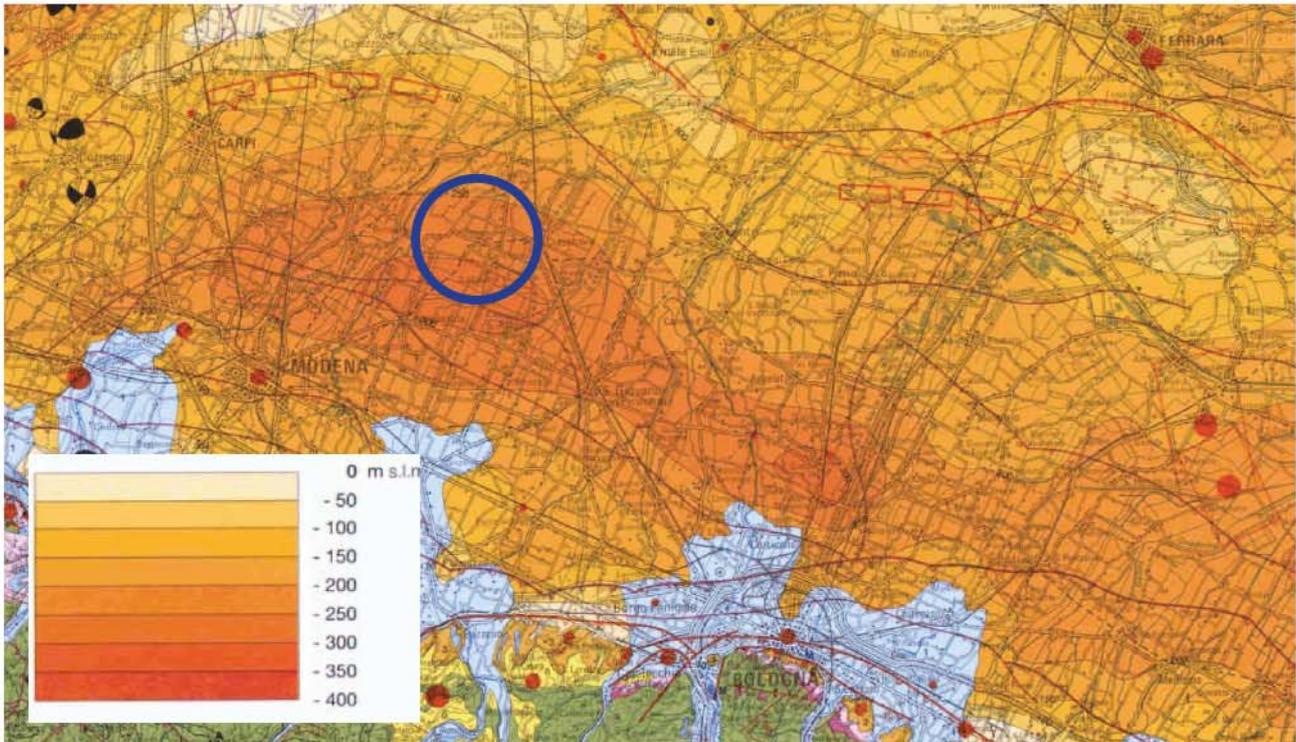
Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nei fori di prova, si attesta a una profondità di -1/-1.20 m dal piano campagna del terreno agricolo in natura (marzo 2020).

5. Modellazione sismica e pericolosità sismica di base del sito

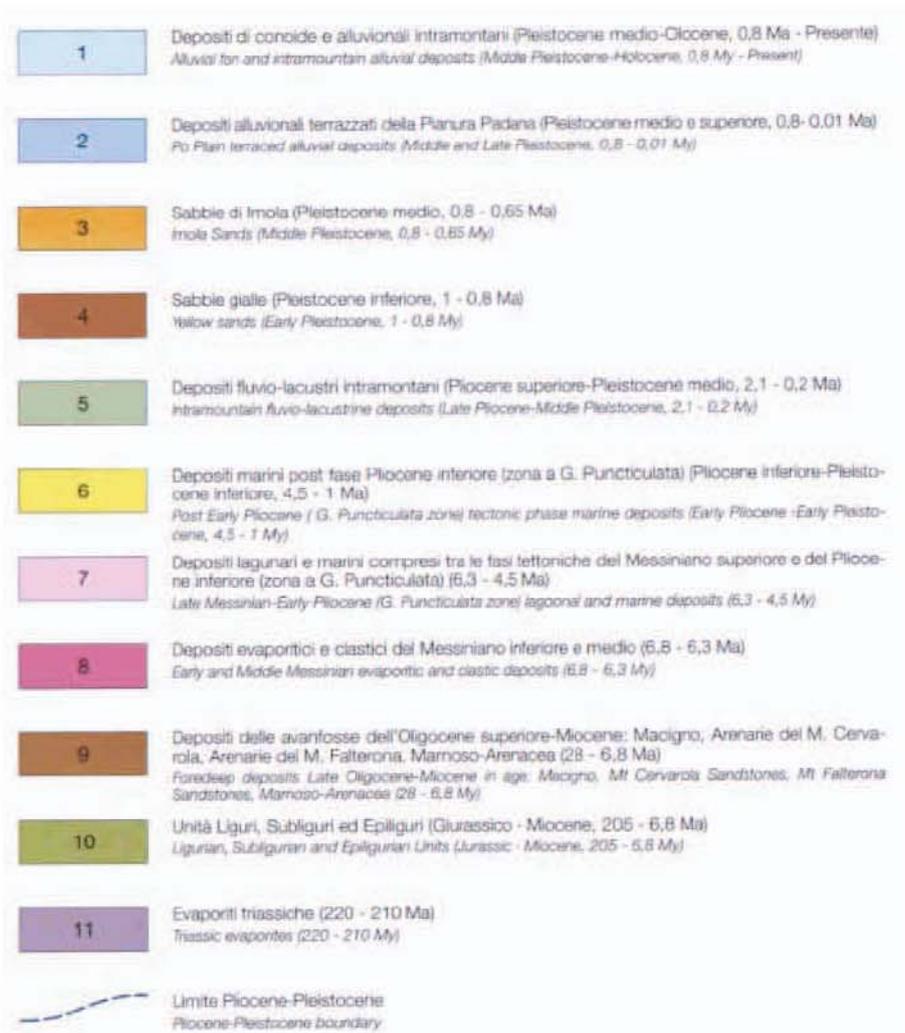
La valutazione del rischio sismico in aree ad estensione regionale, viene effettuata mediante la macrozonazione sismica, definita come l'individuazione di aree che possono essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità. All'interno di queste aree si possono valutare, 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. 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. A seguito del terremoto del Molise del 31 ottobre 2002, l'INGV stesso ha ricevuto dal Governo l'incarico di elaborare una nuova Mappa di Pericolosità Sismica di riferimento per il territorio nazionale.



CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA



dott. Claudio Preci geologo

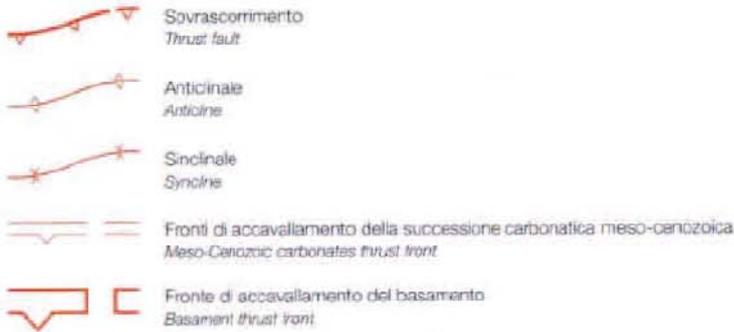
Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel 059/823020 - cell 339/8264394 - e-mail precigeo@virgilio.it

Strutture sepolte *Buried structures*

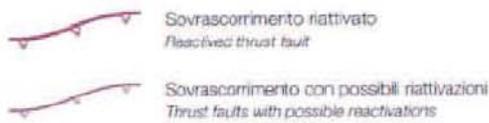
Strutture attive e recenti (<1 Ma), determinate sulla base di dati morfologici di superficie e di dati geologici di sottosuolo

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



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

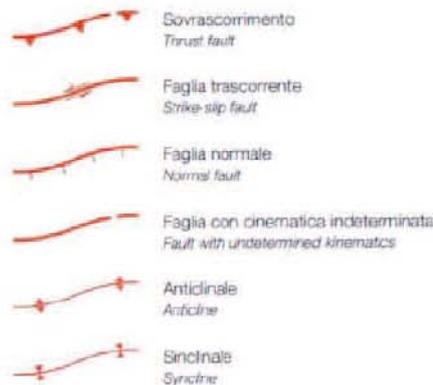
Fronts of the main Pliocene-Early Pleistocene thrust faults (4,5 - 1 My) (from Structural Model of Italy, 1:500,000)



Strutture affioranti *Outcropping structures*

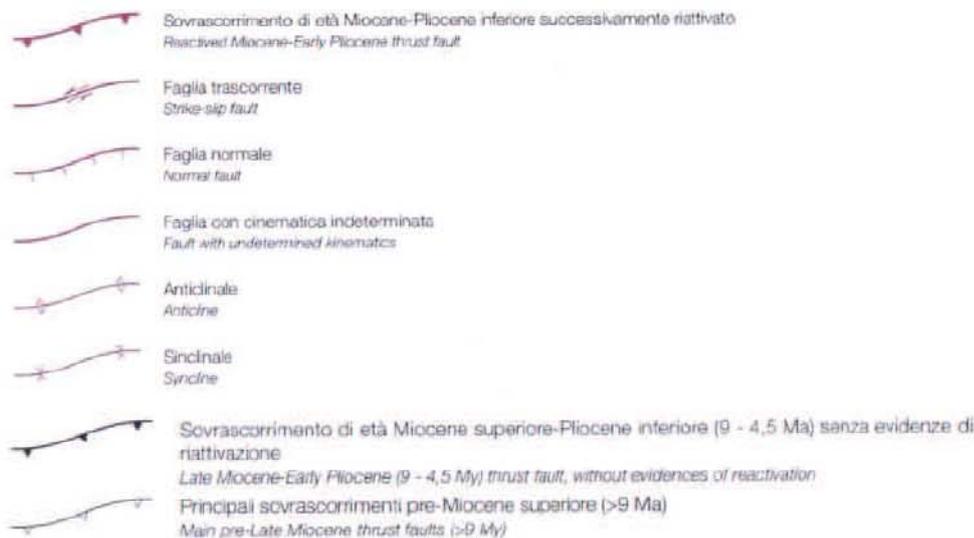
Strutture attive e recenti (<1 Ma), determinate su base morfostrutturale (M) e/o geologica (G)

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



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

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



Il punto di partenza della Mappa è stata la zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004; Meletti et al., 2008), un modello sintetico che descrive la localizzazione delle sorgenti di futuri terremoti, la magnitudo massima che questi potranno raggiungere e i ratei di sismicità attesa zona per zona. Il modello ZS9 si è avvalso delle conoscenze disponibili nel DISS 2.0, inclusa l'estensione esatta dei fronti attivi nella Pianura Padana e la magnitudo massima attesa, che per la zona di Mirandola fu fissata a 6.2.

In particolare l'area in esame è soggetta alle strutture sismogenetiche ITCS051-Novi-Poggio Renatico a nord e ITCS047 "Castelvetro di Modena - Castel San Pietro Terme" a sud:

ITCS051 "Novi-Poggio Renatico"

General information		Parameter	
Region	Central Mediterranean	Min Depth (km)	3
Code	ITCS051	Max Depth (km)	10
Name	Novi-Poggio Renatico	Strike (deg)	95 - 125
Compiler(s)	Burrato P.(1), Mariano S.(1)	Dip (deg)	25 - 45
Contributor(s)	Burrato P.(1), Mariano S.(1)	Rake (deg)	80 - 100
Created	08/01/2005	Slip Rate (mm/y)	0.25 - 0.5
Updated	30/08/2007	Max Magnitude (Mw)	5.9

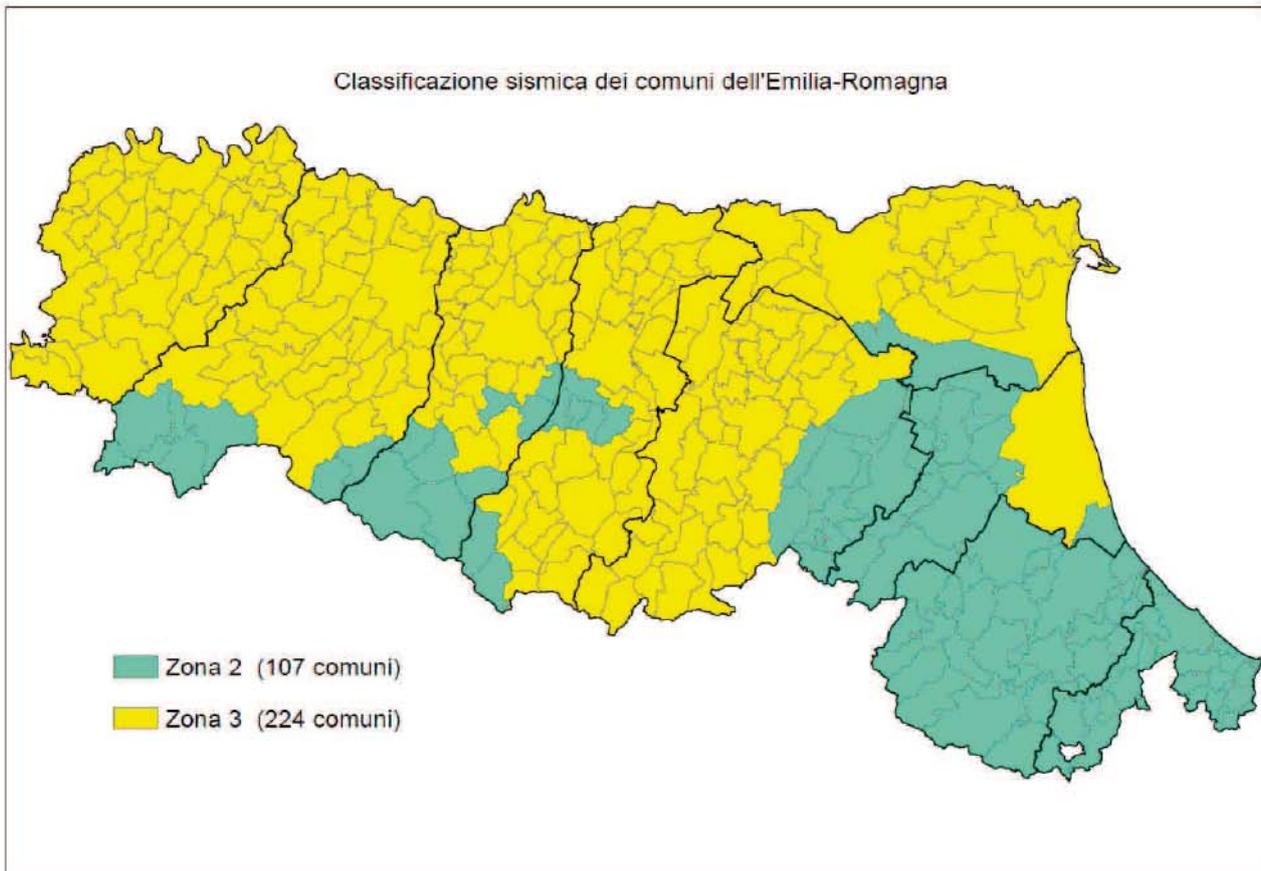
ITCS047 "Castelvetro di Modena - Castel San Pietro Terme"

Minima profondità (km)	2
Massima profondità (km)	8
Direzione (°)	85 - 135
Inclinazione (°)	20 - 40
Rake (°)	80 - 100
Velocità di movimento (mm/anno)	0.10 - 0.50
Magnitudo massima	5.6

Questa sorgente composta attraversa la valle superiore del Reno ed è formata da un sistema di faglie NE-vergenti, in parte costituito da piccoli archi ai piedi della catena appenninica settentrionale. Entro la zona ITCS047 "Castelvetro di Modena - Castel San Pietro Terme" viene individuata anche la sorgente sismogenetica individuale ITIS103 "Crespellano".

ITIS103 "Crespellano"	
Localizzazione	44.4775 / 11.1575
Lunghezza (km)	5.6
Larghezza (km)	4.3
Profondità minima (km)	2
Profondità massima (km)	4.5
Strike (deg)	98
Dip (deg)	35
Rake (deg)	90
Slip per Event (mm)	0.4
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5
Tempi di ritorno (anni)	800 - 4000
MAGNITUDO ATTESA (Mw)	5.6

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 Ravarino 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 :

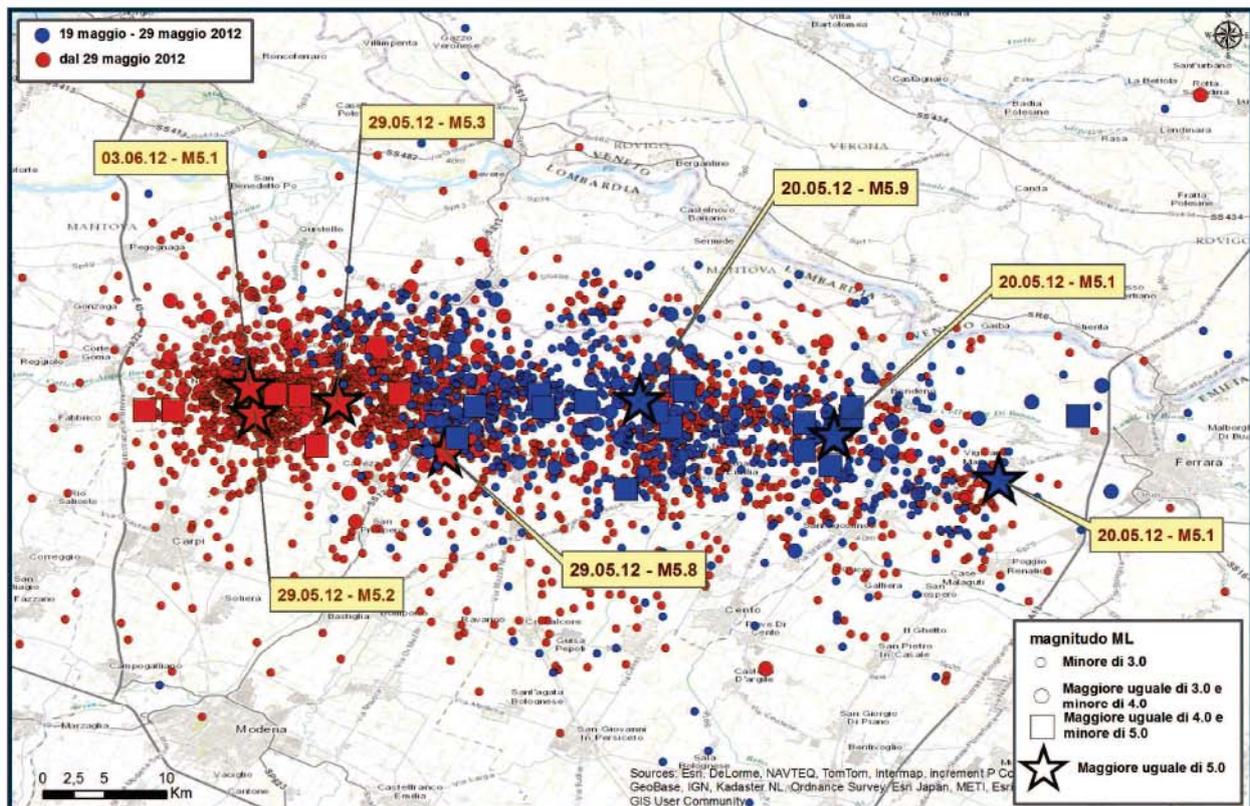
Anno	Me	Gi	AREA	Imx	Io	Lat	Lon	Maw
1561	11	24	FERRARA	65	55	44.78	11.45	4.63
1570	11	17	FERRARA	80	75	44.82	11.63	5.48
1574	3	17	FINALE EMILIA	70	70	44.833	11.294	5.12
1586	1	12	SPILAMBERTO		60	44.583	11	4.83
1666	4	14	BOLOGNA		60	44.5	11.333	4.83
1695	2	28	FERRARA	55	55	44.836	11.618	4.63
1743	5	29	FERRARA	65	65	44.836	11.618	5.03
1779	6	4	BOLOGNESE	70	65	44.45	11.52	4.97
1780	2	6	BOLOGNESE	65	55	44.62	11.32	4.85
1787	7	16	FERRARA	65	55	44.83	11.62	4.63
1796	10	22	EMILIA ORIENTALE	70	70	44.62	11.67	5.63
1801	10	8	BOLOGNA	55	55	44.498	11.34	4.63
1811	7	15	SASSUOLO	70	70	44.572	10.728	5.24
1834	10	4	BOLOGNA	60	55	44.6	11.37	4.63

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

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

SEQUENZA Pianura Padana Emiliana

INGV terremoti

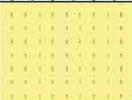


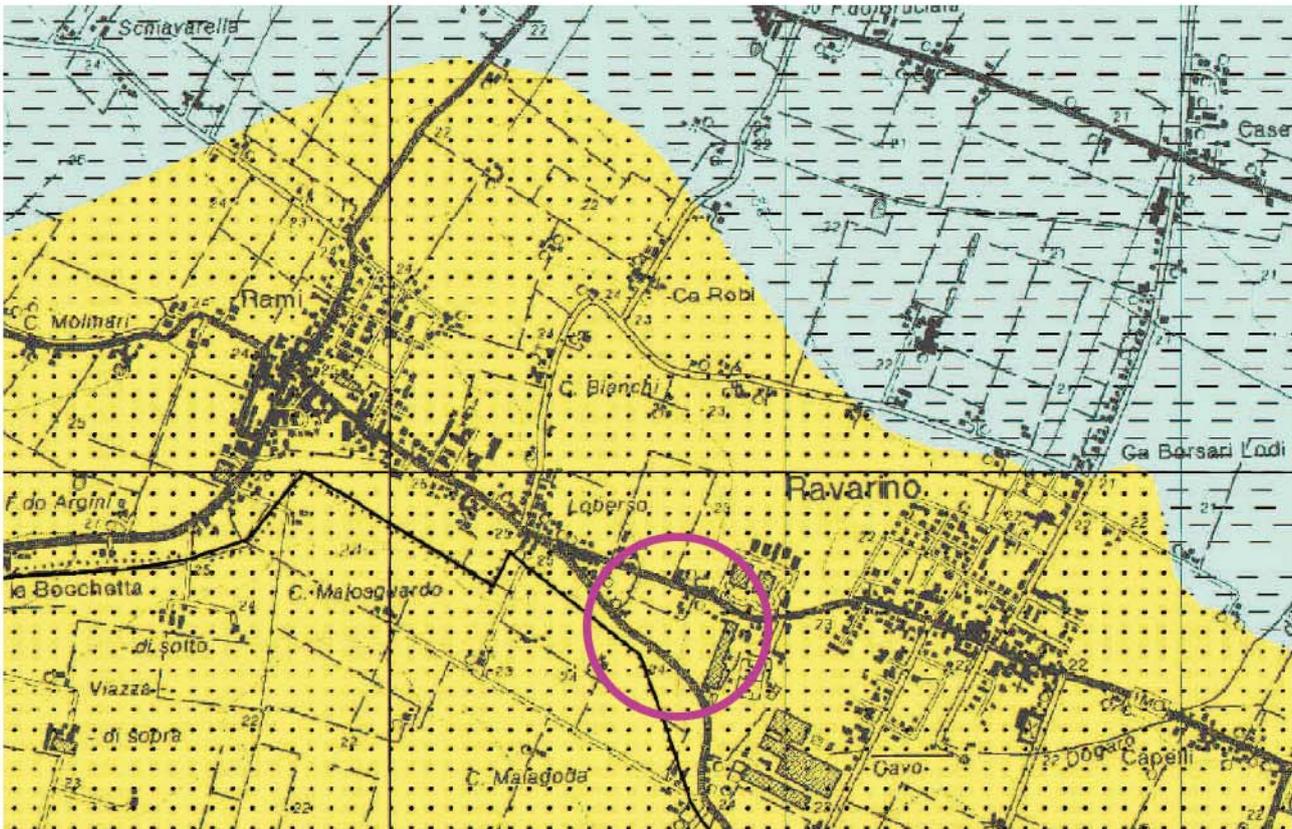
Nel quadro conoscitivo del PTCP della Provincia di Modena, Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali - Tavola 2 a.2 a scala 1:25'000, si indica che l'area in esame insiste su "sabbie di canale". Pertanto in caso di sisma si possono attendere "amplificazione, potenziale liquefazione e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

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

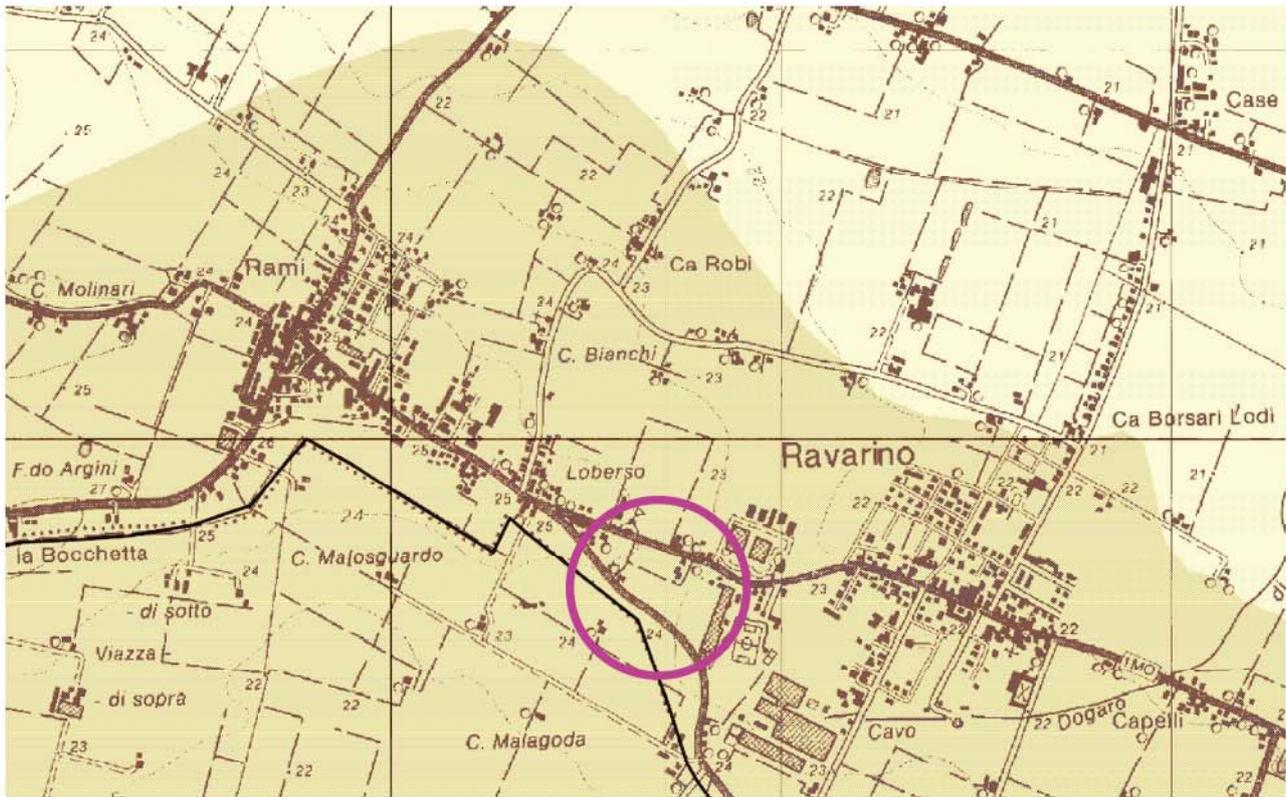
Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel 059/823020 - cell 339/8264394 - e-mail precigeo@virgilio.it

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

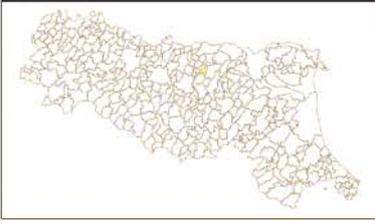


In relazione al rischio sismico, nelle Carte delle Sicurezze del Territorio del PTCP della Provincia di Modena, Tavola 2.2 a.2 a scala 1:25'000, l'area in esame è classificata come "Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione". Sono richiesti la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi, con approfondimenti di III livello per la microzonazione sismica.

7	Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione studi*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi; microzonazione sismica*: approfondimenti di III livello.
8	Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti 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.



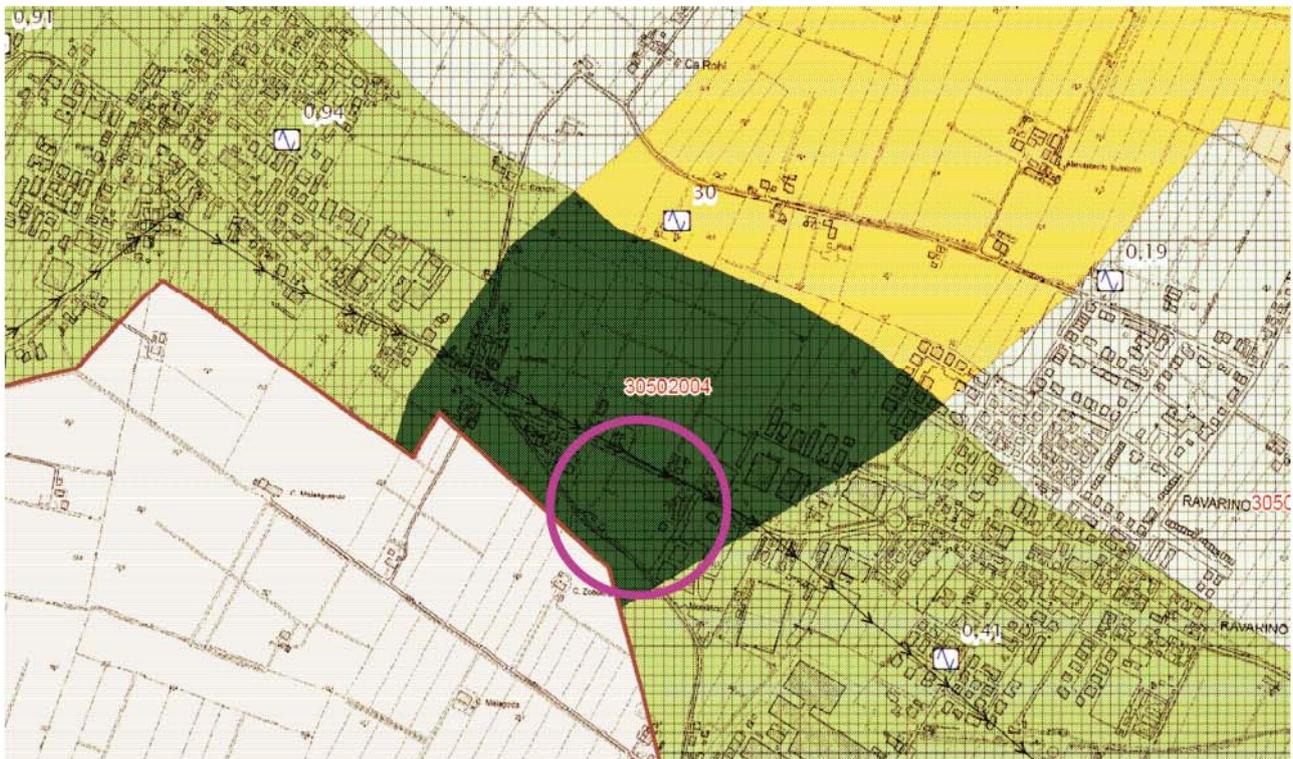
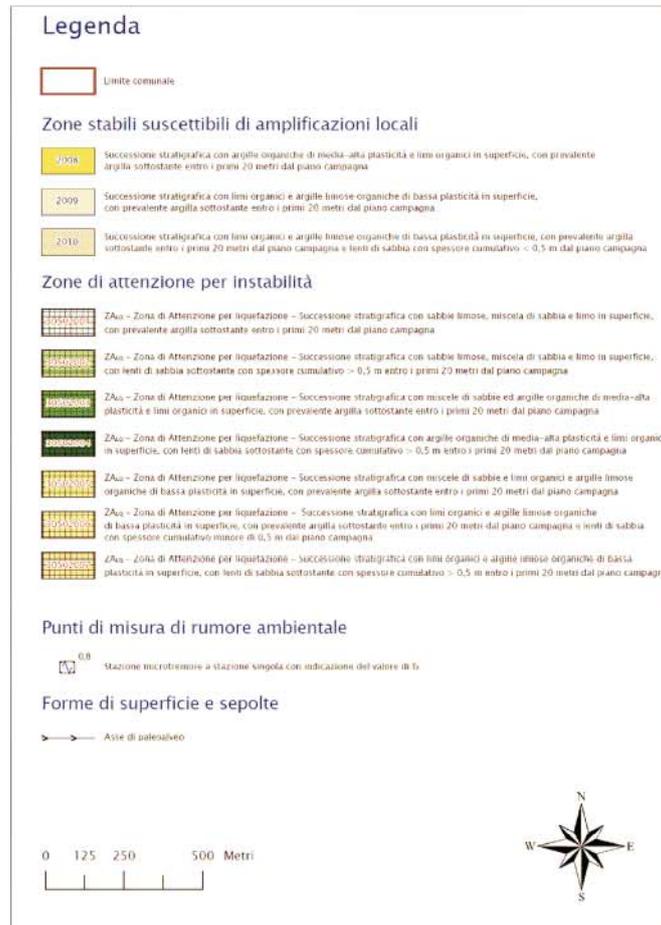
In relazione al rischio sismico, nelle carte di microzonazione sismica del Comune di Ravarino l'area in esame è classificata come di seguito riportato:

		
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77		
MICROZONAZIONE SISMICA Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica scala 1 : 10.000		
Regione Emilia-Romagna Comune di Ravarino		
		
Regione	Soggetto realizzatore	Data
Emilia-Romagna	Dott. Geol. Valeriano Franchi	Settembre 2018

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 precigeo@virgilio.it



ZALQ - Zona di Attenzione per liquefazione - Successione stratigrafica con argille organiche di media-alta plasticità e limi organici in superficie, con lenti di sabbia sottostante con spessore cumulativo > 0,5 m entro i primi 20 metri dal piano campagna.

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 precigeo@virgilio.it

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
1.60 Argilla limosa soffice	Terreno coerente		
3.20 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
4.00 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
8.80 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
9.60 Ghiaia sabb. mediamente	1.4722	0.1574	no

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 2

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.40 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
2.80 Sabbia argil-limosa adde	0.2049	0.1564	no
9.00 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
10.80 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
11.40 Argilla limosa plastica	Terreno coerente		
17.60 Limo argilloso consisten	Terreno coerente		
18.20 Argilla limosa plastica	Terreno coerente		
20.00 Limo argilloso consisten	Terreno coerente		

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 3

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
0.80 Argilla limosa plastica	Terreno coerente		
9.20 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
11.20 Argilla limosa plastica	Terreno coerente		
18.80 Limo argilloso consisten	Terreno coerente		

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 4

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
0.80 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
2.20 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
4.20 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
8.80 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
11.00 Argilla limosa consisten	Terreno coerente		
17.80 Limo argilloso consisten	Terreno coerente		

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 5

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
0.60 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
2.00 Argilla limosa soffice	Terreno coerente		
3.20 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
4.00 Argilla limosa soffice	Terreno coerente		
8.80 Limo argilloso soffice	Terreno coerente		
11.20 Argilla limosa plastica	Terreno coerente		
17.80 Argilla limosa consisten	Terreno coerente		

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 6

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.60 Argilla limosa soffice	Terreno coerente		
3.20 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
3.60 Limo argilloso molto sof	Terreno coerente		
4.00 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
6.20 Sabbia lim. mediamente a	0.1914	0.1564	no
9.20 Limo argil-sabbioso scio	Terreno coerente		
10.00 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
10.40 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
12.60 Sabbia argil-limosa adde	0.1331	0.1562	si (FSL = 0.50)
17.80 Argilla limosa consisten	Terreno coerente		

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dalle indagini geognostiche e con le ipotesi sopra riportate, la verifica effettuata evidenzia nella sola CPT 6 un livello di terreno incoerente potenzialmente soggetto a fenomeni di liquefacibilità (fattore di sicurezza alla liquefazione FSL = 0.50).

In base alle NTC e alle normative regionali vigenti, in presenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame devono essere valutati con metodologie di III livello.

L'indice LPI è calcolato con riferimento ad una verticale di prova trascurando gli effetti bi e tridimensionali: tale semplificazione può condurre talora a stime errate. In particolare se la liquefazione in un sito è limitata a lenti isolate, la liquefazione in superficie può non manifestarsi anche per valori significativi di LPI. Viceversa uno strato liquefatto sottile, profondo, molto diffuso ed esteso può determinare rottura del terreno anche per bassi valori di LPI. La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la non sempre buona correlazione tra i valori dell'indice LPI e le evidenze di liquefazione. L'indice LPI è definito nel modo seguente:

$$LPI = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

- z_{crit} indica la profondità massima alla quale strati liquefatti producono effetti in superficie;
- $F(z)$ è una variabile con valori compresi tra 0 e 1, definita ad ogni profondità in funzione del valore che assume il fattore di sicurezza alla liquefazione FSL;
- $w(z)$ è un fattore di peso della profondità.

Tradizionalmente la profondità "critica" è assunta pari a 20 m, ma recentemente Özocak e Sert (2010) hanno proposto di assumere per terremoti di magnitudo ordinaria la profondità critica pari a 10 m. Pertanto:

- per $z_{crit} = 20$ m è $w(z) = 10 - 0.5z$;
- per $z_{crit} = 10$ m è $w(z) = 20 - 2z$.

Ad una data quota z la variabile $F(z) = F$ vale:

- $F = 1 - FSL$ se $FSL \leq 0.95$
- $F = 0$ se $FSL \geq 1.2$

- $F(z) = 2 \cdot 10^6 \exp(-18.427 \text{ FSL})$ per $1.2 > \text{FSL} > 0.95$

dove FSL è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata e definito come $\text{FSL} = (\text{CRR}_{7.5}/\text{CSR}) \cdot \text{MSF}$; MSF è il fattore di scala della magnitudo, ricavabile dalla tabella seguente

Magnitudo	MSF
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19

(da: DAL RER 112/2007; DGR 2193/2015; Università di Firenze - Confronto tra metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione da prove CPT e CPTU, marzo 2013)

In relazione ai livelli potenzialmente soggetti a liquefazione individuati, alla magnitudo utilizzata ($M 6.14$ e $\text{MSF} = 1.29$) e considerando una profondità critica pari a 20 m, si ottengono i seguenti valori di LPI per la verticale della CPT 6 eseguita nell'area in esame:

Indagine	LPI	LPI _{MEDIO}	LPI _{MAX}
CPT 1	0	0.33	2.0
CPT 2	0		
CPT 3	0		
CPT 4	0		
CPT 5	0		
CPT 6	2.0		

Pertanto, in relazione alle CPT considerate, il sito di indagine presenta un $\text{LPI}_{\text{MEDIO}} = 0.33$ e un $\text{LPI}_{\text{MAX}} = 2.0$ che secondo la classificazione di Sonmez (2003) determina un potenziale di liquefazione "basso" per $0 < \text{LPI} \leq 2$.

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 esserestimato con l'equazione:

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

in cui ϵ_{vi} è la deformazione volumetrica e verticale dello strato i -esimo e Δz_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 medio di 10 m, si ottiene un valore teorico stimato di circa 3 cm.

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 1 – P.P.I.P. – VIA MAESTRA/VIA CANALETTO

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 10/03/20 10:08:19 Fine registrazione: 10/03/20 10:22:20

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 64% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

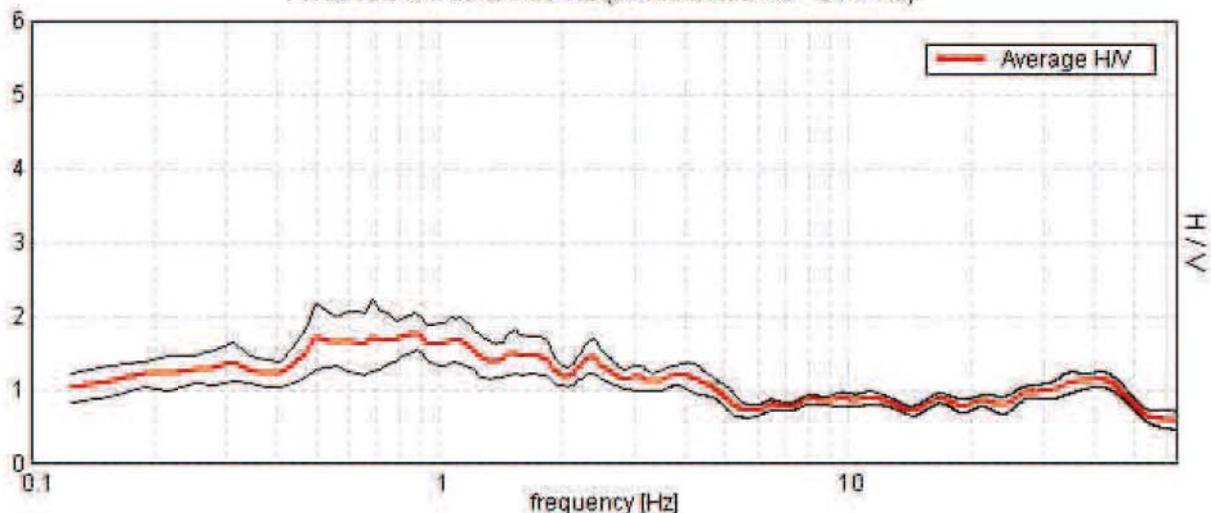
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

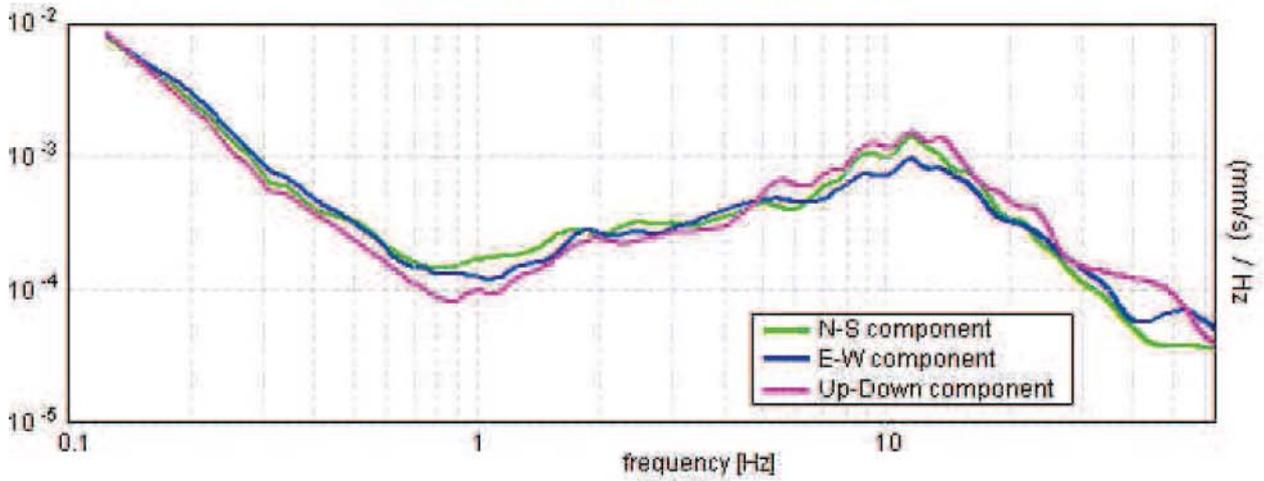
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE – HVSR

Picco H/V a 0.88 ± 0.23 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz)

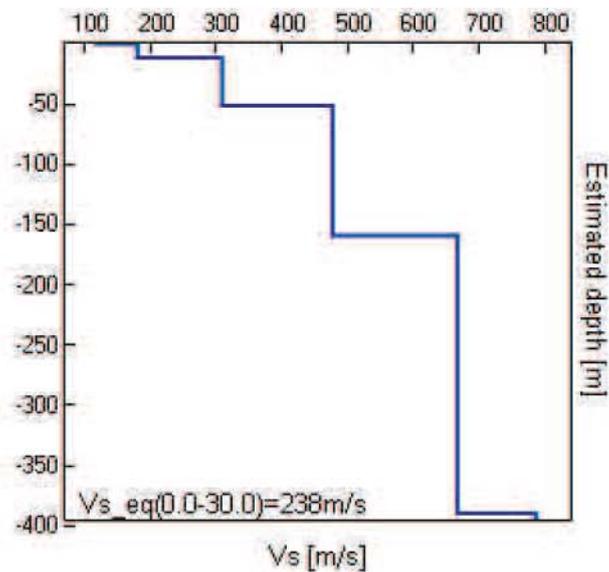
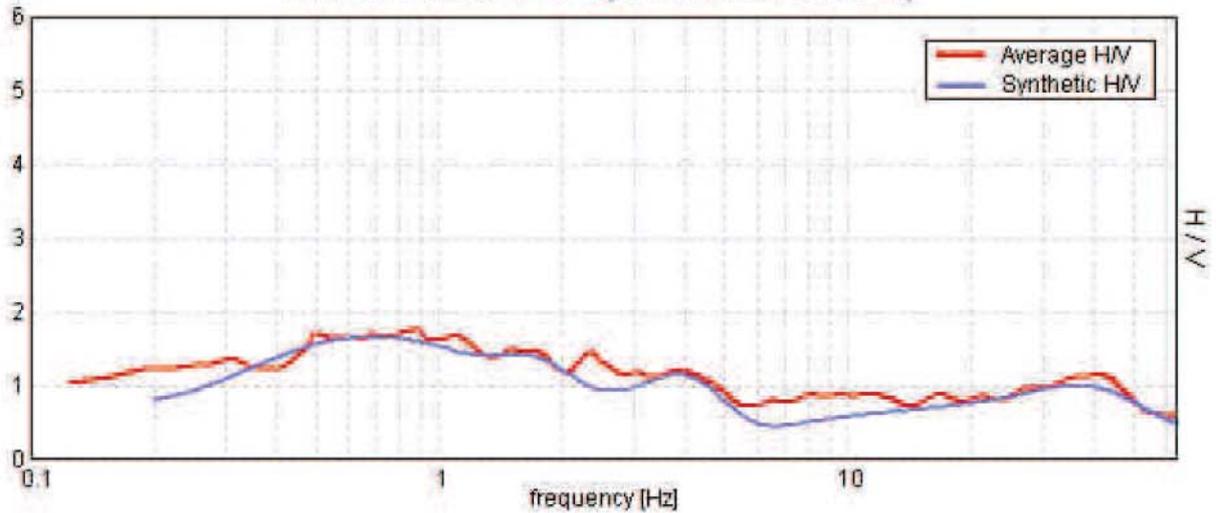


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO

Picco H/V a 0.88 ± 0.23 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz)



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.70	0.70	120
12.00	11.30	182
52.00	40.00	310
160.00	108.00	480
390.00	230.00	670
inf.	inf.	790

$$V_{sEQ-30} = 238 \text{ m/s}$$



HVSR TROMINO 2 – P.P.I.P. – VIA MAESTRA/VIA CANALETTO

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 10/03/20 17:53:00 Fine registrazione: 10/03/20 18:07:01

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

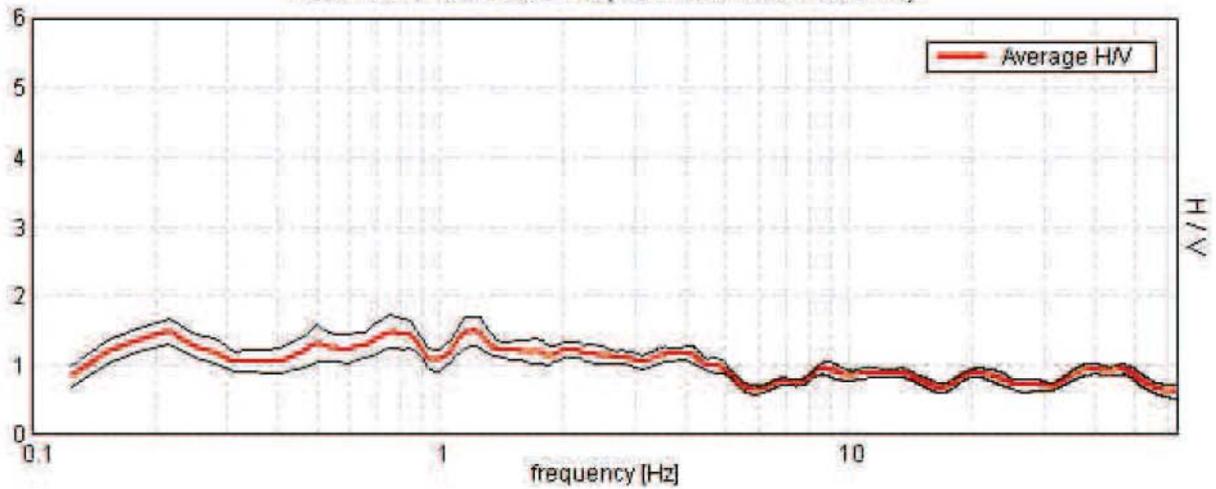
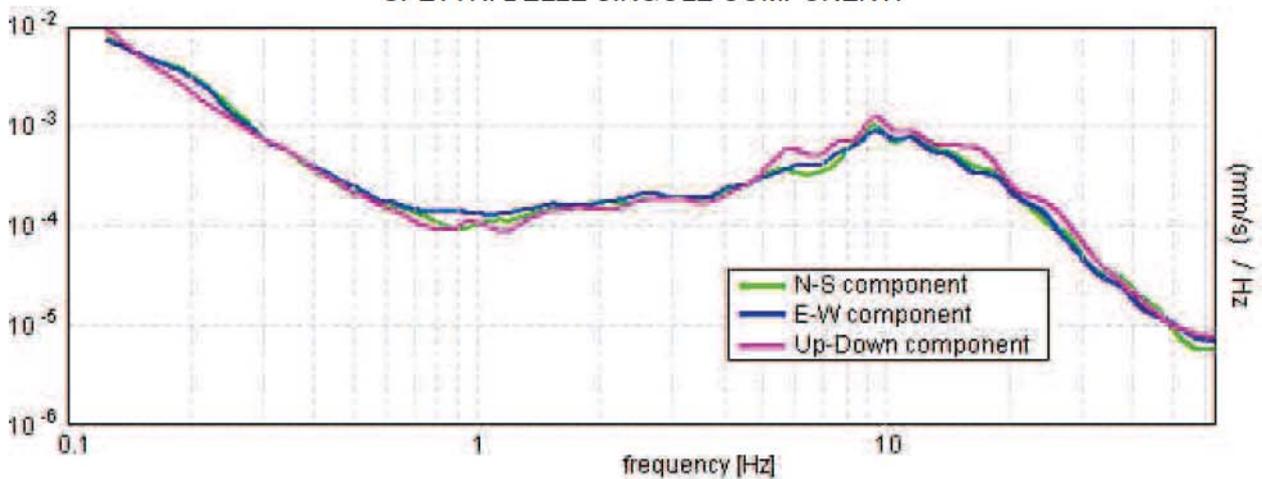
Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 81% tracciato (selezione manuale)

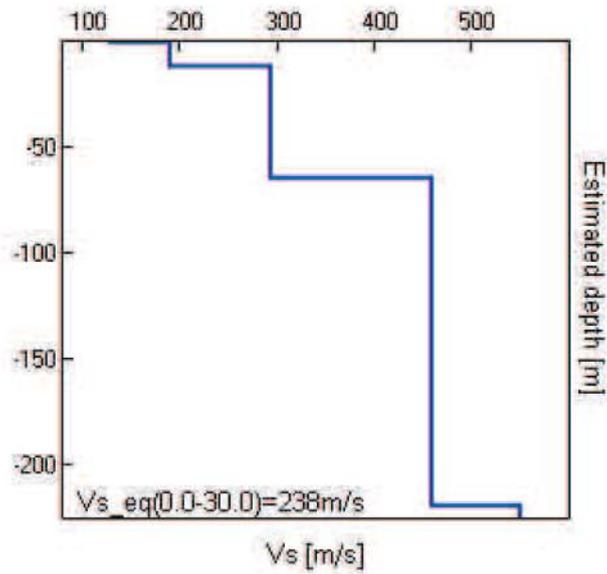
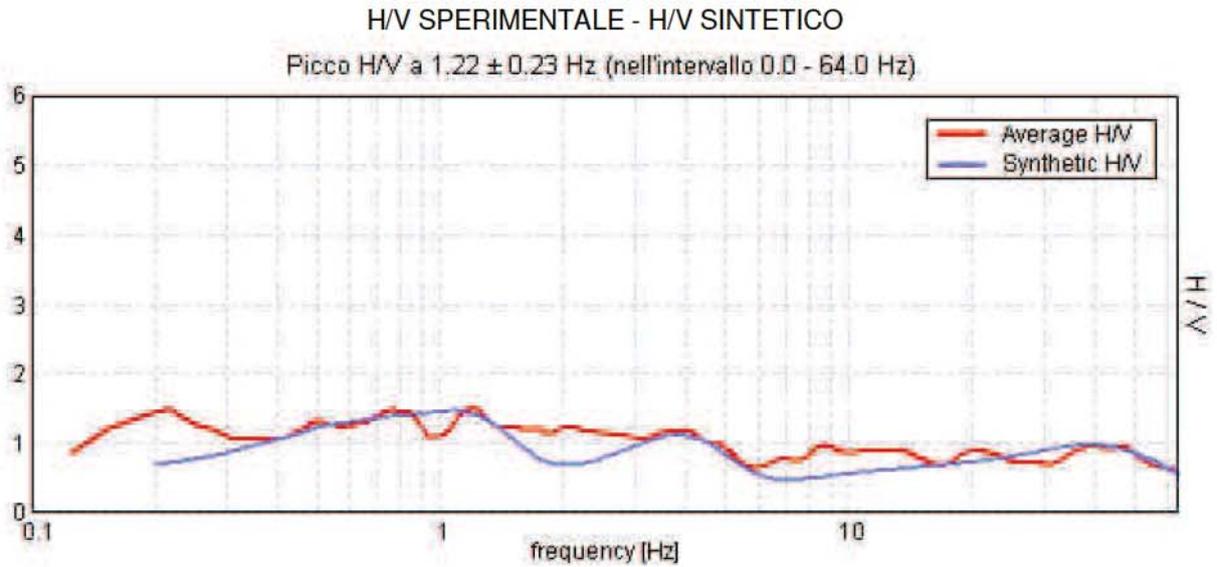
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE – HVSRPicco H/V a 1.22 ± 0.23 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz)**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



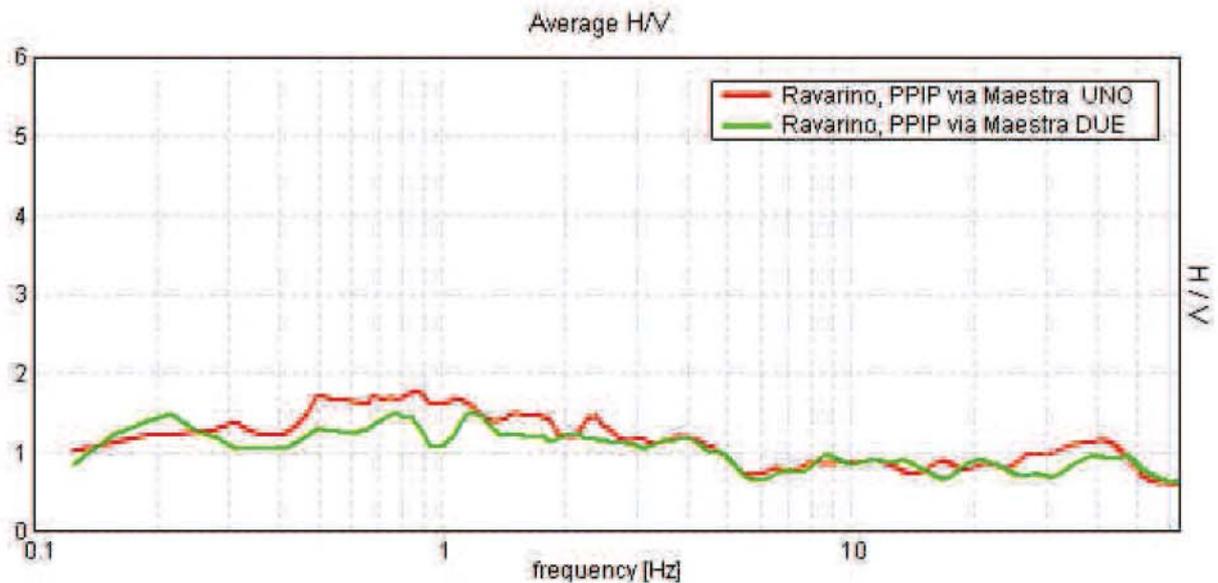
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	V_s [m/s]
0.70	0.70	130
12.00	11.30	190
65.00	53.00	295
220.00	155.00	460
inf.	inf.	550

$V_{sEQ-30} = 238 \text{ m/s}$



Dall'elaborazione delle registrazioni effettuati, nei grafici dei rapporti H/V si individuano frequenze fondamentali di vibrazione del sito tipiche del Bacino Sedimentario Padano, ricadenti nell'intervallo compreso tra 0.85 Hz e 1.25 Hz circa.

La sovrapposizione dei grafici H/V mostra un andamento simile delle due curve, ad indicare un substrato piuttosto uniforme dal punto di vista del comportamento sismico.



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

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

con:

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

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

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositati 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>Depositati 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>

In base alle indagini geofisiche eseguite, il substrato dell'area d'indagine è riconducibile alla categoria C che comprende "Depositati 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 TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

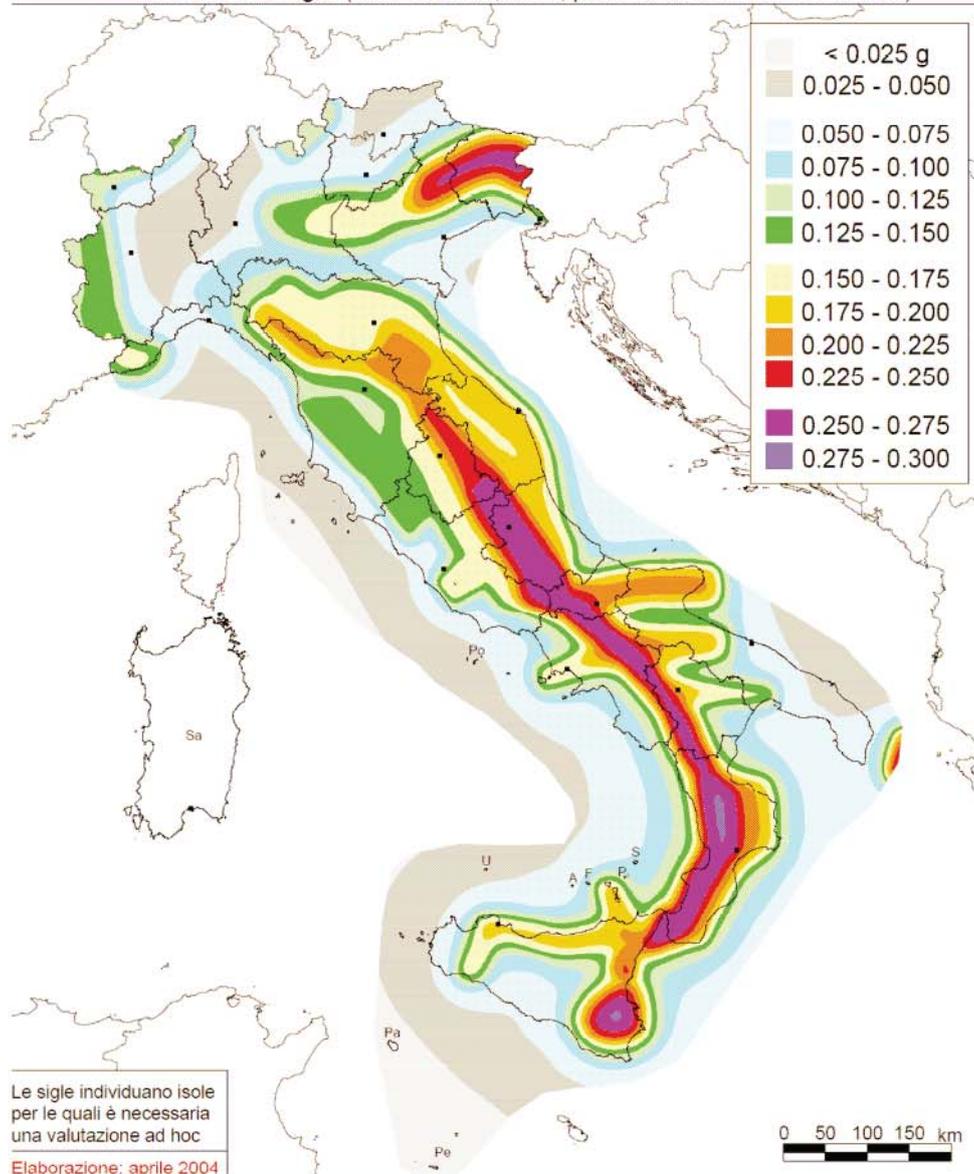
Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

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

espressa in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

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



Le 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.

dott. Claudio Preci geologo

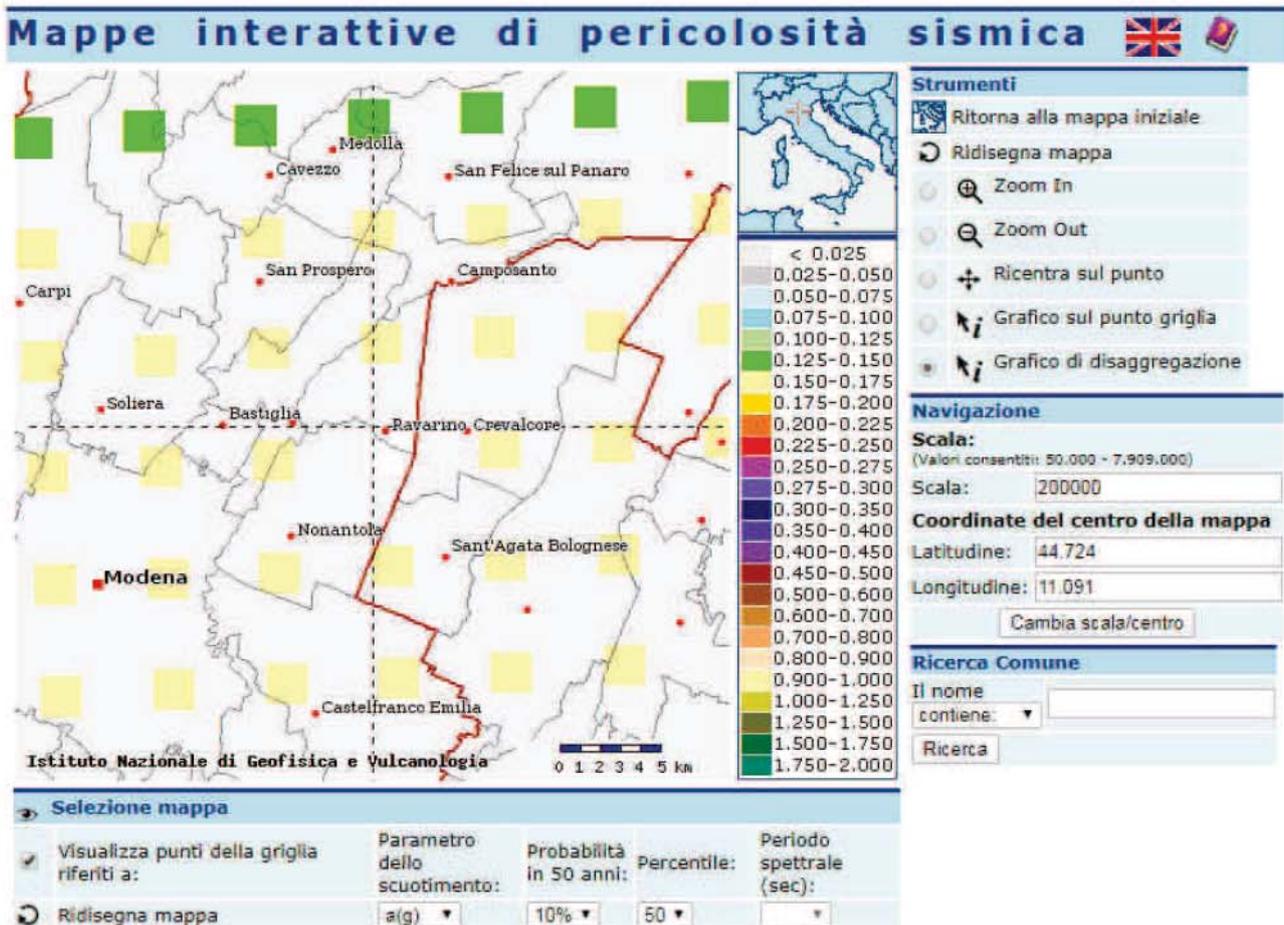
Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel 059/823020 - cell 339/8264394 - e-mail precigeo@virgilio.it

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:

- ag 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.

Tramite le Mappe interattive di pericolosità sismica (versione 1.1 - 31 luglio 2007) create in base alla Convenzione INGV-Dipartimento Protezione Civile 2004-2006, è possibile inoltre visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05° . Le mappe riportano due parametri dello scuotimento: $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo, come definita dall'OPCM 3519/2006, corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) e $Se(T)$ (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T , in accelerazione). L'unità di misura è g, vale a dire l'accelerazione di gravità, corrispondente a $9.8m/sec^2$. Per i soli valori di $a(g)$ è disponibile la relativa disaggregazione.



Le mappe in $a(g)$ sono state calcolate per differenti probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%). Per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime. Le mappe in $Se(T)$ sono state pure calcolate per le stesse probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%) e per differenti periodi (in totale 10, da 0.1 a 2 secondi). Anche in questo caso per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime.

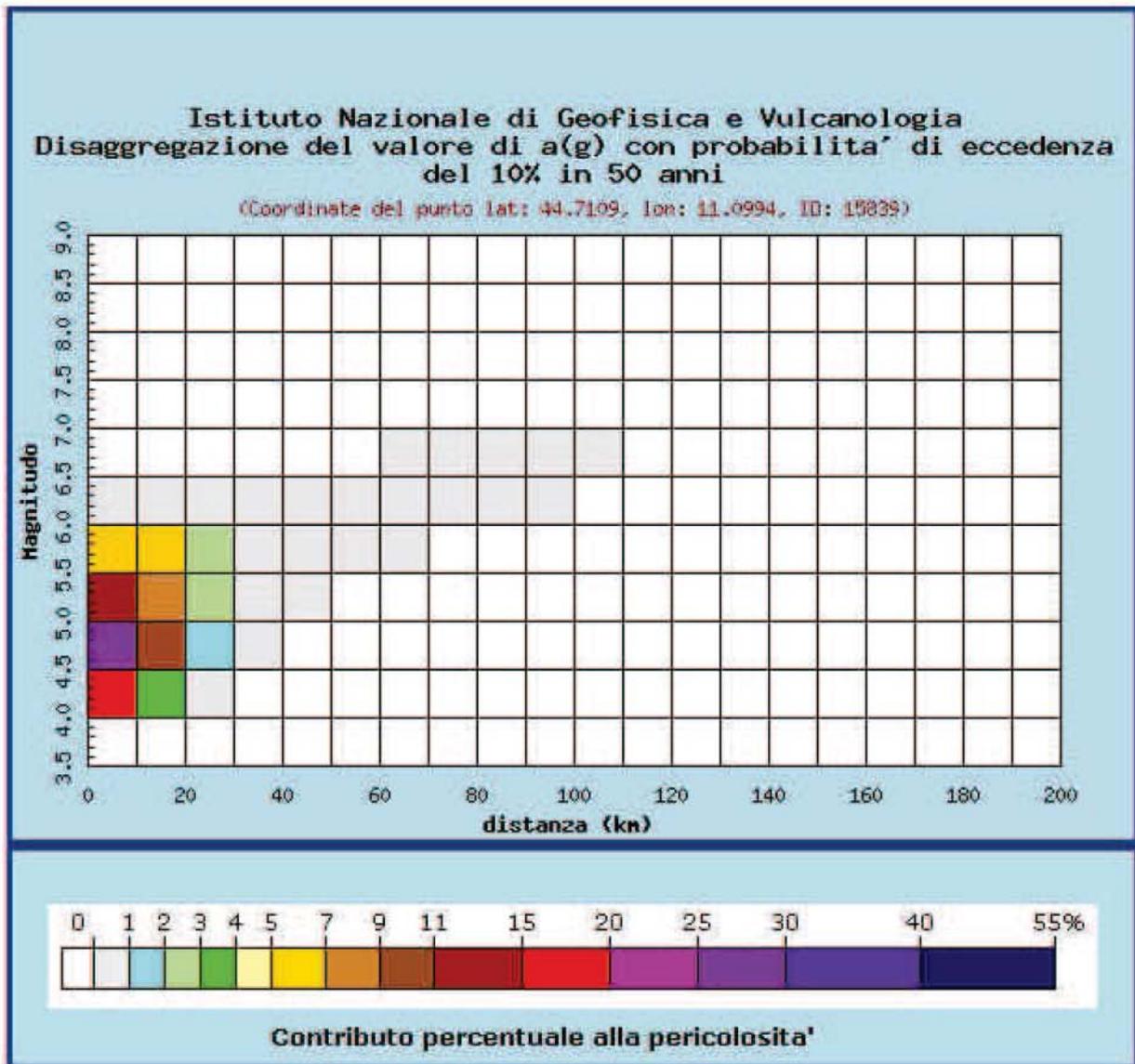
Per ogni singolo nodo della griglia di riferimento è possibile richiedere il dettaglio in forma grafica e tabellare del parametro dello scuotimento visualizzato, attraverso lo strumento Grafico sul nodo griglia. Dalla mappa in a(g) si otterrà, per ogni nodo, la corrispondente curva di hazard (andamento di a(g) per le diverse probabilità annuali di superamento); dalla mappa in Se(T), si otterranno i cosiddetti UHS (Uniform Hazard Spectra = Spettri a Pericolosità Uniforme) per le diverse probabilità di eccedenza in 50 anni.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.7109, lon: 11.0994, ID: 15839)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	15.100	26.400	13.800	6.190	0.698	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.820	10.200	8.920	6.110	0.846	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.174	1.450	2.440	2.290	0.327	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.033	0.385	0.604	0.087	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.019	0.132	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.009	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.980	9.590	0.727

Per ogni singolo nodo della griglia di riferimento è possibile richiedere il dettaglio in forma grafica e tabellare dell'analisi di disaggregazione (vale a dire il contributo delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza alla pericolosità del nodo) della relativa a(g), utilizzando lo strumento Grafico di disaggregazione. Per lo stesso nodo si otterranno anche i valori medi di M-D-ε (magnitudo, distanza, epsilon).

L'analisi della disaggregazione dei valori di a(g) riporta, per ogni nodo della griglia di calcolo, la valutazione del contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo e distanza. Per ogni nodo della griglia sono anche riportati, dopo la tabella, i valori medi di M-D-ε. Questo tipo di analisi è utile nell'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici ed è utile in analisi di microzonazione.



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.

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

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

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in

Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

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

▪ Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

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

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

Coordinate geografiche del punto - tipo di interpolazione: media ponderata

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

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

Sito in esame

latitudine ED50 44,725275
 longitudine ED50: 11,092057

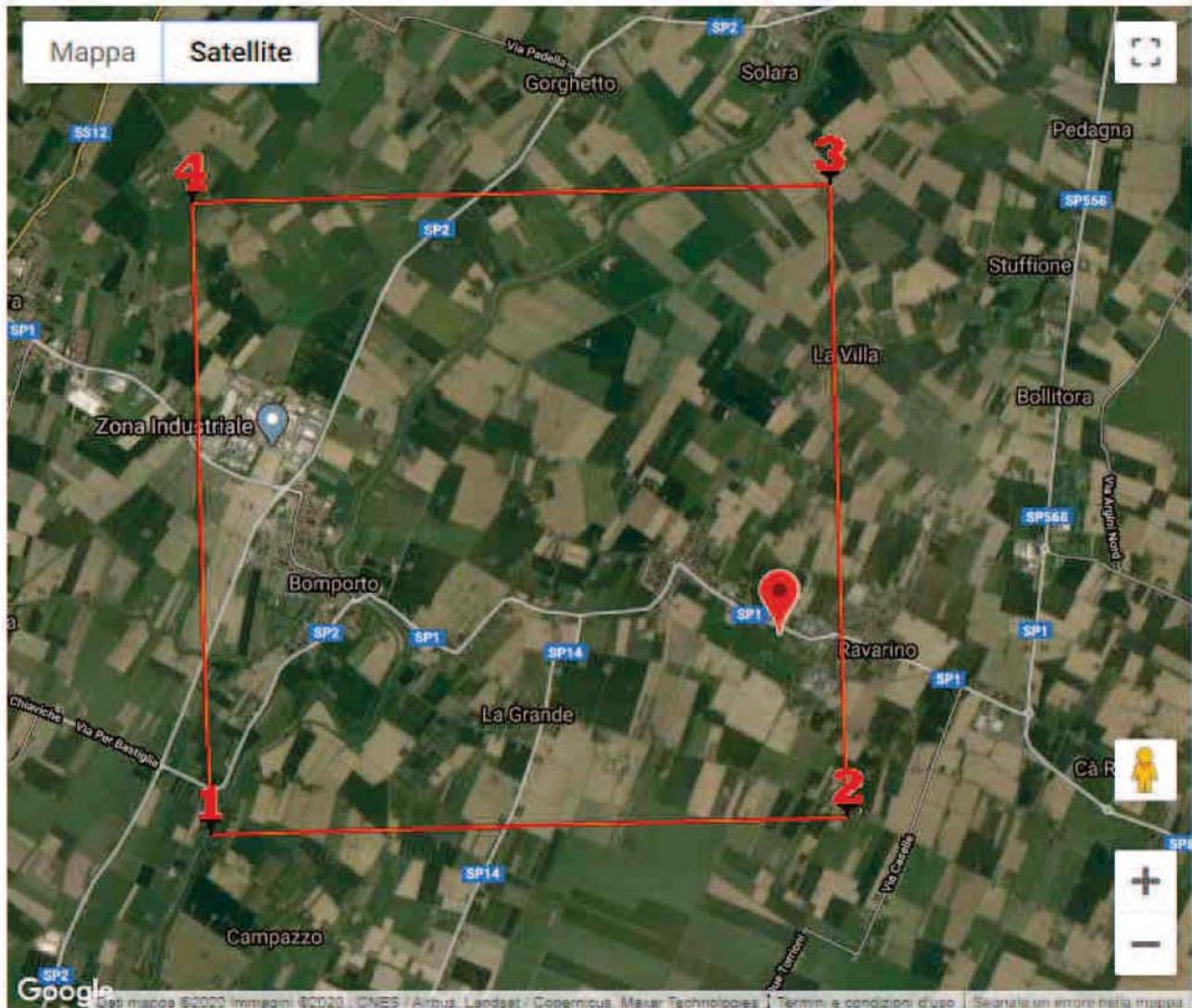
latitudine WGS84: 44.724339
 longitudine WGS84: 11.091054

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 15838	Lat: 44,7095	Lon: 11,0292	Distanza: 5272,793
Sito 2	ID: 15839	Lat: 44,7109	Lon: 11,0994	Distanza: 1703,367
Sito 3	ID: 15617	Lat: 44,7609	Lon: 11,0975	Distanza: 3979,984
Sito 4	ID: 15616	Lat: 44,7594	Lon: 11,0272	Distanza: 6377,345

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:	0,045	g
Fo:	2,494	
Tc*:	0,254	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	50	[anni]
ag:	0,056	g
Fo:	2,509	
Tc*:	0,268	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,157	g
Fo:	2,590	
Tc*:	0,272	[s]

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 precigeo@virgilio.it

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,209	g
Fo:	2,526	
Tc*:	0,280	[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss:	1,500
Cc:	1,650
St:	1,000
Kh:	0,013
Kv:	0,007
Amax:	0,656
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,500
Cc:	1,620
St:	1,000
Kh:	0,017
Kv:	0,008
Amax:	0,822
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,460
Cc:	1,610
St:	1,000
Kh:	0,055
Kv:	0,028
Amax:	2,247
Beta:	0,240

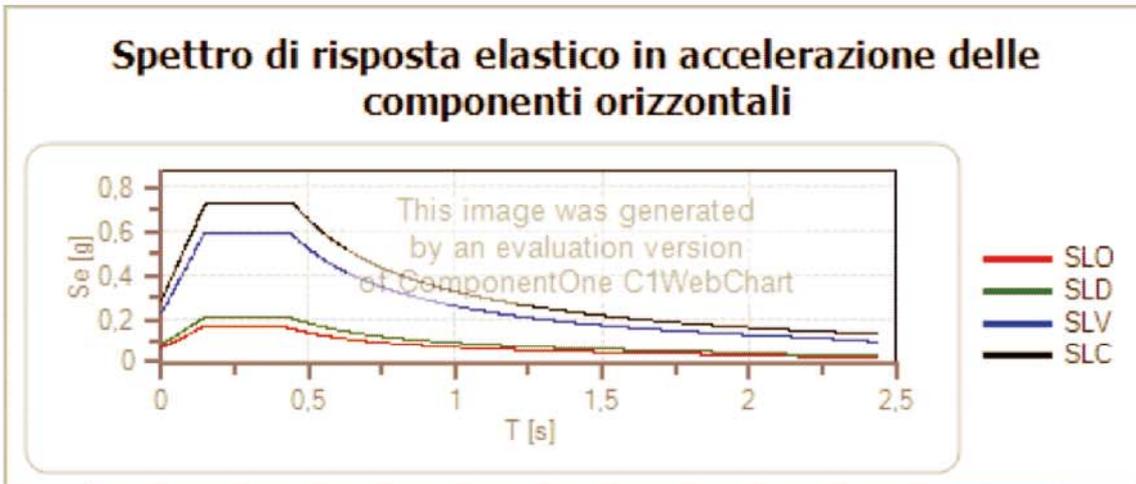
SLC:

Ss:	1,380
Cc:	1,600
St:	1,000
Kh:	0,081
Kv:	0,040
Amax:	2,832
Beta:	0,280

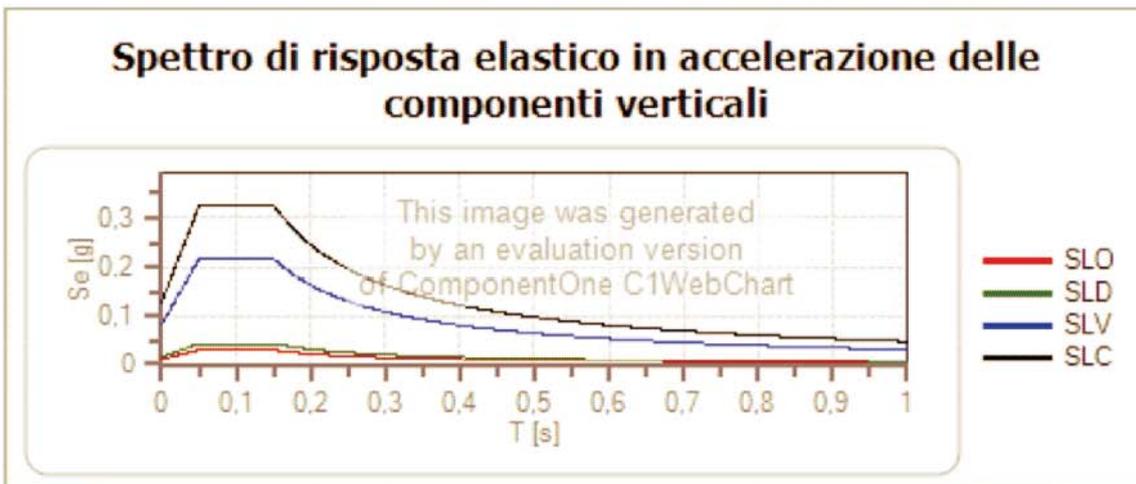
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali

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	0,045	2,494	0,254	1,500	1,650	1,000	1,500	1,000	0,139	0,418	1,778
SLD	1	0,056	2,509	0,268	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,145	0,435	1,824
SLV	1	0,157	2,590	0,272	1,460	1,610	1,000	1,460	1,000	0,146	0,439	2,228
SLC	1	0,209	2,526	0,280	1,380	1,600	1,000	1,380	1,000	0,149	0,447	2,437



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,045	2,494	0,254	1,000	1,650	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,056	2,509	0,268	1,000	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,157	2,590	0,272	1,000	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,209	2,526	0,280	1,000	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

Per quanto riguarda l'analisi di RSL di III livello, si procede secondo le indicazioni contenute nella Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 630/2019 (allegato A4), secondo cui il calcolo delle risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello, deve essere eseguito sulla base di accelerogrammi di riferimento ricavabili per il sito analizzato, in base ai valori di pericolosità sismica elaborati da INGV per il territorio nazionale e resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, tema "Sismica - Microzonazione Sismica".



I segnali sismici sono rappresentativi dello scuotimento atteso, per un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni), sul suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A.

Il valore di aref(g) relativo al sito analizzato si ottiene interpolando i valori di aref(g) definiti nei punti della griglia più prossimi al sito oppure utilizzando il valore del punto della griglia più vicino.

- aref(g) punto 1 = 0.1558;
- aref(g) punto 2 = 0.1559;
- aref(g) punto 3 = 0.1575;
- aref(g) punto 4 = 0.1578;

pertanto si considera la media **aref(g) sito in esame = 0.1567**

(accelerazione massima orizzontale, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g, con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni corrispondente al periodo di ritorno di 475 anni).

Lo spettro di risposta in accelerazione (smorzamento pari al 5%) a probabilità uniforme, rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni in Emilia-Romagna, è storicamente dai valori degli spettri di risposta calcolati per il territorio regionale da INGV.

Lo spettro del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni nel sito analizzato si ottiene moltiplicando i valori della tabella 1 per il valore di aref(g) ottenuto.

La tabella riporta i valori che definiscono lo spettro di risposta normalizzato. Nella prima colonna sono riportati i valori del periodo proprio T, espresso in secondi, nella seconda i valori di accelerazione spettrale normalizzata al valore di accelerazione massima orizzontale (aref).

Inoltre è possibile fornire una stima dei valori del parametro Acceleration Spectrum Intensity (AS_{I,0,5} - valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$) diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s).

I valori di $ASl_{UHS}/\Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nella sezione on-line dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

Considerando la griglia di riferimento sopra riportata, i valori di $ASl_{UHS}/\Delta T$ per il sito risultano compresi nell'intervallo 325-350.

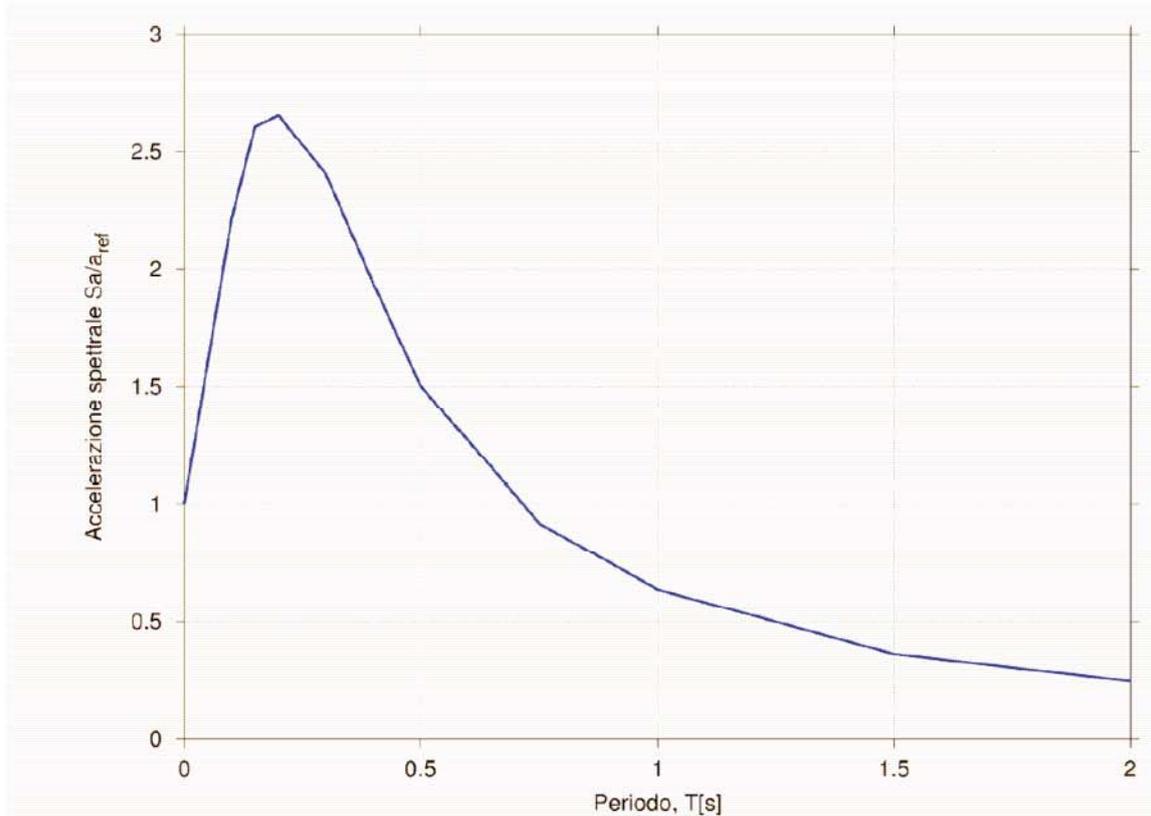
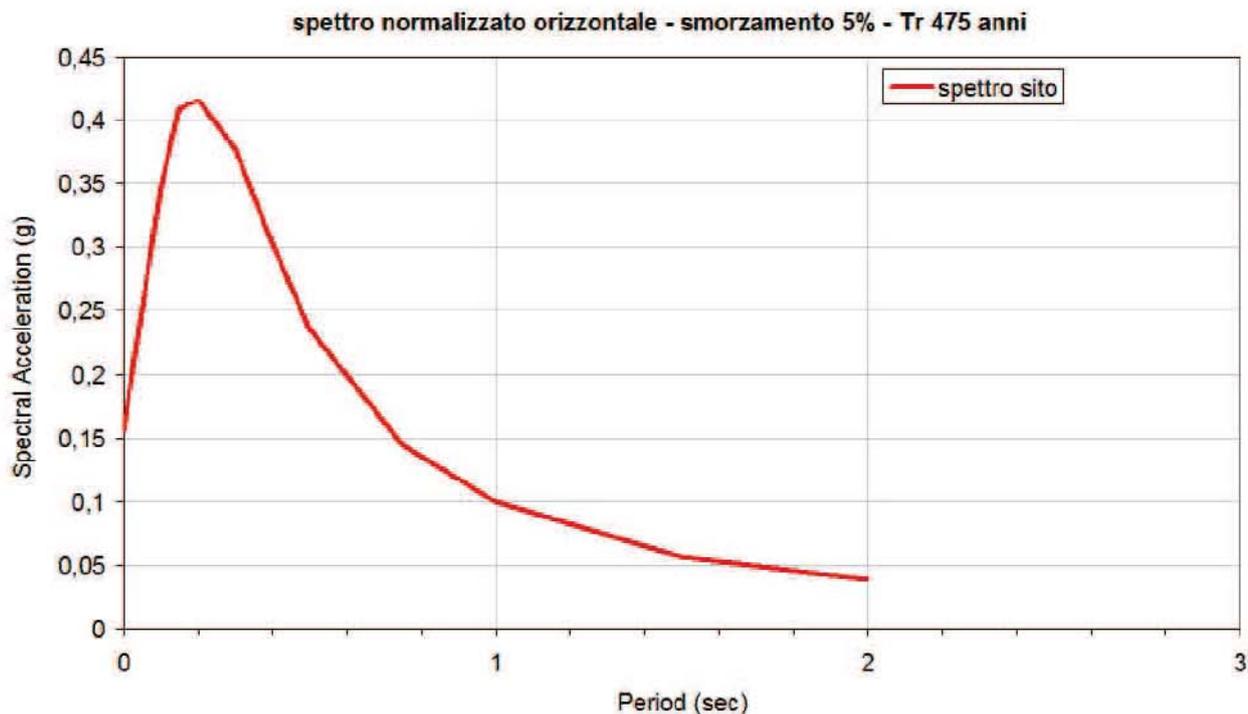


Figura 1: Spettro di risposta normalizzato (Periodo di ritorno: 475 anni, smorzamento: 5%) l'Emilia-Romagna

T(s)	Sa/aref
0,00	1,0000
0,10	2,2100
0,15	2,6080
0,20	2,6562
0,30	2,4033
0,40	1,9394
0,50	1,5050
0,75	0,9172
1,00	0,6359
1,50	0,3608
2,00	0,2462



Spettro Sito - aref(g) = 0,1567	
T(s)	Sa/aref
0,00	0,1567
0,10	0,3463
0,15	0,4087
0,20	0,4162
0,30	0,3766
0,40	0,3039
0,50	0,2358
0,75	0,1437
1,00	0,0996
1,50	0,0565
2,00	0,0386

I segnali di riferimento forniti sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" o ISESD, attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento (forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni per l'Emilia Romagna - Figura 1) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD.

I segnali di riferimento sono stati normalizzati affinché la loro ampiezza massima assoluta sia unitaria.

I files con i segnali di riferimento normalizzati, resi disponibili dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale, sono i seguenti:

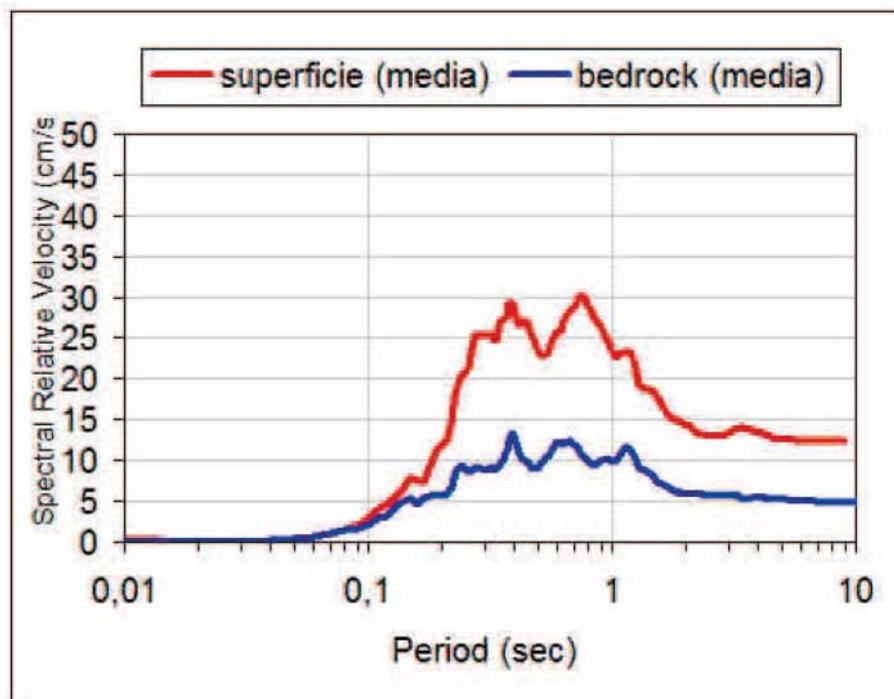
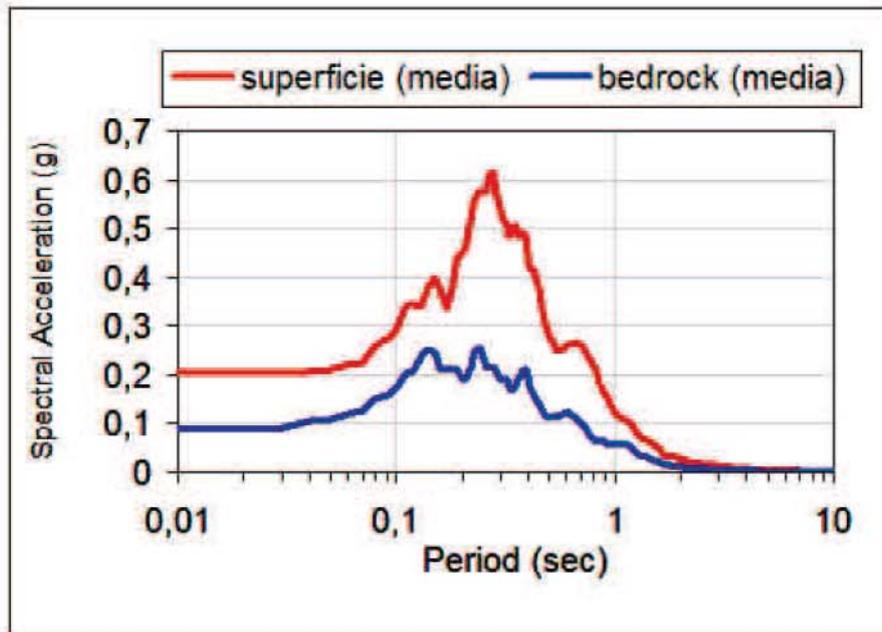
- 1) 000046xa.xy
- 2) 000126xa.xy
- 3) 000354xa.xy

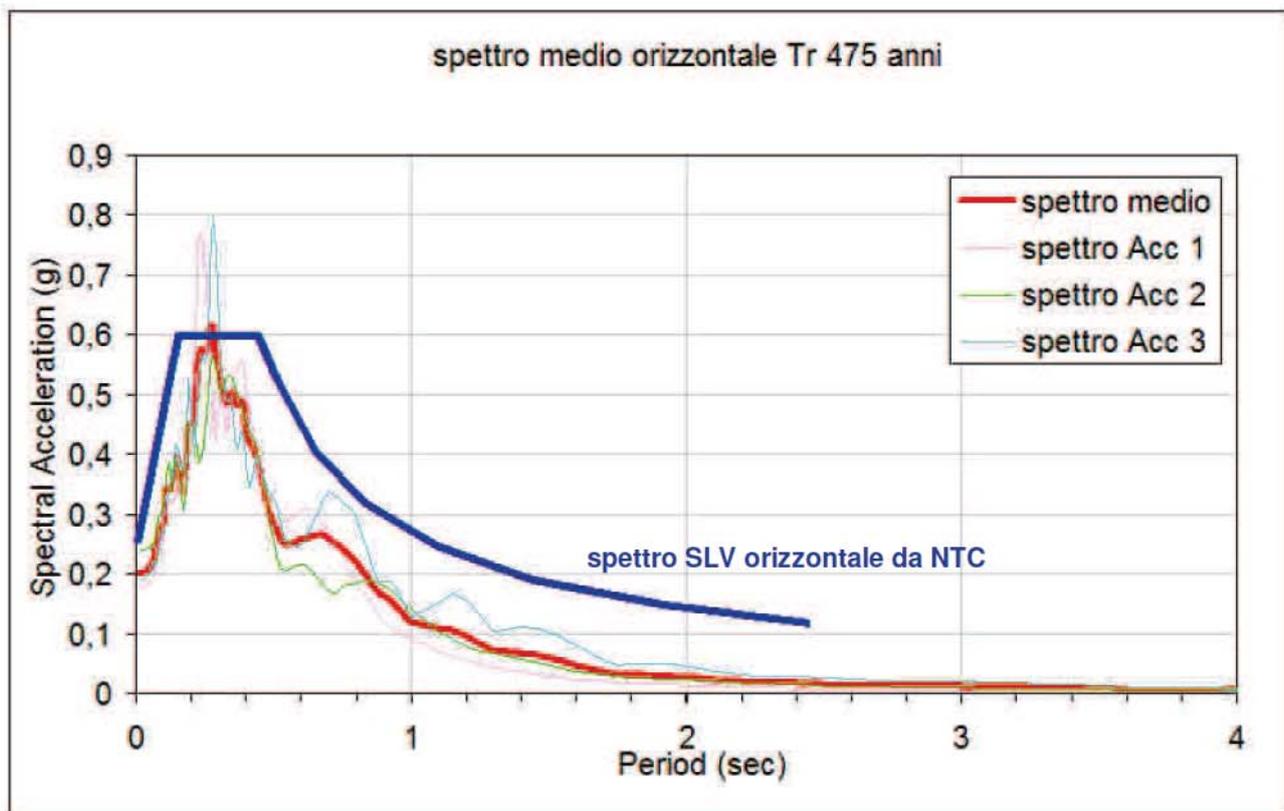
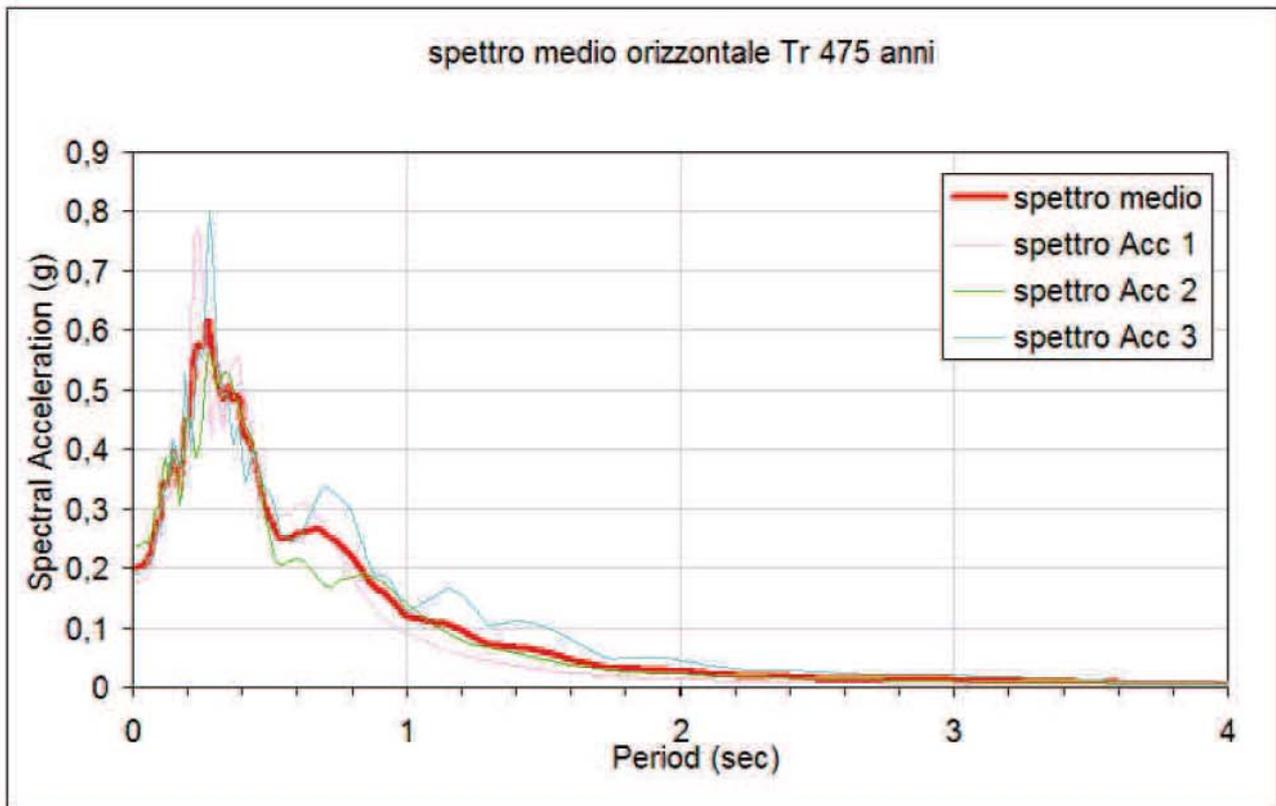
Il nome dei files corrisponde al codice identificativo IESD delle registrazioni accelerometriche. Ogni file contiene due colonne: la prima colonna corrisponde al tempo, espresso in secondi, la seconda contiene il valore di accelerazione normalizzata.

Il moto sismico (periodo di ritorno 475 anni) in termini di accelerogrammi relativi al sito analizzato è ottenuto moltiplicando le accelerazioni normalizzate dei segnali di riferimento (seconda colonna dei files) per il valore di $a_{ref}(g)$ ottenuto con la procedura descritta nel precedente paragrafo.

Mediante l'analisi di RSL di terzo livello, sviluppata mediante software EERA, vengono forniti:

- lo spettro di risposta in accelerazione riferito al sito in esame, per un periodo di ritorno di 475 anni con smorzamento $\zeta = 5\%$;
- i valori di amplificazione in termini di F.A. PGA, F.A. SI, F.A. SA.





Risulta comunque che lo spettro di risposta sismica ricavato secondo le NTC (SLV orizzontale) per un terreno di tipo C, presenta valori superiori rispetto a quello ottenuto mediante l'analisi sismica di III livello e può quindi essere adottato in via cautelativa, qualora il progettista lo ritenga opportuno.

RISULTATI PER ANALISI SISMICA RSL III LIVELLO

fattore di amplificazione

FA 1	2,065
FA 2	2,098
FA 3	2,101
FA (media)	2,088

fattore di amplificazione Intensità di Housner

	superficie (SI)	bedrock (Slo)
SI 0,1 - 0,5	814,85	337,76
SI 0,5 - 1,0	784,74	318,01
SI 0,2 - 2,0	1873,21	763,92

SI/Slo 0,1 - 0,5	2,413
SI/Slo 0,5 - 1,0	2,468
SI/Slo 0,2 - 2,0	2,452

fattore di amplificazione PGA

PGA 1	0,1770
PGA 2	0,2370
PGA 3	0,1900
PGA (media)	0,2013
PGA/PGAo	1,2848

Aref(g) di riferimento
sito in esame 0,1567

fattore di amplificazione SA

	superficie (SA)	bedrock (SAo)	FA SA
SA1 0,1 - 0,5	18,18	7,82	2,326
SA2 0,4 - 0,8	8,86	3,58	2,478
SA3 0,7 - 1,1	3,29	1,21	2,720
SA4 0,5 - 1,5	7,56	3,12	2,421

Pertanto:

- F.A. = 2.09;
- F.A. P.G.A. = 1.285
- F.A. SI1 = 2.41; SI2 = 2.47; SI3 = 2.45
- F.A. SA1 = 2.33; SA2 = 2.48; SA3 = 2.72; SA4 = 2.42.

6. Considerazioni conclusive

La presente relazione è stata eseguita per conto della committenza al fine di verificare le caratteristiche dei terreni di un'area del Comune di Ravarino, per il progetto di realizzazione di un nuovo piano particolareggiato di iniziativa privata.

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:

- il sito è ubicato su un ampio dosso fluviale/paleoalveo del Fiume Panaro, che a partire dall'attuale abitato di Bomporto si estende verso est, in corrispondenza delle odierne Rami e Ravarino e verso l'abitato di Crevalcore.
- La stratigrafia dell'area risulta molto variabile sia in senso verticale che nella distribuzione areale dei litotipi. Fino a -10/-11 m circa si riscontrano terreni dalle scadenti caratteristiche geotecniche, con alternanze di litotipi limo-argillosi soffici e limi argilloso-sabbiosi da sciolti a mediamente addensati e locali intercalazioni di sabbie limose in corpi lenticolari e nastriformi. Seguono, all'aumentare della profondità, litotipi limo-argillosi da plastici a consistenti.
- Fanno eccezione la CPT 1, arrestata a -9.60 m per rifiuto strumentale dovuto alla presenza di un orizzonte di ghiaie sabbiose mediamente addensate e la CPT 6, dove si è riscontrata una componente sabbiosa e/o limo-sabbiosa più elevata rispetto ai restanti punti di indagine.
- Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nei fori di prova, si attesta a una profondità di -1/-1.20 m dal piano campagna del terreno agricolo in natura (marzo 2020).
- Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dalle indagini geognostiche e con le ipotesi considerate, la verifica alla liquefazione effettuata evidenzia nella sola CPT 6 un livello di terreno incoerente potenzialmente soggetto a fenomeni di liquefacibilità (fattore di sicurezza alla liquefazione $FSL = 0.50$).
- In relazione alle CPT considerate, il sito di indagine presenta un $LPI_{MEDIO} = 0.33$ e un $LPI_{MAX} = 2.0$ che secondo la classificazione di Sonmez (2003) determina un potenziale di liquefazione "basso" per $0 < LPI \leq 2$.
- In base alle NTC e alle normative regionali vigenti, in presenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame devono essere valutati con metodologie di III livello.
- Dall'elaborazione delle indagini geofisiche HVSR, nei grafici H/V si individuano frequenze fondamentali di vibrazione del sito tipiche del Bacino Sedimentario Padano, ricadenti nell'intervallo compreso tra 0.85 Hz e 1.25 Hz circa. La sovrapposizione dei grafici H/V mostra un andamento simile delle due curve, ad indicare un substrato piuttosto uniforme dal punto di vista del comportamento sismico.
- 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, in relazione all'intervento in progetto di realizzazione di un nuovo piano particolareggiato di iniziativa privata.

In una fase successiva, si ritiene opportuno che vengano eseguite indagini geognostiche all'interno dei vari lotti e finalizzate alla progettazione esecutiva dei futuri singoli interventi di edificazione.

ALLEGATI

A. Elaborati delle indagini geognostiche

Modena, 19 marzo 2020

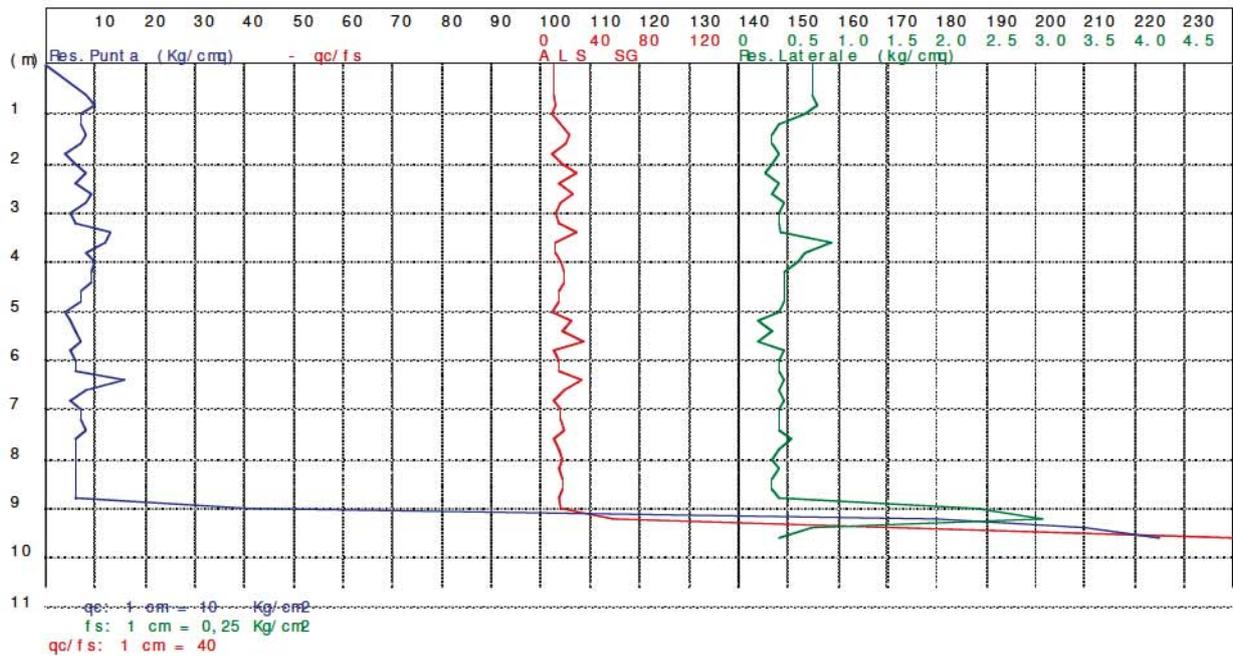


dott. geol. Claudio Preci

ELABORATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

ALLEGATO **A**

CPT n°1 data: 10/03/2020 elaborato n°289
 Cantiere: P.P.I.P. - Ravarino
 Committente: Leonardo srl



CPT n°1 data: 10/03/2020 elaborato n°289
 Cantiere: P.P.I.P. - Ravarino
 Committente: Leonardo srl

Prof m	Strati	Ti pol ogi a	Gamma kg/ m ³	Gamma' kg/ m ³	Si gma' V kg/ cm ²	CU kg/ cm ²	FI °	DR %	Mv cm ² / Kg	K oriz Kg/ cm ³	Per m cm/ sec
		Argilla limosa soffice	1717	1067	0.171	0.385	26	0	0.019350	0.7875	1.1e-5
	FALDA										
1.60		Lim o argilloso soffice	1689	1039	0.337	0.308	21	0	0.019915	0.4333	1.1e-4
3.20		Lim o argilloso plastico	1764	1114	0.426	0.516	23	0	0.014914	0.7167	7.6e-5
4.00		Lim o argilloso soffice									
			1696	1046	0.928	0.295	16	0	0.019234	0.4556	1.0e-4
8.80		Chi ai a sabb. medi anente addensat a	1750	1100	1.016	0.000	28	84	0.004065	8.2000	1.9e-1
9.60											

RELAZIONE TECNICA

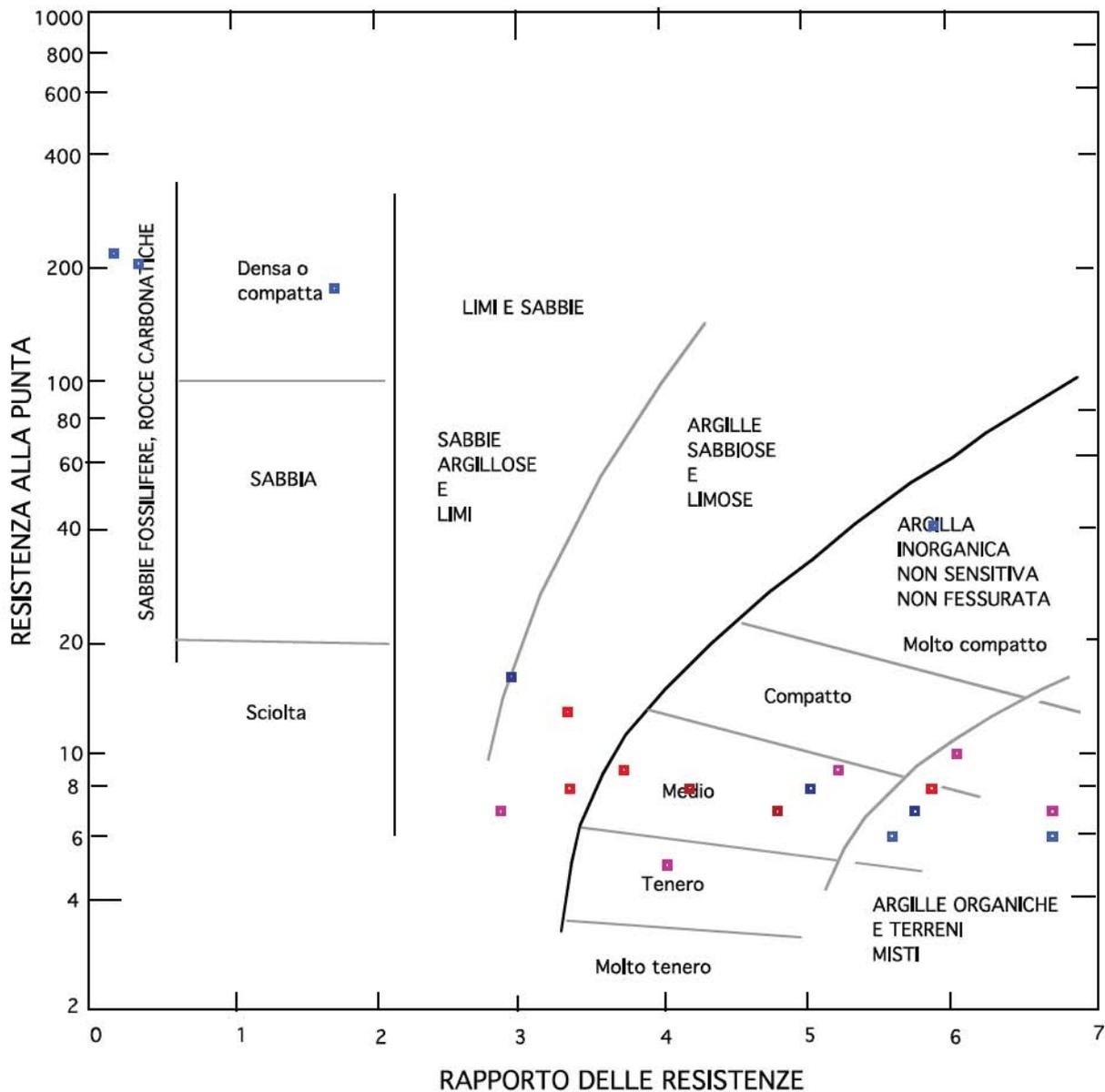
CPT n°1 data:10/03/2020 elaborato n°289
 Cantiere: P.P.I.P. - Ravarino
 Committente: Leonardo srl

Quota livello di falda: 1.20

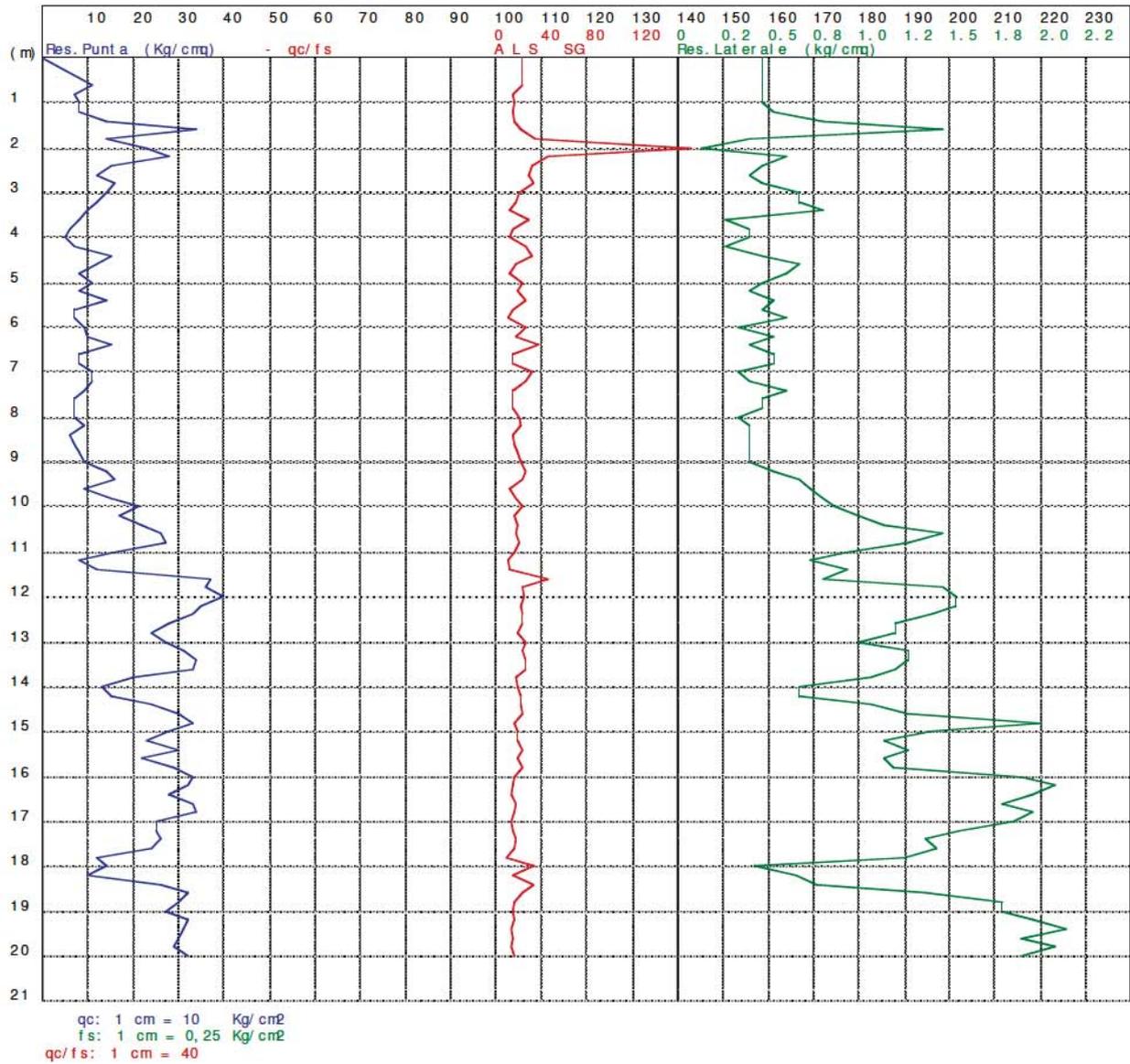
Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	8.00	0.73	10.91
0.80	10.00	0.80	12.50
1.00	7.00	0.67	10.50
1.20	7.00	0.40	17.50
1.40	8.00	0.33	24.00
1.60	7.00	0.33	21.00
1.80	4.00	0.40	10.00
2.00	6.00	0.33	18.00
2.20	8.00	0.27	30.00
2.40	6.00	0.40	15.00
2.60	9.00	0.33	27.00
2.80	8.00	0.47	17.14
3.00	5.00	0.40	12.50
3.20	6.00	0.40	15.00
3.40	13.00	0.43	30.23
3.60	12.00	0.93	12.86
3.80	8.00	0.67	12.00
4.00	10.00	0.60	16.67
4.20	9.00	0.47	19.29
4.40	9.00	0.47	19.29
4.60	7.00	0.47	15.00
4.80	7.00	0.47	15.00
5.00	4.00	0.40	10.00
5.20	5.00	0.20	25.00
5.40	6.00	0.33	18.00
5.60	7.00	0.20	35.00
5.80	5.00	0.47	10.71
6.00	6.00	0.40	15.00
6.20	6.00	0.40	15.00
6.40	16.00	0.47	34.29
6.60	8.00	0.40	20.00
6.80	5.00	0.47	10.71
7.00	7.00	0.40	17.50
7.20	7.00	0.40	17.50
7.40	8.00	0.40	20.00
7.60	6.00	0.53	11.25
7.80	6.00	0.40	15.00
8.00	6.00	0.33	18.00
8.20	6.00	0.40	15.00
8.40	6.00	0.33	18.00
8.60	6.00	0.33	18.00
8.80	6.00	0.40	15.00
9.00	41.00	2.40	17.08
9.20	180.00	3.07	58.70
9.40	210.00	0.73	286.36
9.60	225.00	0.40	562.50





CPT n°2 data: 10/03/2020 elaborato n°290
 Cantiere: P.P.I.P. - Ravarino
 Committente: Leonardo srl



Prof m	Strati	Tipologia	Gamma kg/m ³	Gamma kg/m ³	Si gma' V kg/cm ²	CU kg/cm ²	FI °	DR %	Mv cm ² /Kg	K oriz Kg/cm ³	Per m cm sec
		Lim argilloso soffice	1753	1103	0.154	0.492	28	0.0	0.015385	0.6667	2.5e-4
1.40	FALDA	Sabbia argil-limosa addensata media	1700	1050	0.301	0.000	24	34	0.032864	1.3524	1.1e-2
2.80		Lim argilloso soffice	1741	1091	0.978	0.411	17	0	0.016038	0.6129	2.9e-4
9.00		Lim argilloso plastico	1845	1195	1.193	0.868	20	0	0.015373	1.2370	3.2e-4
10.80		Argilla limosa plastica	1780	1130	1.261	0.537	18	0	0.016667	1.2000	1.8e-5
11.40		Lim argilloso consistente	1910	1260	2.042	1.325	20	0	0.011676	1.9032	5.0e-4
17.60		Argilla limosa plastica	1780	1130	2.109	0.495	15	0	0.016667	1.2000	4.6e-5
18.20		Lim argilloso consistente	1917	1267	2.337	1.378	19	0	0.011152	1.9926	1.3e-4
20.00											

RELAZIONE TECNICA

CPT n°2 data:10/03/2020 elaborato n°290
 Cantiere: P.P.I.P. - Ravarino
 Committente: Leonardo srl

Quota livello di falda: 1.00

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	11.00	0.47	23.57
0.80	7.00	0.47	15.00
1.00	8.00	0.47	17.14
1.20	8.00	0.53	15.00
1.40	14.00	0.80	17.50
1.60	34.00	1.47	23.18
1.80	14.00	0.40	35.00
2.00	23.00	0.13	172.50
2.20	28.00	0.60	46.67
2.40	15.00	0.47	32.14
2.60	12.00	0.40	30.00
2.80	16.00	0.47	34.29
3.00	14.00	0.67	21.00
3.20	12.00	0.67	18.00
3.40	10.00	0.80	12.50
3.60	8.00	0.27	30.00
3.80	6.00	0.40	15.00
4.00	5.00	0.40	12.50
4.20	7.00	0.27	26.25
4.40	15.00	0.47	32.14
4.60	12.00	0.67	18.00
4.80	8.00	0.60	13.33
5.00	11.00	0.47	23.57
5.20	8.00	0.40	20.00
5.40	14.00	0.53	26.25
5.60	7.00	0.47	15.00
5.80	7.00	0.60	11.67
6.00	9.00	0.33	27.00
6.20	10.00	0.53	18.75
6.40	15.00	0.40	37.50
6.60	8.00	0.53	15.00
6.80	8.00	0.53	15.00
7.00	11.00	0.33	33.00
7.20	11.00	0.40	27.50
7.40	9.00	0.60	15.00
7.60	7.00	0.47	15.00
7.80	7.00	0.47	15.00
8.00	7.00	0.33	21.00
8.20	9.00	0.40	22.50
8.40	6.00	0.40	15.00
8.60	7.00	0.40	17.50
8.80	8.00	0.40	20.00
9.00	9.00	0.40	22.50
9.20	14.00	0.53	26.25
9.40	16.00	0.67	24.00
9.60	9.00	0.73	12.27
9.80	15.00	0.80	18.75
10.00	21.00	0.87	24.23
10.20	17.00	1.00	17.00
10.40	22.00	1.13	19.41
10.60	26.00	1.47	17.73
10.80	27.00	1.27	21.32
11.00	16.00	0.93	17.14
11.20	8.00	0.73	10.91
11.40	12.00	0.93	12.86
11.60	37.00	0.80	46.25
11.80	36.00	1.47	24.55
12.00	40.00	1.53	26.09
12.20	35.00	1.53	22.83
12.40	33.00	1.40	23.57
12.60	28.00	1.20	23.33
12.80	24.00	1.20	20.00
13.00	27.00	1.00	27.00
13.20	31.00	1.27	24.47
13.40	34.00	1.27	26.84
13.60	33.00	1.20	27.50

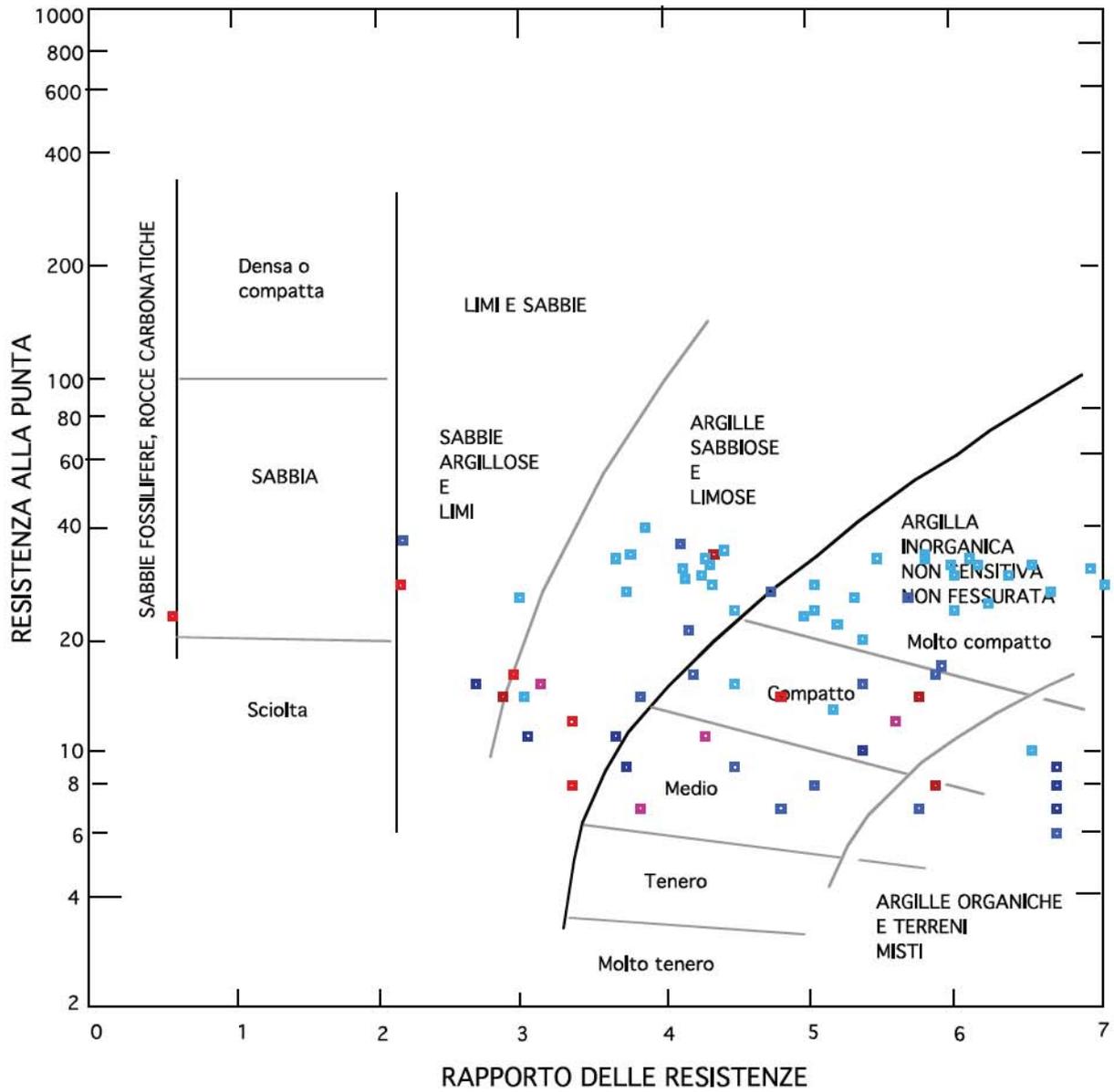
dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

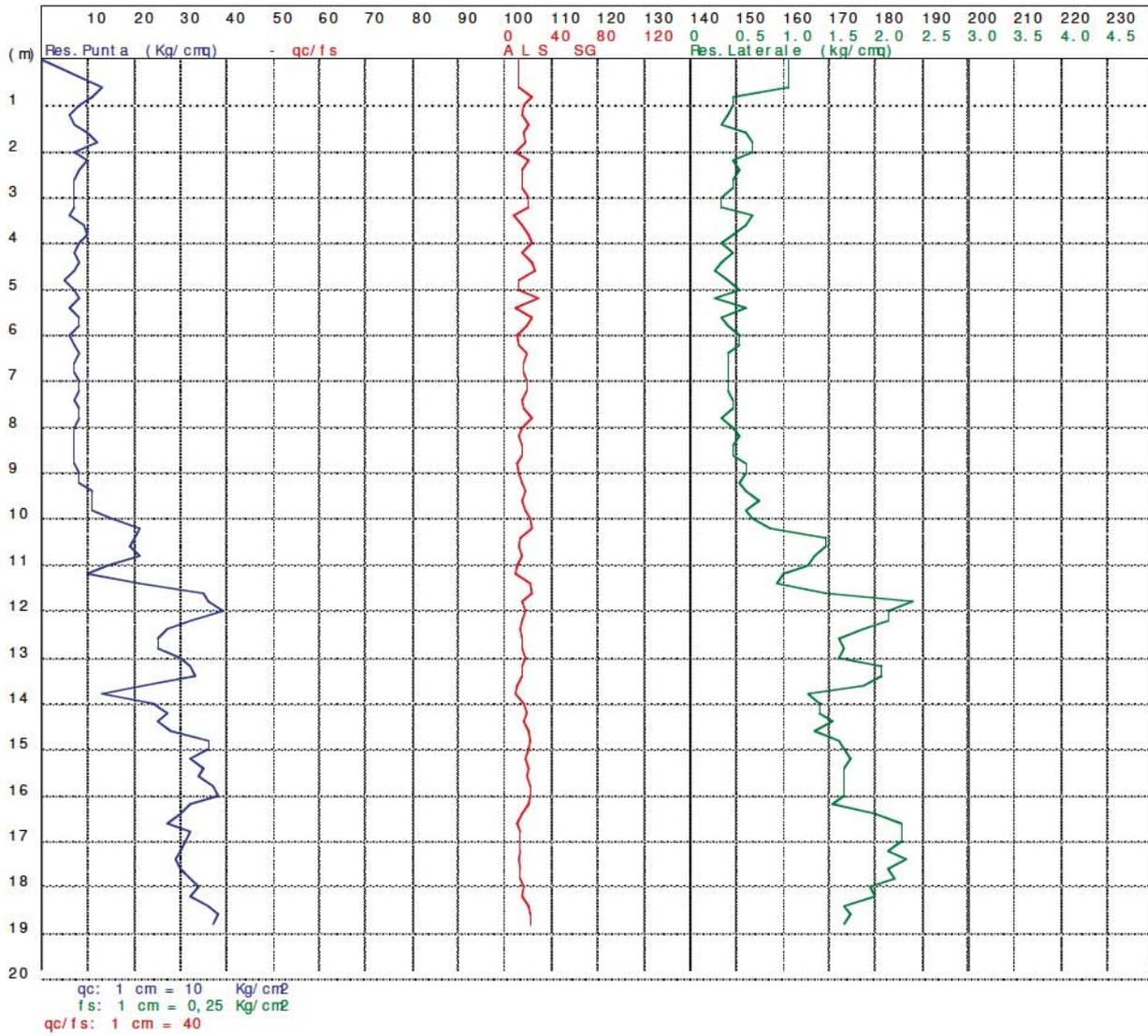
Studio v. W. Tabacchi n° 125 - 41123 Modena tel. 059/823020 mob. 339/8264394 e-mail precigeo@virgilio.it

13.80	20.00	1.07	18.75
14.00	13.00	0.67	19.50
14.20	15.00	0.67	22.50
14.40	24.00	1.07	22.50
14.60	30.00	1.27	23.68
14.80	33.00	2.00	16.50
15.00	28.00	1.40	20.00
15.20	23.00	1.13	20.29
15.40	30.00	1.27	23.68
15.60	22.00	1.13	19.41
15.80	29.00	1.19	24.37
16.00	33.00	1.90	17.37
16.20	32.00	2.08	15.38
16.40	28.00	1.96	14.29
16.60	33.00	1.79	18.44
16.80	34.00	1.96	17.35
17.00	25.00	1.85	13.51
17.20	25.00	1.55	16.13
17.40	26.00	1.37	18.98
17.60	24.00	1.43	16.78
17.80	12.00	1.25	9.60
18.00	14.00	0.42	33.33
18.20	10.00	0.65	15.38
18.40	26.00	0.77	33.77
18.60	32.00	1.37	23.36
18.80	30.00	1.79	16.76
19.00	27.00	1.79	15.08
19.20	32.00	1.96	16.33
19.40	31.00	2.14	14.49
19.60	30.00	1.90	15.79
19.80	29.00	2.08	13.94
20.00	32.00	1.90	16.84





CPT n°3 data: 10/03/2020 elaborato n°291
 Cantiere: P.P.I.P. - Pavarino
 Committente: Leonardo srl



Prof m	Strati	Tipologia	Gamma kg/m³	Gamma' kg/m³	Sigma' V kg/cm²	CU kg/cm²	Fi °	DR %	Mv cm²/Kg	K oriz Kg/cm³	Per m cm sec
0.80		Argilla limosa plastica Limo argilloso soffice	1786	1786	0.143	0.618	29	0	0.016000	1.2500	1.6e-5
	FALDA										
			1712	1062	1.035	0.327	16	0	0.017969	0.5048	7.0e-5
9.20		Argilla limosa plastica									
			1817	1167	1.268	0.702	19	0	0.013072	1.5300	5.0e-5
11.20		Limo argilloso consistente									
			1921	1271	2.234	1.430	19	0	0.010808	2.0561	1.3e-4
18.80											

RELAZIONE TECNICA

CPT n°3 data:10/03/2020 elaborato n°291
 Cantiere: P.P.I.P. - Ravarino
 Committente: Leonardo srl

Quota livello di falda: 1.20

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	13.00	1.07	12.19
0.80	11.00	0.47	23.57
1.00	8.00	0.47	17.14
1.20	6.00	0.40	15.00
1.40	7.00	0.33	21.00
1.60	10.00	0.60	16.67
1.80	12.00	0.67	18.00
2.00	7.00	0.67	10.50
2.20	10.00	0.47	21.43
2.40	8.00	0.53	15.00
2.60	7.00	0.47	15.00
2.80	7.00	0.47	15.00
3.00	7.00	0.33	21.00
3.20	7.00	0.33	21.00
3.40	6.00	0.67	9.00
3.60	9.00	0.60	15.00
3.80	10.00	0.47	21.43
4.00	8.00	0.33	24.00
4.20	7.00	0.47	15.00
4.40	8.00	0.33	24.00
4.60	7.00	0.27	26.25
4.80	5.00	0.40	12.50
5.00	7.00	0.53	13.13
5.20	8.00	0.27	30.00
5.40	6.00	0.60	10.00
5.60	8.00	0.33	24.00
5.80	8.00	0.40	20.00
6.00	6.00	0.53	11.25
6.20	7.00	0.53	13.13
6.40	8.00	0.40	20.00
6.60	7.00	0.40	17.50
6.80	7.00	0.40	17.50
7.00	8.00	0.40	20.00
7.20	8.00	0.40	20.00
7.40	7.00	0.47	15.00
7.60	8.00	0.47	17.14
7.80	8.00	0.33	24.00
8.00	7.00	0.47	15.00
8.20	7.00	0.53	13.13
8.40	7.00	0.47	15.00
8.60	7.00	0.47	15.00
8.80	7.00	0.60	11.67
9.00	8.00	0.60	13.33
9.20	8.00	0.53	15.00
9.40	11.00	0.60	18.33
9.60	11.00	0.73	15.00
9.80	11.00	0.60	18.33
10.00	15.00	0.67	22.50
10.20	21.00	0.87	24.23
10.40	20.00	1.47	13.64
10.60	19.00	1.47	12.95
10.80	21.00	1.33	15.75
11.00	14.00	1.27	11.05
11.20	10.00	1.00	10.00
11.40	21.00	0.93	22.50
11.60	35.00	1.47	23.86
11.80	36.00	2.40	15.00
12.00	39.00	2.13	18.28
12.20	32.00	2.13	15.00
12.40	27.00	1.87	14.46
12.60	25.00	1.60	15.63
12.80	25.00	1.67	15.00
13.00	30.00	1.60	18.75
13.20	32.00	2.07	15.48
13.40	33.00	2.07	15.97
13.60	22.00	1.87	11.79
13.80	13.00	1.27	10.26

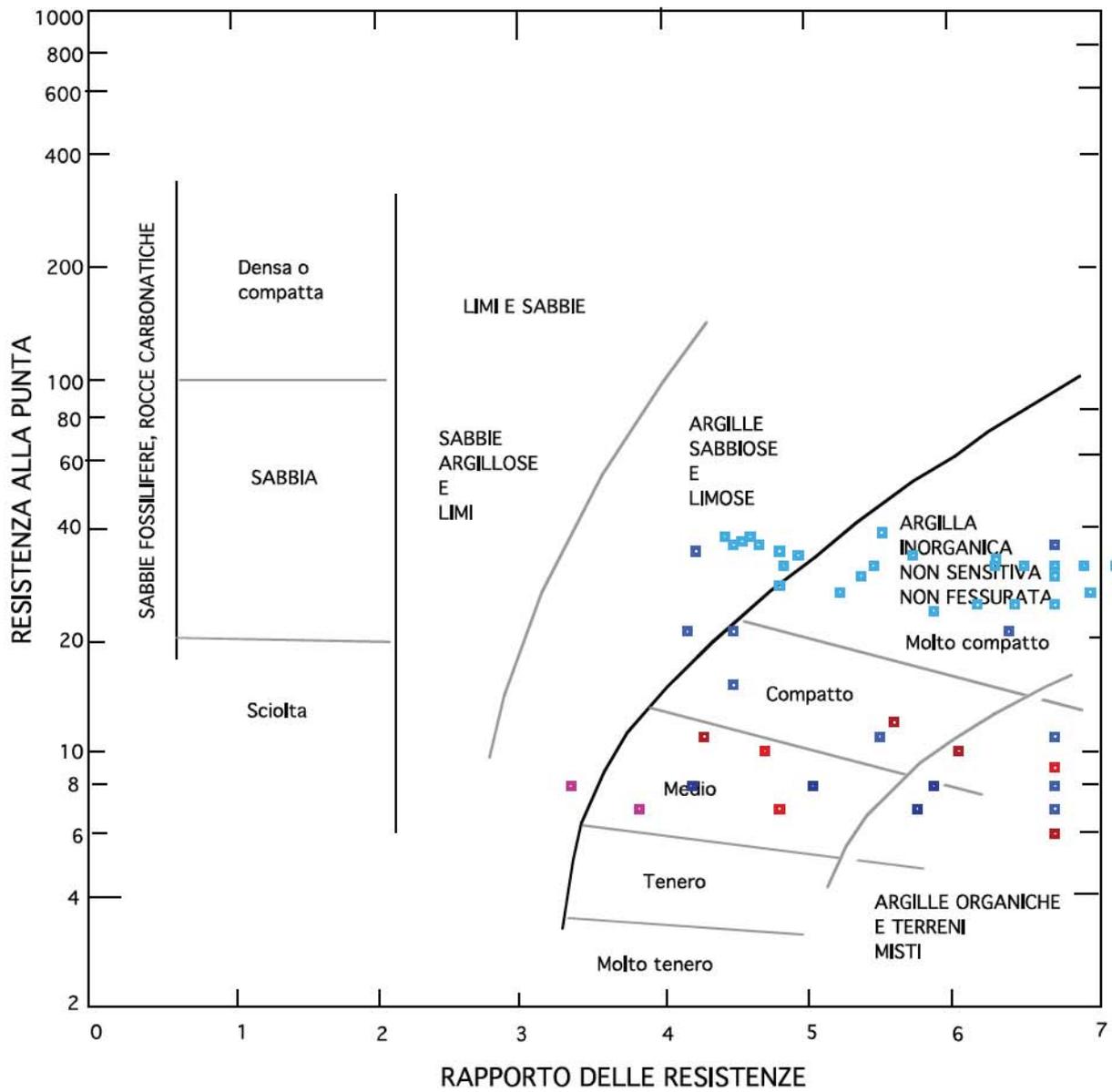
dott. Claudio Preci geologo

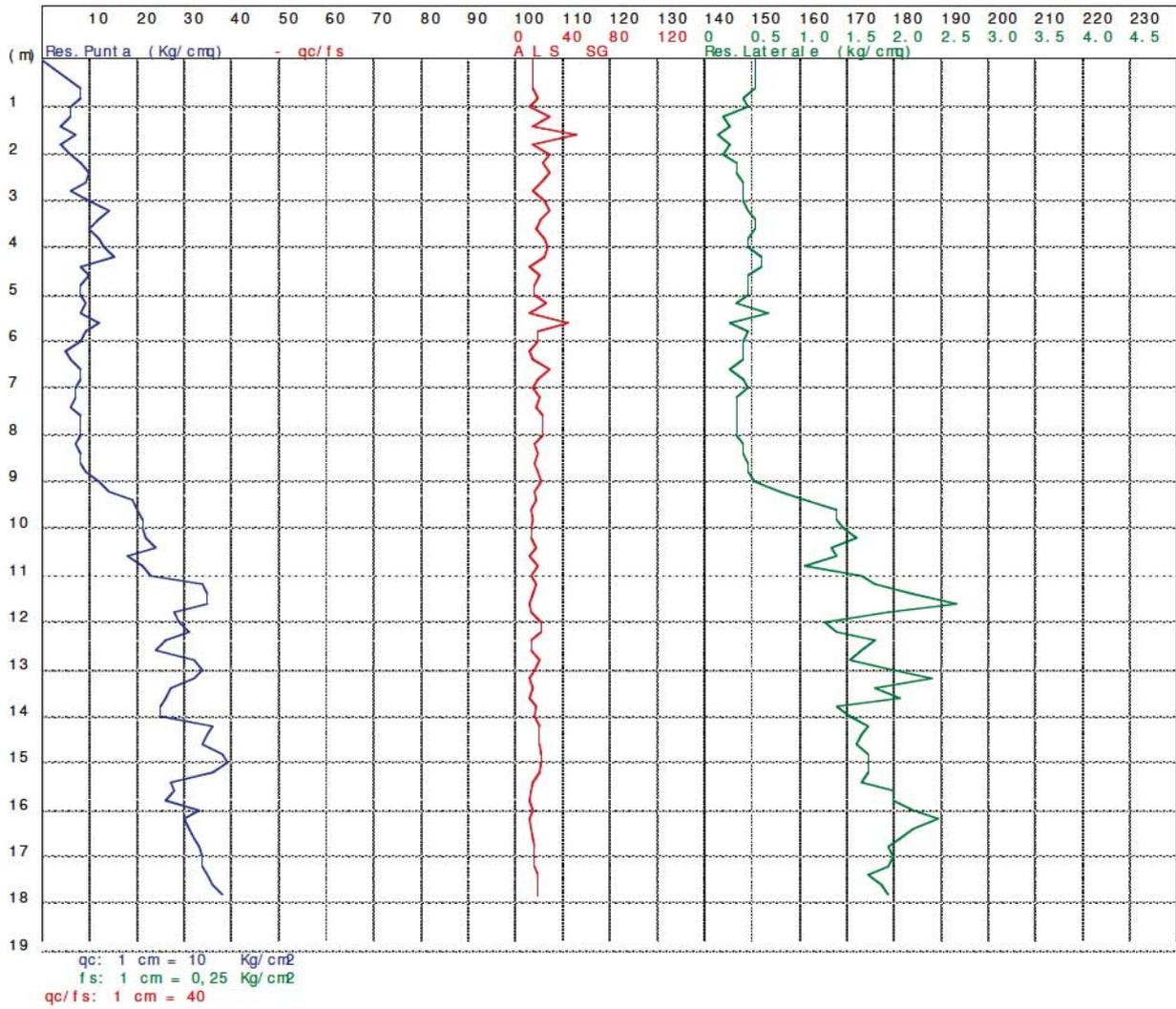
Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio v. W. Tabacchi n° 125 - 41123 Modena tel. 059/823020 mob. 339/8264394 e-mail precigeo@virgilio.it

14.00	24.00	1.40	17.14
14.20	27.00	1.40	19.29
14.40	25.00	1.53	16.30
14.60	28.00	1.33	21.00
14.80	36.00	1.60	22.50
15.00	36.00	1.67	21.60
15.20	32.00	1.73	18.46
15.40	35.00	1.67	21.00
15.60	34.00	1.67	20.40
15.80	37.00	1.67	22.20
16.00	38.00	1.67	22.80
16.20	32.00	1.53	20.87
16.40	30.00	2.00	15.00
16.60	27.00	2.27	11.91
16.80	32.00	2.27	14.12
17.00	31.00	2.27	13.68
17.20	30.00	2.13	14.06
17.40	29.00	2.33	12.43
17.60	30.00	2.13	14.06
17.80	32.00	2.20	14.55
18.00	34.00	1.93	17.59
18.20	32.00	2.00	16.00
18.40	36.00	1.67	21.60
18.60	38.00	1.73	21.92
18.80	37.00	1.67	22.20







Prof m	Strati	Tipologia	Gamma kg/m³	Gamma' kg/m³	Si gma' V kg/cm²	CU kg/cm²	FI °	DR %	Mw cm²/Kg	K or iz Kg/cm³	Per m cm/sec
0.80		Limbo argilloso soffice	1720	1720	0.138	0.393	27	0	0.017361	0.5333	5.8e-5
		Limbo argil-sabbioso sciolto									
2.20		Limbo argil-sabbioso sciolto	1673	1023	0.281	0.279	22	0	0.021476	0.3905	6.3e-4
			1769	1119	0.505	0.530	22	0	0.014733	0.7400	1.3e-3
4.20		Limbo argilloso soffice									
			1719	1069	0.996	0.348	17	0	0.017419	0.5304	2.6e-4
8.80		Argilla limosa consistente									
			1853	1203	1.261	0.914	20	0	0.010233	1.9545	7.4e-5
11.00		Limbo argilloso consistente									
			1925	1275	2.128	1.479	20	0	0.010513	2.1137	1.3e-4
17.80											

RELAZIONE TECNICA

CPT n°4 data:10/03/2020 elaborato n°292
 Cantiere: P.P.I.P. - Ravarino
 Committente: Leonardo srl
 Quota livello di falda: 1.20

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	8.00	0.53	15.00
0.80	8.00	0.40	20.00
1.00	6.00	0.47	12.86
1.20	6.00	0.20	30.00
1.40	4.00	0.27	15.00
1.60	7.00	0.13	52.50
1.80	4.00	0.27	15.00
2.00	6.00	0.20	30.00
2.20	8.00	0.33	24.00
2.40	10.00	0.33	30.00
2.60	9.00	0.40	22.50
2.80	6.00	0.40	15.00
3.00	10.00	0.40	25.00
3.20	14.00	0.47	30.00
3.40	12.00	0.53	22.50
3.60	10.00	0.53	18.75
3.80	12.00	0.47	25.71
4.00	13.00	0.47	27.86
4.20	15.00	0.60	25.00
4.40	8.00	0.60	13.33
4.60	10.00	0.47	21.43
4.80	8.00	0.47	17.14
5.00	8.00	0.47	17.14
5.20	9.00	0.33	27.00
5.40	8.00	0.67	12.00
5.60	12.00	0.27	45.00
5.80	9.00	0.47	19.29
6.00	8.00	0.40	20.00
6.20	5.00	0.40	12.50
6.40	6.00	0.40	15.00
6.60	8.00	0.27	30.00
6.80	8.00	0.40	20.00
7.00	7.00	0.47	15.00
7.20	7.00	0.33	21.00
7.40	6.00	0.33	18.00
7.60	8.00	0.33	24.00
7.80	8.00	0.33	24.00
8.00	8.00	0.33	24.00
8.20	7.00	0.40	17.50
8.40	8.00	0.40	20.00
8.60	8.00	0.47	17.14
8.80	9.00	0.47	19.29
9.00	12.00	0.53	22.50
9.20	14.00	0.80	17.50
9.40	19.00	1.07	17.81
9.60	20.00	1.40	14.29
9.80	21.00	1.40	15.00
10.00	21.00	1.47	14.32
10.20	22.00	1.60	13.75
10.40	24.00	1.33	18.00
10.60	18.00	1.40	12.86
10.80	21.00	1.07	19.69
11.00	23.00	1.67	13.80
11.20	34.00	1.80	18.89
11.40	35.00	2.20	15.91
11.60	35.00	2.67	13.13
11.80	28.00	1.93	14.48
12.00	29.00	1.27	22.89
12.20	31.00	1.40	22.14
12.40	26.00	1.80	14.44
12.60	24.00	1.67	14.40
12.80	32.00	1.53	20.87
13.00	34.00	2.00	17.00
13.20	32.00	2.40	13.33
13.40	27.00	1.80	15.00
13.60	26.00	2.07	12.58
13.80	25.00	1.40	17.86
14.00	25.00	1.53	16.30

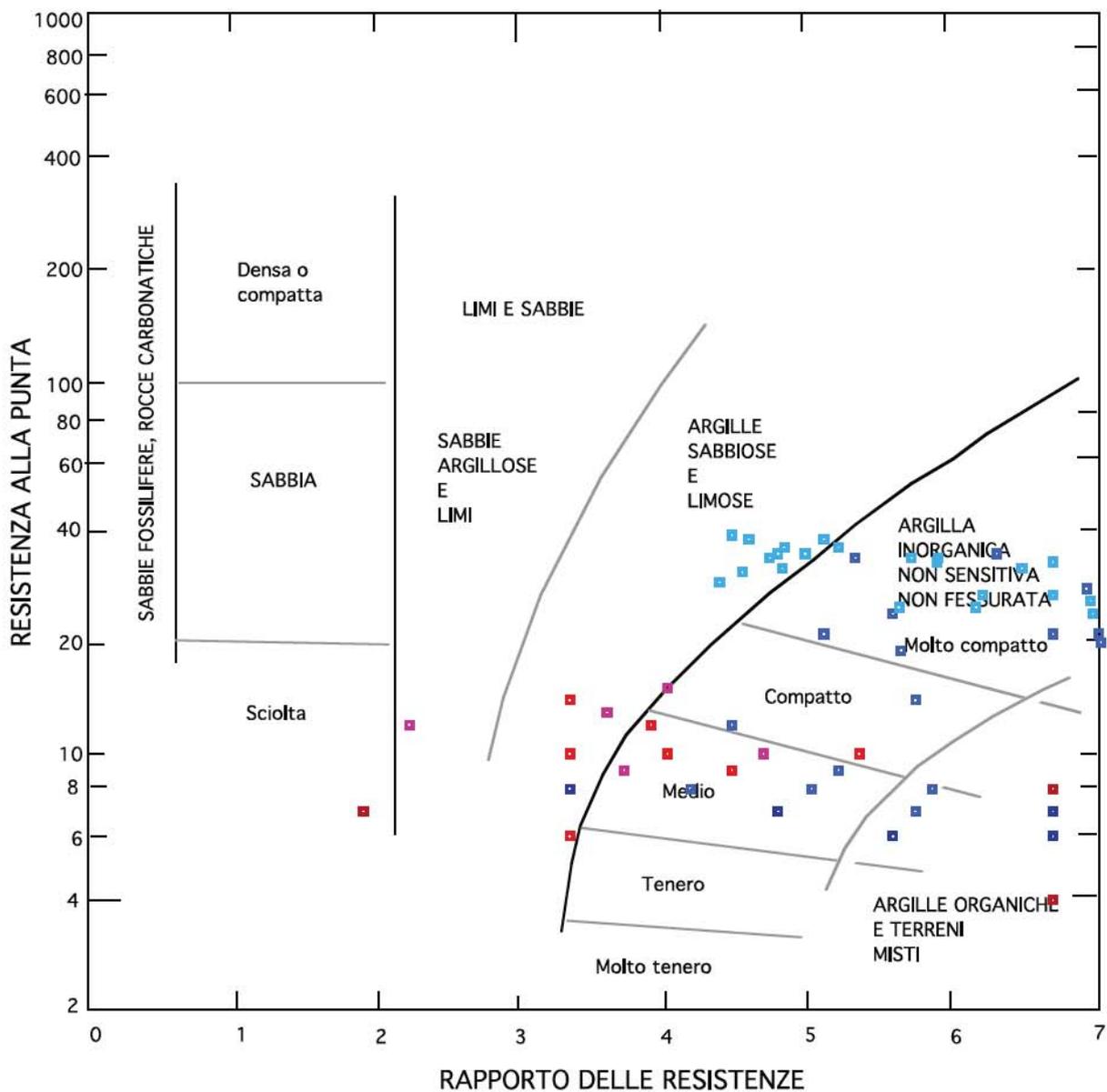
dott. Claudio Preci geologo

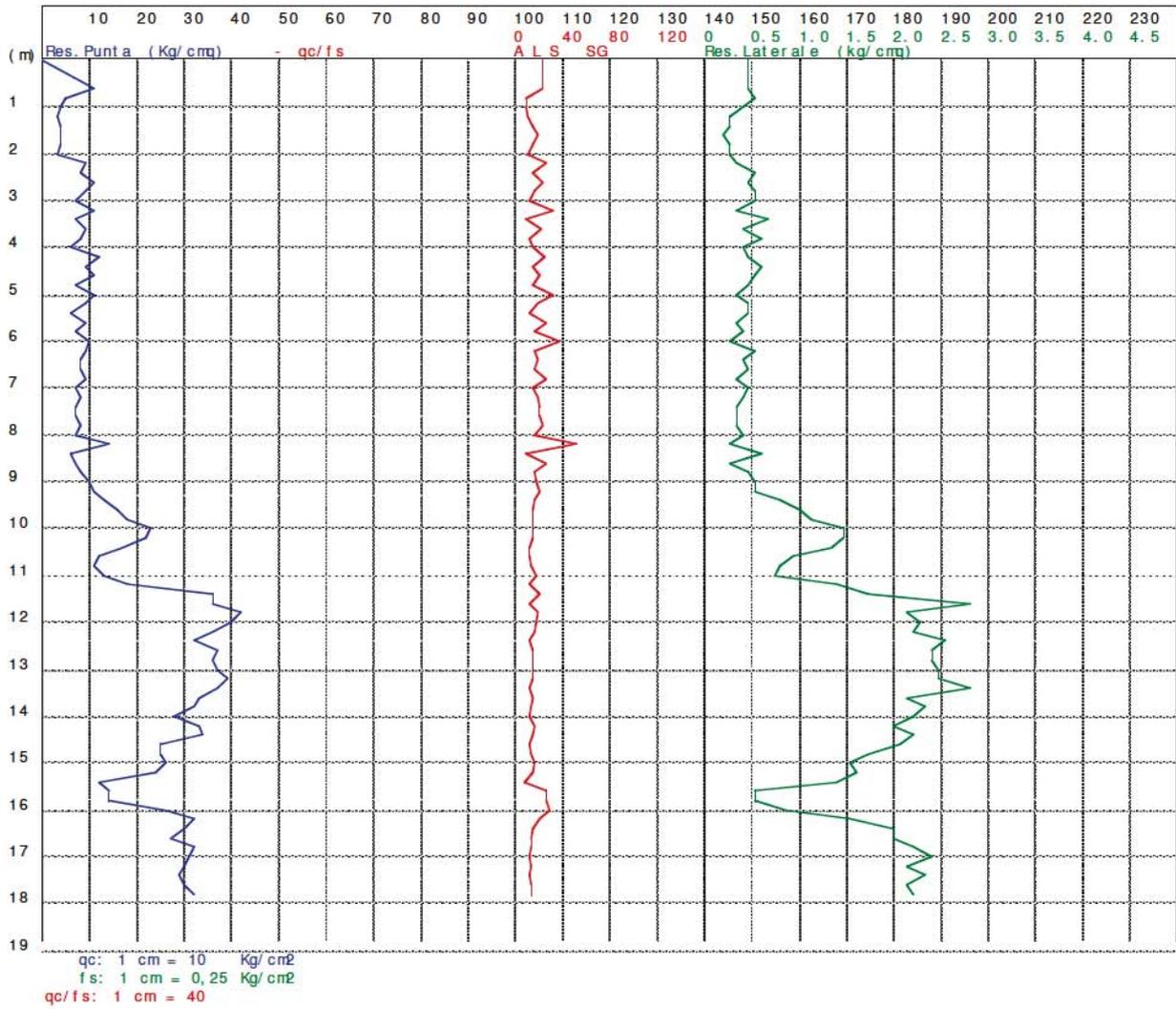
Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio v. W. Tabacchi n° 125 - 41123 Modena tel. 059/823020 mob. 339/8264394 e-mail precigeo@virgilio.it

14.20	36.00	1.73	20.77
14.40	35.00	1.67	21.00
14.60	34.00	1.60	21.25
14.80	38.00	1.73	21.92
15.00	39.00	1.73	22.50
15.20	36.00	1.73	20.77
15.40	27.00	1.67	16.20
15.60	28.00	2.00	14.00
15.80	26.00	2.00	13.00
16.00	33.00	2.20	15.00
16.20	30.00	2.47	12.16
16.40	31.00	2.20	14.09
16.60	32.00	2.07	15.48
16.80	33.00	1.93	17.07
17.00	34.00	2.00	17.00
17.20	34.00	1.93	17.59
17.40	35.00	1.73	20.19
17.60	36.00	1.87	19.29
17.80	38.00	1.93	19.66







Prof m	Strati	Tipologia	Gamma kg/ m ³	Gamma' kg/ m ³	Si gma' V kg/ cm ²	CU kg/ cm ²	FI %	DR %	Mw cm ² / Kg	K oriz Kg/ cm ³	Per m cm/ sec
0.60		Limbo argill-sabbioso Argilla limosa soffice	1767	1767	0.106	0.545	30	0	0.014782	0.7333	1.1e-3
	FAIDA										
2.00		Limbo argilloso soffice	1611	961	0.241	0.181	20	0	0.030247	0.3857	3.3e-6
3.20		Argilla limosa soffice	1740	1090	0.371	0.440	23	0	0.016062	0.6111	3.6e-4
4.00		Limbo argilloso soffice	1710	1060	0.456	0.352	20	0	0.019753	0.7500	2.3e-5
8.80		Argilla limosa plastica	1729	1079	0.974	0.376	17	0	0.016747	0.5667	4.1e-4
11.20		Argilla limosa consistente	1817	1167	1.254	0.704	19	0	0.013043	1.5333	4.6e-5
17.80			1920	1270	2.092	1.421	20	0	0.006554	3.0515	1.1e-4

RELAZIONE TECNICA

CPT n°5 data:10/03/2020 elaborato n° 293
 Cantiere: P.P.I.P. Ravarino
 Committente: Leonardo srl
 Quota livello di falda: 1.00

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	11.00	0.47	23.57
0.80	5.00	0.53	9.38
1.00	4.00	0.40	10.00
1.20	3.00	0.27	11.25
1.40	4.00	0.27	15.00
1.60	4.00	0.20	20.00
1.80	4.00	0.27	15.00
2.00	3.00	0.27	11.25
2.20	9.00	0.33	27.00
2.40	8.00	0.53	15.00
2.60	11.00	0.47	23.57
2.80	9.00	0.53	16.88
3.00	7.00	0.53	13.13
3.20	11.00	0.33	33.00
3.40	7.00	0.67	10.50
3.60	9.00	0.40	22.50
3.80	8.00	0.60	13.33
4.00	6.00	0.40	15.00
4.20	12.00	0.47	25.71
4.40	9.00	0.60	15.00
4.60	11.00	0.53	20.63
4.80	7.00	0.47	15.00
5.00	11.00	0.33	33.00
5.20	9.00	0.47	19.29
5.40	6.00	0.47	12.86
5.60	9.00	0.33	27.00
5.80	7.00	0.40	17.50
6.00	10.00	0.27	37.50
6.20	9.00	0.53	16.88
6.40	8.00	0.40	20.00
6.60	8.00	0.47	17.14
6.80	9.00	0.33	27.00
7.00	7.00	0.47	15.00
7.20	8.00	0.40	20.00
7.40	7.00	0.33	21.00
7.60	7.00	0.33	21.00
7.80	8.00	0.33	24.00
8.00	7.00	0.40	17.50
8.20	14.00	0.27	52.50
8.40	6.00	0.60	10.00
8.60	7.00	0.27	26.25
8.80	8.00	0.47	17.14
9.00	10.00	0.53	18.75
9.20	11.00	0.53	20.63
9.40	13.00	0.80	16.25
9.60	16.00	1.00	16.00
9.80	18.00	1.13	15.88
10.00	23.00	1.47	15.68
10.20	22.00	1.47	15.00
10.40	17.00	1.33	12.75
10.60	12.00	0.93	12.86
10.80	11.00	0.80	13.75
11.00	13.00	0.73	17.73
11.20	18.00	1.40	12.86
11.40	36.00	1.73	20.77
11.60	36.00	2.80	12.86
11.80	42.00	2.13	19.69
12.00	40.00	2.27	17.65
12.20	36.00	2.20	16.36
12.40	32.00	2.53	12.63
12.60	37.00	2.40	15.42
12.80	36.00	2.40	15.00
13.00	37.00	2.47	15.00
13.20	39.00	2.47	15.81
13.40	37.00	2.80	13.21
13.60	33.00	2.13	15.47
13.80	32.00	2.33	13.71
14.00	28.00	2.20	12.73

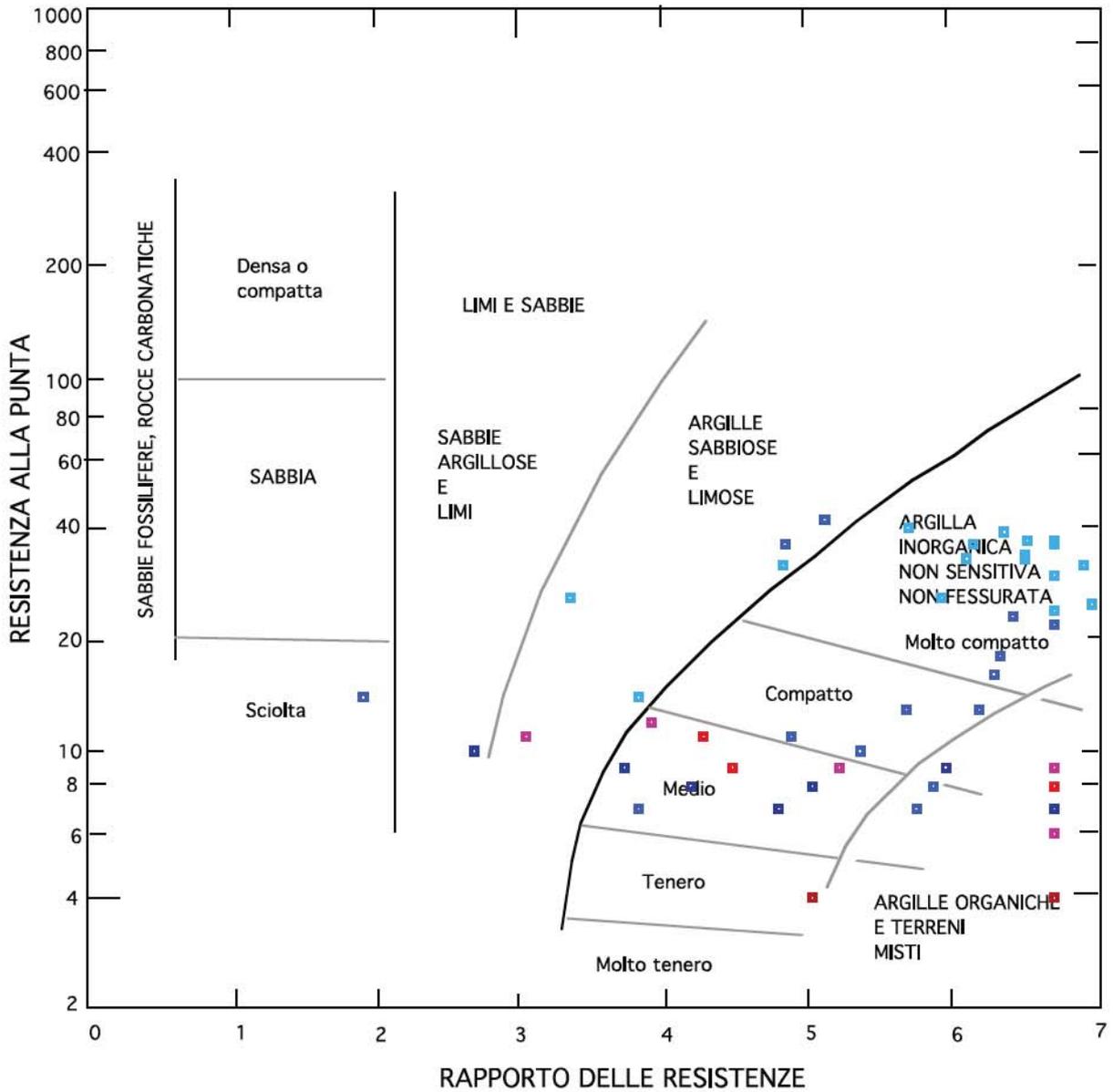
dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

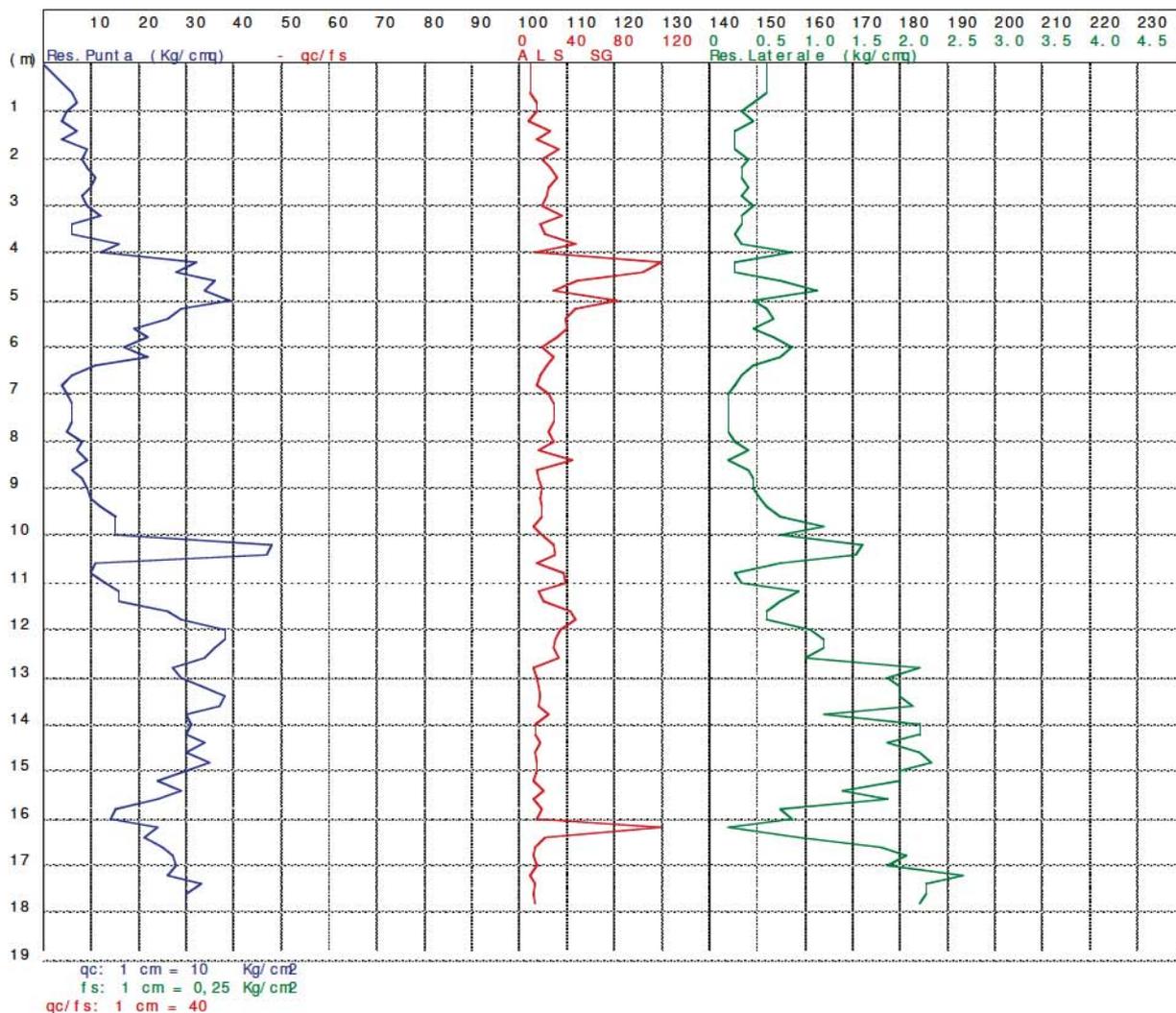
Studio v. W. Tabacchi n° 125 - 41123 Modena tel. 059/823020 mob. 339/8264394 e-mail precigeo@virgilio.it

14.20	33.00	2.00	16.50
14.40	34.00	2.20	15.45
14.60	25.00	2.07	12.10
14.80	25.00	1.73	14.42
15.00	26.00	1.53	16.96
15.20	24.00	1.60	15.00
15.40	12.00	1.40	8.57
15.60	14.00	0.53	26.25
15.80	14.00	0.53	26.25
16.00	26.00	0.87	30.00
16.20	32.00	1.53	20.87
16.40	30.00	2.00	15.00
16.60	27.00	2.00	13.50
16.80	32.00	2.20	14.55
17.00	31.00	2.40	12.92
17.20	30.00	2.13	14.06
17.40	29.00	2.33	12.43
17.60	30.00	2.13	14.06
17.80	32.00	2.20	14.55





CPT n°6 data: 10/03/2020 eal borat o n°294
 Cantiere: P.P.I.P. - Ravarino
 Committente: Leonardo srl



Prof m	Strati	Tipologia	Gamma kg/ m ³	Gamma' kg/ m ³	Si gma' V kg/ cm ²	CU kg/ cm ²	FI °	DR %	Mv cm ² / Kg	K oriz Kg/ cm ³	Per m cm/ sec
		Argilla limosa soffice	1667	1017	0.163	0.273	24	0	0.023126	0.5625	5.0e-6
	FALDA										
1.60		Lim argil-sabbioso sciolto	1745	1095	0.338	0.458	23	0	0.015770	0.6333	2.2e-3
3.20		Lim argilloso molto soffice	1677	1027	0.379	0.281	20	0	0.021097	0.4000	3.2e-4
3.60		Lim argil-sabbioso addensato medio	1803	1153	0.425	0.679	24	0	0.014006	0.9333	1.0e-3
4.00		Sabbia lim mediamente addensata	1750	1100	0.667	0.000	23	30	0.018092	1.3818	2.4e-2
6.20		Lim argil-sabbioso sciolto	1701	1051	0.983	0.304	16	0	0.018801	0.4711	6.7e-4
9.20		Lim argilloso plastico	1806	1156	1.075	0.659	19	0	0.014000	0.9500	1.3e-4
10.00		Lim argil-sabbioso addensato medio	1986	1336	1.129	2.319	25	0	0.007018	3.1667	5.0e-3
10.40		Sabbia argil-limosa addensata media	1700	1050	1.360	0.000	20	15	0.027466	1.6182	4.9e-3
12.60		Argilla limosa consistente	1908	1258	2.014	1.311	20	0	0.007084	2.8231	1.1e-4
17.80											

RELAZIONE TECNICA

CPT n°6 data:10/03/2020 ealborato n°294
 Cantiere: P.P.I.P. - Ravarino
 Committente: Leonardo srl
 Quota livello di falda: 1.20

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	6.00	0.60	10.00
0.80	7.00	0.47	15.00
1.00	5.00	0.33	15.00
1.20	4.00	0.47	8.57
1.40	7.00	0.27	26.25
1.60	4.00	0.27	15.00
1.80	9.00	0.27	33.75
2.00	8.00	0.40	20.00
2.20	9.00	0.33	27.00
2.40	11.00	0.33	33.00
2.60	10.00	0.40	25.00
2.80	8.00	0.33	24.00
3.00	9.00	0.47	19.29
3.20	12.00	0.33	36.00
3.40	6.00	0.33	18.00
3.60	6.00	0.27	22.50
3.80	16.00	0.33	48.00
4.00	12.00	0.87	13.85
4.20	32.00	0.27	120.00
4.40	28.00	0.27	105.00
4.60	36.00	0.73	49.09
4.80	34.00	1.13	30.00
5.00	39.00	0.47	83.57
5.20	29.00	0.60	48.33
5.40	26.00	0.67	39.00
5.60	19.00	0.47	40.71
5.80	22.00	0.67	33.00
6.00	17.00	0.87	19.62
6.20	22.00	0.73	30.00
6.40	11.00	0.47	23.57
6.60	6.00	0.33	18.00
6.80	4.00	0.27	15.00
7.00	5.00	0.20	25.00
7.20	6.00	0.20	30.00
7.40	6.00	0.20	30.00
7.60	6.00	0.20	30.00
7.80	5.00	0.20	25.00
8.00	8.00	0.27	30.00
8.20	7.00	0.40	17.50
8.40	9.00	0.20	45.00
8.60	6.00	0.40	15.00
8.80	8.00	0.47	17.14
9.00	9.00	0.47	19.29
9.20	10.00	0.53	18.75
9.40	12.00	0.60	20.00
9.60	15.00	0.73	20.45
9.80	15.00	1.20	12.50
10.00	15.00	0.73	20.45
10.20	48.00	1.60	30.00
10.40	47.00	1.53	30.65
10.60	11.00	0.73	15.00
10.80	10.00	0.27	37.50
11.00	13.00	0.33	39.00
11.20	16.00	0.93	17.14
11.40	16.00	0.73	21.82
11.60	26.00	0.60	43.33
11.80	29.00	0.60	48.33
12.00	38.00	1.07	35.63
12.20	38.00	1.20	31.67
12.40	36.00	1.20	30.00
12.60	34.00	1.00	34.00
12.80	27.00	2.20	12.27
13.00	29.00	1.87	15.54
13.20	33.00	2.00	16.50
13.40	38.00	2.00	19.00
13.60	37.00	2.13	17.34
13.80	30.00	1.20	25.00
14.00	31.00	2.20	14.09

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio v. W. Tabacchi n° 125 - 41123 Modena tel. 059/823020 mob. 339/8264394 e-mail precigeo@virgilio.it

14.20	30.00	2.20	13.64
14.40	34.00	1.87	18.21
14.60	30.00	2.20	13.64
14.80	35.00	2.33	15.00
15.00	30.00	2.00	15.00
15.20	24.00	2.00	12.00
15.40	29.00	1.40	20.71
15.60	24.00	1.87	12.86
15.80	15.00	0.73	20.45
16.00	14.00	0.87	16.15
16.20	24.00	0.20	120.00
16.40	21.00	0.93	22.50
16.60	25.00	1.80	13.89
16.80	27.00	2.07	13.06
17.00	28.00	1.87	15.00
17.20	26.00	2.67	9.75
17.40	33.00	2.27	14.56
17.60	30.00	2.27	13.24
17.80	30.00	2.20	13.64



