

COMUNE DI CAMPOGALLIANO  
Provincia di Modena

ACCORDO OPERATIVO AI SENSI DELLA L.R. 24/2017  
AMBITO PRODUTTIVO 30.44 parte  
COMUNE DI CAMPOGALLIANO

**ELABORATO a3)**  
**Relazione Geologica e Sismica**  
**Relazione Idraulica**  
**Relazione rischio alluvioni**



DATA:

Marzo 2019

VERSIONE:

PRATICA N°

168/17

COMMITTENZA:

**GELOSTAR SRL**  
**IMMOBILIARE 5 SRL**

IL GEOLOGO:

*Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti*

**GEODES SRL**

Via Michelangelo, 1 – 41051 Castelnuovo Rangone (Mo)  
Tel.: (059) 536629-535499 - Fax.: 5331612 – E-mail: [geodes.srl@tiscali.it](mailto:geodes.srl@tiscali.it)  
Reg. Impr. Modena n° 02625920364 – Cap. Soc. 10.200 euro i.v. - Cod.Fisc. e Part. I.V.A. 02625920364



## INDICE

1.	PREMESSA	PAG. 3
	<b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	" 5
2.	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO (6.2.1 NTC)	" 5
2.1	ELEMENTI GEOGRAFICI-CARTOGRAFICI DELL'AREA	" 5
2.2	ELEMENTI GEOLOGICI-STRUTTURALI GENERALI	" 7
2.3	ELEMENTI GEOLOGICI-GEOMORFOLOGICI DELL'AREA	" 7
2.4	ELEMENTI IDROGEOLOGICI GENERALI	" 11
2.5	IDROGEOLOGIA	" 13
2.6	IDROGRAFIA	" 13
	<b>3. RELAZIONE SISMICA</b>	" 14
3.1	SISMICITA' DEL COMUNE DI CAMPOGALLIANO	" 14
3.2	NORMATIVA SISMICA DI RIFERIMENTO	" 22
3.3	INDAGINI GEOFISICHE	" 24
3.3.1	PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE TIPO MASW	" 24
3.3.2	PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA DI MICROTREMORI (HVSr)	" 27
3.4	CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO (3.2.2 NTC)	" 29
3.5	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE (3.2.2 NTC)	" 29
3.6	CALCOLO DEI PARAMETRI SISMICI DEL SITO	" 30
3.6.1	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA – SPETTRI DI RISPOSTA DEL SITO (3.2.3 NTC)	" 32
3.7	PERICOLOSITÀ SISMICA ED EFFETTI LOCALI	" 33
3.8	EFFETTI DI SITO – MICROZONAZIONE SISMICA	" 35
3.9	ANALISI DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO - LIQUEFAZIONE	" 36
3.10	AMPLIFICAZIONE SISMICA PER CARATTERISTICHE LITOLOGICHE (DAL RER 112/07)	" 38
	<b>4. MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO</b>	" 40
4.1	INDAGINI, MODELLAZIONE GEOLOGICA	" 42
4.1.1	CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E MECCANICO-RESISTIVA	" 42
4.1.2	IDROLOGIA SOTTERRANEA	" 43
4.2	MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE	" 43
4.3	PROPOSTA DI TIPOLOGIA DI FONDAZIONE	" 44
4.4	VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI	" 45
	<b>5. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA</b>	" 46
	<b>6. CONSIDERAZIONI FINALI</b>	" 54
ALLEGATO 1	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE	PAG. 56
ALLEGATO 2	INDAGINE SISMICA - MASW	PAG. 57
ALLEGATO 3	INDAGINE SISMICA - HVSr	PAG. 58
ALLEGATO 4	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	PAG. 59

# Relazione Geologica e Sismica

## 1. PREMESSA

La presente relazione riferisce dello studio condotto, a seguito di accordo operativo ai sensi della L.R. 24/2017 per l'Ambito Produttivo 30.44, in loc. Via Morandi n. 25 a Campogalliano (Mo) (Fig. 1-2).

Al fine di inquadrare e contestualizzare dal punto di vista geologico e sismico e idraulico l'area d'intervento, oggetto di ampliamento di fabbricato industriale, si è proceduto essenzialmente attraverso due fasi:

- 1) analisi bibliografica degli studi e delle indagini disponibili nell'area e in un suo intorno significativo;
- 2) approfondimento d'indagine sito-specifica con esecuzione di nuove indagini geognostiche e sismiche.

1) La ricerca bibliografica ha permesso di reperire dati di buona qualità; quelli più significativi e utilizzati in questo lavoro sono:

- cartografia tecnica e geologica esistente;
- Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Campogalliano;
- analisi di dati bibliografici (RER);
- consultazione di indagini geognostiche eseguite in passato nell'area.
- Dgr 1300/2016 (Prime disposizioni regionali concernenti l'attuazione del piano di gestione del rischio alluvioni nel settore urbanistico.

2) La consultazione dei dati sopra elencati permette già di ottenere un quadro sufficientemente delineato e idoneo del sito in studio. Per qualificare e completare ulteriormente lo studio sono state comunque programmate una serie di nuove indagini geognostiche e geofisiche "sito-specifiche", comprensive di:

- n° 4 prove penetrometriche statiche (Fig. 19 – All. 1);
- n° 1 indagine di sismica a rifrazione con metodologia MASW (All. 2);
- n° 1 prospezione sismica passiva di microtremiti HVSR (All. 3);

Così operando, si è inteso definire meglio il modello geologico-sismico del terreno di fondazione ed in particolare:

- valutare le condizioni geologiche-geomorfologiche e idrogeologiche dell'area;
- approfondire le conoscenze stratigrafiche, per meglio caratterizzare il terreno di fondazione;
- individuare le possibili problematiche geologiche-tecniche dell'area in relazione all'intervento.
- definire il modello geologico-geotecnico;
- valutare la pericolosità sismica di base del sito di costruzione e gli eventuali effetti di sito dell'area;
- valutazione della risposta sismica locale mediante classificazione semplificata del suolo in base alla  $V_s E_q$ , calcolo dell'accelerazione spettrale elastica e dei coefficienti di amplificazione sismica (NTC 2018),
- verifica di compatibilità idraulica.

Lo studio, pertanto, secondo i dettami della normativa vigente (NTC2018) e dello stato dell'arte, è stato rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica e sismica dell'area d'intervento che consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, geomorfologici, idrogeologici, e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

L'elaborato è sviluppato in modo da costituire imprescindibile elemento di base e di riferimento per la redazione del dimensionamento geotecnico di dettaglio e per il completamento della successiva progettazione.

## RELAZIONE GEOLOGICA

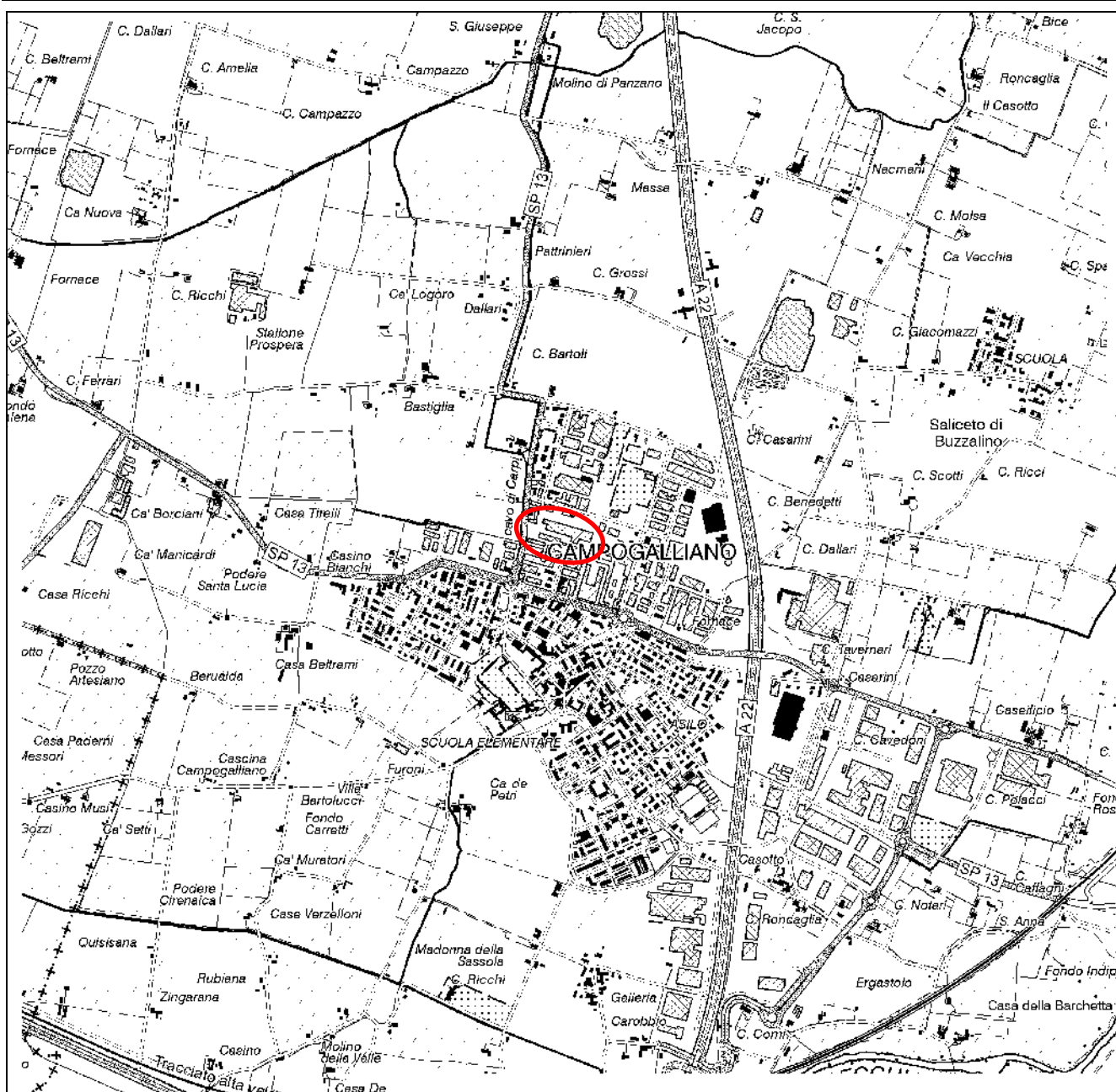
Il modello geologico del sito viene sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per l'inquadramento delle problematiche geotecniche a piccola/grande scala e per stilare il programma delle indagini. Il modello di riferimento sarà quindi validato e supportato da indagini specifiche in funzione dell'importanza delle opere.

### 2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO (6.2.1 NTC)

#### 2.1 ELEMENTI GEOGRAFICI-CARTOGRAFICI DELL'AREA

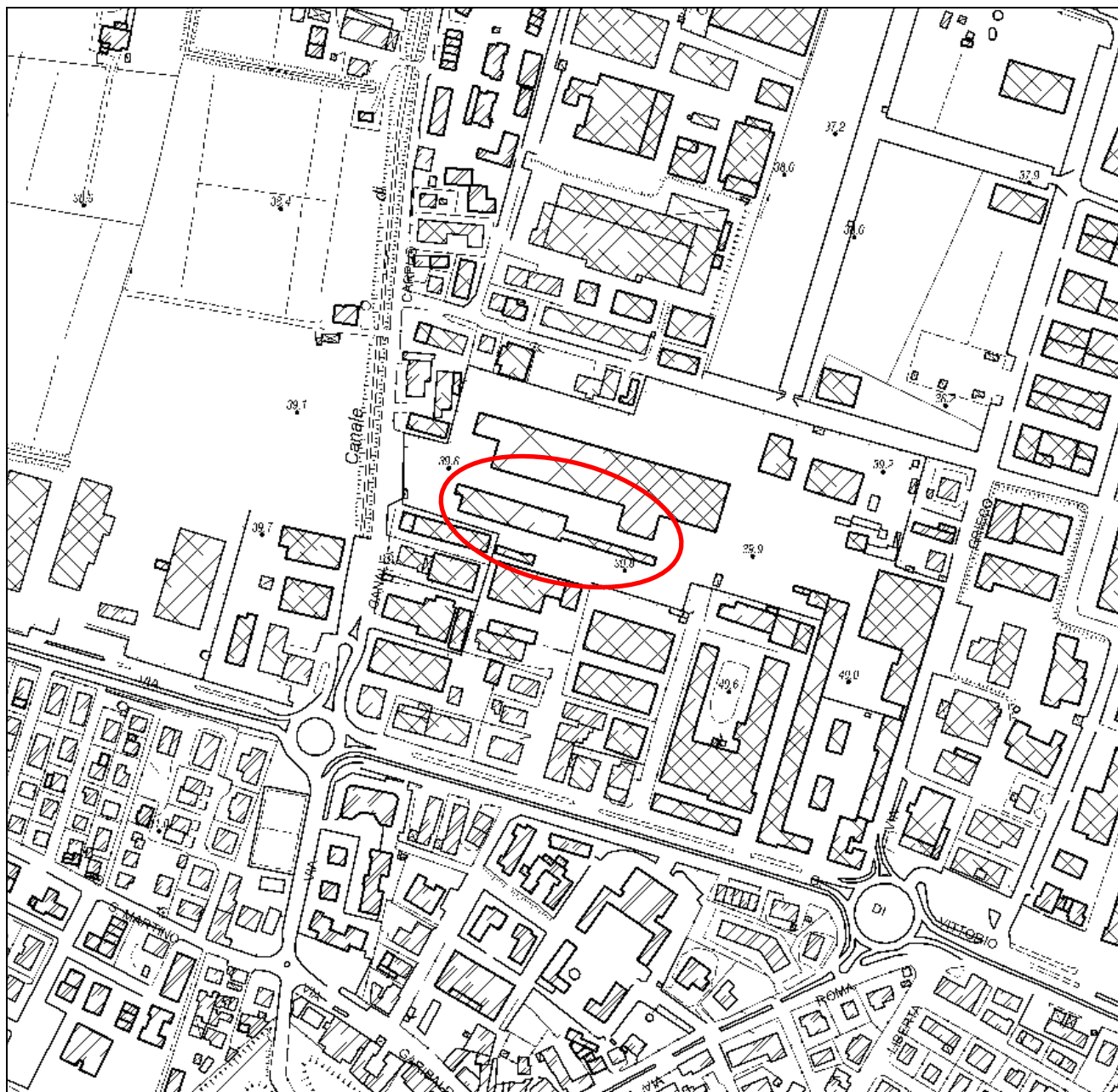
L'area oggetto di studio é ubicata nel settore industriale nord dell'abitato di Campogalliano (Fig. 1-2).

FIGURA 1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO 1:25.000 (Tavolette Ctr n° 201no-201so-201ne-201se)



Dal punto di vista geomorfologico, la zona in esame si colloca nella media pianura modenese; l'analisi morfologica di dettaglio mostra un'area pianeggiante con debole pendenza verso ne; la quota del sito d'intervento è pari a circa 40 m s.l.m.. Le pendenze medie sono comprese tra 0.2-0.6% (Fig. 1-2).

FIGURA 2 - COROGRAFIA 1:5.000 (Elemento Ctr n° 201114)



Nelle aree rurali circostanti i settori urbanizzati, gli elementi naturali sono scarsi: si rilevano nella campagna circostante gli argini dei canali d'irrigazione e delle scarpate stradali degli assi viari rilevati rispetto al piano campagna naturale.

### 2.1.1 Riferimenti Cartografici Ctr

Cartograficamente l'area in studio è individuata sulla C.T.R. nelle Tavole n° 201no-201ne-201so-201se (Fig. 1), nella Sezione n° 201110 e nell'Elemento n° 201114 alla scala 1:5.000 (Fig. 2).

## 2.2 ELEMENTI GEOLOGICI-STRUTTURALI GENERALI

L'evoluzione geologica del territorio in studio va necessariamente inquadrata in un contesto regionale, considerando che esso è compreso nella parte meridionale della pianura Padana, cioè di un bacino sedimentario che comincia a delinearsi sin dall'inizio del Triassico (225 milioni di anni fa).

Questo bacino è stato interessato in massima parte da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, con movimenti controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità.

A una sedimentazione di tipo marino che caratterizza il Pliocene (7-1.8 milioni di anni fa) e parte del Pleistocene (1.8 milioni-11 mila anni fa), se ne sostituisce progressivamente una di tipo continentale, con il colmamento del golfo padano che si trasforma in una piana alluvionale, attraverso l'accumulo di sedimenti fluviali e fluvio-glaciali derivanti dal modellamento delle catene montuose. Il mare padano si ritira quindi progressivamente durante il Pleistocene anche se in maniera discontinua e collegata soprattutto alle pulsazioni conseguenti alla glaciazioni che caratterizzano questo periodo geologico.

Gli spessori dei depositi continentali e/o marini che caratterizzano il sottosuolo della Pianura risultano irregolari, essendo determinati dalla marcata subsidenza differenziata e da movimenti tettonici attivi anche in epoche recenti e attuali, che portano ad accentuare le strutture delineate nelle epoche geologiche precedenti.

## 2.3 ELEMENTI GEOLOGICI-GEOMORFOLOGICI DELL'AREA

L'area appartiene morfologicamente alla media pianura modenese, in quel tratto ancora dominio degli apporti appenninici. In questa porzione di pianura sino al XVI secolo, i fiumi si impaludavano e depositavano i loro sedimenti, caratterizzati in superficie da elementi prevalentemente fini, costituiti da argille e limi con intercalazioni di livelli sabbiosi. La sedimentazione e gli apporti che hanno determinato la formazione di questo tratto di pianura sono imputabili principalmente al Secchia, che in passato scorreva liberamente prima di essere inalveato artificialmente nell'attuale percorso a partire dal XVI secolo.

La formazione e l'evoluzione della pianura la si deve ricollegare alle fasi più recenti del Quaternario.

I depositi continentali hanno uno spessore di qualche centinaio di metri. Sulla base dei dati ricavati dalle stratigrafie dei pozzi per acqua, si può osservare, che la successione dei terreni nel sottosuolo è costituita da elementi fini, come argille e limi, con livelli sempre subordinati per spessore di sabbie a granulometria medio-fine.

Nel sottosuolo non sono presenti strutture geologiche profonde di particolare rilievo che possano interferire in modo significativo con le forme superficiali.

Nell'area di pianura in studio sono presenti depositi sedimentari di ambiente continentale, prevalentemente fluviali, la cui genesi è legata all'azione di trasporto e sedimentazione operata dai fiumi e dai torrenti principali, durante il Quaternario.

Dal punto di vista geologico, i terreni di questa parte di pianura appartengono ai depositi di "Pianura alluvionale" (Gasperi, 1989) situati a valle dell'"Unità dei corsi d'acqua principali".

I sedimenti di piana alluvionale sono caratterizzati da materiali alluvionali argillosi, limosi e sabbiosi, stratificati o massivi, di prevalente accrescimento verticale, costituenti anche dossi fluviali. Sono stati depositi in epoca Neolitico-Medioevo dai corsi d'acqua che divagavano liberamente per la piana alluvionale.

La cartografia geologica di riferimento di più recente pubblicazione é rappresentata dalla "Carta geologica del Progetto CARG" (Fig. 3). In base agli studi di approfondimento condotti dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, si è proceduto all'applicazione dei principi della Stratigrafia sequenziale allo studio descrittivo della successione dei depositi plio-quadernari del sottosuolo della pianura emiliano-romagnola, cercando, quando possibile, di correlare tali sedimenti con i coevi depositi terrazzati affioranti lungo il margine pedecollinari e le valli dei principali corsi d'acqua. Sono state pertanto introdotte unità a limiti inconformi o UBSU (*Unconformity Bounded Stratigraphic Units*) ed unità allostratigrafiche.

Si è cercato di applicare i criteri della stratigrafia sequenziale alla descrizione di tali sedimenti.

PRINCIPALI LINEE STRATIGRAFICHE				ETA (migliaia di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (migliaia di anni)	UNITA IDIOSTRATIGRAFICHE		
AFFIORANTI		SEPOLTE				GRUPPO	COMPLESSO	
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE MOSE, DILUVIALE, ALLUVIALI, TERRAZZI, EPIPLUVIALI	UNTA DI CEA DI SCOLA	SUPERINTENEA EMILIANO-ROMAGNOLA	-0.12	0.125	A	A1	
	DELUVIO P.P.			FORMAZIONE FLUVIO-LACUSTRE			-0.35-0.45	B1
	INDICAZIONE DI QUATRELLI			INDICAZIONE DI SALLA DAL BORDO			-0.65	B2
	INDICAZIONE DI QUATRELLI			INDICAZIONE DI SALLA DAL BORDO			-0.8	B3
QUATERNARIO MARINO	MILAZZANO	UNTA DI CEA DI SCOLA	SUPERINTENEA EMILIANO-ROMAGNOLA	-0.85	0.89	C	C1	
	MILAZZANO e CALABRANO p.p.			SABBE e CASTELVETRO p.p.			-1.0	C2
	MILAZZANO e CALABRANO p.p.			SABBE e CASTELVETRO p.p.			-1.72	C3
	CALABRANO p.p.			SABBE e MONTENICO			-2.2	C4
	CALABRANO p.p.			FORMAZIONE e CASTELLANQUATO p.p.			-3.3-3.6	C5
P2	FORMAZIONE e CASTELLANQUATO p.p.			-3.9				

Sistema emiliano-romagnolo inferiore, comprendente i sedimenti di ambiente continentale sedimentati all'incirca tra 650 mila e 350/450 mila anni fa;

Sistema emiliano-romagnolo superiore comprendente i depositi continentali depositatisi da 350/450 mila anni fa al presente, alla cui sommità (intervallo compreso all'incirca tra i 125mila anni e l'attuale.

Vengono distinti dall'alto verso il basso (Gasperi &

Pizziolo): a) Subsistema di Ravenna (AES8) (la cui parte superiore è denominata unità di Modena (AES8b); b) Subsistema di Villa Verucchio (AES7) suddiviso in unità di Niviano (AES7a) ed Unità di Vignola (AES7b); c) Subsistema di Bazzano (AES6).



Di seguito si riporta uno stralcio della Carta geologica di Pianura dell'Emilia Romagna e la relativa legenda (mod.) delle litologie cartografate (Fig. 3).

FIGURA 3- CARTA GEOLOGICA 1:10.000



Da Progetto CARG – Regione Emilia Romagna.

Prove puntuali	
•	carotaggio continuo
•	misure di microtremore a stazione singola (HVSr)
•	pozzo per acqua
•	prova CPT con punta elettrica con piezocono
•	prova CPT con punta meccanica
•	prova dinamica generica
Ambienti deposiz. e litologie (10K)	
■	Argilla - Piana alluvionale
■	Limo - Piana alluvionale
■	Limo Sabbioso - Piana alluvionale
Coperture quaternarie (10K)	
■	AES8a - Unità di Modena

### AES8a - Unità di Modena

Nel sito d'intervento argille e limi in prevalenza.

In generale, si tratta di depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m). Post-VI secolo d.C.

## 2.4 ELEMENTI IDROGEOLOGICI GENERALI

Il sito d'intervento si colloca in posizione frontale al bordo settentrionale della conoide del F. Secchia. La conoide ha una lunghezza di circa 20 km ed una larghezza massima di circa 14 km (Fig. 4); si mostra asimmetrica rispetto all'attuale corso del fiume che scorre sul margine occidentale, presumibilmente a causa di fenomeni neotettonici.

Il complesso dei sedimenti che la costituiscono aumenta di spessore a partire dalla zona apicale fino a raggiungere alcune centinaia di metri nella zona distale, la cui estensione complessiva supera quella in affioramento in quanto risulta sepolto dai depositi fini di pianura alluvionale. Nella porzione più orientale si estende fino al sottosuolo di Modena.

I depositi che formano la conoide sono stati rilasciati dalle acque del corso d'acqua, non solo in concomitanza con grandi eventi di piena, ma anche durante i periodi di corso

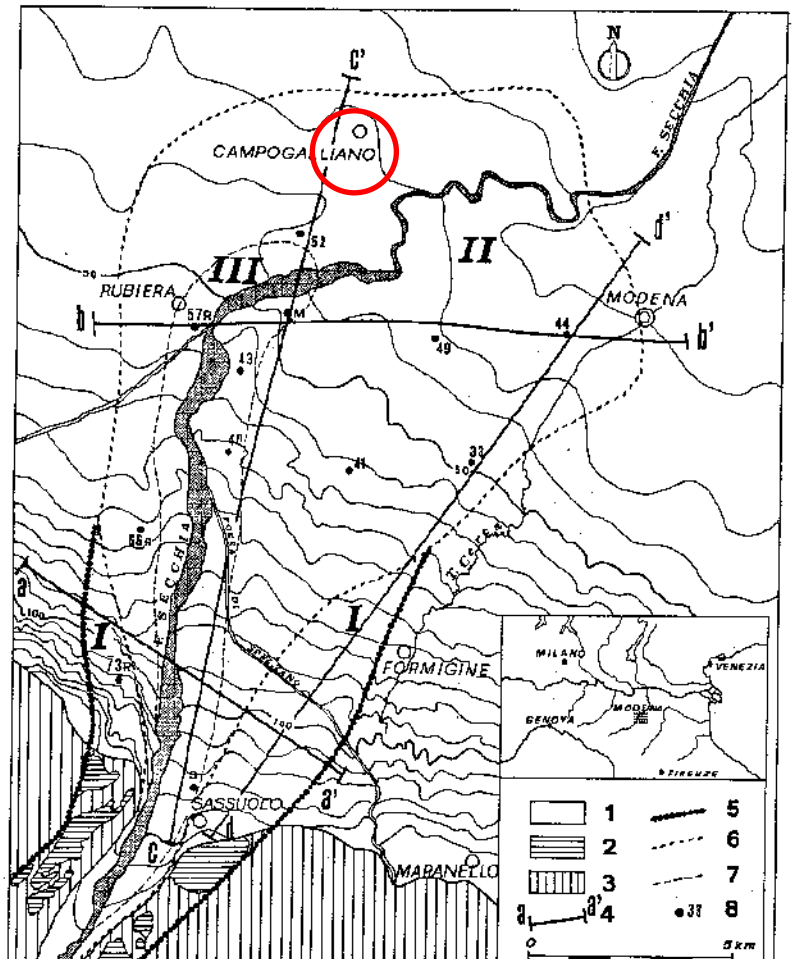


Fig. 1 - Planimetria della conoide del F. Secchia. 1) Alta e media pianura costituita da ghiaia, sabbia, limi e argille; 2) terrazzi collinari di vario ordine con suolo ocreaceo; 3) formazioni limo-argillose plio-quadernarie del margine collinare; 4) tracce delle sezioni litostratigrafiche; 5) limiti della conoide antica (I); 6) limiti della conoide recente (II); 7) limiti della conoide attuale (III); 8) ubicazione e numero d'ordine dei pozzi delle tabelle 1 e 2; M = pozzo di Marzaglia.

Figura 4 - Geometria della conoide del Fiume Secchia (tratto da: La conoide del F. Secchia - Modalità di alimentazione e rapporti con fiume - CNR, IRSA 1980)

normale. Ne deriva una distribuzione arealmente estesa, ma molto piatta, la quale è suddivisibile in due tratti a diversa pendenza, il primo in corrispondenza della parte di monte fino alla quota di 50 m s.l.m. presenta una pendenza di circa 0.7%, il secondo in corrispondenza della porzione di valle, che presenta pendenza media di circa 0.2%.

Al di sopra dei sedimenti argillosi Plio-Quaternari, la conoide è costituita da quattro unità litologiche sovrapposte, tre delle quali sono riconoscibili in affioramento, mentre la quarta risulta completamente sepolta. La prima e più antica unità deposta, rinvenuta in affioramento (I) si raccorda con i terrazzi alti della Valle del Secchia, a S di Sassuolo. È riconoscibile in due stretti lembi ai lati del corso stesso dove in parte la si trova ricoperta da un paleosuolo rossastro. I depositi che la costituiscono sono formati da ghiaie che identificano antichi percorsi fluviali risalenti al Pleistocene superiore.

La seconda unità (II) rappresenta il corpo maggiormente esteso in tutte le direzioni, costituito da depositi grossolani di conoide uniti a quelli sabbiosi delle aree golenali che si accumulano alternandosi dal Neolitico. È possibile ritrovarvi ciottoli con dimensioni anche di 70 cm in corrispondenza dei rilasci apicali, fino a ciottolato centimetrico, caratterizzato da un'abbondante frazione sabbiosa e limosa nella parte centrale.

Le ghiaie che la costituiscono corrispondono alle formazioni presenti nel primo Appennino e sono costituite prevalentemente da calcari ed arenarie, con piccole percentuali di selci, e detriti ofiolitici.

A luoghi le sabbie danno origine a banchi entro le ghiaie che possono raggiungere un paio di metri di potenza, intercalate all'interno del banco ghiaioso. Questo fenomeno cresce e si ingigantisce nella porzione distale della conoide, dove i sempre più frequenti depositi sabbiosi arrivano ad essere prevalenti rispetto alle ghiaie fino a sostituirle completamente.

L'ultima unità che ritroviamo (III) è formata da depositi ancora più recenti, parzialmente reincisi dal corso d'acqua attuale per effetto dell'abbassamento del letto dovuto all'estrazione di ghiaia dall'alveo nel secolo scorso.

Questi depositi di terza unità occupano le vecchie golene che erano situate alla stessa quota del piano campagna esterno alle arginature; procedendo gradualmente verso nord la quota di fondo del fiume tende ad avvicinarsi a quella del piano campagna circostante, confermandone pertanto la natura pensile. Le età di questi depositi sono corrispondenti al periodo medioevale.

La quarta e più antica unità, posta alla base delle tre precedentemente descritte rappresenta la porzione più antica della conoide, poggiante sui terreni marini; rappresenta di fatto il corpo principale della conoide poiché per ampiezza e potenza supera largamente le unità sovrastanti.

Dal punto di vista areale, la conoide del Secchia ha divagato entro un ventaglio relativamente stretto di circa 60°.

Volendo analizzare stratigraficamente la conoide si può affermare che la parte apicale è prevalentemente costituita da banchi ghiaiosi separati da setti limo-argillosi, non molto potenti; queste ghiaie mostrano a luoghi una parziale cementazione, favorita dalla presenza in banco di sabbie talvolta impastate con limi e argille.

In alcuni sondaggi, alla profondità di circa 100 m, si sono incontrati ed attraversati livelli decimetrici di argille grigio-azzurre marine, che sono state datate come appartenenti al Pleistocene. Nella porzione mediano-distale la percentuale di presenza di livelli ghiaiosi e livelli limo-argillosi è pressoché coincidente. In corrispondenza della porzione occidentale i banchi ghiaiosi sepolti si trovano con formazione regolare e ampio sviluppo laterale; nella porzione orientale si presentano drasticamente meno potenti e con andamento irregolare, con tendenza ad assumere forma marcatamente più lenticolare.

L'ipotesi più plausibile per spiegare tale fenomeno sembra risiedere nel fatto che il Fiume Secchia fosse suddiviso in due rami, di cui quello orientale di minore importanza. I banchi ghiaiosi irregolari potrebbero anche derivare (Parea 1987) da accumuli associati a delta ed a cordoni litorali durante episodi marini verificatisi in tempi più recenti di quanto conosciuto. I depositi grossolani si esauriscono procedendo verso nord, dove sono sostituiti da sabbie e sedimenti più fini costituenti la pianura centrale.

A questi potenti banchi ghiaiosi si alternano in maniera discontinua e disomogenea livelli pelitici, che diventano via via più potenti procedendo verso nord o avvicinandosi alle porzioni distali della conoide, determinando una graduale transizione ai sedimenti fini della piana alluvionale, che si sviluppa contemporaneamente al fronte ed ai lati del corso d'acqua che origina la conoide stessa. L'accrescimento verticale di questi materiali classificati come fini e talora finissimi, è saltuariamente interrotto da orizzonti sabbiosi che possono essere legati a barre d'accrescimento laterale, ovvero ad argini naturali o ancora a ventagli di rotta fluviale. Le sabbie che si trovano disposte parallelamente ai corsi d'acqua attuali mostrano dimensioni di qualche centinaio di metri di larghezza e qualche chilometro di lunghezza. I depositi composti dalla frazione più fine, facilmente trasportabili, presentano una distribuzione del tutto irregolare.

Dal punto di vista sedimentologico il settore in esame possiede caratteristiche deposizionali dei corsi d'acqua di tipo "braided" che permettono di riconoscere un panorama formato dai canali a bassa sinuosità ed alta energia, con deposito di sedimenti più grossolani all'interno dei canali, e di materiali fini nelle aree di intercanale.

Gli apporti provenienti dai torrenti appenninici minori formano strutture che, in corrispondenza della porzione distale, si intersecano tra loro compenetrandosi ed intercalandosi.

Essi sono conseguentemente costituiti da materiali più fini perlopiù sabbiosi e limosi con presenza dei piccoli corpi ghiaiosi che si sviluppano longitudinalmente dalle porzioni apicali, diventando strette fasce potenti qualche metro.

Queste formazioni sono riconducibili ad un periodo compreso tra il Pliocene superiore ed il Quaternario attuale e sono disposte in discordanza sul substrato argilloso plio-Pleistocenico, affiorante in corrispondenza del margine collinare.

## 2.5 IDROGEOLOGIA

Le alluvioni continentali in questo settore della bassa pianura sono formate principalmente da limi e argille con intercalazioni di livelli sabbiosi lentiformi.

Lo spessore dei depositi alluvionali "Continentali", appoggiano su formazioni prevalentemente argillose di origine marina riferibili al Pleistocene Inferiore.

Questo bacino idrogeologico è composto da un'alternanza di livelli più o meno permeabili con rapporti complessi. Più in particolare ci troviamo nel settore della media pianura pede-appenninica, corrispondente dal punto di vista sedimentario alla piana alluvionale frontale delle conoidi, caratterizzata da un acquifero generalmente costituito da lenti sabbiose intercalate in sequenze prevalenti limo-argillose con trasmissività molto bassa.

In profondità, i livelli più permeabili ospitano un acquifero compartimentato e/o in pressione con elevato grado di artesianesimo dovuto alla presenza di coperture ed intercalazioni semimpermeabili. Il flusso generale dell'acquifero è orientato verso NNE con valori del gradiente idraulico di qualche unità per mille.

Lo schema di circolazione idrica sotterranea locale è strettamente influenzato dalla tipologia degli acquiferi presenti che risultano compartimentati e non sempre in comunicazione tra loro, in quanto isolati dalla presenza di barriere di permeabilità verticali ed orizzontali rappresentati dalle litologie fini (argille e limi); questi terreni semimpermeabili limitano ma non escludono i fenomeni di drenanza. L'alimentazione di queste falde acquifere avviene quasi esclusivamente per deflusso idrico sotterraneo, essendo più difficili gli apporti diretti dalla superficie per la presenza, come detto, di potenti ed estesi strati limo-argillosi.

A breve profondità dalla superficie topografica la presenza di materiali scarsamente permeabili non permette la filtrazione in profondità delle acque meteoriche, che pertanto vengono trattenute negli strati limoso-sabbiosi più superficiali, determinando così livelli freatici o sospesi che si attestano a circa 2-4 metri di profondità dal piano campagna, caratterizzati da significative escursioni stagionali e scarse portate.

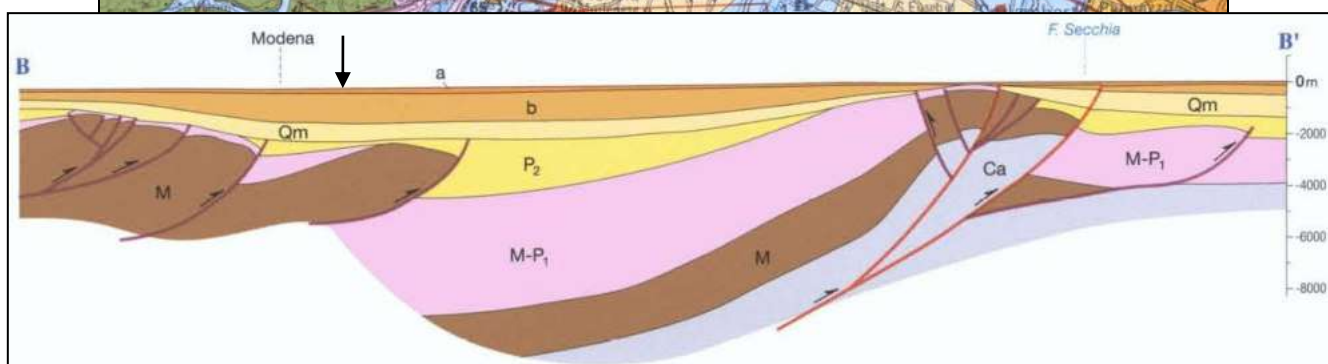
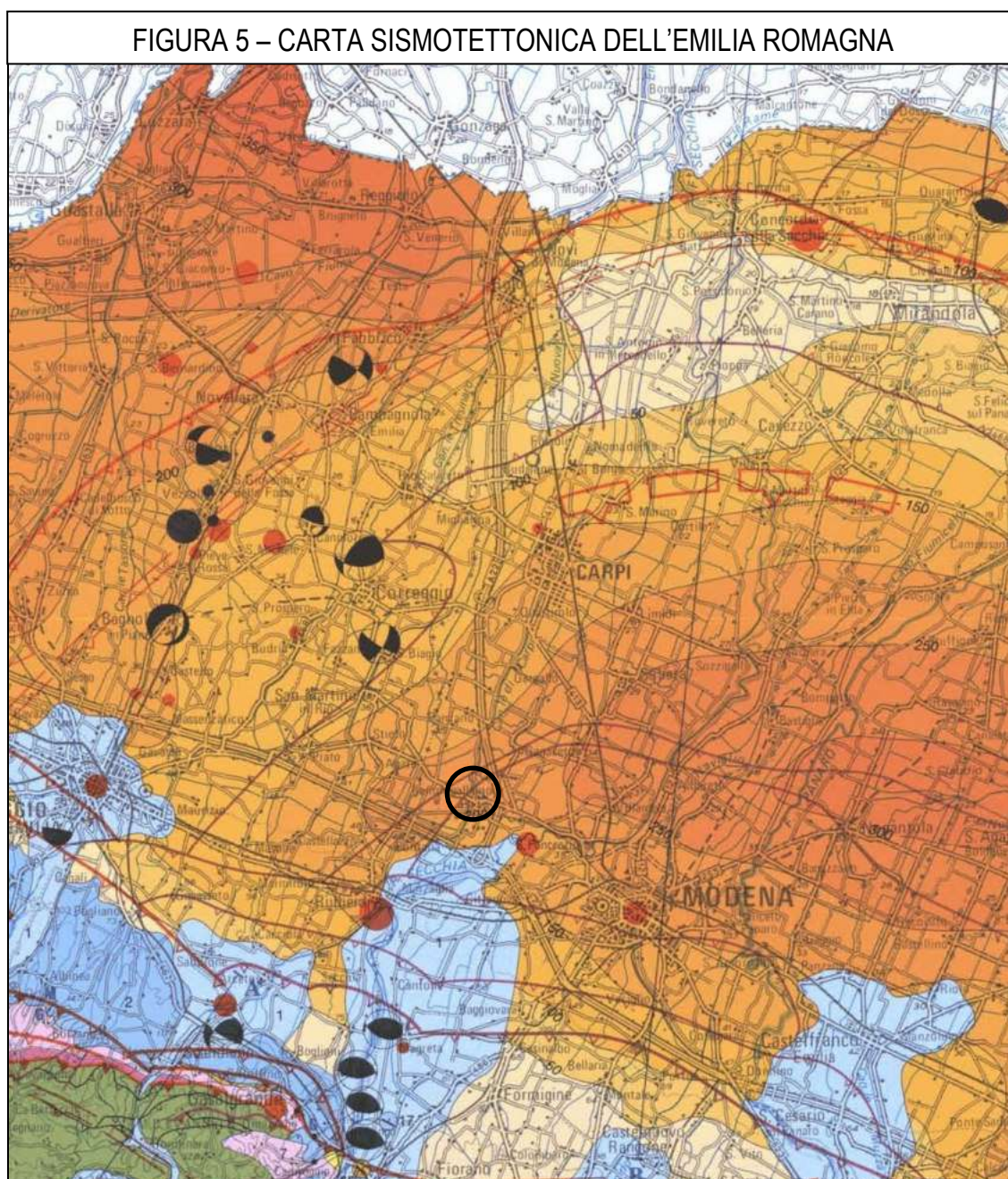
## 2.6 IDROGRAFIA

Questo settore di pianura, caratterizzato da una pendenza media del 2‰÷6‰, è attraversato da una fitta rete di canali irrigui e scoli che si dipartono dal Canale di Carpi, che taglia il territorio di Campogalliano da sud a nord, e dal Cavo Lama che scorre con direzione circa ovest-est. Entrambi derivano le loro acque dal Fiume Secchia che scorre a sud-est di Campogalliano. La direzione principale di deflusso delle acque superficiali è comunque verso N-NE.

### 3. RELAZIONE SISMICA

#### 3.1 SISMICITÀ DEL COMUNE DI CAMPOGALLIANO

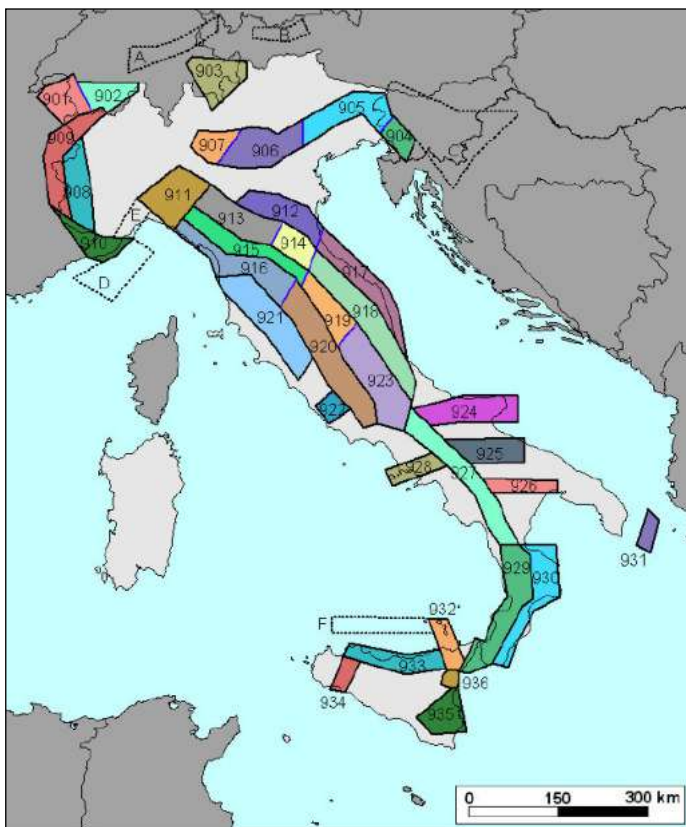
Di seguito si riporta uno stralcio della Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna e una sezione relativa all'andamento dei terreni di substrato.





### Zonazione sismogenetica

È stata utilizzata la zonazione sismogenetica dell'INGV, chiamata ufficialmente ZS9. Rispetto alle zonazioni precedenti, in questo caso le zone sorgente sono state disegnate più vincolate rispetto alle sorgenti sismogenetiche e alla sismicità storica e strumentale e le aree circostanti sono state cautelate attraverso i normali effetti di propagazione della pericolosità sismica al di fuori delle zone sorgente.



**Fig. 6** – Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).

La zonizzazione ZS9 risulta basata prevalentemente sulle informazioni di ZS4; recepisce le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane messe a disposizione da DISS 2.0 (Database of Potential Sources for Earthquake Larger than M5.5 in Italy, 2001) e da altre compilazioni regionali di faglie attive; considera inoltre le indicazioni che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali localizzati al di fuori delle zone sorgente in essa definite; supera il problema delle ridotte dimensioni delle zone sorgente e della conseguente limitatezza del campione di terremoti che ricade in ciascuna di esse.

La ZS9 può essere utilizzata in congiunzione con il catalogo CPTI2, e fornisce inoltre una stima della "profondità efficace", cioè dell'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in combinazione con le

relazioni di attenuazione determinate su base regionale, e fornisce per ogni zona un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

La zonazione è costituita da 42 zone-sorgente, i limiti tra le zone sono neri e blu, i limiti neri definiscono limiti il cui tracciamento dipende esclusivamente da informazioni tettoniche e geologico-strutturali, il colore blu invece definisce suddivisioni di zone con uno stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche della sismicità. Come ad es. distribuzione spaziale degli eventi o la massima magnitudo rilasciata, ecc.

Le 42 zone-sorgente ZS9 vengono identificate da un numero che va da 901 a 936 o con una lettera da A a F.

### Sismicità delle zone sorgenti

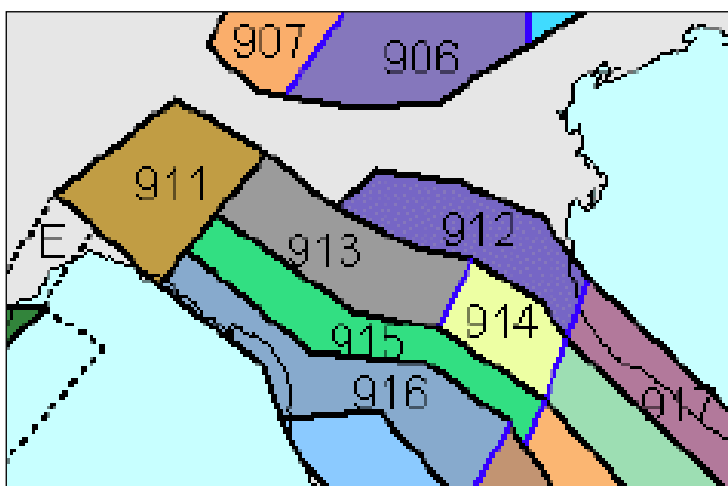


Fig. 7 – Zoom sulla zonazione sismogenetica ZS9 dell'Emilia Romagna ZS9.

Il territorio del Comune di Campogalliano si colloca a sud del fronte di accavallamento della successione carbonatica meso-cenozoica in sovrascorrimento verso NE. In passato sono stati risentiti gli effetti di numerosi terremoti dovuti ad una sismicità naturale localizzata nelle zone 913 e 912.

Le zone 913 e 912 sono quelle con un potenziale sismico tale da generare effetti non trascurabili nel territorio del Comune di Campogalliano, mentre le altre vengono considerate poco influenti per generando terremoti con magnitudo a volte anche elevata (ad

es. la zona 915).

La zona 912, già nota in passato per attività sismica, si trova in corrispondenza di una struttura anticlinale sepolta, posta all'estremo occidentale dell'arco di pieghe e sovrascorrimenti a vergenza settentrionale della Dorsale Ferrarese, che costituisce una delle maggiori e più complesse strutture della Pianura Padana, fronte avanzato dell'App. Settentrionale.

La zona 913 è causa di una sensibile attività come documentato dagli eventi del bolognese, del reggiano e del parmense (anno 2000) risentiti nel bolognese. Questi eventi sono riconducibili a sorgenti superficiali attivate da meccanismi focali per compressione (faglie inverse e trascorrenti compressive) se si escludono eventi la cui origine è ancora incerta.

### Ricostruzione della storia sismica

Il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile (D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, 1996), evidenzia quanto riportato nella figura seguente:

L'intensità massima registrata nel Comune di Campogalliano è dell'VIII MCS (scala Mercalli-Cancani-Sieberg), corrispondente ad una magnitudo dell'ordine di 5.5-6 (scala Richter).

L'attività tellurica dell'area è nota e documentata dall'anno 1000, anche se la qualità e la quantità delle informazioni non sono omogenee e si manifesta sia con eventi singoli di media intensità, sia con sequenze sismiche estese nel tempo. Le revisioni e

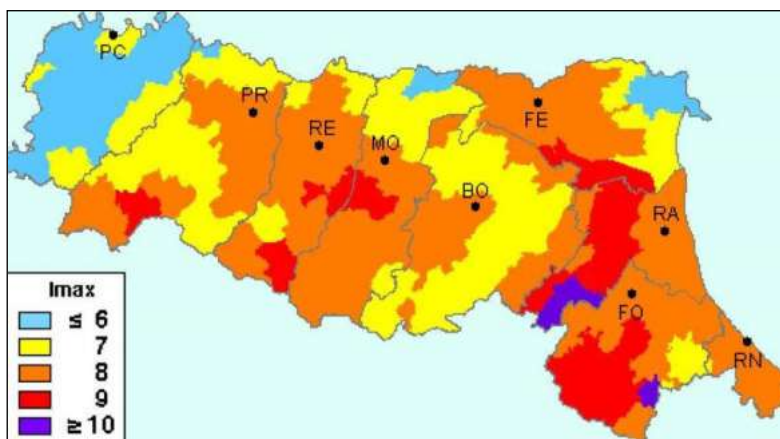


Fig. 8 – Intensità Macrosismiche osservate nei comuni italiani – GNDT ING/SGA

ricollocazioni degli eventi storici e recenti, ma soprattutto l'attivazione di una rete sismica regionale integrata con quella nazionale, hanno permesso di distinguere, nell'ambito della regione, zone con differente regime sismico, vale a dire frequenza dei fenomeni, intensità e profondità focale.



Il confronto dei dati della sismicità strumentale con quelli storici evidenzia la stabilità nel tempo delle aree sismogenetiche. Dal Catalogo parametrico CPT15 dell'INGV si evince che storicamente i terremoti più forti entro una distanza di 30-40 km risultano:

periodo dal 1000 al 2014:

- Anno 1501 – Appennino modenese – Mw 5.98
- Anno 2012 – Pianura Emiliana – Mw 5.90

A circa 60 km si segnala il sisma più intenso:

- Anno 1920 – Garfagnana – Mw 6.48

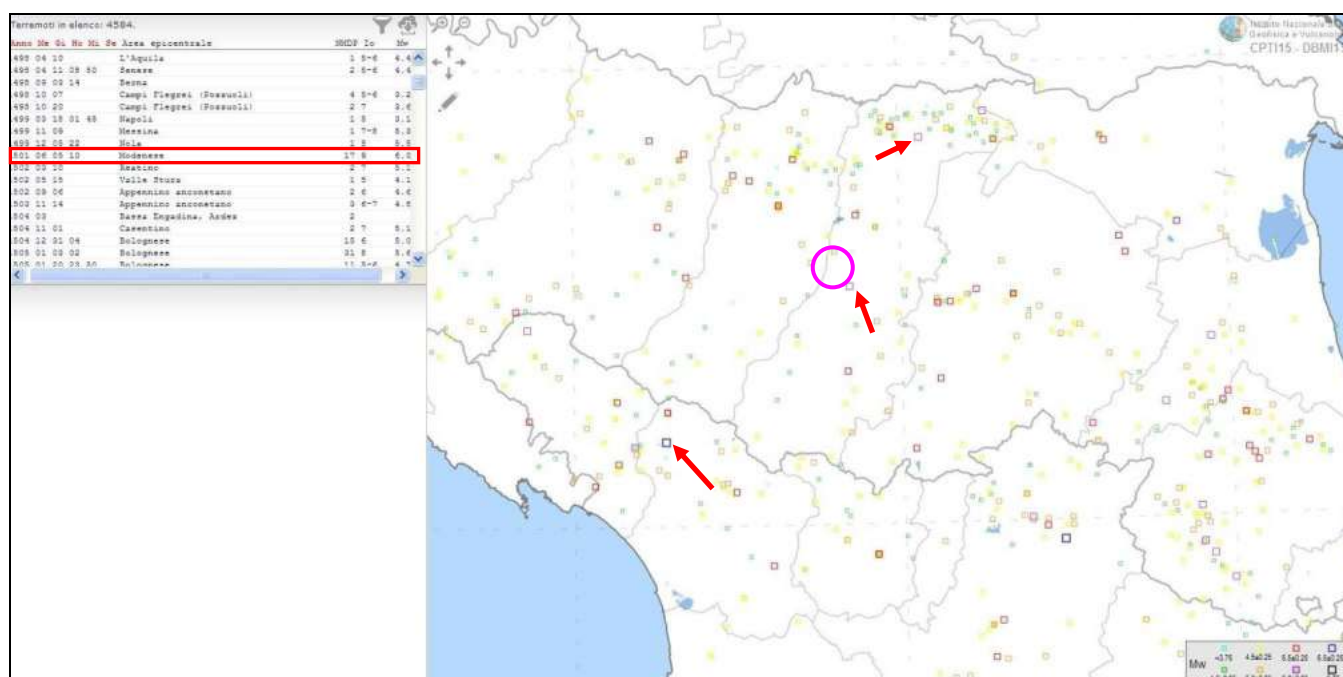


Figura 9 – Tratto da INGV CPT15 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2015) – Dal 1000 al 2014.

○ Area in studio

Nella pagina successiva sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Nella tabella sono indicate:

Is: intensità al sito

Anno Me Gi: anno mese giorno dell'evento

AE: località

Io: l'intensità massima epicentrale in scala MCS

Mw: magnitudo momento

Dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano 2015 DBMI15 per Campogalliano si ottiene il seguente elenco di eventi sismici:

Campogalliano										
PlaceID	IT_38179									
Coordinate (lat, lon)	44.690, 10.841									
Comune (ISTAT 2015)	Campogalliano									
Provincia	Modena									
Regione	Emilia-Romagna									
Numero di eventi riportati	26									
Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8	5.51
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
3	1912	09	12	21	15		Carpi	13	4	3.76
4	1932	07	13	03	42		Reggiano	8	4-5	3.86
5	1967	04	03	16	36	1	Reggiano	45	5	4.44
6	1971	07	15	01	33	2	Farmense	228	8	5.51
5	1978	12	25	22	53	4	Bassa modenese	28	5	4.39
4	1983	11	09	16	29	5	Farmense	850	6-7	5.04
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
4-5	1987	04	24	02	30	2	Reggiano	54	6	4.64
6	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
NF	1987	05	08	11	10	2	Bassa modenese	24	6	4.44
4-5	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57
NF	1992	04	17	11	59	0	Appennino bolognese	56	4-5	4.11
NF	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
6	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
5	1996	10	26	04	56	5	Pianura emiliana	63	5-6	3.94
4	1996	10	26	06	50	2	Pianura emiliana	35	5-6	3.63
3-4	1996	11	25	19	47	5	Pianura emiliana	65	5-6	4.29
5	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
3	1997	05	12	22	13	5	Pianura emiliana	56	4-5	3.68
5	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93
3-4	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21

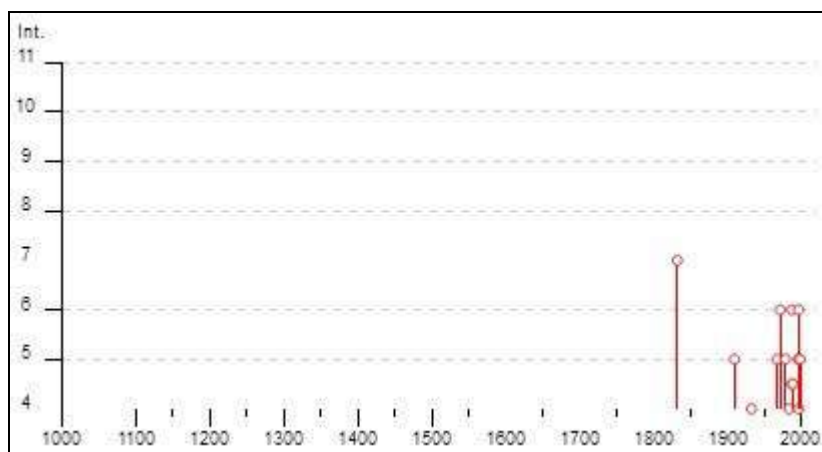


Figura 10 - Tratto da INGV DBMI15 (Database Macrosismico Italiano – 2015)

### 3.1.2 Frequenza di accadimento in Emilia Romagna

La frequenza con cui si sono verificati in passato i terremoti capaci di produrre danni significativi agli edifici consente di valutare con quale frequenza si manifesteranno in futuro, dal momento che questa presumibilmente non cambia.

Nella tabella sono riportati, per varie soglie di magnitudo, il numero di eventi per intervalli di tempo crescenti di 100 anni, partendo dall'ultimo secolo, registrati in Emilia Romagna.

CLASSI DI MAGNITUDO	INTERVALLO DI 100 ANNI		INTERVALLO DI 200 ANNI		INTERVALLO DI 300 ANNI		INTERVALLO DI 400 ANNI	
	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione
4.5 < Ma < 5.0	28	3,6	56	3,6	67	4,5	75	5,3
5.0 < Ma < 5.5	10	10,0	16	12,5	22	13,6	27	14,8
5.5 < Ma < 6.0	3	33,3	4	50,0	6	50,0	8	50,0
Ma > 6.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Tutte*	76	1,3	129	1,5	147	2,0	173	2,3

\* tutti gli eventi che hanno prodotto danni (intensità epicentrale massima osservata maggiore di V-VI grado MCS)

Come si può osservare le frequenze che si ottengono nei primi due intervalli, più attendibili perché andando indietro nel tempo il catalogo dei terremoti diventa più incompleto, è di un evento ogni 1.3-1.5 anni. Valori di magnitudo maggiori di 5.0, che corrispondono ad intensità epicentrali di VII-VIII grado MCS indicano un

evento ogni 10-12 anni, mentre terremoti con  $Ma > 5.5$  (VIII-IX grado MCS) si ripetono con una frequenza di un evento ogni 50 anni, che si mantiene costante indicando una buona completezza del catalogo.

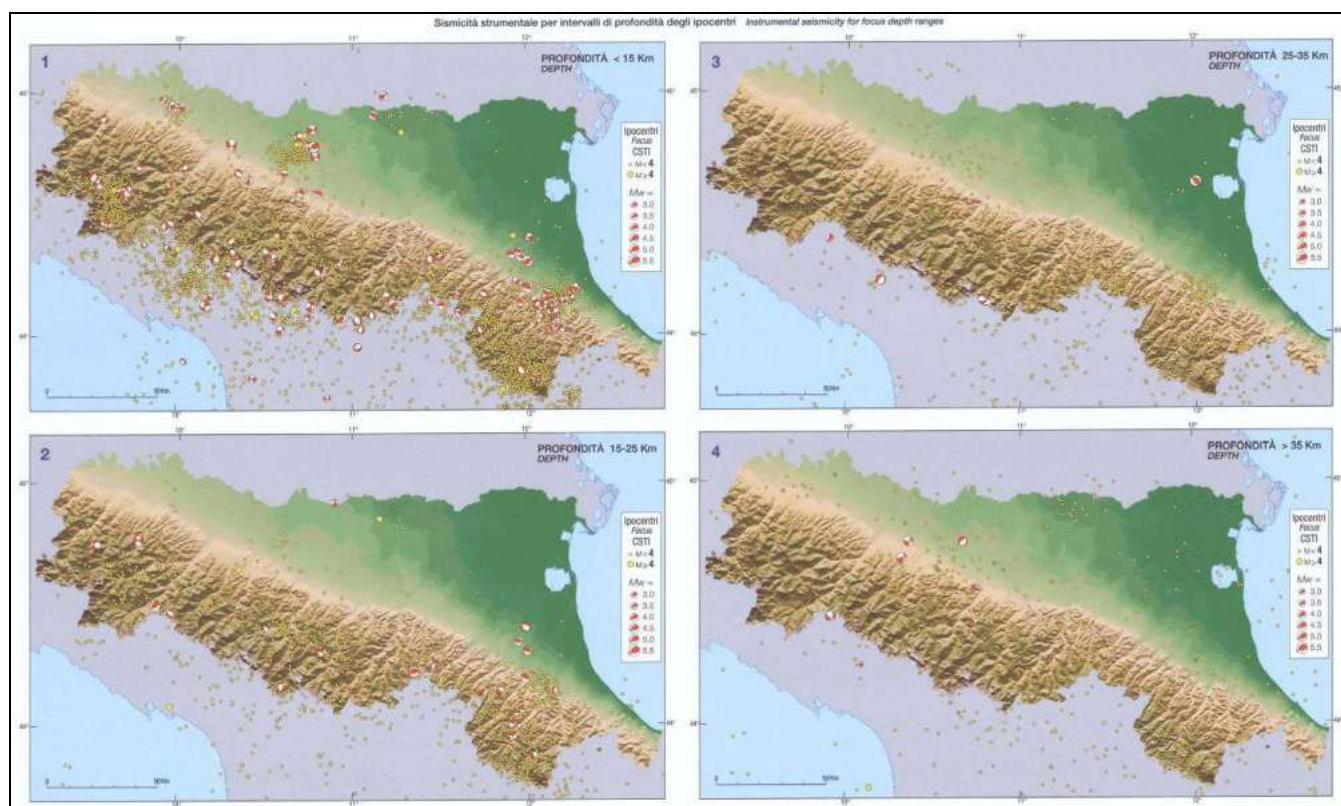


Figura 11 – Sismicità strumentale per intervalli di profondità degli ipocentri.

### 3.1.3 Sismicità recente

La sismicità recente che ha interessato il territorio comunale di Casalgrande è stata desunta dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDe Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological instrumental and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>. Nello specifico sono stati ricercati i terremoti, registrati nell'intervallo di tempo tra il 01/01/2007 e il 18/10/2017, aventi una magnitudo maggiore di 4.5 in un raggio di 100 km dal Comune di Campogalliano.

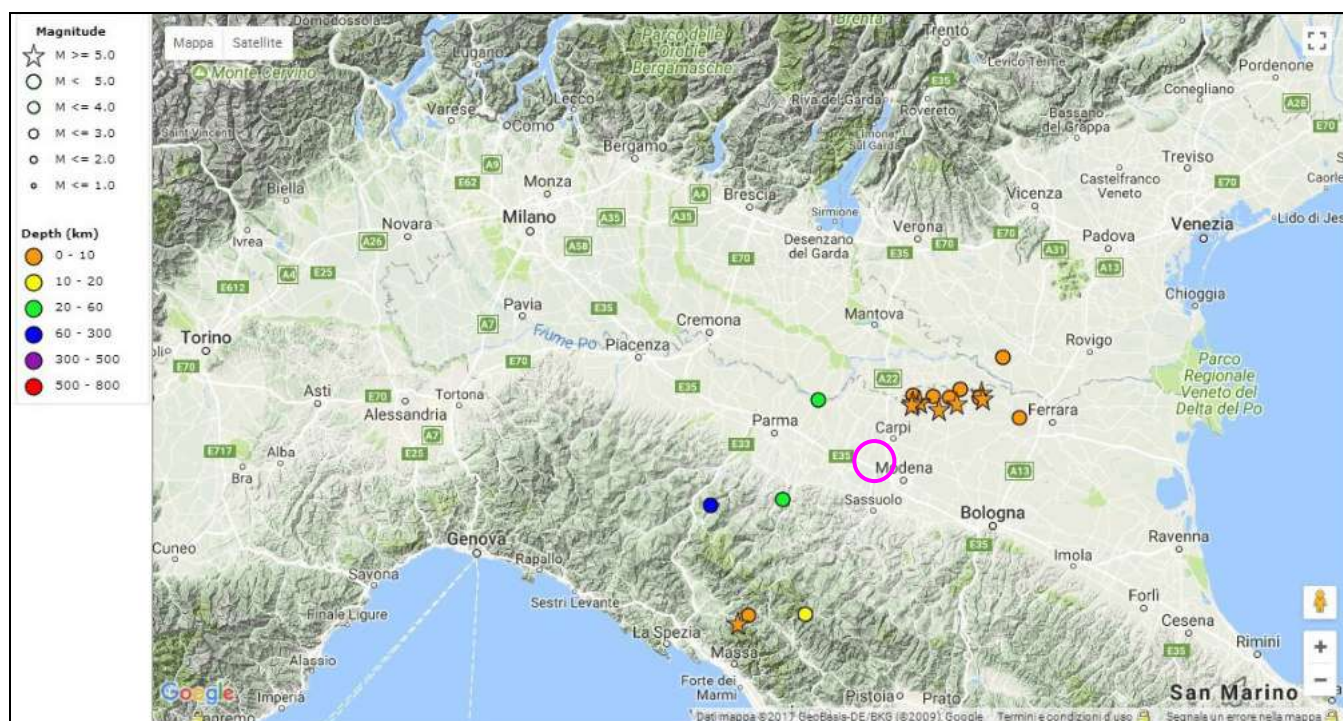


Figura 12: Eventi sismici recenti registrati con  $M > 5$  in un raggio di 100 Km dal Comune di Campogalliano

Data: 01/01/2007 → 18/10/2017

Distanza: 100 km dal Comune di Campogalliano

Magnitudo: > 4.5

Terremoti totali: 21

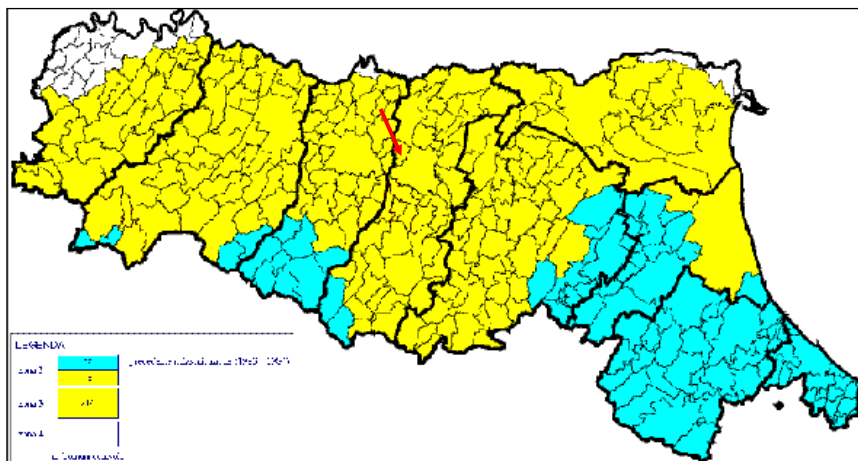
Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo	Fonte
2013-06-30 14:40:08.480	44.16	10.187	6.1	4.5--Mw	BULLETIN
2013-06-21 10:33:56.980	44.131	10.136	7	5.1--Mw	BULLETIN
2013-01-25 14:48:18.270	44.164	10.446	19.8	4.8--Mw	BULLETIN
2012-06-03 19:20:43.390	44.886	10.95	8.7	4.7--Mw	REMO
2012-05-29 11:00:22.990	44.866	10.976	7.2	5.1--ML	BULLETIN
2012-05-29 11:00:01.680	44.856	10.941	8.7	5.0--ML	REMO
2012-05-29 10:55:56.550	44.865	10.98	4.4	5.3--Mw	REMO
2012-05-29 08:27:22.650	44.883	11.042	6	4.6--ML	REMO
2012-05-29 08:25:51.480	44.865	10.948	7.9	5.0--ML	REMO
2012-05-29 07:00:02.880	44.842	11.066	8.1	5.6--Mw	REMO
2012-05-20 17:38:14.380	44.88	11.253	3.7	4.6--ML	REMO
2012-05-20 13:18:01.770	44.814	11.441	3.4	4.9--Mw	REMO
2012-05-20 03:02:47.090	44.86	11.152	9.1	5.0--ML	BULLETIN
2012-05-20 02:07:28.950	44.874	11.27	6.1	5.0--ML	BULLETIN
2012-05-20 02:06:26.470	44.905	11.165	4.3	4.8--ML	BULLETIN
2012-05-20 02:06:12.050	44.879	11.12	5	4.8--ML	BULLETIN
2012-05-20 02:03:50.170	44.896	11.264	9.5	5.8--Mw	BULLETIN
2012-01-27 14:53:12.740	44.523	10.009	72.4	4.9--Mw	BULLETIN
2012-01-25 08:06:37.090	44.871	10.51	29	4.9--Mw	BULLETIN
2011-07-17 18:30:27.310	45.01	11.367	2.4	4.5--Mw	BULLETIN
2008-12-23 15:24:21.770	44.544	10.345	22.9	4.9--Mw	BULLETIN

Come si evince dalla Tab., gli eventi principali ( $M > 4.5$ ) registrati nel raggio di 100 Km da Campogalliano sono per lo più i terremoti del mag-giu 2012 della bassa pianura modenese e ferrarese e quello di giugno 2013 della Lunigiana in Toscana.

### 3.2 NORMATIVA SISMICA DI RIFERIMENTO

#### Ordinanza P.C.M. 3274/2003

A seguito della nuova classificazione sismica (Ordinanza P.C.M. 3274 del 20/3/2003 e s.m), il territorio nazionale è diviso in quattro zone sismiche caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) su suolo di categoria A.



ZONA	VALORE DI $a_g$
1	0,35
2	0,25
3	0,15
4	0,05

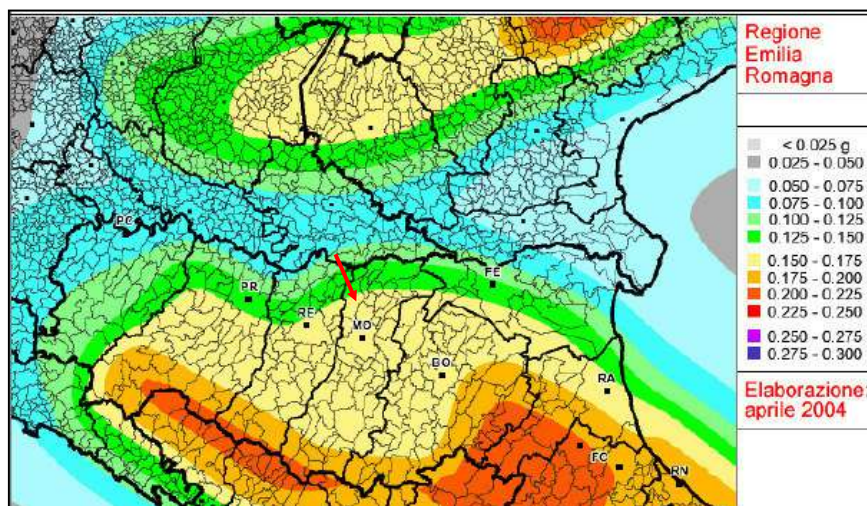
Fig. 13 - Classificazione sismica attuale di riferimento - Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n. 2374 All. 1.

Il Comune di Campogalliano ricade in "zona sismica 3" a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A, riferita ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ed espressa come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , pari a  $a_g = 0,15g$ .

#### Ordinanza P.C.M. 3519/2006

Successivamente, l'Ordinanza PCM 3519/2006 ha indicato i *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.*

A tale ordinanza è allegata la *Mappa di Pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale* nella quale è possibile verificare che il territorio del Comune di Campogalliano è compreso nell'area caratterizzata da **valori dell'accelerazione massima al suolo ( $a_{max}$ )**, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A, All.



2, 3.1), **compresi tra 0,150 e 0,175** l'accelerazione di gravità  $g$ .

Fig. 14 - Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A) allegata all'Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006. (Fonte: Sito web della Regione Emilia-Romagna).

**Del. Rer. 112/2007**

Recentemente poi, la RER ha approvato la Del. n. 112 del 02-05-2007 “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica.”; in All. A4 sono riportati i valori di accelerazione max, espressa sempre in frazione dell’accelerazione di gravità g ( $a_{refg}$ ), per ogni comune della Regione.

MO	Bastiglia	0.157	
MO	Bomporto	0.157	
<b>MO</b>	<b>Campogalliano</b>	<b>0.162</b>	Per il Comune di Campogalliano risulta $a_{refg}=0,162$
MO	Camposanto	0.155	
MO	Carpi	0.154	
MO	Castelfranco Emilia	0.163	

**NTC2018**

Le NTC stabiliscono che l’accelerazione orizzontale massima del sito di riferimento non è più riferita ad una classificazione comunale ma viene calcolata considerando le proprietà del sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento.

Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, l’effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi (§ 7.11.3 NTC18). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella seguente Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs. I valori di Vs sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all’approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Il suolo può essere assimilato e classificato in modo semplificato in una delle 5 classi principali (A,B,C,D,E).

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

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

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

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad \text{m/s}$$

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo

$V_{S,i}$  = velocità delle onde di taglio nello strato  $i$ -esimo

$N$  = numero strati considerati

$H$  = 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 qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

### 3.3 INDAGINI GEOFISICHE

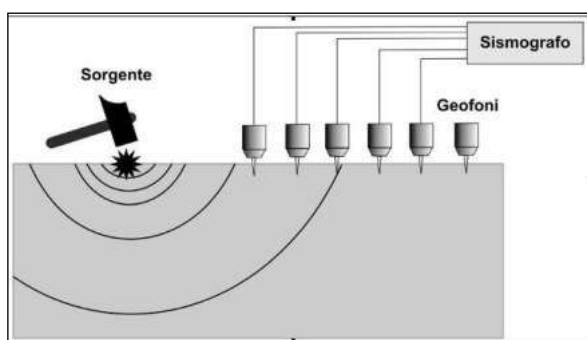
#### 3.3.1 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE TIPO MASW – ALLEGATO 2

Al fine di valutare la possibilità di definire in modo semplificato la categoria di suolo e fornire una prima caratterizzazione della risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della  $V_S$  (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo con le NTC 2018.

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_S$ ). La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore della  $V_{S30}$  (il valore *medio* della  $V_S$  nei primi 30m di profondità) definita dalla relazione:

#### Acquisizione e strumentazione impiegata



La tecnica non è invasiva e richiede una fonte di energizzazione (mazza battente).

Le onde Rayleigh, che sono il risultato dell'interferenza fra le onde di pressione "P" e quelle di taglio "S", si trasmettono sulla superficie libera e, in un terreno stratificato, subiscono una sorta di dispersione con velocità di propagazione che dipende dalla frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità per cui hanno una maggior velocità di fase. L'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 24 canali (Sismografo PASI mod. 16S-U) collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz (spaziatura tra geofoni 2 m, 1s di acquisizione, offset minimi di 2-5-8 m).

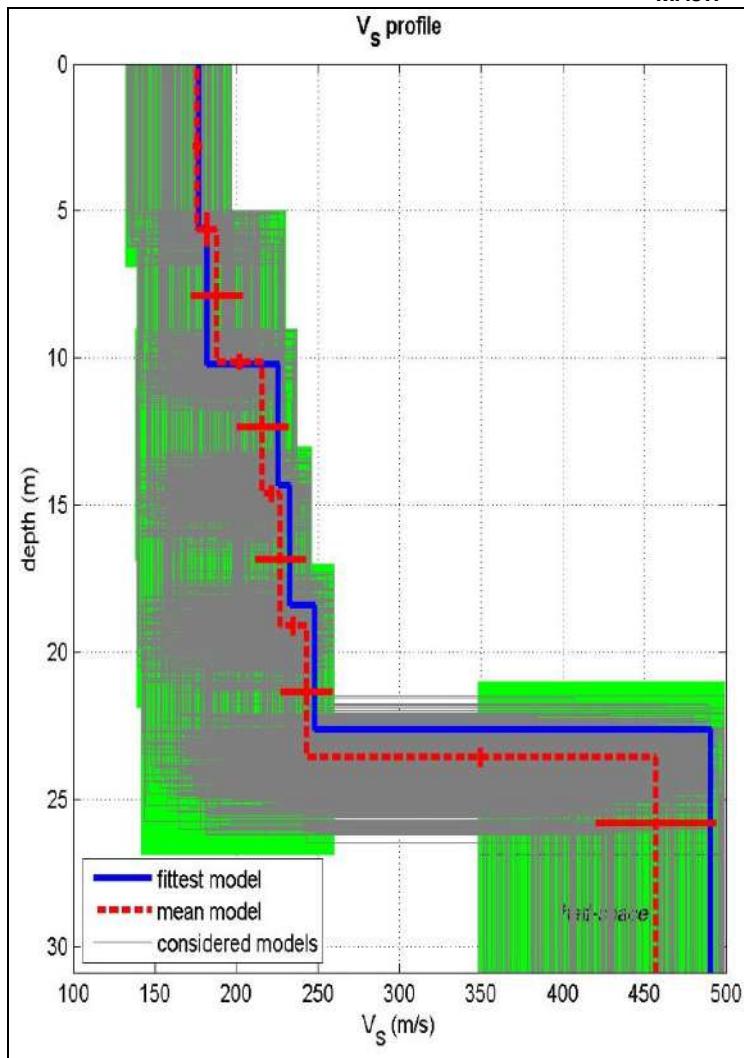
L'indagine eseguita è composta da n° 1 stendimento lungo 50 m.

**Elaborazione dati**

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software *winMASW* 4.8 Pro ([www.eliosoft.it](http://www.eliosoft.it)).

Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime. Di seguito si riporta, per la Masw, il profilo verticale delle  $V_s$  (Allegato 2).

**MASW**



MASW			
Profondità (m)		Spessore (m)	$V_s$
da	a	(m)	(m/s)
0.0	5.6	5.6	176
5.6	10.1	4.5	188
10.1	14.6	4.5	216
14.6	19.1	4.5	227
19.1	23.6	4.5	243
23.6			457

$V_{s30} = 233 \text{ m/s (0 m da p.c.)}$



Di seguito si riporta la Carta delle Velocità delle onde di taglio tratta dallo Studio di Microzonazione Sismica di Campogalliano.

Il valore di  $V_{s30}=197$  m/s ottenuto con la MASW eseguita direttamente nell'area di Comparto risulta inferiore ai valori riportati nello Studio di Microzonazione Sismica ottenuti però tramite Hvsr.

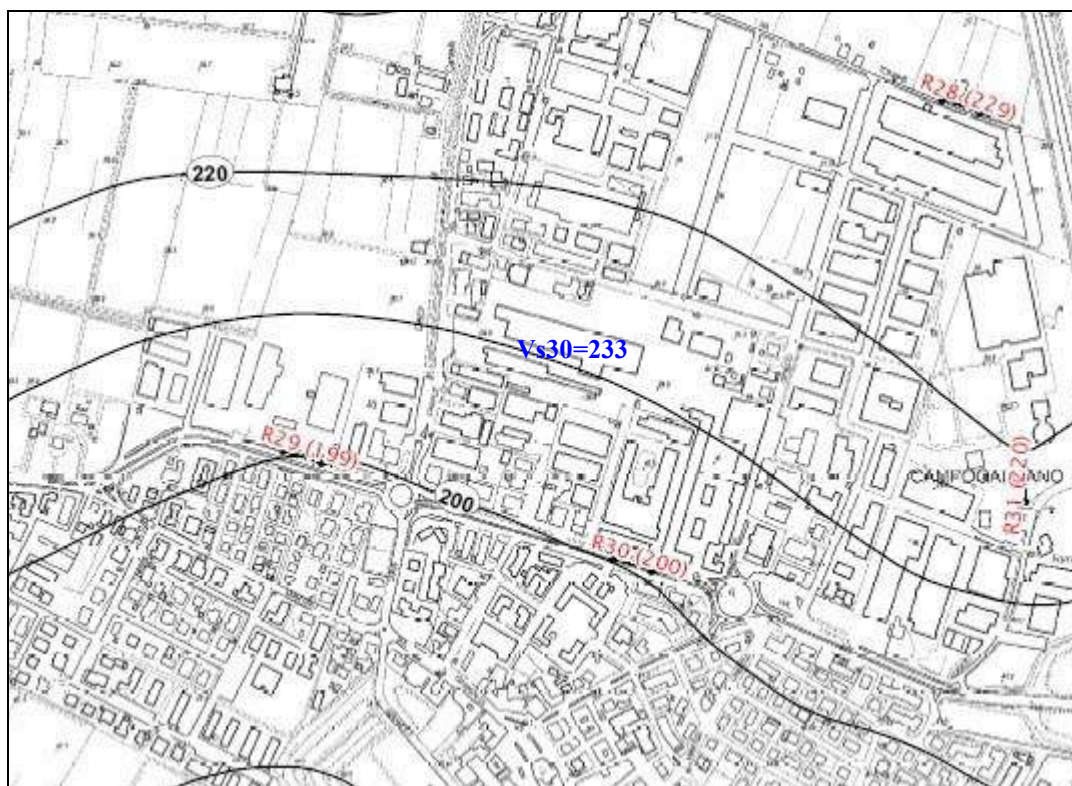


Fig. 15 – Carta delle Vs - Tratta da “Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Carpi (2013).



### 3.3.2 PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA DI MICROTREMORI (HVSR) – ALLEGATO 3

L'indagine HVSR, registrazione con tromografo di rumore sismico ambientale di fondo (microtremore), si pone come obiettivo preminente l'individuazione delle diverse frequenze di risonanza del terreno il tutto, nell'ottica di valutare eventuali fenomeni di amplificazione del moto sismico nel terreno d'indagine.

#### Strumentazione utilizzata

La registrazione di rumore sismico ambientale è stata effettuata tramite tromografo digitale *Tromino* della *Micromed s.p.a.*; tale strumento permette sia l'acquisizione digitale in alta risoluzione in modo passivo/non intrusivo che il pre-processing dei dati. Esso è costituito da tre velocimetri elettrodinamici ortogonali (N-S, E-W e UP-DOWN) autobloccanti in fase di non acquisizione.

Qui di seguito vengono riportate le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato.

SPECIFICHE TECNICHE		MICROMED		MICROMED	
Costruttore:	Micromed S.P.A. via Gostio 2 - 31030 - Magliano Veneto (TV) - Italia tel. +39-041-5937000 fax +39-041-5937011 e-mail: info@tromino.it support@tromino.it	Amplificatori:	tre canali con ingressi differenziali	Condizioni ambientali per l'uso:	temperatura -10 / +70°C umidità 0-90% senza condensa
Apparato:	TROMENO® sistema ultraportatile di acquisizione del rumore sismico	Rumore:	<0.5 µV r.m.s. @ campionamento 128Hz	Impermeabilità:	Indice di protezione IP → 65 (a prova di polvere e schizzi)
Classificazione:	- CISPR 11 - EN 55011 (apparecchi a radiofrequenza Industriali, Scientifici e Medicali (ISM) - Caratteristiche disturbi radio - Limiti e metodi di misura), Gruppo1 Classe B	Impedenza in ingresso:	10 <sup>3</sup> Ω	Sensori:	3 velocimetri elettrodinamici ortogonali Auto-bloccanti quando non acquisiscono Correzione elettronica ed attraverso il software <i>Grilla</i> per la risposta in frequenza dei sensori
Conformità agli standard:	EN 55011, IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-3.	Intervallo di frequenza:	DC - 360 Hz	Intervallo frequenza di lavoro:	0.1 - 256 Hz
Alimentazione:	2 x 1.5 V <sub>DC</sub> AA, batterie alcaline	Frequenza campionamento:	16384 Hz per canale		
Voltaggio interno:	-3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica	Frequenza sovracamp.:	32x, 64x, 128x		
Potenza utilizzata:	75 mW (GPS inattivo), 450 mW (GPS attivo)	Risoluzione A/D:	24 bit equivalenti		
Durata Batteria:	80 h in continuo, GPS inattivo	Max ingresso analogico:	51.2 mV (781 mV/digit)		
Numero canali:	7 + 1 analogico	Display:	grafico, 128 x 64 pixel, retroilluminato		
		Tastiera:	soft-touch, 4 tasti		
		Orologio:	interno, permanente con data e allarme, può essere visualizzato durante l'acquisizione		
		GPS:	12 canali con marcatempo (precisione 1 µs)		
		Livellamento:	a bolla, alta precisione orizzontale, sensibilità 5' arco (0.983°)		
		Connessioni:	Porta USB tipo B		
		Registrazione dati:	memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb		
		Dimensioni e peso:	10 x 14 x 7.7 (altezza) cm 1.1 kg Contenitore in alluminio		
		Accoppiamento al terreno:	piedini o cuscinetti in gomma		

L'elaborazione dei dati è stata effettuata tramite il software *Grilla vers. 6.1* in dotazione allo strumento; esso permette di definire gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN), di effettuare le analisi H/V e di valutare la VS30.



Foto 1 – Indagine Hvsr

È stata effettuata n° 1 acquisizione di 20 min.

La registrazione è stata effettuata su asfalto.

Il disturbo da traffico veicolare può essere considerato medio, in virtù della distanza dalle strade principali; eventuali passaggi casuali possono essere eliminati senza problemi essendo ben visibili negli spettri (in particolare nel diagramma hz/min della serie temporale H/V) e comunque di durata

minima. Le acquisizioni sono avvenute nelle seguenti condizioni meteo: sereno, 5°C, vento assente. Per ulteriori dettagli/approfondimenti circa l'acquisizione si rimanda agli elaborati allegati.

### Interpretazione dei dati

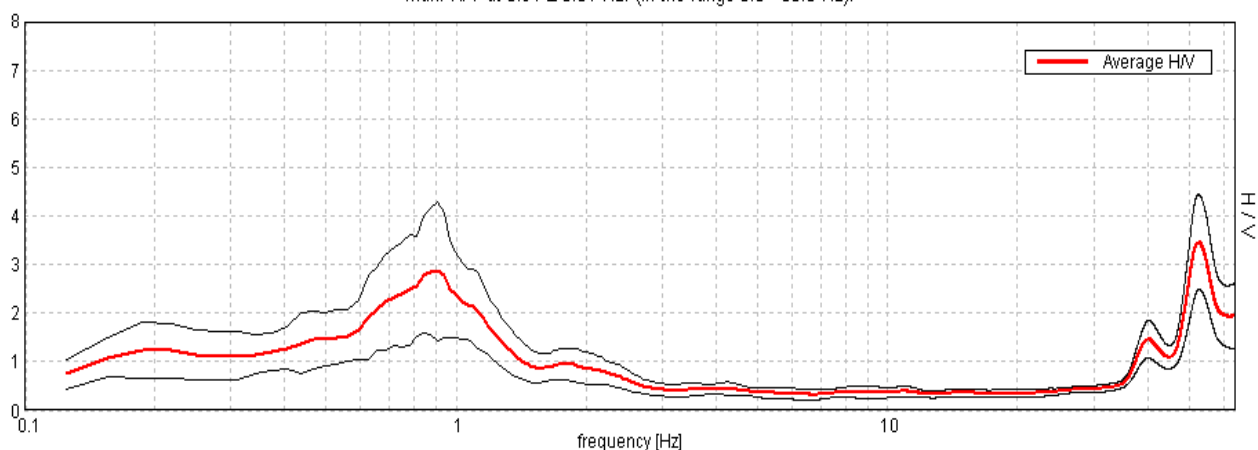
L'elaborazione dei dati ha permesso di ottenere i diagrammi specifici ovvero gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN) e lo spettro del moto del suolo (H/V) (vedi elaborato specifico).

In fase di elaborazione dati, inoltre, è stata eseguita anche un'analisi H/V con una percentuale di *smoothing* inferiore ovvero pari all'1% (qui non riportata) in modo tale da individuare i vari picchi antropici e le loro frequenze; tale analisi conferma, sostanzialmente, che i picchi H/V alle frequenze individuate sono di natura stratigrafica.

La presenza di significative impedenze sismiche viene segnalata con l'elaborazione degli spettri HVSR, e delle tre componenti spaziali. I risultati analitici sono riportati in forma grafica in Allegato 3. L'analisi degli esiti di questa indagine può essere associata alle conoscenze di sottosuolo (stratigrafia e geomeccanica), ed alle misure ottenute dalle altre indagini geofisiche.

#### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max. H/V at  $0.91 \pm 0.01$  Hz. (In the range 0.0 - 30.0 Hz).



### Frequenze di risonanza

**La curva H/V mostra un picco di risonanza ad una frequenza di 0.91 Hz**, attribuibile ad un passaggio di rigidezza profondo, oltre 100 m di profondità.

Ritenendo il picco affidabile e di origine stratigrafica, si osserva che la frequenza di risonanza rilevate (0.91 Hz), risulta ricadente al bordo inferiore del range tipico di interesse ingegneristico/strutturale delle costruzioni (1-10 Hz).

I picchi rilevati ad alta frequenza (>40/50 Hz) sono dovuti invece al disturbo provocato dalla presenza di materiali di riporto quali il piano d'asfalto e il sottofondo grossolano.

Si lascia alla fase progettuale e al tecnico strutturista il calcolo preciso della frequenza di vibrazione delle strutture in previsione. La conoscenza di tale caratteristica è necessaria al fine di valutare l'esistenza di eventuali incrementi dell'ampiezza delle oscillazioni sismiche, legati a fenomeni di risonanza tra la frequenza fondamentale dei terreni superficiali e il primo modo di vibrare dei manufatti oggetto di verifica.

### 3.4 ANALISI SEMPLIFICATA (NTC2018)

#### 3.4.1 CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO

L'analisi dei dati ottenuti con le indagini geofisiche unitamente alle conoscenze geologiche e litostratigrafiche, evidenziano i seguenti aspetti principali:

- La Masw fornisce un valore della Vs30 di 233 m/s a 0 m di prof da p.c.
- Assenza di sostanziali inversioni di velocità e di elevati contrasti di impedenza e/o di rigidità tali da influire sulla risposta sismica locale dei terreni.

Sulla base di questi dati è possibile in prima approssimazione ottenere un modello di sottosuolo riconducibile alla classificazione semplificata tipica delle categorie di sottosuolo definite dalle NTC 2018 e definire il suolo di fondazione:

**- suolo di fondazione Categoria C (NTC2008)**

a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione stratigrafica **Ss=1.46**

Si tenga comunque conto che l'indeterminatezza tipica delle indagini geofisiche viene stimata intorno al 10-20%.

Sulla base dei risultati ottenuti, ed in accordo con il Progettista si è ritenuto idoneo utilizzare l'approccio semplificato.

#### 3.4.2 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suddette categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST riportati nella seguente Tab. 3.2.V, in funzione della categoria topografica definita e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove ST assume il valore massimo riportato nella Tab. 3.2.V, fino alla base, dove ST assume valore unitario.

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1,4

L'area in esame si colloca nella media pianura modenese, pertanto si ottiene una **categoria topografica T1** a cui si fa corrispondere un coefficiente di amplificazione: **S<sub>T</sub>=1.0**.

### 3.6 CALCOLO DEI PARAMETRI SISMICI DEL SITO

I parametri spettrali per definire l'azione sismica di progetto (lasciando al progettista la verifica definitiva) vengono calcolati:

- a) Classe dell'opera II -  $C_u = 1$
- b) vita nominale della costruzione : 50 anni
- c) azione sismica : stato limite di salvaguardia della vita (tempo di ritorno : 475 anni)

I parametri tabellati sono sempre riferiti al substrato rigido. Oltre ad  $a_g$  si riportano anche altri due parametri:

- $F_o$ : 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.

Il valore del sito viene ottenuto tramite la media pesata dei valori che si riferiscono ai quattro punti del reticolo che comprendono l'area in oggetto mediante la seguente formula:

$$p = \frac{\sum_i^4 \frac{P_i}{d_i}}{\sum_i^4 \frac{1}{d_i}}$$

Dove :

$p$  = valore del parametro di interesse nel punto in esame

$p_i$  = valore del parametro di interesse nell' $i$ -simo punto della maglia elementare contenete il punto in esame

$d_i$  = distanza del punto in esame dall' $i$ -simo punto della maglia suddetta

#### Parametri sismici

Di seguito si riportano i parametri e i coefficienti sismici del sito.

##### Sito in esame

##### Siti di riferimento

latitudine: 44,6956166520454	Sito 1 ID: 15835 Lat: 44,7049Lon: 10,8184	Distanza: 2157,108
longitudine: 10,8423368547887	Sito 2 ID: 15836 Lat: 44,7065Lon: 10,8887	Distanza: 3855,370
Classe: 2	Sito 3 ID: 16058 Lat: 44,6565Lon: 10,8908	Distanza: 5799,199
Vita nominale: 50	Sito 4 ID: 16057 Lat: 44,6549Lon: 10,8206	Distanza: 4838,594

#### Parametri sismici

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

Di seguito i parametri sismici ai vari stati limite:

##### Parametri sismici

##### Operatività SLO

Probabilità di superamento:	81 %	Ss: 1,500
Tr:	30[anni]	Cc: 1,650
$a_g$ :	0,047 g	St: 1,000
$F_o$ :	2,475	Kh: 0,014
$T_c^*$ :	0,252[s]	Kv: 0,007
		Amax: 0,693
		Beta: 0,200

##### Parametri sismici

##### Danno SLD

Probabilità di superamento:	63 %	Ss: 1,500
Tr:	50[anni]	Cc: 1,620
$a_g$ :	0,059 g	St: 1,000
$F_o$ :	2,503	Kh: 0,018
$T_c^*$ :	0,268[s]	Kv: 0,009
		Amax: 0,862
		Beta: 0,200

##### Parametri sismici

##### Salvaguardia della vita SLV

Probabilità di superamento:	10 %	Ss: 1,460
Tr:	475[anni]	Cc: 1,600
$a_g$ :	0,162 g	St: 1,000
$F_o$ :	2,462	Kh: 0,057
$T_c^*$ :	0,281[s]	Kv: 0,028
		Amax: 2,317
		Beta: 0,240

##### Parametri sismici

##### Prevenzione del collasso SLC

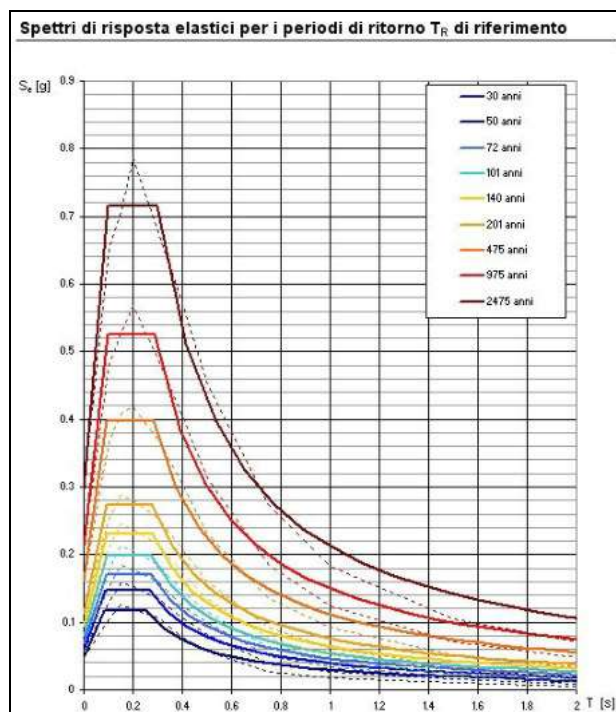
Probabilità di superamento:	5 %	Ss: 1,390
Tr:	975[anni]	Cc: 1,590
$a_g$ :	0,213 g	St: 1,000
$F_o$ :	2,461	Kh: 0,083
$T_c^*$ :	0,286[s]	Kv: 0,042
		Amax: 2,907
		Beta: 0,280

### 3.6.1 Valutazione dell'azione sismica - Spettri di risposta del sito

Il D.M. 2008 richiede di definire lo spettro di risposta elastico in accelerazione per il sito in esame. Tale spettro indica, per ciascuna frequenza, la risposta allo scuotimento massimo (da terremoto) di un oscillatore elastico smorzato semplice (struttura teorica tipo) con frequenza propria pari alla frequenza considerata.

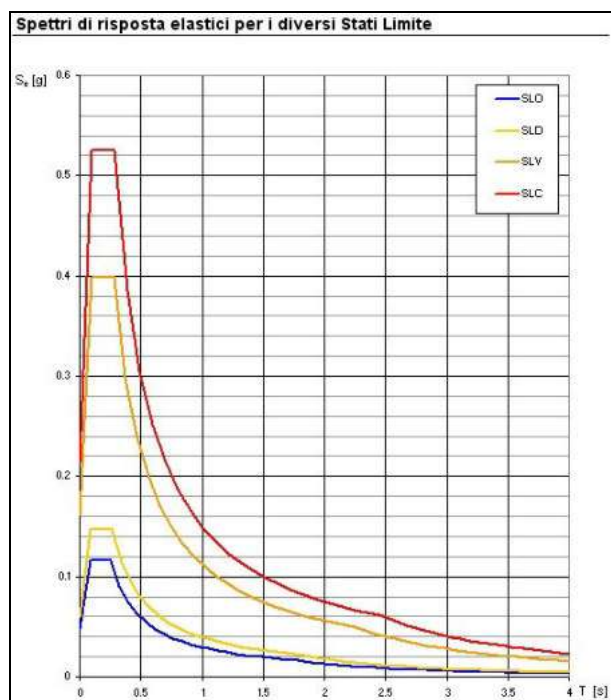
Con  $T$  si intende il periodo fondamentale di risonanza dell'edificio (in secondi) e con  $a_g$  l'accelerazione massima di picco del sottosuolo (pga) in caso di terremoto ( $m/s^2$ ).

Di seguito si riportano gli spettri elastici di risposta per periodo di ritorno  $T_R$  e per Stati limite.



$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0.047	2.475	0.252
50	0.059	2.503	0.268
72	0.069	2.477	0.274
101	0.080	2.485	0.275
140	0.095	2.438	0.279
201	0.113	2.420	0.279
475	0.162	2.462	0.281
975	0.213	2.461	0.286
2475	0.297	2.408	0.297

Tratto da: sito CLSP – Software Spettri di Risposta Ver 1.0.3. Con linea continua gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.



SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0.047	2.476	0.252
SLD	50	0.059	2.502	0.268
SLV	475	0.162	2.462	0.281
SLC	975	0.213	2.461	0.286

Tratto da: sito CLSP – Software Spettri di Risposta Ver 1.0.3.

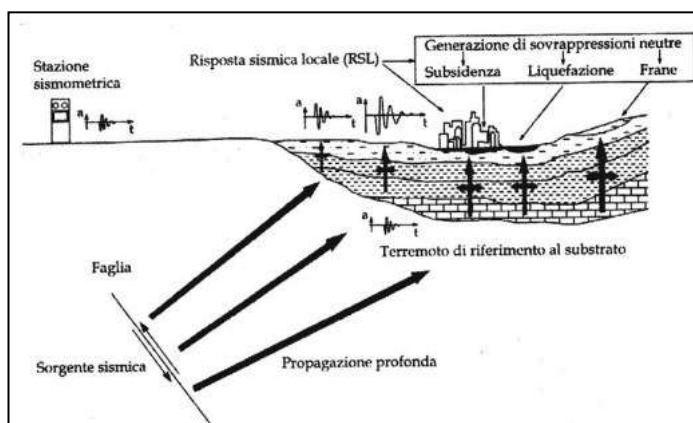
### 3.7 PERICOLOSITÀ SISMICA ED EFFETTI LOCALI

#### 3.7.1 SUSCETTIBILITÀ SISMICA

##### Cenni di microzonazione sismica

La diversa entità dei danni prodotti da un terremoto nello stesso ambito territoriale dimostra che le azioni sismiche possono assumere, anche a distanze di poche decine di metri, caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni geologiche che caratterizzano un dato ambito territoriale (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, ecc).

La microzonazione sismica si propone di studiare e valutare quantitativamente l'influenza che le condizioni geologiche locali



hanno sui movimenti del suolo durante un evento sismico.

Il risultato di uno studio di questo tipo si traduce in una carta di dettaglio (carta della microzonazione sismica) che pone limitazioni di natura urbanistica e fornisce prescrizioni di progetto per le costruzioni che, in alcuni casi, possono anche risultare più gravose di quelle contemplate dalle normative vigenti.

ca locale.

L'elemento base della microzonazione sismica è la valutazione della "risposta sismica locale" (RSL). Con tale termine s'intende l'insieme delle modifiche in intensità, ampiezza e frequenza, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), posta ad una certa profondità nel sottosuolo, subisce attraverso gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

##### Amplificazione sismica – Considerazioni generali

Terreni con caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti possono, in condizioni di sollecitazione sismica, perdere temporaneamente o permanentemente la capacità portante a loro ascrivibile in condizioni statiche, causando cedimenti e lesioni negli edifici, anche se questi sono stati costruiti secondo criteri tali da far loro sopportare le sollecitazioni indotte dai terremoti attesi.

Altro caso riguarda l'effetto di liquefazione in condizioni sismiche dei terreni sabbiosi saturi che, sotto sollecitazioni cicliche, tendono a perdere la loro resistenza al taglio.

In alcuni casi, le particolari caratteristiche del sito, sia di tipo morfologico sia derivanti dalla natura del substrato, possono determinare effetti di amplificazione delle sollecitazioni, rispetto ad una situazione tipo. Si precisa che la situazione tipo è in generale definita da un'area pianeggiante con roccia granitica come appoggio per le strutture di fondazione degli edifici oppure, negli studi di microzonazione sismica, come il substrato roccioso (bedrock) che risente del terremoto di riferimento per il sito in questione, rispetto al quale si verifica l'eventuale effetto di amplificazione.

Tale effetto di amplificazione è legato alla presenza di terreni con rigidità inferiori a quella di riferimento; tale condizione di minore rigidità può ad esempio essere espressa dal valore dell'impedenza acustica della roccia (prodotto della densità

per la velocità delle onde sismiche): più l'impedenza acustica della roccia è minore rispetto a quella della roccia di riferimento più l'effetto di amplificazione si rende evidente.

L'effetto di amplificazione sismica si risente poi anche quando il substrato è costituito da "terreni" (in senso geotecnico: terreni quaternari, depositi superficiali, ecc.), che per la loro stessa natura sono caratterizzati da valori di impedenza acustica sempre inferiori a quelli della roccia di riferimento. In questi casi, tuttavia, accade spesso che il fenomeno di amplificazione non risulta la causa delle lesioni e dei crolli degli edifici costruiti su questi terreni. In effetti, sono le caratteristiche geotecniche dei medesimi, che in condizioni di sollecitazione sismica tendono a peggiorare decisamente, a determinare i crolli: a causa della perdita di capacità portante alle strutture di fondazione, che avviene prima che l'effetto di amplificazione venga risentito dalla struttura degli immobili.

Di base, i due coefficienti di amplificazione che normalmente si considerano in mancanza di studi specialistici sono:  $S$  (in base al profilo stratigrafico e tipo di suolo) e  $S_T$  (coefficiente di amplificazione topografica).

### **3.8 EFFETTI DI SITO**

L'esperienza e le ricerche sul terreno, hanno messo in evidenza l'esistenza di aree che tendono a risentire maggiormente degli effetti distruttivi delle scosse telluriche, rispetto ad altre aree poste nelle loro immediate vicinanze. Tale comportamento è legato alla possibilità del verificarsi di diversi tipi di fenomeni: effetto d'instabilità da terremoto, amplificazione sismica per caratteristiche litologiche, amplificazione sismica per caratteristiche topografiche, liquefazione, cedimenti.

Per l'area in esame, si escludono effetti locali indotti da instabilità, liquefazione, cedimenti e topografia.

Sulla base delle indagini svolte, l'unico effetto di sito individuato è legato all'amplificazione sismica per caratteristiche litologiche.

A seguire si riporta uno Stralcio della Carta delle MOPS tratta dallo Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Campogalliano, dove l'area in studio rientra nelle zone "stabili suscettibili di amplificazioni locali".

Nel Cap. 3.3-3.4-3.5 sono stati valutati, in modo semplificato con le NTC 2018, gli effetti dovuti alle caratteristiche litologiche (coeff. ampl. Stratigrafica  $S_s=1.46$ ).



### 3.8.1 CARTA DELLE MOPS

Di seguito si riporta la Carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) tratta dallo Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Campogalliano.

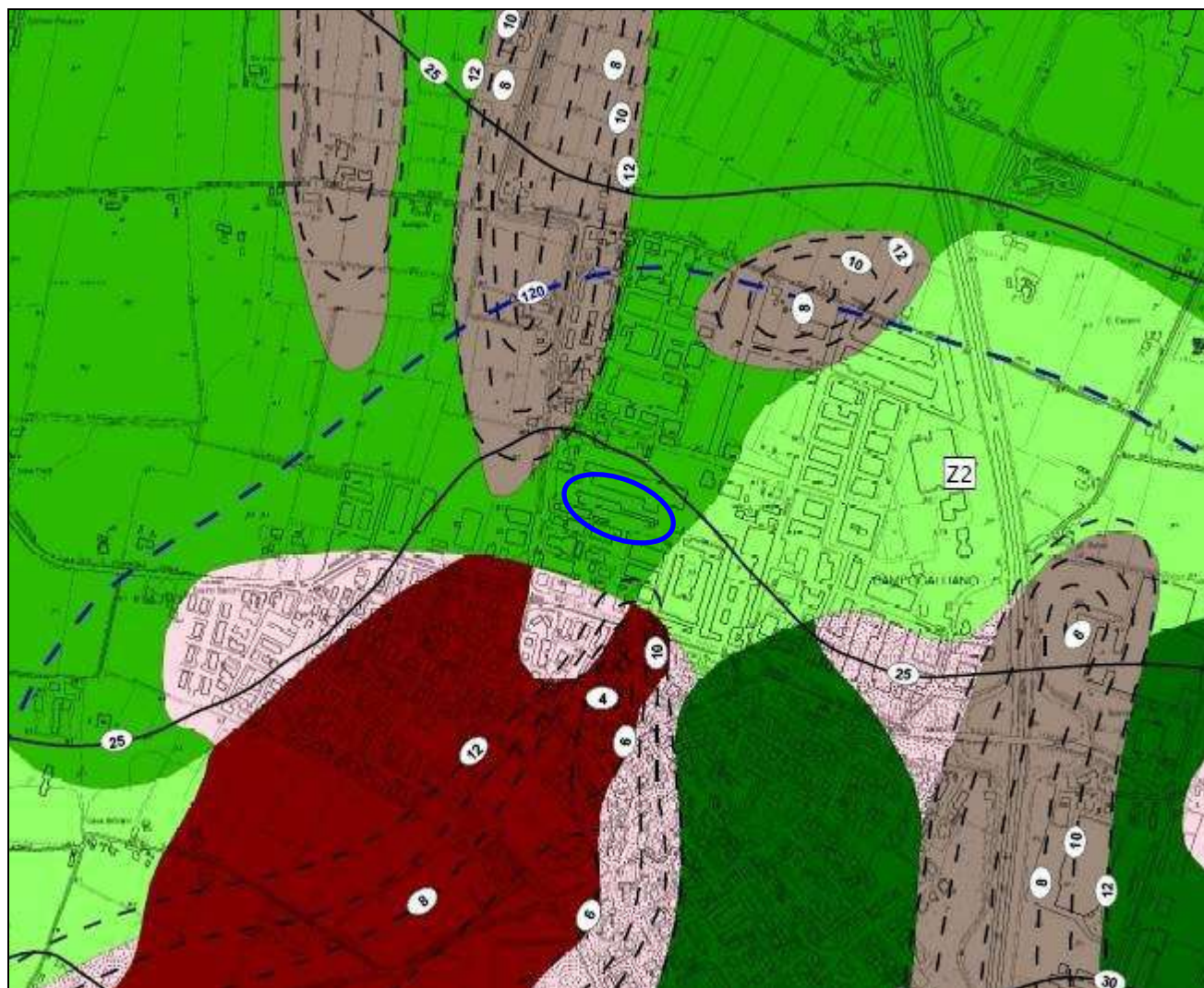


Fig. 16 – Carta delle MOPS. Tratta da “Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Campogalliano .

**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

ZONA 1	Chiaie sabbiose poco assottite addensate (GF-12), limi - limi sabbiosi, moderatamente addensati (MH-12). Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche. Approfondimenti di II° livello.
ZONA 2	Limii - limii argillosi - limii sabbioso argillosi ed argille limose, moderatamente consistenti (ML/CL-24) contenenti sottili corpi lentiformi sabbioso limosi di spessore tra 0,5 e 2 m, moderatamente addensati (SM-12). Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche. Approfondimenti di II° livello.
ZONA 3	Limii - limii argillosi - argille limose, moderatamente consistenti (ML/OH-24) contenenti sottili corpi lentiformi sabbioso limosi con spessore tra 0,5 e 1,5 poco addensati (SM-13). Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche. Approfondimenti di II° livello.
ZONA 4	Argille limose - argille, moderatamente consistenti (CL/OH-24) con intercalati corpi lentiformi limoso argillosi moderatamente consistenti (ML-24). Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche. Approfondimenti di II° livello.

**Forme di superficie e sepolte**

	Conoide alluvionale
<b>Altri elementi rappresentati</b>	
	Isobate del substrato sepolto
	Profondità tetto delle ghiaie (metri dal piano di campagna)
	Profondità tetto delle sabbie (metri dal piano di campagna)
	Limite di Comune

**Zone stabili suscettibili di instabilità**

POTENZIALE LIQUEFAZIONE	Sabbie e sabbie limose in strati con spessori tra 4 e 8 m, moderatamente addensate (SM-12) con intercalate alternanze limose - limoso argillose moderatamente consistenti (ML-24). Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, potenziale liquefazione. Approfondimenti di III° livello per valutazione di suscettività alla liquefazione.
POTENZIALI CEDIMENTI DIFFERENZIALI	Argille limose e limii argillosi poco consistenti (CL/ML-25) moderatamente consistenti con l'aumento della profondità (24). Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, cedimenti differenziali. Approfondimenti di III° livello per stima dei cedimenti differenziali.
POTENZIALI CEDIMENTI DIFFERENZIALI	Limii - limii argillosi sabbiosi, moderatamente consistenti (ML/OH-24) con intercalati corpi lentiformi sabbioso limosi con spessori tra 1,5 e 3 m moderatamente addensati (SM-12) ed orizzonti argilloso limosi - limoso argillosi moderatamente consistenti (CL-24). Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche potenziali cedimenti differenziali per densificazione/liquefazione di sottili strati sabbioso limosi. Approfondimenti di III° livello per stima dei cedimenti.
ZONA SUSCETTIBILE DI SOVRAPPOSIZIONE DI INSTABILITA' DIFFERENTI	Sabbie limose da poco addensate (SM-13) e moderatamente addensate (11) con l'incremento della profondità e limii argillosi da poco consistenti (ML-25) a moderatamente consistenti (24) con l'aumento della profondità. Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, potenziale liquefazione e cedimenti differenziali. Approfondimenti di III° livello per valutazione di suscettività alla liquefazione e stima dei cedimenti differenziali.

L'area in oggetto ricade nella Zona 3.

Dalla lettura della descrizione della zona e in considerazione delle prove geognostiche e geofisiche eseguite, si conferma in buona sostanza la classificazione data nella carta delle Mops. L'area in studio risulta infatti caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da depositi medio-fini di limi e argille superficiali con assenza di significativi livelli sabbiosi nei primi 20 m.

A seguire viene comunque svolta un'analisi di 3° livello sul rischio liquefazione, specifica del sito in studio.

### **3.9 ANALISI DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO (ALLEGATO 4 – 112/2007)**

#### **3.9.1 Liquefazione (All. 4)**

In generale la possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione è legata alla presenza di terreni sabbiosi saturi. Questa tipologia di terreno rappresenta il fattore predisponente principale (susceptibilità del terreno) che in concomitanza del fattore scatenante (caratteristiche del terremoto atteso) può determinare il rischio di liquefazione. La verifica alla liquefazione è inoltre in genere necessaria quando la falda freatica è superficiale ed il terreno comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda.

La probabilità che nei terreni sabbiosi saturi si verifichino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla se si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
2. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.1g;
3. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
  - frazione di fine, FC, superiore al 20%, con indice di plasticità  $PI > 10$ ;
  - $FC \geq 35\%$  e resistenza  $(N_1)_{60} > 20$ ;
  - $FC \leq 5\%$  e resistenza  $(N_1)_{60} > 25$dove  $(N_1)_{60}$  è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT, definito dalla relazione: in cui il coefficiente  $C_N$  è ricavabile dall'espressione essendo  $p_a$  la pressione atmosferica e  $\sigma'_v$  la pressione efficace verticale.
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura seguente (a) nel caso di materiale con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  ed in Figura 1 (b) per coefficienti di uniformità  $U_c > 3.5$ .
5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna.

Nell'area in studio la magnitudo  $M$  attesa è 6.14.

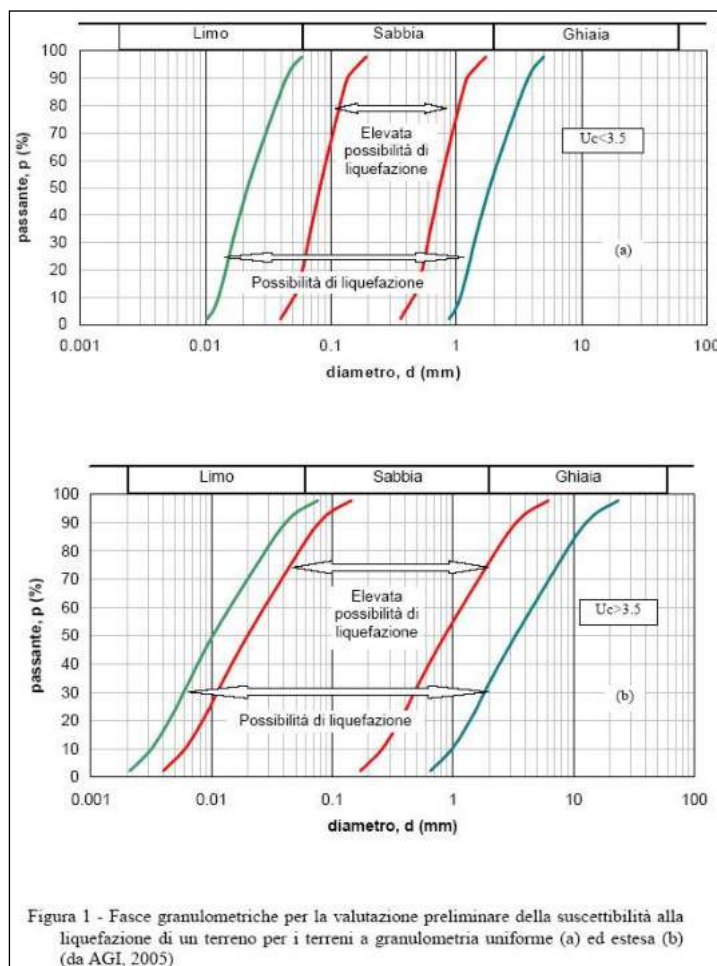
La susceptibilità del terreno è stata valutata sulla base delle 4 prove penetrometriche statiche (CPT) e dall'indagine geofisica di superficie (Masw).

Il numero delle verticali indagate risulta sufficiente ad accertare la variabilità spaziale delle caratteristiche stratigrafiche e meccanico-resistive dei terreni di fondazione.

La natura litologica dei sedimenti del terreno di fondazione è stata valutata dalle seguenti analisi:

- rapporto fra resistenza alla punta e la resistenza laterale locale ( $R_p/R_l$ : rapporto di Begemann);

Dalle prove penetrometriche eseguite e dalle stratigrafie consultate emerge che, i terreni in studio risultano costituiti da alternanze fini di argille limose e limi-argillosi con limitata frazione sabbiosa fino a 24 m; oltre si intercetta un livello di



dove

$CRR = \tau_{ult} / \sigma'_{v0}$  è la resistenza normalizzata (rispetto alla pressione efficace verticale iniziale  $\sigma'_{v0}$ ) che viene valutata attraverso abachi, in funzione di parametri desunti da prove SPT, CPT e da misure della velocità delle onde di taglio  $V_s$ ;

$CSR = \tau_{media} / \sigma'_{v0} = 0.65 \times a_{max} / g \times \sigma_v / \sigma'_v \times r_d$  è la tensione indotta dal terremoto e dove  $a_{max}$  è il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento;  $g$  è l'accelerazione di gravità;  $\sigma_v$  e  $\sigma'_v$  sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale alla profondità considerata;  $r_d$  è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo e che può essere determinato con la relazione semplificata  $r_d = 1 - 0.015z$ ;

-  $MSF$  è un fattore di scala che può essere valutato in funzione della magnitudo dei terremoti attesi.

In questa sede viene utilizzato il metodo di Robertson e Wride (1998) metodo basato su prove CPT.

Se il fattore  $F_L > 1$  la liquefazione è da escludere; se è  $F_L < 1$  è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione.

In Allegato 4 si riportano a titolo d'esempio i tabulati di calcolo riferiti alla prova n° 2.

**Dall'analisi dei dati risulta che le stratigrafie delle prove non presentano strati liquefacibili.**

ghiaie sabbiose.

A fianco si riportano i diagrammi granulometrici con evidenziale le fasce granulometriche soggette a potenziale liquefazione (D.R. 112/07). I terreni indagati si collocano per lo più al di fuori delle fasce evidenziate ed in particolare sulla sinistra, in corrispondenza delle granulometrie minori.

Di seguito viene svolta un'analisi di 3° livello.

Per la verifica di 3° livello in merito alla possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione vengono impiegate le procedure che nell'Ingegneria Geotecnica Sismica vengono denominati 'metodi semplificati'. Tali metodi sono basati su prove geotecniche di tipo corrente e sulla valutazione, ad ogni quota  $z$  del deposito compresa nei primi 20 m, del coefficiente di sicurezza

$$F_L = (CRR/CSR) \times MSF$$

Stima di IPL (indice di potenziale liquefazione)

L'indice del potenziale di liquefazione IPL è una misura degli effetti della liquefazione basata sulla larghezza e profondità delle zone liquefacibili e su casi storici di liquefazione. Il metodo utilizzato è quello di Iwasaki e al. (1982).

Il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione è definito da:

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

$F(z)$  è una funzione del fattore di sicurezza che per:

$$F(z) = 0 \quad \text{se} \quad FSL > 1$$

$$F(z) = 1 - FSL \quad \text{se} \quad FSL < 1$$

si indica con  $z_{crit}$  la profondità massima alla quale strati liquefatti producono effetti in superficie:

$$\text{Se } z_{crit} = 20 \text{ m} \quad w(z) = 10 - 0.5 \cdot z$$

$$\text{Se } z_{crit} = 10 \text{ m} \quad w(z) = 20 - 2 \cdot z$$

Tradizionalmente la profondità critica è assunta pari a 20 m, ma recentemente Ozocak e Sert (2010), sulla base di evidenze sperimentali successive ai terremoti di Adapazari (Turchia) del 1999 e sulla base delle curve limite per manifestazioni di liquefazioni in superficie di Ishihara (1985), hanno proposto di assumere per terremoti di magnitudo "usuale" la profondità critica di 10 m.

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

LPI	Potenziale di liquefazione
0	Non liquefacibile
$0 < LPI \leq 2$	Basso
$2 < LPI \leq 5$	Moderato
$5 < LPI \leq 15$	Altro
$LPI > 15$	Molto alto

Per le tre prove penetrometriche eseguite si ottiene:

Prova n° 1 - IPL=0.2 (non liquefacibile/basso)

Prova n° 2 - IPL=0 (non liquefacibile)

Prova n° 3 - IPL=0.3 (non liquefacibile/basso)

Prova n° 4 - IPL=0.3 (non liquefacibile/basso)

Il fattore di sicurezza della liquefazione ( $F_L$ ) è calcolato con riferimento alla verticale di prova trascurando gli effetti bi e tri-dimensionali. 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 di  $F_L < 1$ . Viceversa uno strato liquefatto sottile, profondo, molto diffuso ed esteso può determinare rottura del terreno e "lateral spreading".

La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la non sempre buona correlazione tra i valori del fattore di sicurezza e le evidenze di liquefazione.

In conclusione quindi, in considerazione dei risultati emersi dalla verifica di 3° livello alla liquefazione, si conferma, per la determinazione del coefficiente di amplificazione stratigrafica, la procedura semplificata mediante le categorie di suolo.

### 3.10 AMPLIFICAZIONE SISMICA PER CARATTERISTICHE LITOLOGICHE (DAL. RER 112/07)

La Delibera regionale, propone un'analisi semplificata al secondo livello di approfondimento con lo scopo di valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale. Essa suggerisce la definizione delle amplificazioni locali sulla base delle tabelle allegate in appendice al documento e riferite a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche ("secondo livello" di analisi).

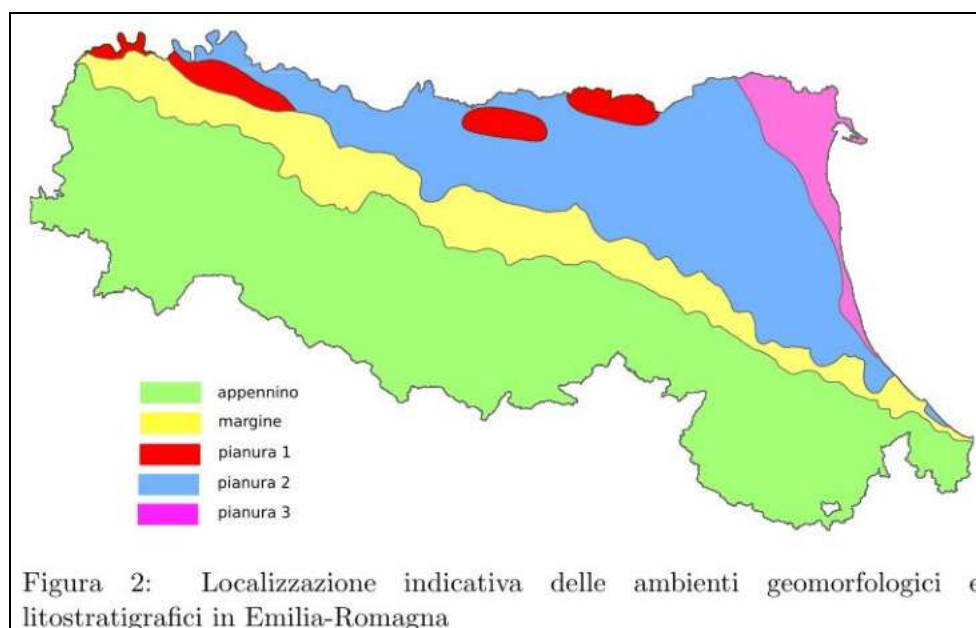
Tale livello di approfondimento prevede la determinazione dei coefficienti di amplificazione sismica impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (A2.1.1 e A2.1.2) che permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento.

Recentemente (Settembre 2015), le Tabelle della Dal 112/07 sono state oggetto di una opportuna revisione nel lavoro prodotto dal CNR – Istituto per la dinamica dei processi ambientali di Milano dal titolo "Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna" (A. Tento, L. Martelli, A. Marcellini).

Questo studio ha rivisto la suddivisione del territorio regionale in ambiti geo-litologici omogenei.

Nel territorio regionale sono stati individuati due ambienti geo-litologici omogenei principali relativi a: 1) zona collinare e montana (Appennino) e 2) pianura e zona costiera che comprende anche il settore di transizione Appennino-Pianura (Margine).

La figura seguente riporta schematicamente questa suddivisione.



**Fig. 17** - Tratta da: "Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna" CNR (A. Tento, L. Martelli, A. Marcellini).

Sulla base di quanto sopra riportato e in considerazione delle risultanze delle indagini svolte, l'area in studio rientra nel:

**PIANURA 2** Settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalenti, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del bedrock sismico ( $V_s > 800 \text{ m/s}$ ) a circa 150 m da p.c. Si utilizza  $V_{s30}$  che varia da 150 a 400 m/s.

I Fattori di Amplificazione sismica (F.A.) sono relativi a due parametri rappresentativi dello scuotimento sismico.

Il primo è l'accelerazione di picco orizzontale (PGA), il secondo è l'intensità spettrale SI.

- **F.A. P.G.A.** - rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ( $a_{\text{max},r}$ ) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ( $a_{\text{max},s}$ ) alla frequenza  $f$ . Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento  $D$  e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito.
- **F.A. S.I.** - Intensità spettrale di Housner - indicatore della pericolosità sismica, è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità, nel nostro caso per i due intervalli di frequenze, rispettivamente da  $0.1\text{s} \leq T_0 \leq 0.5\text{s}$ ,  $0.5\text{s} \leq T_0 \leq 1.0\text{s}$  e  $0.5\text{s} \leq T_0 \leq 1.5\text{s}$ .

È stato considerato uno smorzamento  $\xi$  del 5 % e sono stati valutati tre intervalli di periodo proprio  $T_0$  ottenendo tre valori di intensità spettrale:

SI1 :  $0.1\text{s} \leq T_0 \leq 0.5\text{s}$

SI2 :  $0.5\text{s} \leq T_0 \leq 1.0\text{s}$

SI3 :  $0.5\text{s} \leq T_0 \leq 1.5\text{s}$

### Fattori di amplificazione sismica FA

Di seguito vengono quantificati i fattori di amplificazione sismica (FA).

Si usa la seguente tabella:

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

Pianura 2. Tabella dei Fattori di Amplificazione **PGA**, **SI1**, **SI2** e **SI3**.

Tratta da: "Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna" CNR (A. Tento, L. Martelli, A. Marcellini).

Sulla base della tabella sopra riportata, i valori di (FA), risultano:

FA			
<i>pga</i>	<b>SI1: <math>0.1\text{s} &lt; T_0 &lt; 0.5\text{s}</math></b>	<b>SI2: <math>0.5\text{s} &lt; T_0 &lt; 1.0\text{s}</math></b>	<b>SI2: <math>0.5\text{s} &lt; T_0 &lt; 1.5\text{s}</math></b>
1.7	1.9	2.7	2.9

Di seguito si riportano gli stralci della Carta di Microzonazione Sismica di 2° Livello – FA dello “Studio di Microzonazione Sismica” del Comune di Carpi (2013).

**FIGURA 18 – CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO - FA (scala grafica)**



Tratta da “Studio di Microzonazione Sismica” del Comune di Campogalliano.

Dal confronto si evidenzia come i valori calcolati nel presente studio rientrano nel range (pga – 0.1-0.5 sec) o sono inferiori (0.5-1 sec) rispetto a quelli calcolati nello Studio di Microzonazione Sismica con le nuove tabelle regionali.

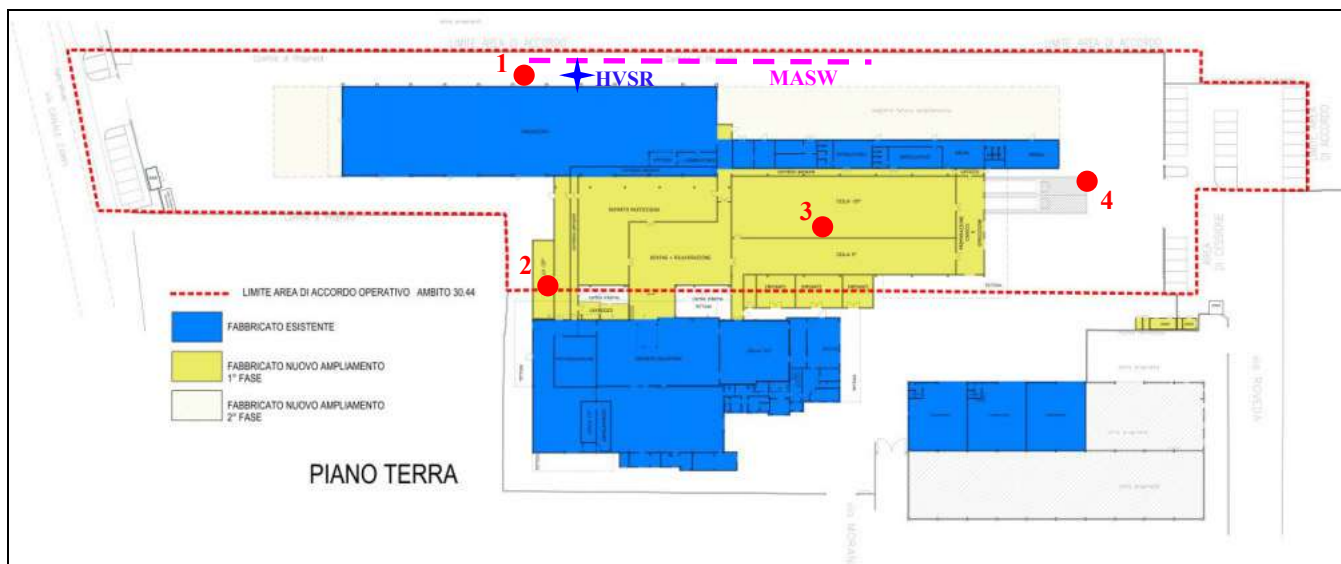
## 4. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

### 4.1 INDAGINI, MODELLAZIONE GEOLOGICA

Per la caratterizzazione litostratigrafica e fisico-meccanica dei terreni di fondazione del sito sono state eseguite:

- n° 4 prove penetrometriche statiche (All. 1);

FIGURA 19 – UBICAZIONE INDAGINI SU PLANIMETRIA DI PROGETTO (scala grafica)



● prova penetrometrica dinamica    - - - - - stendimento sismico (Masw)    ★ Hvsr - (microtremori)



Prova penetrometrica 1.



Prova penetrometrica 2.



Prova penetrometrica 3.



Prova penetrometrica 4.



Lo strumento utilizzato per l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche è il penetrometro GEOPAN 200 KN montato su mezzo cingolato fornito di autoancoraggio per sopportare la spinta massima di 20 tonnellate.

Il dispositivo di spinta (*martinetto idraulico*) è ancorato al suolo per mezzo di un vitone elicoidale centrale che deve fornire l'adeguato contrasto all'atto della penetrazione delle aste e della punta. Il martinetto agisce su una *batteria doppia di aste* (aste esterne cave e aste interne piene coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura, collegato al martinetto idraulico.

La *punta conica* (di tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante per la misura dell'attrito laterale (punta/manicotto tipo "Begemann").

Le dimensioni della punta/manicotto sono standardizzate, e precisamente:

diametro di base del cono $\varnothing$ =	35,7 mm
area della punta conica $A_p$ =	10 cm <sup>2</sup>
angolo apertura del cono B =	60°
superficie laterale manicotto $A_m$ =	150 cm <sup>2</sup>
costante di trasformazione $C_t$ =	1

Sulla batteria di aste esterne è stato installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'approfondimento.

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ( $v = 2 \text{ cm/s} + 0,5 \text{ cm/s}$ ).

La penetrazione avviene tramite il dispositivo di spinta citato in precedenza, che agisce sulla batteria di aste e quindi sulla punta meccanica.

L'esecuzione della prova consiste, una volta posizionato lo strumento, nel far avanzare a intervalli regolari, pari a 20 cm, l'intera batteria di aste e la punta. È possibile suddividere in fasi l'avanzamento:

- fase 1: si legge per i primi 4 cm di avanzamento la resistenza alla punta ( $L_{punta}$ =lettura di campagna durante l'infissione della sola punta);
- fase 2: si legge, per i successivi 4 cm, la resistenza alla punta più quella laterale ( $L_{laterale}$ =lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto);
- fase 3: negli ultimi 12 cm si ritorna nella posizione iniziale senza alcuna lettura.

I dati letti su due distinti manometri montati su una cella di pressione, sono riportati nelle tabelle di campagna (All. 1).

Per le prove, nei tabulati di calcolo e nei diagrammi penetrometrici (Allegato 1) sono stati riportati, oltre ai valori misurati in sito ogni 20 cm di avanzamento della punta, i valori della *resistenza penetrometrica alla punta* ( $R_p$ ) (grafico a sinistra), espressi in kg/cm<sup>2</sup>, i valori della *resistenza laterale locale* ( $R_l$ ), sempre espressi in kg/cm<sup>2</sup>, nonché i valori del rapporto fra la *resistenza alla punta* e la *resistenza laterale locale* ( $R_p/R_l$ ) (grafico a destra).

#### 4.1.2 CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E MECCANICO-RESISTIVA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Dall'interpretazione dei dati ricavati dalle prove penetrometriche statiche (All. 1), vengono ricostruite le sequenze litostratigrafiche interpretative del sottosuolo e valutate le caratteristiche meccaniche degli strati attraversati.

##### SEQUENZE LITOSTRATIGRAFICHE

PROVA 1		PROVA 2	
- 0.0 ÷ 0.8 m	Asfalto con sottofondo grossolano.	- 0.0 ÷ 0.8 m	Asfalto con sottofondo grossolano.
- 0.8 ÷ 6.2 m	Argille limose mediamente compatte e limi argillosi mediamente addensati. Rpm=12.2 kg/cm <sup>2</sup> Rp=8÷17 kg/cm <sup>2</sup> .	- 0.8 ÷ 7.4 m	Argille limose mediamente compatte e limi argillosi mediamente addensati. Rpm=11.8 kg/cm <sup>2</sup> Rp=8÷16 kg/cm <sup>2</sup> .
- 6.2 ÷ 11 m	Limi argillosi da poco a mediamente addensati. Rpm=8.9 kg/cm <sup>2</sup> Rp=5÷17 kg/cm <sup>2</sup> .	- 7.4 ÷ 12.6 m	Argille limose da poco a mediamente compatte e limi argillosi poco addensati. Rpm=8.2 kg/cm <sup>2</sup> Rp=4÷15 kg/cm <sup>2</sup> .
- 11 ÷ 14.8 m	Limi argillosi talora sabbiosi mediamente addensati. Rpm=17.3 kg/cm <sup>2</sup> Rp=8÷31 kg/cm <sup>2</sup> .	- 12.6 ÷ 15.0 m	Limi argillosi talora sabbiosi mediamente addensati e argille limose compatte. Rpm=18.7 kg/cm <sup>2</sup> Rp=10÷37 kg/cm <sup>2</sup> .
- 14.8 ÷ 19.6 m	Argille limose da poco a mediamente compatte e limi argillosi mediamente addensati. Rpm=10.1 kg/cm <sup>2</sup> Rp=6÷27 kg/cm <sup>2</sup> .		
- 19.6 ÷ 23.8 m	Argille limose mediamente compatte. Rpm=14.9 kg/cm <sup>2</sup> Rp=11÷19 kg/cm <sup>2</sup> .		
- 23.8 ÷ 25.8 m	Livello di ghiaie sabbiose. Rpd=63-450 kg/cm <sup>2</sup>		

PROVA 3		PROVA 4	
- 0.0 ÷ 1.0 m	Asfalto con sottofondo grossolano.	- 0.0 ÷ 1.0 m	Asfalto con sottofondo grossolano.
- 1.0 ÷ 3.0 m	Argille limose mediamente compatte e limi argillosi mediamente addensati. Rpm=10.8 kg/cm <sup>2</sup> Rp=8÷18 kg/cm <sup>2</sup> .	- 1.0 ÷ 10.0 m	Sequenza di argille limose mediamente compatte e limi argillosi mediamente addensati. Rpm=12.6 kg/cm <sup>2</sup> Rp=6÷16 kg/cm <sup>2</sup> .
- 3.0 ÷ 6.2 m	Argille limose da mediamente compatte a compatte. Rpm=14 kg/cm <sup>2</sup> Rp=10÷24 kg/cm <sup>2</sup> .		
- 6.2 ÷ 12 m	Argille limose da poco a mediamente compatte e limi argillosi poco addensati. Rpm=9.5 kg/cm <sup>2</sup> Rp=6÷13 kg/cm <sup>2</sup> .	- 10.0 ÷ 13.0 m	Argille limose da poco a mediamente compatte e limi argillosi poco addensati. Rpm=9.6 kg/cm <sup>2</sup> Rp=5÷14 kg/cm <sup>2</sup> .
- 12 ÷ 15.0 m	Limi argillosi mediamente addensati e argille limose mediamente compatte. Rpm=12.6 kg/cm <sup>2</sup> Rp=8÷22 kg/cm <sup>2</sup> .	- 13.0 ÷ 15.0 m	Limi argillosi talora sabbiosi mediamente addensati e argille limose med. compatte. Rpm=16.3 kg/cm <sup>2</sup> Rp=8÷29 kg/cm <sup>2</sup> .

Rp/Rpm: range/valore medio della resistenza alla punta statica con valori riferiti alla superficie della punta di perforazione (10 cm<sup>2</sup>).

#### 4.1.3 IDROLOGIA SOTTERRANEA

All'interno dei fori di sondaggio, causa il franamento all'interno delle pareti dei terreni di riporto grossolani superficiali, non è stato possibile misurare il livello di falda.

Da conoscenze bibliografiche si sa che è presente una falda superficiale minore sospesa che permea i primi metri di sottosuolo; mediamente questa falda si colloca intorno ai 2 m di profondità ma risulta anche fortemente oscillante fino anche a circa -1 m di profondità in quanto influenzata dal regime pluviometrico stagionale.

Possono inoltre essere presenti livelli di filtrazione preferenziale e locali sacche d'acqua tra i terreni di riporto e quelli in posto sottostanti. Le strutture fondali in progetto potrebbero quindi intercettare il livello di falda naturale sopra descritto.

### 4.2 MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

#### 4.2.1 TIPOLOGIA D'INTERVENTO

Nel sito in studio, a seguito di accordo operativo ai sensi della L.R. 24/2017 per l'Ambito Produttivo 30.44, è in previsione un progetto di ampliamento di un fabbricato industriale da realizzarsi in loc. Via Morandi n. 25 a Campogalliano.

Per i dati dimensionali di dettaglio dell'intervento si rimanda agli elaborati progettuali.

#### 4.2.2 CARATTERIZZAZIONE DELLE UNITÀ LITOTECNICHE INDIVIDUATE E MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Dall'analisi dei risultati delle indagini eseguite risulta un quadro litostratigrafico sufficientemente omogeneo, caratterizzato, al di sotto di 0.8-1 m di riporto grossolano, da una sequenza di argille limose mediamente compatte e limi argillosi talora sabbiosi da poco a mediamente addensati, con grado di addensamento che non sembra aumentare con la profondità. A 24 m si intercetta un livello grossolano di ghiaie sabbiose discretamente addensate.

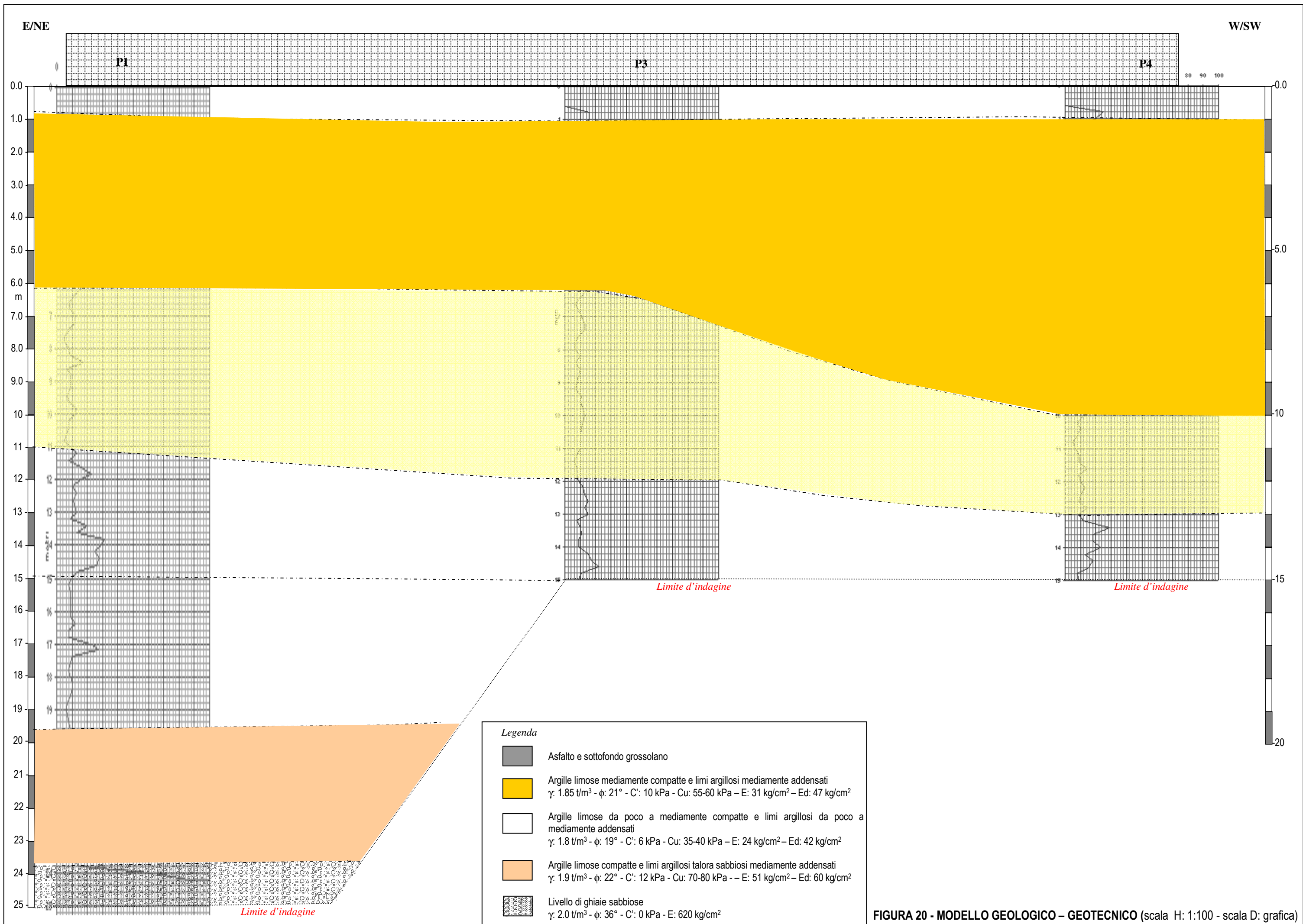
Vengono discretizzati i macrostrati caratterizzati da valori meccanico-resistivi uniformi e composti da litologie sufficientemente omogenee. I parametri geotecnici nominali sono stati ottenuti da una valutazione ponderata dell'interpretazione delle prove penetrometriche statiche.

#### PARAMETRI GEOTECNICI NOMINALI MEDI

Litologia	Strati prof. in m	$\gamma$ (t/mc)	$\phi$ (°)	C' (kPa)	Cu (kPa)	E (kg/cm <sup>2</sup> )	Ed (kg/cm <sup>2</sup> )
-							
Argille limose mediamente compatte e limi argillosi mediamente addensati	0.8/1 – 6.2/10	1.85	21	10	55-60	31	47
Argille limose da poco a mediamente compatte e limi argillosi da poco a mediamente addensati	6.2/10 – 11/13 15 – 19.6	1.8	19	6	35-40	24	42
Argille limose compatte e limi argillosi talora sabbiosi mediamente addensati	11/13 – 15 19.6 – 23.8	1.9	22	12	70-80	51	60
Ghiaie sabbiose	23.8 – 25.8	2.0	36	0	0	620	-

Legenda:  $\gamma$  peso di volume;  $\phi$  angolo d'attrito; C' coesione efficace; Cu coesione non drenata; E modulo elastico; Ed modulo edometrico

Nella pagina seguente viene proposta una sezione litotecnica che rappresenta il modello geologico-geotecnico del sito d'intervento.



### 4.3 PROPOSTA DI TIPOLOGIA DI FONDAZIONE

Quanto riportato in questo capitolo è una proposta che fa seguito alla modellazione geologica del sito; rimane in capo allo strutturista l'individuazione della scelta progettuale definitiva.

Nella scelta della profondità fondale andrà tenuto conto che le NTC2018 prescrivono che il piano di fondazione deve essere situato sotto la coltre di terreno vegetale nonché sotto lo strato interessato dal gelo e da significative variazioni stagionali del contenuto d'acqua (strato attivo).

Una idonea quota d'imposta delle fondazioni è quella che permette di oltrepassare il livello superficiale eterogeneo e di riporto e raggiungere un terreno sufficientemente uniforme sia in termini litologici che resistivi.

Tenuto conto del modello geologico-geotecnico desunto dalle indagini condotte si potranno adottare fondazioni superficiali (plinto - trave rovescia); la quota fondale minima da raggiungere potrà essere compresa tra 1-1.5 m di profondità rispetto al piano del piazzale asfaltato attuale (20/11/2017).

In fase esecutiva, l'apertura degli scavi di fondazione e la definizione delle relative quote di progetto permetterà di quantificare ulteriormente la natura e i caratteri lito-tecnici dei terreni, e, nel caso di disomogeneità latero-verticali non evidenziate dall'indagine geognostica eseguita, di conseguenza affinare eventualmente la profondità.

Tenendo in considerazione quanto sopra riportato, sulla base delle prove penetrometriche eseguite, di seguito si riportano le tabelle con i parametri geotecnici nominali e caratteristici medi che si possono adottare ad una quota d'imposta compresa tra -1/1.5 m rispetto al piano del piazzale asfaltato attuale.

#### PARAMETRI GEOTECNICI **NOMINALI** PER IL TERRENO DI FONDAZIONE – IPOTESI PLINTO

Terreno di fondazione	$\gamma$	$\phi$	C'	Cu
-1.0/1.5 m di prof.	(t/mc)	(°)	(kPa)	(kPa)
	1.85	21	10	55

Legenda:  $\gamma$  peso di volume;  $\phi$  angolo d'attrito; C' coesione efficace; Cu coesione non drenata

L'elaborazione al 5° percentile di distribuzione della media permette di ottenere i valori caratteristici:  $\phi_k, C_{uk}, C_{k}$ .

#### PARAMETRI GEOTECNICI **CARATTERISTICI** DEL TERRENO DI FONDAZIONE - IPOTESI PLINTO

Terreno di fondazione	$\phi_k$	C'k	C <sub>uk</sub>
-1/1.5 m di prof.	(°)	(kPa)	(kPa)
	17.5	6.1	33.9

Nel caso fossero previsti scavi di fondazione in adiacenza a fondazioni esistenti sarà opportuno essere a conoscenza preventivamente della profondità di posa e dei dati dimensionali delle stesse. Dovranno essere condotte verifiche di stabilità delle scarpate e nel caso sostenere adeguatamente e preventivamente le pareti di scavo.

#### 4.4. VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

##### 4.4.1 VERIFICHE CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) E SLV - GEO

In questo capitolo viene svolta una verifica della capacità portante del terreno di fondazione con sisma e in condizioni statiche per fondazione a plinto. Si sottolinea che queste verifiche sono indicative; per le verifiche puntuali e di dettaglio di progetto si rimanda alla Relazione di calcolo dell'Ing. Strutturista.

Si ipotizza una tipologia di fondazione tipo plinto con quota a -1.5 m

Le verifiche vengono condotte con la seguente metodologia e con i seguenti parametri:

##### FONDAZIONE A PLINTO

- metodo	Hansen (1970), come illustrato da Bowles (1991)
- meccanismi di stato	cond. a breve e a lungo termine.
- coefficienti parziali	(NTC 2018 – Tab 6.2.II)
- approccio	approccio 2
- tipo fondazione	plinto (2.5x2.5 m)
- profondità d'imposta	-1.5 m
- ag	0.162 (Cu=1)
- Ss	1.46
- St	1.0

In sintesi l'elaborazione con l'Approccio 2, fornisce i seguenti risultati della capacità portante.

##### CAPACITÀ PORTANTE – SLV (SISMA)

Approccio	Combinazione	Coeff. rid. cap. port.	Resistenza di progetto Rd (Kpa) Ver. lungo termine $\phi, c$ (CD)	Resistenza di progetto Rd (Kpa) Ver. breve termine (CU)
2	(A1+M1+R3)	2.3	76	96

##### CAPACITÀ PORTANTE – SLU (COND. STATICHE)

Approccio	Combinazione	Coeff. rid. cap. port.	Resistenza di progetto Rd (Kpa) Ver. lungo termine $\phi, c$ (CD)	Resistenza di progetto Rd (Kpa) Ver. breve termine (CU)
2	(A1+M1+R3)	2.3	171	106

## **5. VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA**

Tale verifica prevede l'analisi approfondita del quadro conoscitivo riguardante il rischio alluvioni, tramite la consultazione di mappe tematiche riguardanti la pericolosità di alluvioni, gli elementi esposti ed il rischio stesso, predisposte in attuazione dell'art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e del D.Lgs. 49/2010 ed allegate al Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (Regione Emilia Romagna).

È stato così possibile riconoscere l'ambito d'insediamento dell'intervento in oggetto, al fine di suggerire, in caso di necessità, specifici accorgimenti da assumere per rendere l'intervento compatibile con le eventuali criticità idrauliche rilevate nell'analisi preliminare, in base al tipo di pericolosità ed al livello di esposizione dell'intervento di progetto.

Dal punto di vista geomorfologico, la zona in esame si colloca nella media pianura modenese; l'analisi morfologica di dettaglio mostra un'area pianeggiante con debole pendenza verso ne; la quota del sito d'intervento è pari a circa 40 m s.l.m.. Le pendenze medie sono comprese tra 0.2-0.6% (Fig. 1-2).

Nelle aree rurali circostanti i settori urbanizzati, gli elementi naturali sono scarsi: si rilevano nella campagna circostante gli argini dei canali d'irrigazione e delle scarpate stradali degli assi viari rilevati rispetto al piano campagna naturale.

Dal punto di vista idraulico, l'area in esame, posta in sinistra idraulica del Fiume Secchia, da cui dista circa 2.3 km in direzione NW, appartiene alla porzione di territorio influenzata direttamente da quest'asse di drenaggio principale. Tra il F. Secchia e l'area in studio non sono presenti altri elementi del reticolo secondario di pianura.

A circa 600 m a est corre in direzione S-N l'asse autostradale A22 del Brennero, rilevato antropico morfologico significativo.

## 5.1 STRUMENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI

Strumento cardine per la valutazione e la gestione del rischio alluvioni sono le MAPPE della pericolosità e del rischio alluvioni redatte dalla Regione Emilia Romagna ai sensi dell'art. 6 della D.Lgs. 49/2010 in attuazione dell'art. 6 Dir. 2007/60/CE.

Le **mappe di pericolosità** rappresentano l'estensione potenziale delle inondazioni causate dai corsi d'acqua (naturali ed artificiali e dal mare, con riferimento a tre scenari così individuati: alluvioni rare, alluvioni poco frequenti o alluvioni frequenti.

Le **mappe del rischio** indicano la presenza degli elementi potenzialmente esposti quali popolazioni coinvolte, servizi, infrastrutture e attività economiche, che ricadono nelle aree allagabili e la corrispondente rappresentazione in 4 classi da molto elevata (R4) a moderata o nulla (R1).

Il quadro conoscitivo relativo alle aree potenzialmente inondabili per effetto dell'esondazione dei corsi d'acqua naturali delineato nelle mappe deriva sostanzialmente dai contenuti dei Piani di Assetto Idrogeologico vigenti (PAI) e dagli studi di approfondimento ad essi propedeutici. Le prime mappe di pericolosità e del rischio redatte conformemente a quanto richiesto dalla Direttiva 2007/60/CE e dal D.Lgs. 49/2010, sono state ultimate entro il 22 dicembre 2013.

A partire dalle mappe di pericolosità e del rischio alluvioni le succitate direttive chiedono di dotarsi di uno specifico Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) il cui obiettivo è quello di ridurre le conseguenze negative di simili fenomeni nei confronti della salute umana, del territorio, dei beni, dell'ambiente, del patrimonio culturale e delle attività economiche e sociali.

Il piano riassume in sé tutti gli aspetti della gestione del rischio alluvioni ed in particolare è incentrato sulla prevenzione, protezione e preparazione, comprese le previsioni di alluvioni e i sistemi di allertamento.

Nello specifico del bacino del Fiume Po, a causa della rilevante estensione e la peculiarità e diversità dei processi di alluvione sul suo reticolo idrografico, si è resa necessaria la mappatura della pericolosità secondo approcci metodologici differenziati per i diversi ambiti territoriali, così definiti:

- reticolo principale di pianura (RP);
- reticolo secondario collinare e montano (RSCM);
- reticolo secondario di pianura (RSP);
- aree costiere marine (ACM).



**5.2 INQUADRAMENTO AREA D'INTERVENTO**

Vengono di seguito riportati stralci delle mappe di pericolosità e mappe di rischio riguardanti l'area in esame, al fine di caratterizzare con precisione l'area di intervento.

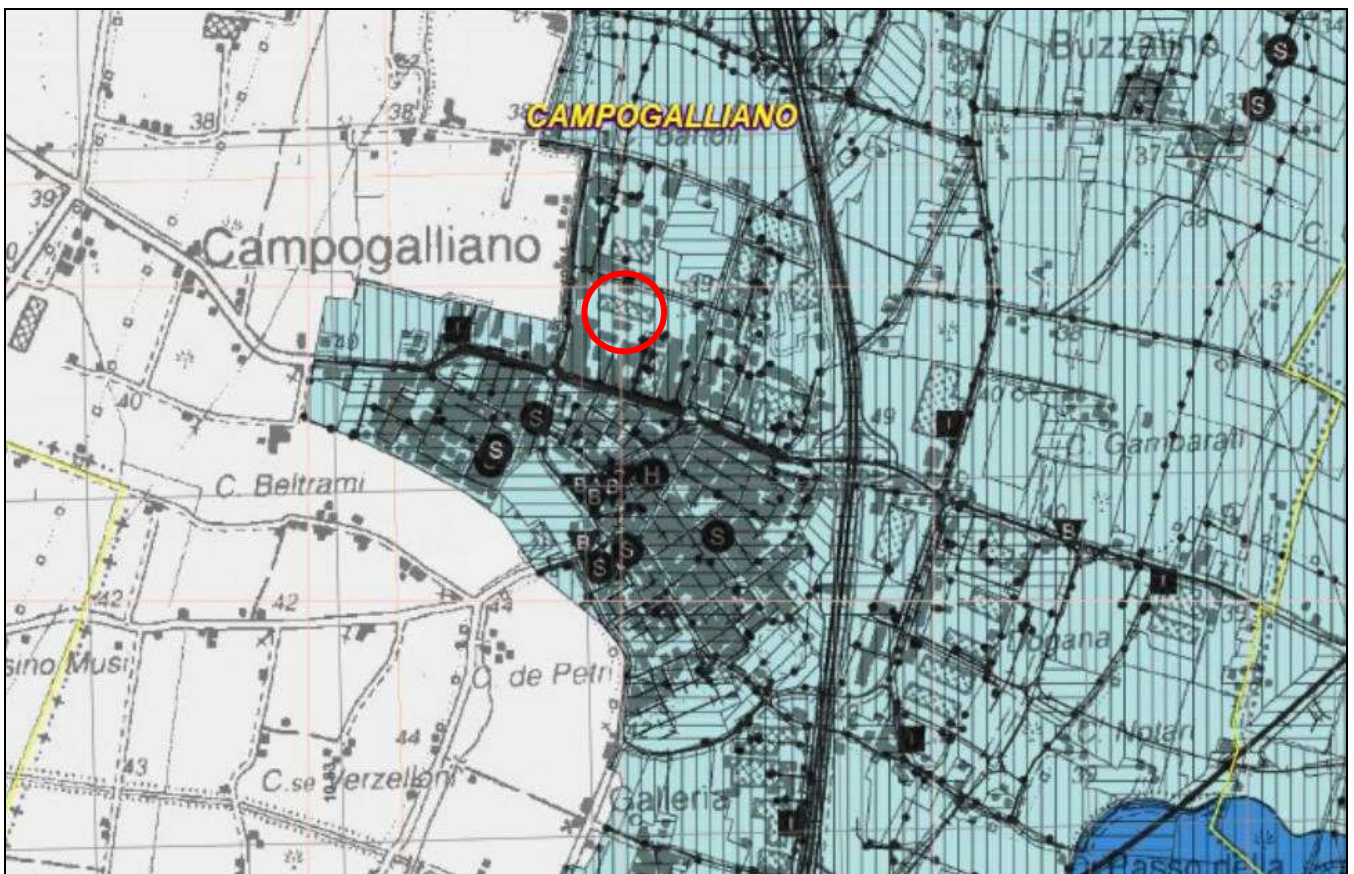
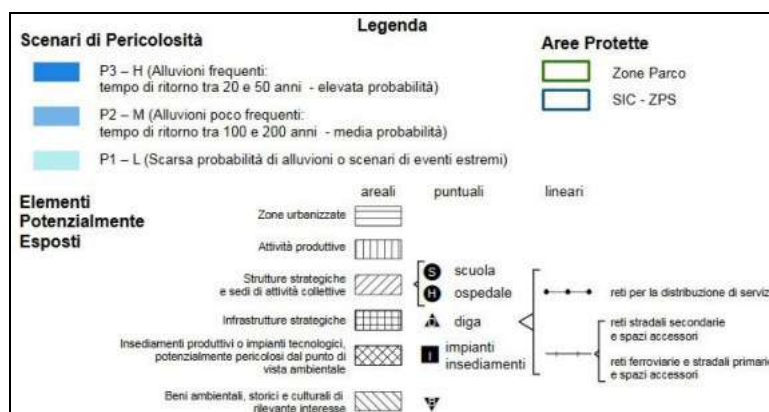


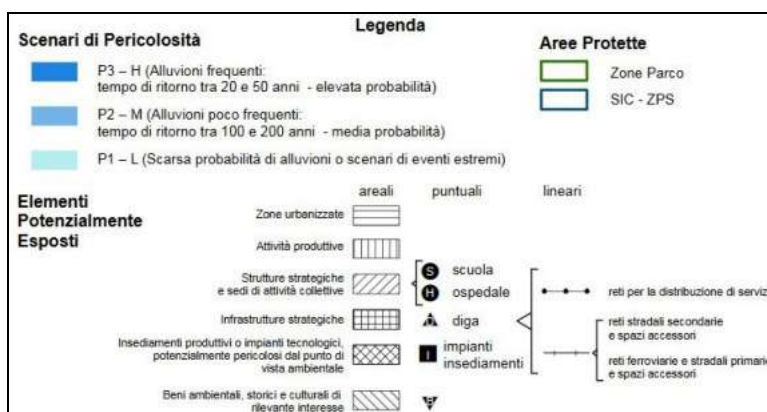
FIGURA 20 – Estratto dalla tavola RP\_RSCM\_Tavola 201SE “Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti” - scala grafica



Per quanto riguarda la mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti riguardanti il reticolo naturale principale e secondario, l'area ricade nello scenario di pericolosità P1 – L cioè “Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi”. Nelle aree interessate da alluvioni rare (aree P1), si devono applicare le limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia C delle norme del Titolo II del PAI (art. 31 che al comma 4. cita: “Compete agli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti per i territori ricadenti in fascia C.”) <<omissis>>, ovvero le equivalenti norme di cui al PTCP avente valore ed effetto di PAI ai sensi delle intese stipulate.



FIGURA 21: Estratto dalla tavola RSP\_Tavola 201NE “Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti” - scala grafica



Per quanto riguarda la mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti riguardanti il reticolo secondario di pianura l'area ricade all'interno dello scenario di pericolosità P2 – M cioè “Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni – media probabilità”.

Il reticolo secondario di pianura (RSP) è costituito dai corsi d'acqua secondari di pianura gestiti dai Consorzi di bonifica e irrigui nella medio-bassa pianura padana.

La perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili è stata effettuata con riferimento agli scenari di alluvione frequente (P3) e poco frequente (P2) previsti dalla Direttiva.

Il metodo di individuazione delle aree soggette ad alluvioni è di tipo prevalentemente storico – inventariale e si è basato sugli effetti di eventi avvenuti generalmente negli ultimi 20-30 anni in quanto ritenuti maggiormente rappresentativi delle condizioni di pericolosità connesse con l'attuale assetto del reticolo di bonifica e del territorio.

A questa tipologia di aree si aggiungono limitate zone individuate mediante modelli idrologico – idraulici e aree delimitate sulla base del giudizio esperto degli enti gestori in relazione alla incapacità, più volte riscontrata, del reticolo di far fronte ad eventi di precipitazione caratterizzati da tempi di ritorno superiori (in media) a 50 anni (individuato come tempo di ritorno massimo relativo allo scenario P3). Stante le caratteristiche proprie del reticolo, nello scenario di alluvione poco frequente (P2), l'inviluppo delle aree potenzialmente allagabili, coincide con gran parte dei settori di pianura dei bacini idrografici, ha carattere indicativo e necessita di ulteriori approfondimenti di tipo conoscitivo. Ne deriva che l'estensione delle aree interessate da alluvioni rare (P1) è ricompresa, di fatto, nello scenario P2.

In tali scenari di pericolosità P2 sono da garantire misure di riduzione della vulnerabilità dei beni e delle strutture esposte, ai fini della tutela della vita umana, nonché misure volte al rispetto dei principi dell'invarianza idraulica, finalizzate a salvaguardare la capacità ricettiva del sistema idrico e a contribuire alla difesa idraulica del territorio.

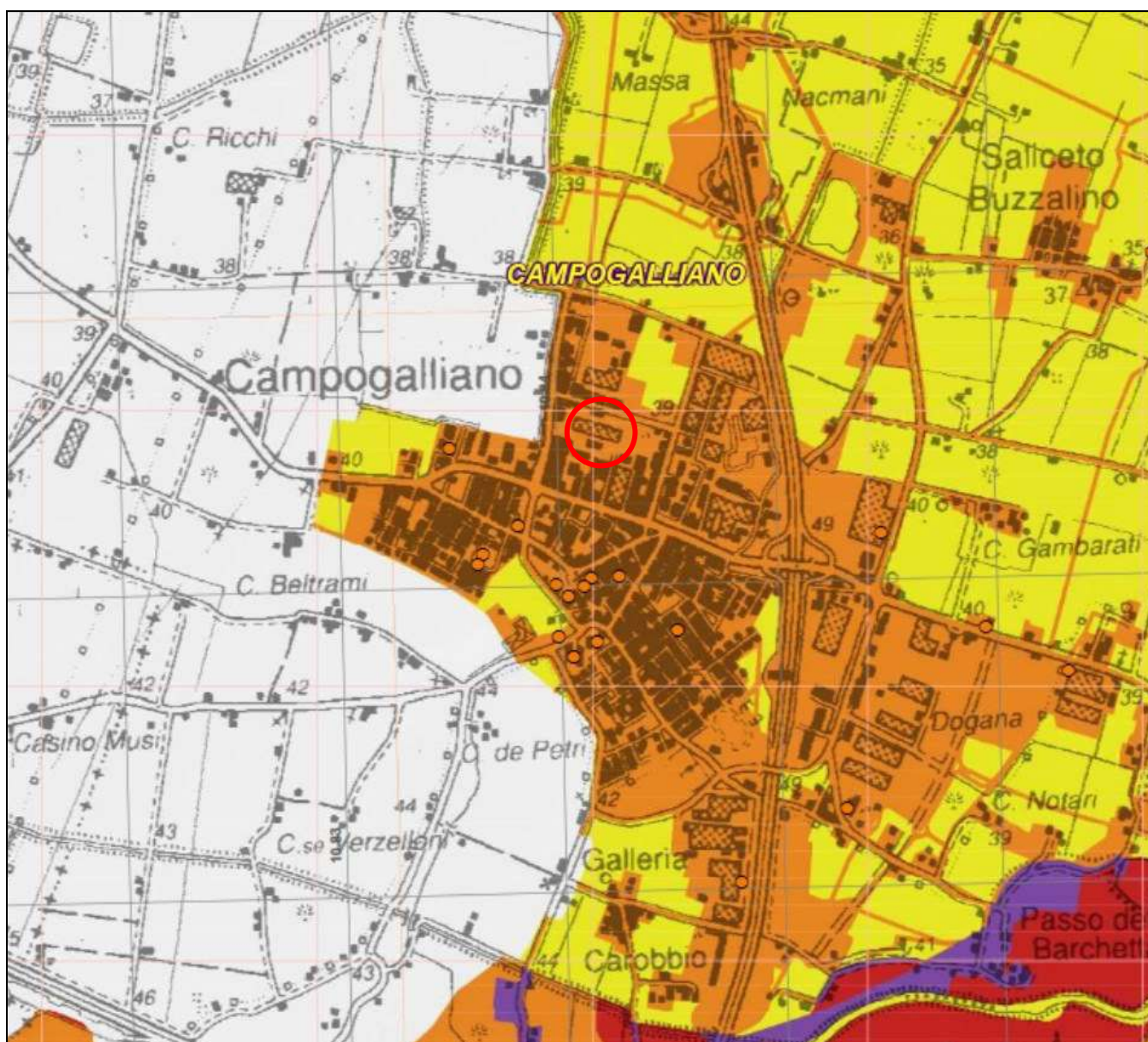


FIGURA 22 - Estratto dalla tavola RP\_RSCM\_Tavola 201NE "Mappa del Rischio Potenziale" - scala grafica

Classi di Rischio	puntuali	lineari	areali
R1 (rischio moderato o nullo)	●	—	■
R2 (rischio medio)	●	—	■
R3 (rischio elevato)	●	—	■
R4 (rischio molto elevato)	●	—	■

Per quanto riguarda la mappa del rischio alluvioni, l'area in esame ricade in classe di rischio medio.

Dal punto di vista del rischio derivato dal reticolo principale non sono presenti particolari criticità tali da richiedere particolari accorgimenti in fase progettuale.

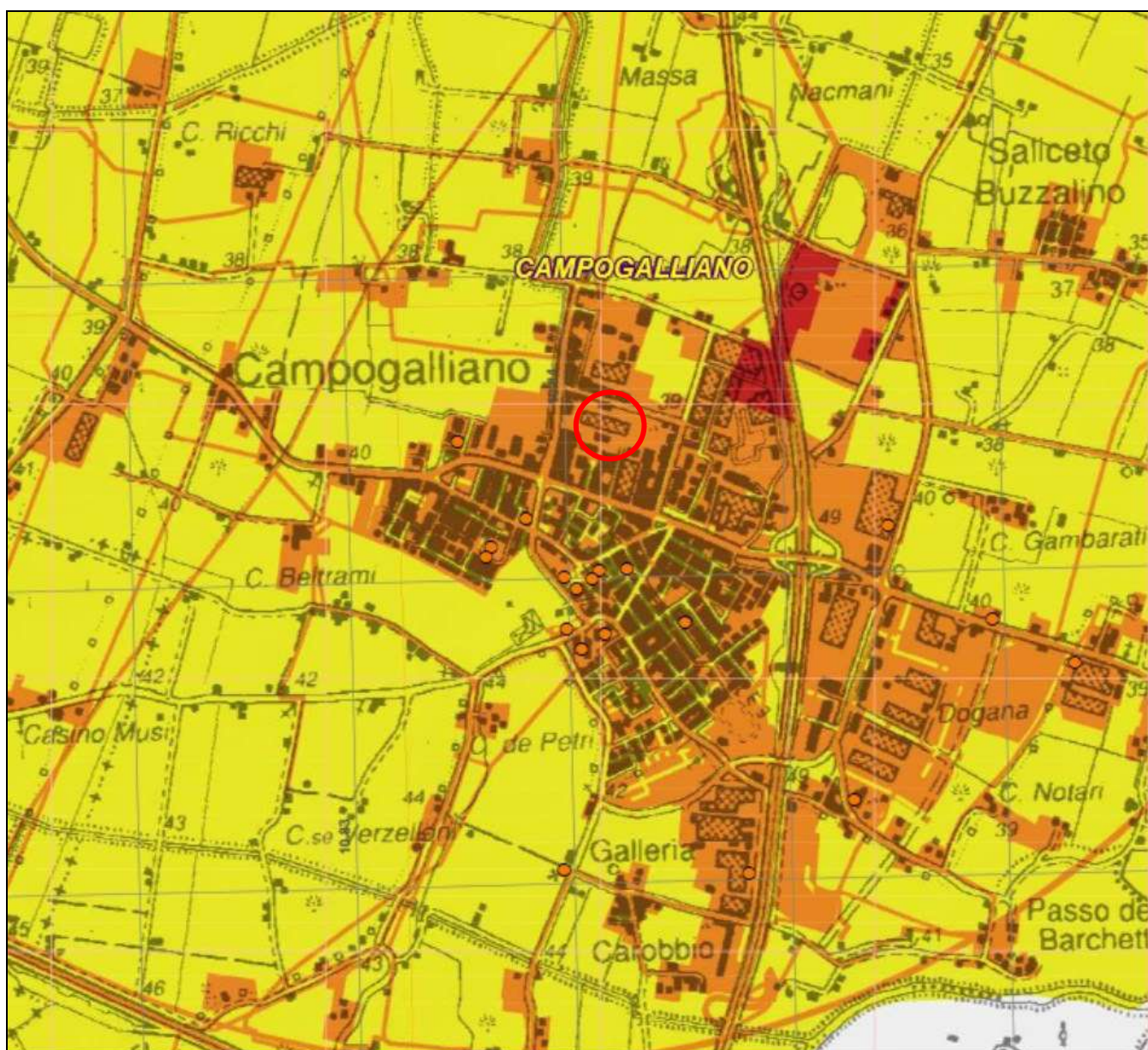


FIGURA 13 - Estratto dalla tavola RSP\_Tavola 183SE "Mappa del Rischio Potenziale" - scala grafica



Per quanto riguarda la mappa del rischio alluvioni derivanti dal Reticolo Secondario di Pianura, l'area in esame ricade in classe di rischio medio.

### 5.3 RIDUZIONE DELLA VULNERABILITA' - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Per quanto riguarda la pericolosità rispetto al reticolo principale l'area ricade nello scenario di pericolosità P1 cioè "Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi"; mentre in relazione al reticolo secondario l'area ricade all'interno dello scenario di pericolosità P2 cioè "Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni – media probabilità".

In tali scenari di pericolosità P2 sono da garantire misure di riduzione della vulnerabilità dei beni e delle strutture esposte, ai fini della tutela della vita umana, nonché misure volte al rispetto dei principi dell'invarianza idraulica, finalizzate a salvaguardare la capacità ricettiva del sistema idrico e a contribuire alla difesa idraulica del territorio.

Dal punto di vista del rischio derivato dal reticolo principale non sono presenti particolari criticità tali da richiedere particolari accorgimenti in fase progettuale.

Nell'ambito dei procedimenti inerenti l'accordo operativo ai sensi della L.R. 24/2017 per l'Ambito Produttivo 30.44 e del conseguente Progetto di ampliamento del fabbricato industriale da realizzarsi in Via Morandi n. 25 a Campogalliano (Mo), si riportano comunque di seguito alcuni accorgimenti che devono/possono essere utilizzati per la mitigazione del rischio e che potranno essere assunti in sede di progettazione al fine di ridurre ulteriormente la vulnerabilità degli interventi con le condizioni di pericolosità di cui al quadro conoscitivo esposto nei paragrafi precedenti.

1. Il piano terra del fabbricato industriale deve essere ad una quota minima sufficiente a ridurre la vulnerabilità dello stesso; tale quota sarà adeguata al livello di pericolosità ed esposizione del sito.
2. Non sono previsti piani interrati o seminterrati; in caso di varianti, i vani interrati dovranno essere dotati di sistemi di autoprotezione quali: pareti e solaio a tenuta, sistemi di sollevamento delle acque, scale interne di collegamento ai piani non allagabili, dislocazione degli impianti elettrici affinché non risultino vulnerabili in fase di allagamento, rampe di accesso allestiti con sistemi di ritenuta.
3. Favorire il deflusso e/o assorbimento delle acque da parte del suolo, con idonee pendenze ed evitando zone di possibili ristagni tali da aggravare le condizioni di rischio delle aree circostanti.

## 6. CONSIDERAZIONI FINALI

Nell'area in esame (Fig. 1-2), è stato eseguito uno studio volto alla ricostruzione degli aspetti geologici sismici e idraulici a corredo dell'accordo operativo ai sensi della L.R. 24/2017 per l'Ambito Produttivo 30.44, e del progetto di ampliamento di un fabbricato industriale da realizzarsi in loc. Via Morandi n. 25 a Campogalliano (Mo).

Le indagini svolte hanno messo in evidenza i seguenti aspetti:

- il sottosuolo del sito d'intervento è caratterizzato da un quadro litostratigrafico sufficientemente omogeneo, caratterizzato, al di sotto di 0.8-1 m di riporto grossolano, da una sequenza di argille limose mediamente compatte e limi argillosi talora sabbiosi da poco a mediamente addensati, con grado di addensamento che non sembra aumentare con la profondità. A 24 m si intercetta un livello grossolano di ghiaie sabbiose discretamente addensate.
- Per quanto riguarda la conformazione e il regime idrologico del sottosuolo, all'interno dei fori di sondaggio, causa il franamento all'interno delle pareti dei terreni di riporto grossolani superficiali, non è stato possibile misurare il livello di falda. Da conoscenze bibliografiche si sa che è presente una falda superficiale minore sospesa che permea i primi metri di sottosuolo; mediamente questa falda si colloca intorno ai 2 m di profondità ma risulta anche fortemente oscillante fino anche a circa -1 m di profondità in quanto influenzata dal regime pluviometrico stagionale. Possono inoltre essere presenti livelli di filtrazione preferenziale e locali sacche d'acqua tra i terreni di riporto e quelli in posto sottostanti. Le strutture fondali in progetto potrebbero quindi intercettare il livello di falda naturale sopra descritto.
- Le indagini sismiche eseguite hanno permesso di ottenere un modello di sottosuolo riconducibile alla classificazione semplificata tipica delle categorie di sottosuolo definite dalle NTC 2018. Sulla base dei dati ottenuti (Masw+Hvsr) è possibile classificare il suolo di fondazione nella Categoria C.
- L'accelerazione massima su suolo rigido e pari a  $a_g = 0.162$  ( $C_u=1.0$ ).
- Allo stato limite ultimo (SLV) l'ampl. stratigrafica  $S_s=1.46$ , l'ampl. topografica  $S_t=1$ .
- L'indagine sismica HVSR mostra un picco di risonanza a bassa frequenza (0.91 Hz), attribuibile ad un passaggio di rigidità profondo, oltre 100 m di profondità.
- La verifica alla liquefazione (approfondimento di 3° livello) mette in evidenza come le stratigrafie delle prove non presentano strati liquefacibili.
- Per gli effetti di sito, si avrà amplificazione sismica per caratteristiche litologiche.
- Nelle Carte dello Studio di Microzonazione Sismica l'area di Comparto non rientra nelle zone suscettibili di instabilità ma risulta "stabile suscettibile di amplificazioni locali".
- I coefficienti di amplificazione FA ottenuti con le nuove tabelle regionali che aggiornano quelle della DAL RER 112/2007 risultano:  $FA_{pga}=1.7$  -  $FA_{0.1-0.5s}=1.90$  -  $FA_{0.5-1s}=2.7$  -  $FA_{0.5-1.5s}=2.9$

Per quanto riguarda la verifica di compatibilità idraulica è stata svolta un'analisi approfondita del quadro conoscitivo riguardante il rischio alluvioni, tramite la consultazione di mappe tematiche riguardanti la pericolosità di alluvioni, gli elementi esposti ed il rischio stesso. L'analisi ha permesso di individuare gli specifici accorgimenti da assumere per rendere l'intervento compatibile con le criticità idrauliche rilevate (vedi cap. 5.3).

Una idonea quota d'imposta delle fondazioni è quella che permette di oltrepassare il livello superficiale eterogeneo e di riporto e raggiungere un terreno sufficientemente uniforme sia in termini litologici che resistivi.

Tenuto conto del modello geologico-geotecnico desunto dalle indagini condotte si potranno adottare fondazioni superficiali (plinto - trave rovescia); la quota fondale minima da raggiungere potrà essere compresa tra 1-1.5 m di profondità rispetto al piano del piazzale asfaltato attuale (20/11/2017).

In fase esecutiva, l'apertura degli scavi di fondazione e la definizione delle relative quote di progetto permetterà di quantificare puntualmente la natura e i caratteri lito-tecnici dei terreni, e, nel caso di disomogeneità latero-verticali non evidenziate dall'indagine geognostica eseguita, di conseguenza affinare eventualmente la profondità.

Si consiglia di eseguire gli scavi fondali durante la stagione asciutta.

La posa in opera delle fondazioni dovrà avvenire in rapida successione alle opere di scavo, anche previa regolarizzazione e protezione del piano di posa con getto di magrone, così da evitare il decadimento delle caratteristiche resistive e geomeccaniche dei terreni per rilassamento/detensionamento.

In caso di varianti sostanziali a quanto previsto sarà cura eseguire le comunicazioni di merito.

Si consiglia la presenza dello scrivente all'inizio dei lavori di scavo delle fondazioni, al fine di acquisire quegli ulteriori elementi di conoscenza, a priori non prevedibili e per avere conferma delle ipotesi fatte.

Dalle considerazioni sopra esposte, e nel rispetto delle prescrizioni indicate, si ritiene l'intervento edificatorio in progetto compatibile con le caratteristiche geologiche-sismiche e di compatibilità idraulica dell'area.

Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti





## **ALLEGATO - 1 -**

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

TABULATO DI CALCOLO PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.)

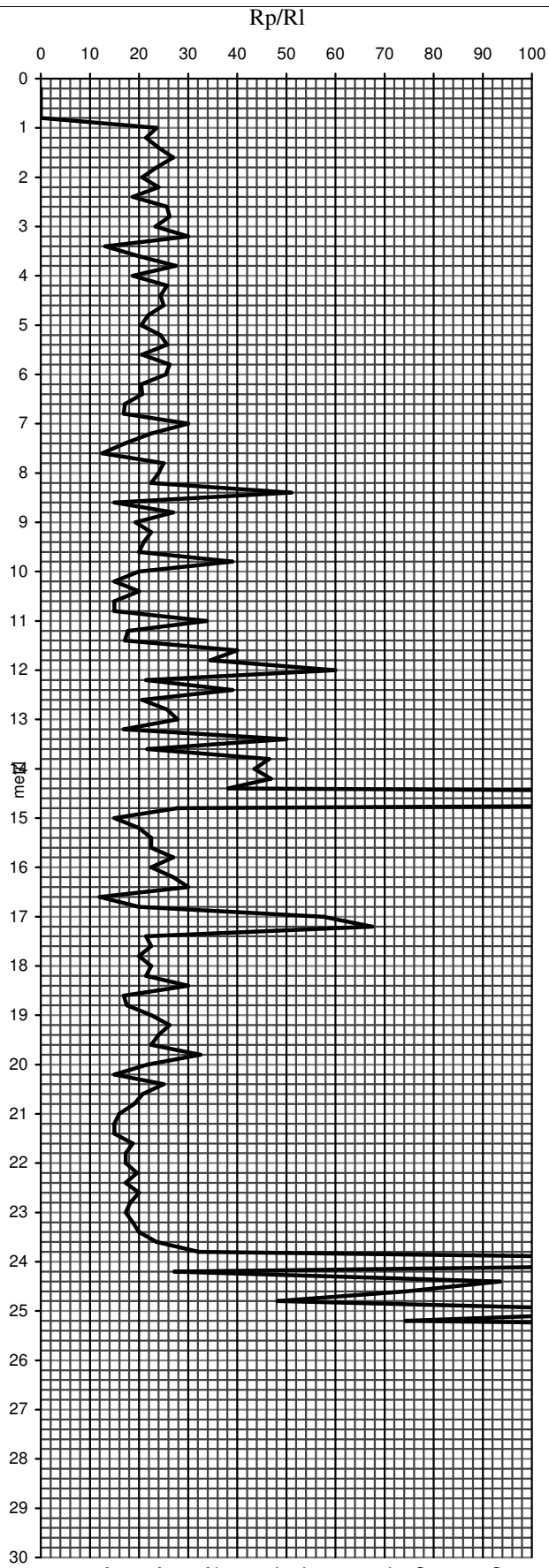
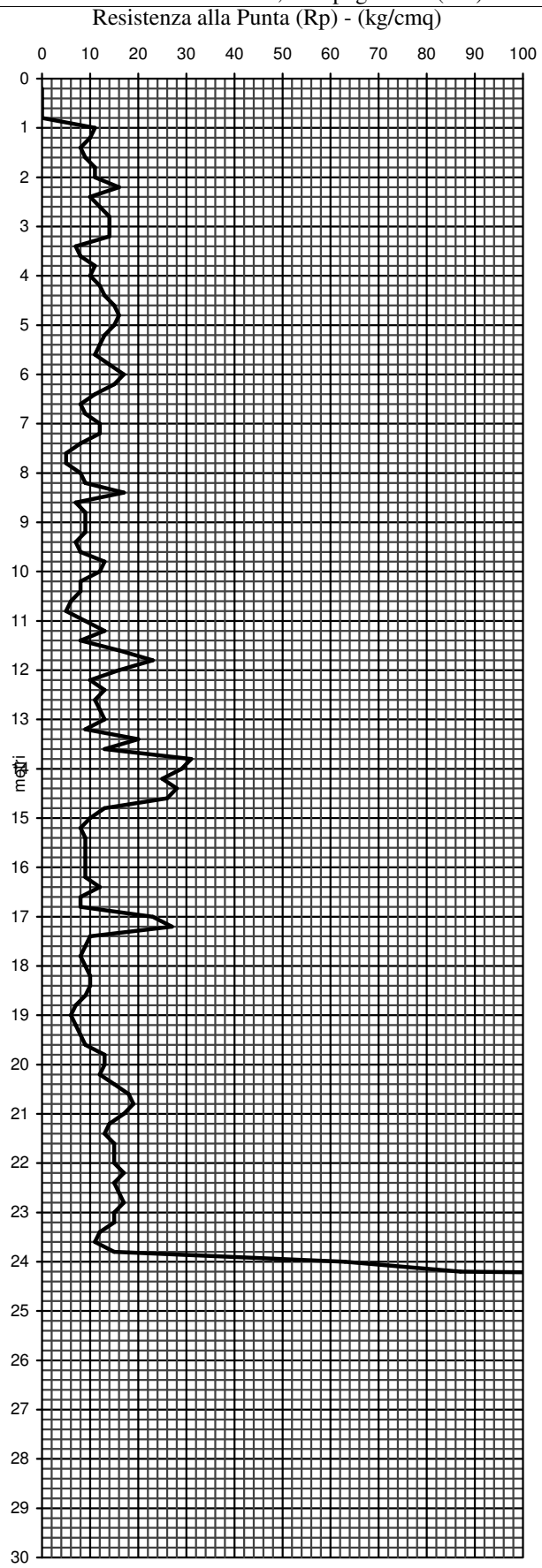
Prova n°: **1** Quota (m): - Data: 20/11/2017  
 Committenza: -  
 Località: Via Morandi, Campogalliano (Mo)

Prof. (m)	P (kg/cmq)	P+L (kg/cmq)	Rp (kg/cmq)	RI (kg/cmq)	Rp/RI	FR% (RI/Rp*100)	Rpm (kg/cmq)	Falda (m)	Descrizione litologica	Stratigrafia
0.2			0.00	-	-	-		-	Asfalto con sottofondo grossolano	
0.4			0.00	-	-		-			
0.6			0.00	-	-		-			
0.8			0.00	-	-		-			
1.0	11	18	11.00	0.47	24	4.2		-	Argille limose mediamente compatte e limi argillosi mediamente addensati	
1.2	10	17	10.00	0.47	21	4.7	^^^^^^^^			
1.4	8	13	8.00	0.33	24	4.2	^^^^^^^^			
1.6	9	14	9.00	0.33	27	3.7	-			
1.8	11	18	11.00	0.47	24	4.2	-			
2.0	11	19	11.00	0.53	21	4.8	-			
2.2	16	26	16.00	0.67	24	4.2	-			
2.4	10	18	10.00	0.53	19	5.3	-			
2.6	12	19	12.00	0.47	26	3.9	-			
2.8	14	22	14.00	0.53	26	3.8	-			
3.0	14	23	14.00	0.60	23	4.3	-			
3.2	14	21	14.00	0.47	30	3.3	-			
3.4	7	15	7.00	0.53	13	7.6	-			
3.6	8	14	8.00	0.40	20	5.0	<b>12.2</b>			
3.8	11	17	11.00	0.40	28	3.6	-			
4.0	10	18	10.00	0.53	19	5.3	-			
4.2	12	19	12.00	0.47	26	3.9	-			
4.4	13	21	13.00	0.53	24	4.1	-			
4.6	15	24	15.00	0.60	25	4.0	-			
4.8	16	27	16.00	0.73	22	4.6	-			
5.0	15	26	15.00	0.73	20	4.9	-			
5.2	13	21	13.00	0.53	24	4.1	-			
5.4	12	19	12.00	0.47	26	3.9	-			
5.6	11	19	11.00	0.53	21	4.8	-			
5.8	14	22	14.00	0.53	26	3.8	-			
6.0	17	27	17.00	0.67	26	3.9	-			
6.2	15	26	15.00	0.73	20	4.9	-			
6.4	11	19	11.00	0.53	21	4.8		-	Limi argillosi da poco a mediamente addensati	
6.6	8	15	8.00	0.47	17	5.8	-			
6.8	9	17	9.00	0.53	17	5.9	-			
7.0	12	18	12.00	0.40	30	3.3	-			
7.2	12	20	12.00	0.53	23	4.4	-			
7.4	8	15	8.00	0.47	17	5.8	-			
7.6	5	11	5.00	0.40	13	8.0	-			
7.8	5	8	5.00	0.20	25	4.0	-			
8.0	8	13	8.00	0.33	24	4.2	-			
8.2	9	15	9.00	0.40	23	4.4	-			
8.4	17	22	17.00	0.33	51	2.0	-			
8.6	7	14	7.00	0.47	15	6.7	<b>8.9</b>			
8.8	9	14	9.00	0.33	27	3.7	-			
9.0	9	16	9.00	0.47	19	5.2	-			
9.2	9	15	9.00	0.40	23	4.4	-			
9.4	7	12	7.00	0.33	21	4.8	-			
9.6	8	14	8.00	0.40	20	5.0	-			
9.8	13	18	13.00	0.33	39	2.6	-			
10.0	12	21	12.00	0.60	20	5.0	-			
10.2	8	16	8.00	0.53	15	6.7	-			
10.4	8	14	8.00	0.40	20	5.0	-			
10.6	6	12	6.00	0.40	15	6.7	-			
10.8	5	10	5.00	0.33	15	6.7	-			
11.0	9	13	9.00	0.27	34	3.0	-			
11.2	13	24	13.00	0.73	18	5.6		-	Limi argillosi talora sabbiosi mediamente addensati	
11.4	8	15	8.00	0.47	17	5.8	-			
11.6	16	22	16.00	0.40	40	2.5	-			
11.8	23	33	23.00	0.67	35	2.9	-			
12.0	16	20	16.00	0.27	60	1.7	-			
12.2	10	17	10.00	0.47	21	4.7	-			
12.4	13	18	13.00	0.33	39	2.6	-			
12.6	11	19	11.00	0.53	21	4.8	-			
12.8	12	19	12.00	0.47	26	3.9	<b>17.3</b>			
13.0	13	20	13.00	0.47	28	3.6	-			
13.2	9	17	9.00	0.53	17	5.9	-			
13.4	20	26	20.00	0.40	50	2.0	-			

13.6	13	22	13.00	0.60	22	4.6	-		
13.8	31	41	31.00	0.67	47	2.2	-		
14.0	29	39	29.00	0.67	44	2.3	-		
14.2	25	33	25.00	0.53	47	2.1	-		
14.4	28	39	28.00	0.73	38	2.6	-		
14.6	26	27	26.00	0.07	390	0.3	-		
14.8	13	20	13.00	0.47	28	3.6	-		
15.0	10	20	10.00	0.67	15	6.7	-		
15.2	8	14	8.00	0.40	20	5.0	-		
15.4	9	15	9.00	0.40	23	4.4	-		
15.6	9	15	9.00	0.40	23	4.4	-		
15.8	9	14	9.00	0.33	27	3.7	-		
16.0	9	15	9.00	0.40	23	4.4	-		
16.2	9	14	9.00	0.33	27	3.7	-		
16.4	12	18	12.00	0.40	30	3.3	-		
16.6	8	18	8.00	0.67	12	8.3	-		
16.8	8	14	8.00	0.40	20	5.0	-		
17.0	23	29	23.00	0.40	58	1.7	-		
17.2	27	33	27.00	0.40	68	1.5	10.1		
17.4	10	17	10.00	0.47	21	4.7	-		
17.6	9	15	9.00	0.40	23	4.4	-		
17.8	8	14	8.00	0.40	20	5.0	-		
18.0	9	15	9.00	0.40	23	4.4	-		
18.2	10	17	10.00	0.47	21	4.7	-		
18.4	10	15	10.00	0.33	30	3.3	-		
18.6	9	17	9.00	0.53	17	5.9	-		
18.8	7	13	7.00	0.40	18	5.7	-		
19.0	6	10	6.00	0.27	23	4.4	-		
19.2	7	11	7.00	0.27	26	3.8	-		
19.4	8	13	8.00	0.33	24	4.2	-		
19.6	9	15	9.00	0.40	23	4.4	-		
19.8	13	19	13.00	0.40	33	3.1	-		
20.0	13	22	13.00	0.60	22	4.6	-		
20.2	12	24	12.00	0.80	15	6.7	-		
20.4	15	24	15.00	0.60	25	4.0	-		
20.6	18	31	18.00	0.87	21	4.8	-		
20.8	19	34	19.00	1.00	19	5.3	-		
21.0	17	33	17.00	1.07	16	6.3	-		
21.2	14	28	14.00	0.93	15	6.7	-		
21.4	13	26	13.00	0.87	15	6.7	-		
21.6	15	27	15.00	0.80	19	5.3	14.9		
21.8	15	28	15.00	0.87	17	5.8	-		
22.0	15	28	15.00	0.87	17	5.8	-		
22.2	17	30	17.00	0.87	20	5.1	-		
22.4	15	28	15.00	0.87	17	5.8	-		
22.6	16	28	16.00	0.80	20	5.0	-		
22.8	17	31	17.00	0.93	18	5.5	-		
23.0	15	28	15.00	0.87	17	5.8	-		
23.2	15	27	15.00	0.80	19	5.3	-		
23.4	12	21	12.00	0.60	20	5.0	-		
23.6	11	18	11.00	0.47	24	4.2	-		
23.8	15	22	15.00	0.47	32	3.1	-		
24.0	63	68	63.00	0.33	189	0.5	-		
24.2	87	135	87.00	3.20	27	3.7	-		
24.4	293	340	293.00	3.13	94	1.1	-		
24.6	208	250	208.00	2.80	74	1.3	-		
24.8	122	160	122.00	2.53	48	2.1	245.0		
25.0	224	250	224.00	1.73	129	0.8	-		
25.2	208	250	208.00	2.80	74	1.3	-		
25.4	395	420	395.00	1.67	237	0.4	-		
25.6	400	430	400.00	2.00	200	0.5	-		
25.8	450	480	450.00	2.00	225	0.4	-		

PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.)

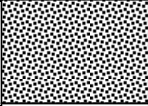
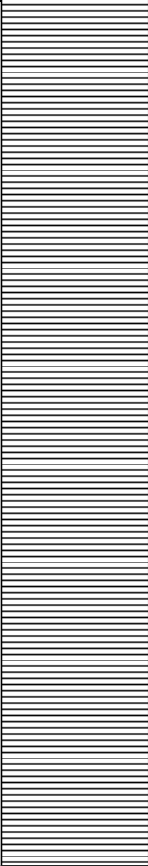
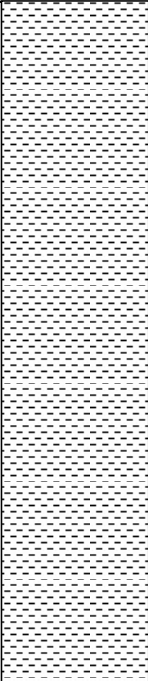
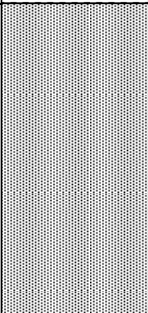
Prova n°: **1** Quota (m): - Data: 20/11/2017  
Committente: -  
Località: Via Morandi, Campogalliano (Mo)



Legenda: Ao argille organiche; A argille; Al argille limose; La-L limi argillosi - limi; Ls-S limi sabbiosi-sabbie; S sabbie

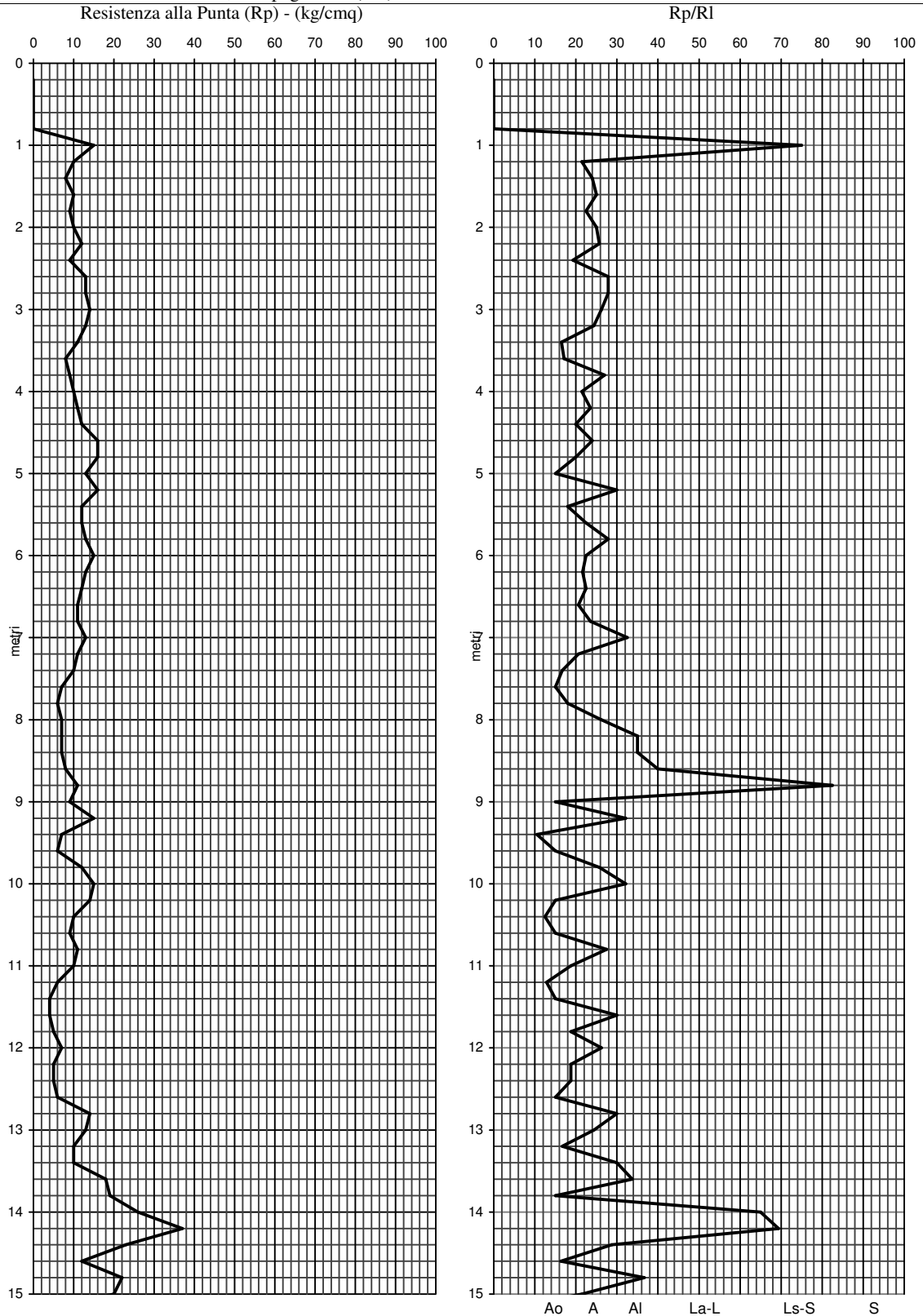
TABULATO DI CALCOLO PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.)

Prova n°: 2 Quota (m): - Data: 20/11/2017  
 Committenza: -  
 Località: Via Morandi, Campogalliano (Mo)

Prof. (m)	P (kg/cmq)	P+L (kg/cmq)	Rp (kg/cmq)	RI (kg/cmq)	Rp/RI	FR% (RI/Rp*100)	Rpm (kg/cmq)	Falda (m)	Descrizione litologica	Stratigrafia
0.2			0.00	-	-	-		-	Asfalto con sottofondo grossolano	
0.4			0.00	-	-	-				
0.6			0.00	-	-	-				
0.8			0.00	-	-	-				
1.0	15	18	15.00	0.20	75	1.3		-	Argille limose mediamente compatte e limi argillosi mediamente addensati	
1.2	10	17	10.00	0.47	21	4.7	~~~~~			
1.4	8	13	8.00	0.33	24	4.2	~~~~~			
1.6	10	16	10.00	0.40	25	4.0	-			
1.8	9	15	9.00	0.40	23	4.4	-			
2.0	10	16	10.00	0.40	25	4.0	-			
2.2	12	19	12.00	0.47	26	3.9	-			
2.4	9	16	9.00	0.47	19	5.2	-			
2.6	13	20	13.00	0.47	28	3.6	-			
2.8	13	20	13.00	0.47	28	3.6	-			
3.0	14	22	14.00	0.53	26	3.8	-			
3.2	13	21	13.00	0.53	24	4.1	-			
3.4	11	21	11.00	0.67	17	6.1	-			
3.6	8	15	8.00	0.47	17	5.8	-			
3.8	9	14	9.00	0.33	27	3.7	-			
4.0	10	17	10.00	0.47	21	4.7	11.8			
4.2	11	18	11.00	0.47	24	4.2	-			
4.4	12	21	12.00	0.60	20	5.0	-			
4.6	16	26	16.00	0.67	24	4.2	-			
4.8	16	28	16.00	0.80	20	5.0	-			
5.0	13	26	13.00	0.87	15	6.7	-			
5.2	16	24	16.00	0.53	30	3.3	-			
5.4	12	22	12.00	0.67	18	5.6	-			
5.6	12	20	12.00	0.53	23	4.4	-			
5.8	13	20	13.00	0.47	28	3.6	-			
6.0	15	25	15.00	0.67	23	4.4	-			
6.2	13	22	13.00	0.60	22	4.6	-			
6.4	12	20	12.00	0.53	23	4.4	-			
6.6	11	19	11.00	0.53	21	4.8	-			
6.8	11	18	11.00	0.47	24	4.2	-			
7.0	13	19	13.00	0.40	33	3.1	-			
7.2	11	19	11.00	0.53	21	4.8	-			
7.4	10	19	10.00	0.60	17	6.0	-			
7.6	7	14	7.00	0.47	15	6.7	-	Argille limose da poco a mediamente compatte e limi argillosi poco addensati		
7.8	6	11	6.00	0.33	18	5.6	-			
8.0	7	11	7.00	0.27	26	3.8	-			
8.2	7	10	7.00	0.20	35	2.9	-			
8.4	7	10	7.00	0.20	35	2.9	-			
8.6	8	11	8.00	0.20	40	2.5	-			
8.8	11	13	11.00	0.13	83	1.2	-			
9.0	9	18	9.00	0.60	15	6.7	-			
9.2	15	22	15.00	0.47	32	3.1	-			
9.4	7	17	7.00	0.67	11	9.5	-			
9.6	6	12	6.00	0.40	15	6.7	-			
9.8	12	19	12.00	0.47	26	3.9	-			
10.0	15	22	15.00	0.47	32	3.1	8.2			
10.2	14	28	14.00	0.93	15	6.7	-			
10.4	10	22	10.00	0.80	13	8.0	-			
10.6	9	18	9.00	0.60	15	6.7	-			
10.8	11	17	11.00	0.40	28	3.6	-			
11.0	10	18	10.00	0.53	19	5.3	-			
11.2	6	13	6.00	0.47	13	7.8	-			
11.4	4	8	4.00	0.27	15	6.7	-			
11.6	4	6	4.00	0.13	30	3.3	-			
11.8	5	9	5.00	0.27	19	5.3	-			
12.0	7	11	7.00	0.27	26	3.8	-			
12.2	5	9	5.00	0.27	19	5.3	-			
12.4	5	9	5.00	0.27	19	5.3	-			
12.6	6	12	6.00	0.40	15	6.7	-			
12.8	14	21	14.00	0.47	30	3.3	-	Limi argillosi talora sabbiosi mediamente addensati e argille limose compatte		
13.0	13	21	13.00	0.53	24	4.1	-			
13.2	10	19	10.00	0.60	17	6.0	-			
13.4	10	15	10.00	0.33	30	3.3	-			
13.6	18	26	18.00	0.53	34	3.0	-			
13.8	19	38	19.00	1.27	15	6.7	18.7			
14.0	26	32	26.00	0.40	65	1.5	-			
14.2	37	45	37.00	0.53	69	1.4	-			
14.4	23	35	23.00	0.80	29	3.5	-			
14.6	12	23	12.00	0.73	16	6.1	-			
14.8	22	31	22.00	0.60	37	2.7	-			
15.0	20	34	20.00	0.93	21	4.7	-			

PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.)

Prova n°: 2 Quota (m): - Data: 20/11/2017  
 Committente: -  
 Località: Via Morandi, Campogalliano (Mo)



Legenda: Ao argille organiche; A argille; Al argille limose; La-L limi argillosi - limi; Ls-S limi sabbiosi-sabbie; S sabbie

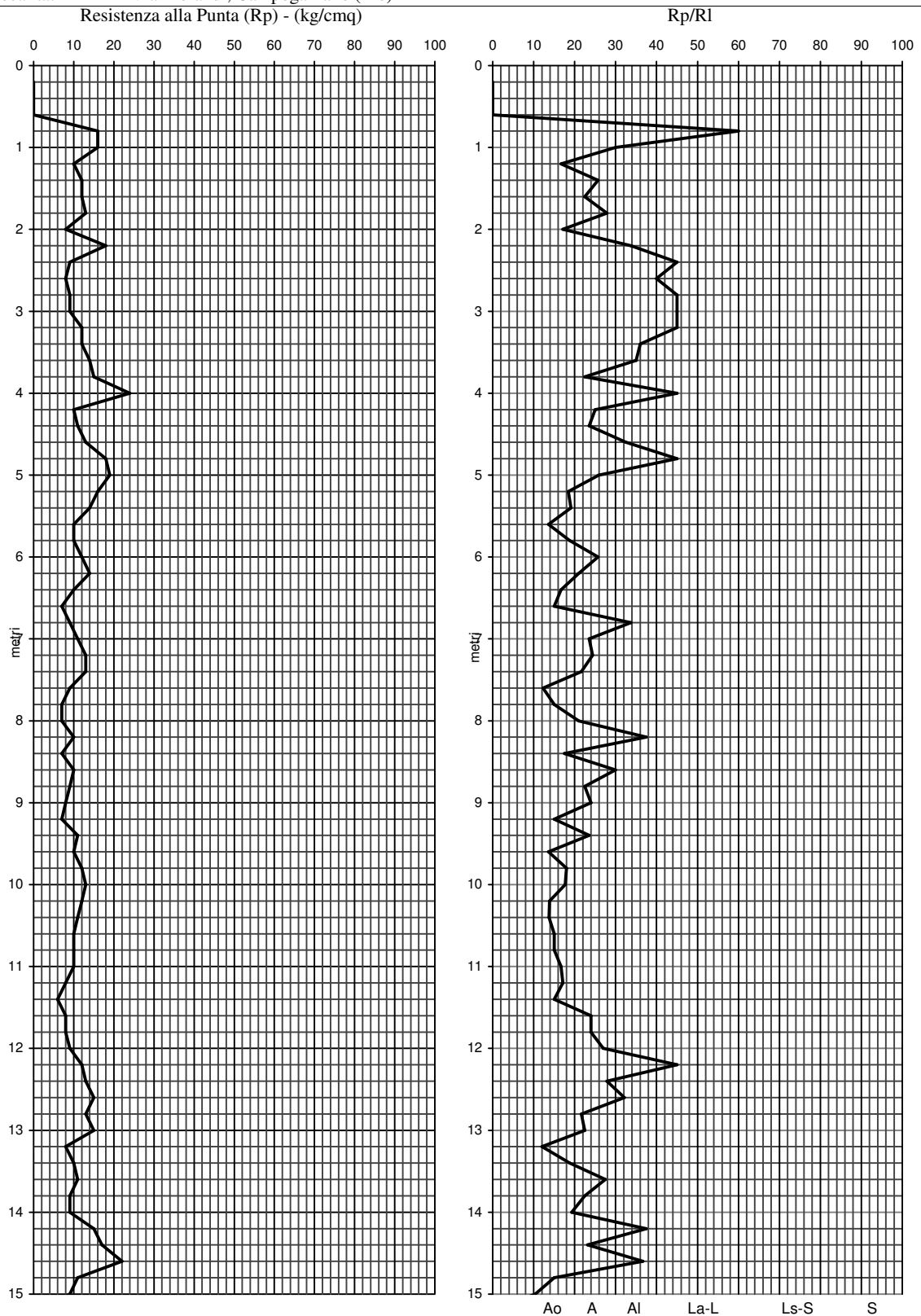
TABULATO DI CALCOLO PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.)

Prova n°: 3 Quota (m): - Data: 20/11/2017  
 Committenza: -  
 Località: Via Morandi, Campogalliano (Mo)

Prof. (m)	P (kg/cmq)	P+L (kg/cmq)	Rp (kg/cmq)	RI (kg/cmq)	Rp/RI	FR% (RI/Rp*100)	Rpm (kg/cmq)	Falda (m)	Descrizione litologica	Stratigrafia
0.2			0.00	-	-	-		-	Asfalto	
0.4			0.00	-	-	-		-	con sottofondo	
0.6			0.00	-	-	-		-	grossolano	
0.8	16	20	16.00	0.27	60	1.7		-		
1.0	16	24	16.00	0.53	30	3.3		-	Limi sabbiosi	
1.2	10	19	10.00	0.60	17	6.0		~~~~~	Argille limose mediamente compatte e limi argillosi mediamente addensati	
1.4	12	19	12.00	0.47	26	3.9		~~~~~		
1.6	12	20	12.00	0.53	23	4.4		-		
1.8	13	20	13.00	0.47	28	3.6		-		
2.0	8	15	8.00	0.47	17	5.8	<b>10.8</b>	-		
2.2	18	26	18.00	0.53	34	3.0		-		
2.4	9	12	9.00	0.20	45	2.2		-		
2.6	8	11	8.00	0.20	40	2.5		-		
2.8	9	12	9.00	0.20	45	2.2		-		
3.0	9	12	9.00	0.20	45	2.2		-		
3.2	12	16	12.00	0.27	45	2.2		-	Argille limose da mediamente compatte a compatte	
3.4	12	17	12.00	0.33	36	2.8		-		
3.6	14	20	14.00	0.40	35	2.9		-		
3.8	15	25	15.00	0.67	23	4.4		-		
4.0	24	32	24.00	0.53	45	2.2		-		
4.2	10	16	10.00	0.40	25	4.0		foro		
4.4	11	18	11.00	0.47	24	4.2		chiuso		
4.6	13	19	13.00	0.40	33	3.1		a -4.1 m		
4.8	18	24	18.00	0.40	45	2.2	<b>14.0</b>	-		
5.0	19	30	19.00	0.73	26	3.9		-		
5.2	16	29	16.00	0.87	18	5.4		-		
5.4	14	25	14.00	0.73	19	5.2		-		
5.6	10	21	10.00	0.73	14	7.3		-		
5.8	10	18	10.00	0.53	19	5.3		-		
6.0	12	19	12.00	0.47	26	3.9		-		
6.2	14	24	14.00	0.67	21	4.8		-		
6.4	10	19	10.00	0.60	17	6.0		-	Argille limose da poco a mediamente compatte e limi argillosi poco addensati	
6.6	7	14	7.00	0.47	15	6.7		-		
6.8	9	13	9.00	0.27	34	3.0		-		
7.0	11	18	11.00	0.47	24	4.2		-		
7.2	13	21	13.00	0.53	24	4.1		-		
7.4	13	22	13.00	0.60	22	4.6		-		
7.6	9	20	9.00	0.73	12	8.1		-		
7.8	7	14	7.00	0.47	15	6.7		-		
8.0	7	12	7.00	0.33	21	4.8		-		
8.2	10	14	10.00	0.27	38	2.7		-		
8.4	7	13	7.00	0.40	18	5.7		-		
8.6	10	15	10.00	0.33	30	3.3		-		
8.8	9	15	9.00	0.40	23	4.4	<b>9.5</b>	-		
9.0	8	13	8.00	0.33	24	4.2		-		
9.2	7	14	7.00	0.47	15	6.7		-		
9.4	11	18	11.00	0.47	24	4.2		-		
9.6	10	21	10.00	0.73	14	7.3		-		
9.8	12	22	12.00	0.67	18	5.6		-		
10.0	13	24	13.00	0.73	18	5.6		-		
10.2	12	25	12.00	0.87	14	7.2		-		
10.4	11	23	11.00	0.80	14	7.3		-		
10.6	10	20	10.00	0.67	15	6.7		-		
10.8	10	20	10.00	0.67	15	6.7		-		
11.0	10	19	10.00	0.60	17	6.0		-		
11.2	8	15	8.00	0.47	17	5.8		-		
11.4	6	12	6.00	0.40	15	6.7		-		
11.6	8	13	8.00	0.33	24	4.2		-		
11.8	8	13	8.00	0.33	24	4.2		-		
12.0	9	14	9.00	0.33	27	3.7		-		
12.2	12	16	12.00	0.27	45	2.2		-	Limi argillosi mediamente addensati e argille limose mediamente compatte	
12.4	13	20	13.00	0.47	28	3.6		-		
12.6	15	22	15.00	0.47	32	3.1		-		
12.8	13	22	13.00	0.60	22	4.6		-		
13.0	15	25	15.00	0.67	23	4.4		-		
13.2	8	18	8.00	0.67	12	8.3		-		
13.4	10	18	10.00	0.53	19	5.3	<b>12.6</b>	-		
13.6	11	17	11.00	0.40	28	3.6		-		
13.8	9	15	9.00	0.40	23	4.4		-		
14.0	9	16	9.00	0.47	19	5.2		-		
14.2	15	21	15.00	0.40	38	2.7		-		
14.4	17	28	17.00	0.73	23	4.3		-		
14.6	22	31	22.00	0.60	37	2.7		-		
14.8	11	22	11.00	0.73	15	6.7		-		
15.0	9	22	9.00	0.87	10	9.6		-		

PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.)

Prova n°: 3 Quota (m): - Data: 20/11/2017  
 Committente: -  
 Località: Via Morandi, Campogalliano (Mo)



Legenda: Ao argille organiche; A argille; Al argille limose; La-L limi argillosi - limi; Ls-S limi sabbiosi-sabbie; S sabbie



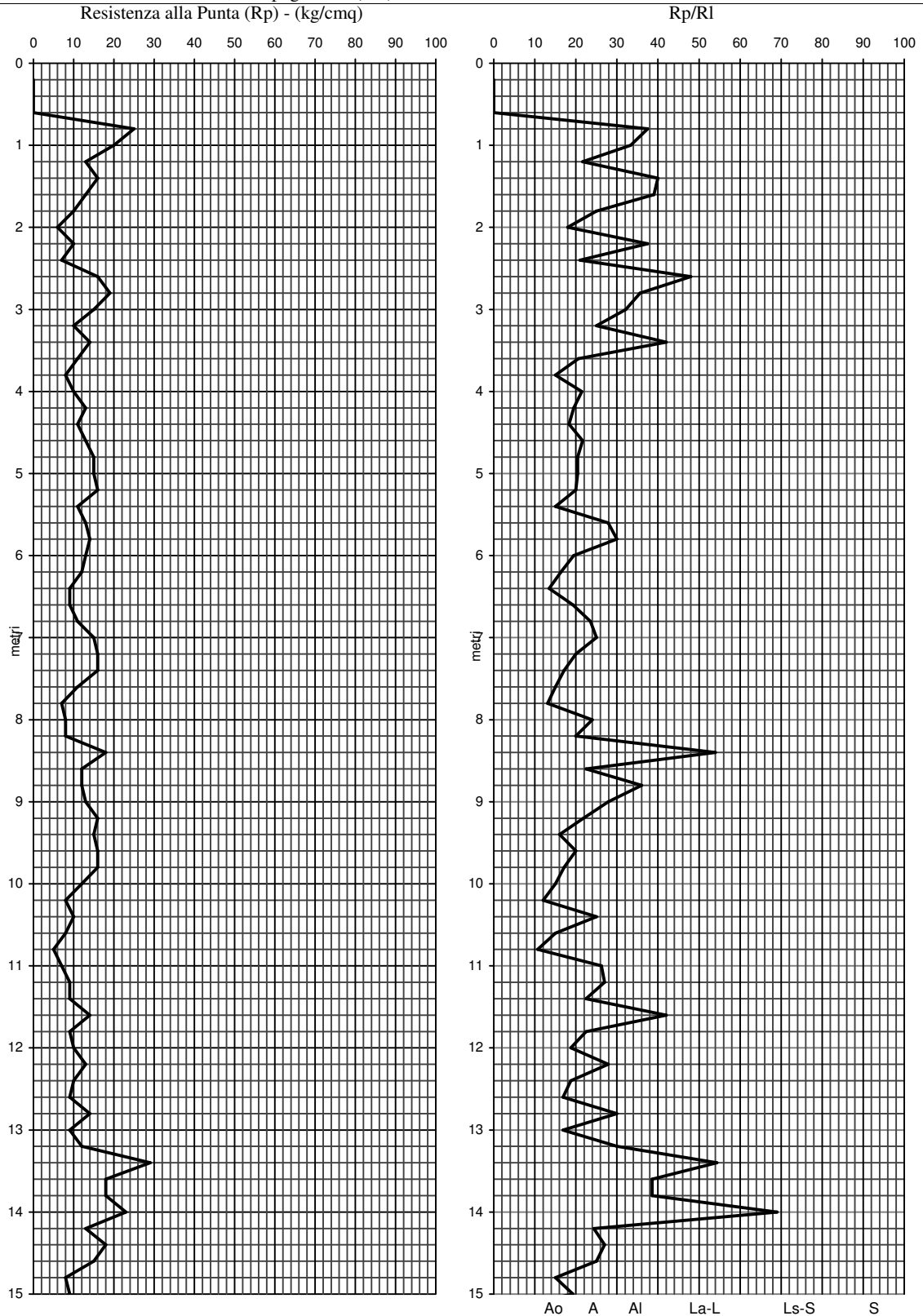
TABULATO DI CALCOLO PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.)

Prova n°: 4 Quota (m): - Data: 20/11/2017  
 Committenza: -  
 Località: Via Morandi, Campogalliano (Mo)

Prof. (m)	P (kg/cmq)	P+L (kg/cmq)	Rp (kg/cmq)	RI (kg/cmq)	Rp/RI	FR% (RI/Rp*100)	Rpm (kg/cmq)	Falda (m)	Descrizione litologica	Stratigrafia
0.2			0.00	-	-	-		-	Asfalto con sottofondo grossolano	
0.4			0.00	-	-		-			
0.6			0.00	-	-		-			
0.8	25	35	25.00	0.67	38	2.7		-	Limi sabbiosi	
1.0	20	29	20.00	0.60	33	3.0	-			
1.2	13	22	13.00	0.60	22	4.6		~~~~~	Sequenza di argille limose mediamente compatte e limi argillosi mediamente addensati	
1.4	16	22	16.00	0.40	40	2.5		~~~~~		
1.6	13	18	13.00	0.33	39	2.6		-		
1.8	10	16	10.00	0.40	25	4.0		-		
2.0	6	11	6.00	0.33	18	5.6		-		
2.2	10	14	10.00	0.27	38	2.7		-		
2.4	7	12	7.00	0.33	21	4.8		-		
2.6	16	21	16.00	0.33	48	2.1		-		
2.8	19	27	19.00	0.53	36	2.8		-		
3.0	15	22	15.00	0.47	32	3.1		-		
3.2	10	16	10.00	0.40	25	4.0		-		
3.4	14	19	14.00	0.33	42	2.4		-		
3.6	11	19	11.00	0.53	21	4.8		-		
3.8	8	16	8.00	0.53	15	6.7		-		
4.0	10	17	10.00	0.47	21	4.7		-		
4.2	13	23	13.00	0.67	20	5.1		-		
4.4	11	20	11.00	0.60	18	5.5		-		
4.6	13	22	13.00	0.60	22	4.6		-		
4.8	15	26	15.00	0.73	20	4.9		-		
5.0	15	26	15.00	0.73	20	4.9		-		
5.2	16	28	16.00	0.80	20	5.0		-		
5.4	11	22	11.00	0.73	15	6.7	12.5	-		
5.6	13	20	13.00	0.47	28	3.6		-		
5.8	14	21	14.00	0.47	30	3.3		-		
6.0	13	23	13.00	0.67	20	5.1		-		
6.2	12	23	12.00	0.73	16	6.1		-		
6.4	9	19	9.00	0.67	14	7.4		-		
6.6	9	16	9.00	0.47	19	5.2		-		
6.8	11	18	11.00	0.47	24	4.2		-		
7.0	15	24	15.00	0.60	25	4.0		-		
7.2	16	28	16.00	0.80	20	5.0		-		
7.4	16	30	16.00	0.93	17	5.8		-		
7.6	11	22	11.00	0.73	15	6.7		-		
7.8	7	15	7.00	0.53	13	7.6		-		
8.0	8	13	8.00	0.33	24	4.2		-		
8.2	8	14	8.00	0.40	20	5.0		-		
8.4	18	23	18.00	0.33	54	1.9		-		
8.6	12	20	12.00	0.53	23	4.4		-		
8.8	12	17	12.00	0.33	36	2.8		-		
9.0	13	20	13.00	0.47	28	3.6		-		
9.2	16	27	16.00	0.73	22	4.6		-		
9.4	15	29	15.00	0.93	16	6.2		-		
9.6	16	28	16.00	0.80	20	5.0		-		
9.8	16	30	16.00	0.93	17	5.8		-		
10.0	12	24	12.00	0.80	15	6.7		-		
10.2	8	18	8.00	0.67	12	8.3		-	Argille limose da poco a mediamente compatte e limi argillosi poco addensati	
10.4	10	16	10.00	0.40	25	4.0		-		
10.6	8	16	8.00	0.53	15	6.7		-		
10.8	5	12	5.00	0.47	11	9.3		-		
11.0	7	11	7.00	0.27	26	3.8		-		
11.2	9	14	9.00	0.33	27	3.7		-		
11.4	9	15	9.00	0.40	23	4.4		-		
11.6	14	19	14.00	0.33	42	2.4		-		
11.8	9	15	9.00	0.40	23	4.4		-		
12.0	10	18	10.00	0.53	19	5.3		-		
12.2	13	20	13.00	0.47	28	3.6		-		
12.4	10	18	10.00	0.53	19	5.3		-		
12.6	9	17	9.00	0.53	17	5.9		-		
12.8	14	21	14.00	0.47	30	3.3		-		
13.0	9	17	9.00	0.53	17	5.9		-		
13.2	12	18	12.00	0.40	30	3.3		-	Limi argillosi talora sabbiosi mediamente addensati e argille limose mediamente compatte	
13.4	29	37	29.00	0.53	54	1.8		-		
13.6	18	25	18.00	0.47	39	2.6		-		
13.8	18	25	18.00	0.47	39	2.6		-		
14.0	23	28	23.00	0.33	69	1.4	16.3	-		
14.2	13	21	13.00	0.53	24	4.1		-		
14.4	18	28	18.00	0.67	27	3.7		-		
14.6	15	24	15.00	0.60	25	4.0		-		
14.8	8	16	8.00	0.53	15	6.7		-		
15.0	9	16	9.00	0.47	19	5.2		-		

PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.)

Prova n°: 4 Quota (m): - Data: 20/11/2017  
 Committente: -  
 Località: Via Morandi, Campogalliano (Mo)



Legenda: Ao argille organiche; A argille; Al argille limose; La-L limi argillosi - limi; Ls-S limi sabbiosi-sabbie; S sabbie

**ALLEGATO - 2 -**

INDAGINE SISMICA - MASW

# GEODES SRL

Via Michelangelo, 1 – 41051 Castelnovo Rangone (Mo)  
Tel.: (059) 536629-535499 - Fax.: 5331612 – E-mail: [geodes.srl@tiscali.it](mailto:geodes.srl@tiscali.it)

## PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE MASW

Committente: Gelostar Srl  
Località: Via Morandi - Campogalliano (Mo)  
Data prova: 20/11/2017

### **Attrezzatura utilizzata**

- Sismografo PASI SG 24 16S-U a 24 canali
- n° 24 geofoni verticali Pasi da 4.5 Hz con clip singola
- geofono starter
- n° 1 cavo schermato su rullo, 100 m, trasmissione geofono starter-Sismografo
- n° 2 cavi sismici su rullo, 75 m, 12 tracce, intervallo 5 m, connettori e attacchi singoli
- mazza di battuta kg 8
- piattello di battuta in alluminio (20x20x5 cm)
- pc portatile
- Software Winmasw Pro 4.8

### **Finalità d'indagine**

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche NTC 2018

Queste acquisizioni, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

La classificazione del sottosuolo è stata svolta sulla base del valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo

$V_{S,i}$  = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo

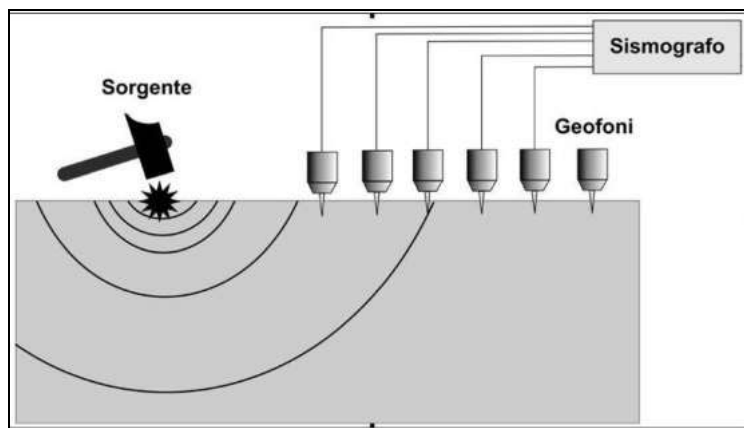
N = numero strati considerati

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

### **Metodologia ed elaborazione d'indagine**

Lunghezza stendimento: 46 m  
N° geofoni: 24  
Spaziatura geofoni: 2 m  
Offset energizzazione: 2-5-8 m

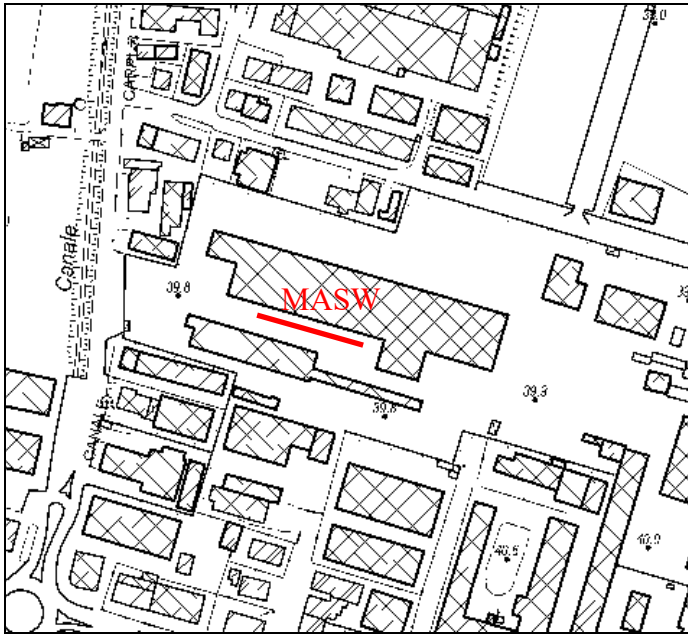
Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime.



# GEODES SRL

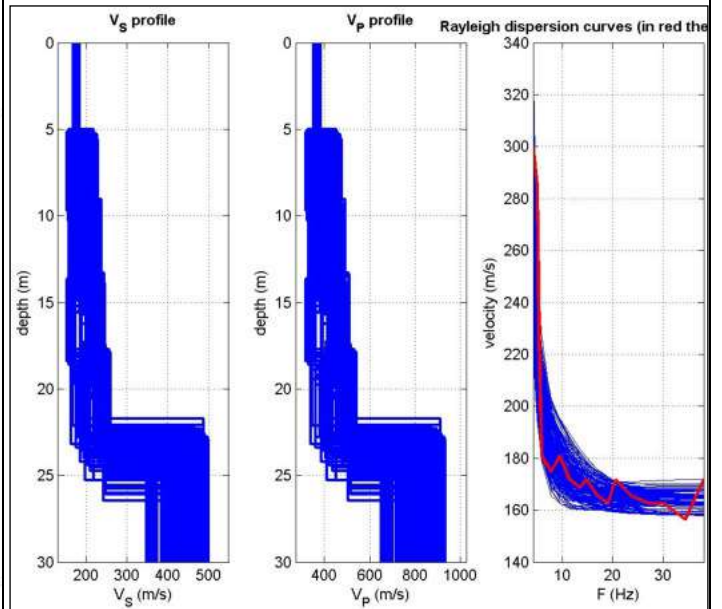
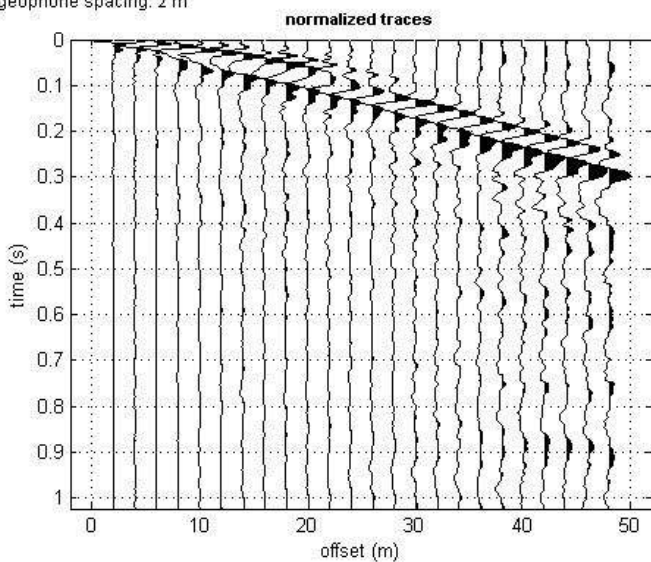
Via Michelangelo, 1 - 41051 Castelnovo Rangone (Mo)  
Tel.: (059) 536629-535499 - Fax.: 5331612 - E-mail: [geodes.srl@fiscali.it](mailto:geodes.srl@fiscali.it)

## MASW - UBICAZIONE

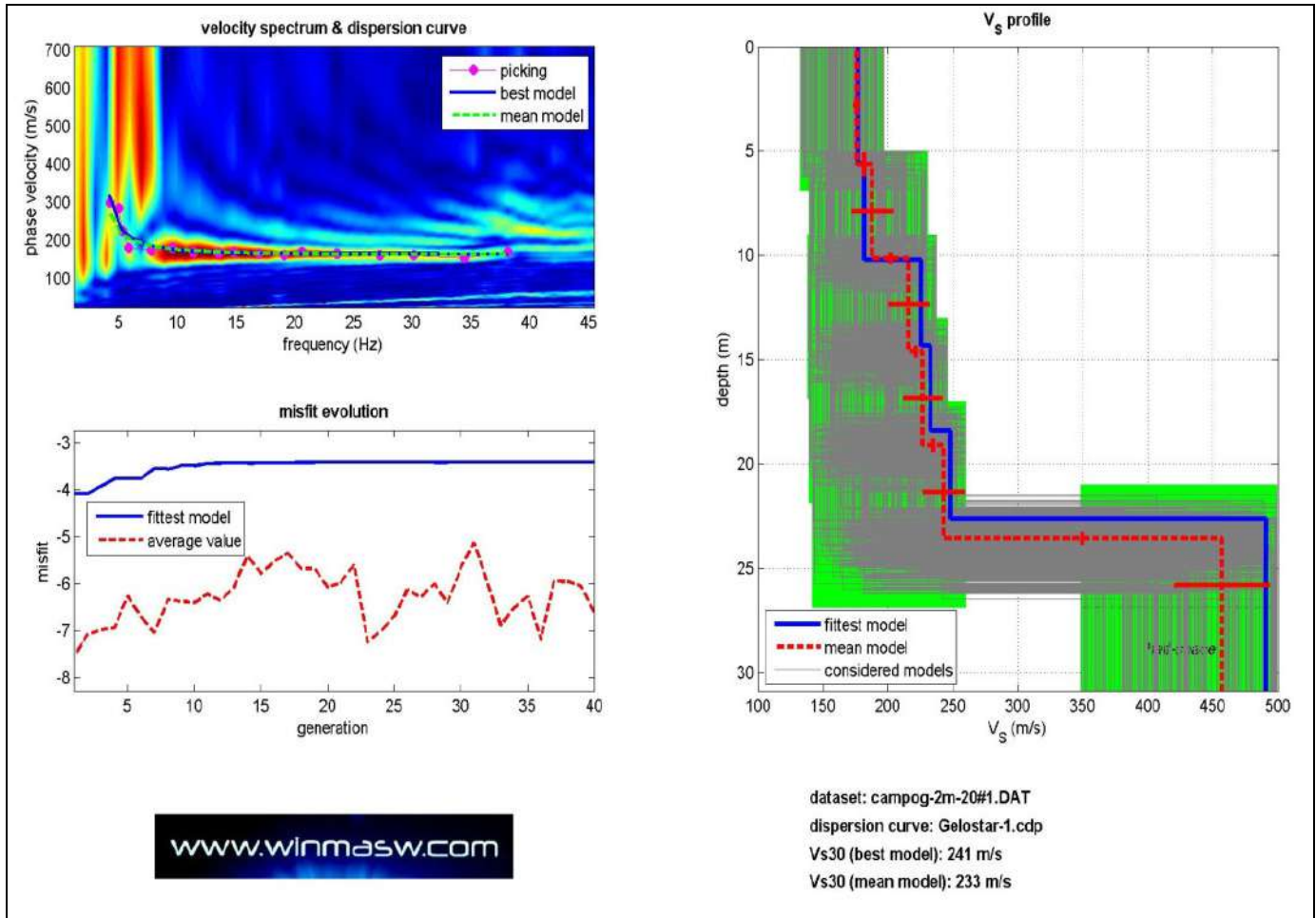


## Sismogramma e modelli del profilo di velocità

dataset: campog-2m-20#1.DAT  
sampling: 0.125 ms  
minimum offset: 2 m  
geophone spacing: 2 m



## MASW



## MASW

Profondità (m)		Spessore (m)	Vs (m/s)
da	a		
0.0	5.6	5.6	176
5.6	10.1	4.5	188
10.1	14.6	4.5	216
14.6	19.1	4.5	227
19.1	23.6	4.5	243
23.6			457

### CATEGORIA DI SUOLO: C (NTC18)

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 equivalentemente compresi tra 180 m/s e 360 m/s

$$V_{s,eq} = V_{s30} = 233 \text{ m/s}$$

**ALLEGATO - 3 -**

INDAGINE SISMICA - HVSR

## INDAGINE SISMICA – HVSR Gelostar – Via Morandi - Campogalliano

Strumento: TRZ-0162/01-11

Inizio registrazione: 20/11/17 08:14:45 Fine registrazione: 20/11/17 08:34:45

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

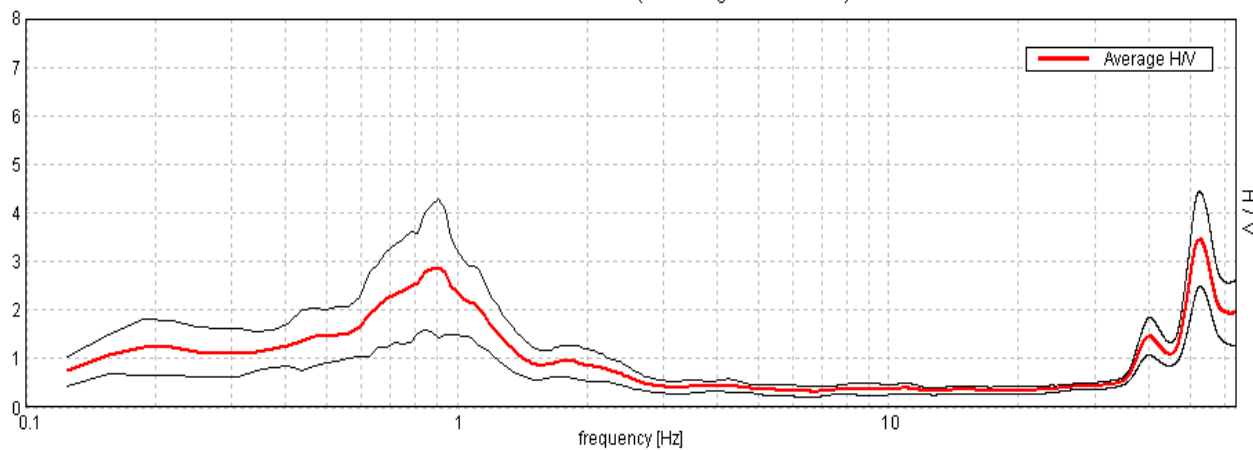
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

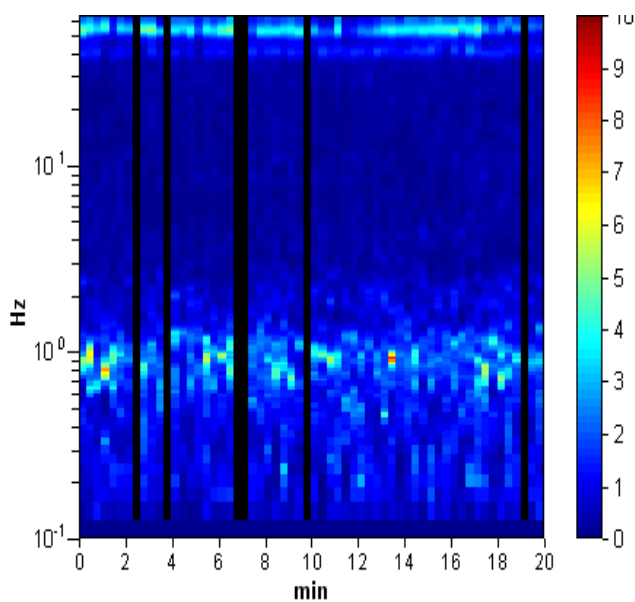
**Tabella 1**

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

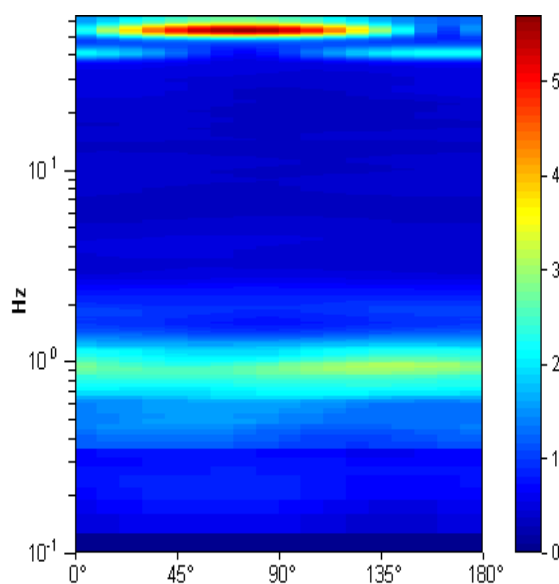
Max. H/V at  $0.91 \pm 0.01$  Hz. (In the range 0.0 - 30.0 Hz).



### SERIE TEMPORALE H/V

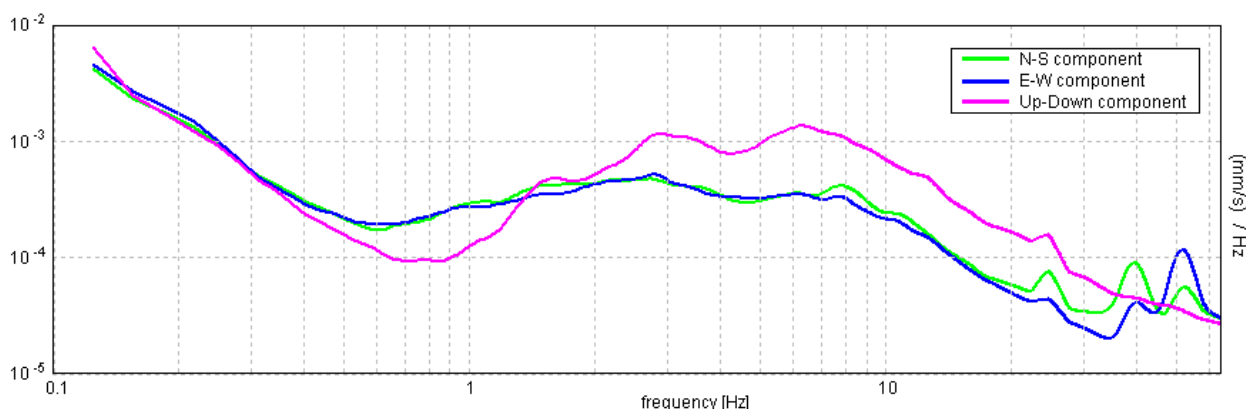


### DIREZIONALITA' H/V





SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $0.91 \pm 0.01$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 30.0 Hz).**

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

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.91 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$978.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 44	OK	

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

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.438 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.281 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.87 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00534  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00484 < 0.13594$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7085 < 2.0$	OK	

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

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## **ALLEGATO - 4 -**

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE





rapp resist ciclica	acceleraz.	rd	CSR provvis	MSF	rapp di tensione ciclica	FSL	FSL	Fattore di sicurezza della liquefazione	F(z)	w(z)	IP <sub>0.3</sub>
CRR (kPa)	ag/g				CSR <sub>situ</sub> (kPa)						
sabbie argillose											
#DIV/0!	0.236	0.998	0.1532	1.429	0.10721	#DIV/0!	-	0.00	9.9	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.997	0.1529	1.429	0.10705	#DIV/0!	-	0.00	9.8	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.995	0.1527	1.429	0.10688	#DIV/0!	-	0.00	9.7	0.0	
0.08487	0.236	0.994	0.1525	1.429	0.10672	0.80	0.80	0.20	9.6	0.4	
0.12276	0.236	0.992	0.1522	1.429	0.10655	1.15	1.15	0.00	9.5	0.0	
#VALORE!	0.236	0.991	0.1520	1.429	0.10639	#VALORE!	-	0.00	9.4	0.0	
0.10908	0.236	0.989	0.1518	1.429	0.10622	1.03	1.03	0.00	9.3	0.0	
#VALORE!	0.236	0.988	0.1515	1.429	0.10606	#VALORE!	-	0.00	9.2	0.0	
#VALORE!	0.236	0.986	0.1513	1.429	0.10590	#VALORE!	-	0.00	9.1	0.0	
#VALORE!	0.236	0.985	0.1511	1.429	0.10573	#VALORE!	-	0.00	9.0	0.0	
0.13308	0.236	0.983	0.1508	1.429	0.11102	1.20	1.20	0.00	8.9	0.0	
#VALORE!	0.236	0.982	0.1505	1.429	0.11584	#VALORE!	-	0.00	8.8	0.0	
#VALORE!	0.236	0.980	0.1718	1.429	0.12024	#VALORE!	-	0.00	8.7	0.0	
#VALORE!	0.236	0.979	0.1775	1.429	0.12427	#VALORE!	-	0.00	8.6	0.0	
#VALORE!	0.236	0.977	0.1828	1.429	0.12797	#VALORE!	-	0.00	8.5	0.0	
#VALORE!	0.236	0.976	0.1877	1.429	0.13138	#VALORE!	-	0.00	8.4	0.0	
#VALORE!	0.236	0.974	0.1922	1.429	0.13452	#VALORE!	-	0.00	8.3	0.0	
#VALORE!	0.236	0.972	0.1963	1.429	0.13743	#VALORE!	-	0.00	8.2	0.0	
#VALORE!	0.236	0.971	0.2002	1.429	0.14013	#VALORE!	-	0.00	8.1	0.0	
0.14152	0.236	0.969	0.2038	1.429	0.14264	0.99	0.99	0.01	8.0	0.0	
#VALORE!	0.236	0.968	0.2071	1.429	0.14497	#VALORE!	-	0.00	7.9	0.0	
#VALORE!	0.236	0.966	0.2102	1.429	0.14714	#VALORE!	-	0.00	7.8	0.0	
#VALORE!	0.236	0.965	0.2131	1.429	0.14917	#VALORE!	-	0.00	7.7	0.0	
0.11859	0.236	0.963	0.2158	1.429	0.15106	0.79	0.79	0.21	7.6	0.3	
#VALORE!	0.236	0.962	0.2183	1.429	0.15284	#VALORE!	-	0.00	7.5	0.0	
#VALORE!	0.236	0.960	0.2207	1.429	0.15449	#VALORE!	-	0.00	7.4	0.0	
#VALORE!	0.236	0.959	0.2229	1.429	0.15605	#VALORE!	-	0.00	7.3	0.0	
#VALORE!	0.236	0.957	0.2250	1.429	0.15751	#VALORE!	-	0.00	7.2	0.0	
#VALORE!	0.236	0.956	0.2270	1.429	0.15888	#VALORE!	-	0.00	7.1	0.0	
#VALORE!	0.236	0.954	0.2288	1.429	0.16016	#VALORE!	-	0.00	7.0	0.0	
#VALORE!	0.236	0.953	0.2305	1.429	0.16137	#VALORE!	-	0.00	6.9	0.0	
#VALORE!	0.236	0.951	0.2322	1.429	0.16251	#VALORE!	-	0.00	6.8	0.0	
#VALORE!	0.236	0.950	0.2337	1.429	0.16358	#VALORE!	-	0.00	6.7	0.0	
#VALORE!	0.236	0.948	0.2351	1.429	0.16459	#VALORE!	-	0.00	6.6	0.0	
#VALORE!	0.236	0.946	0.2365	1.429	0.16554	#VALORE!	-	0.00	6.5	0.0	
#VALORE!	0.236	0.945	0.2378	1.429	0.16643	#VALORE!	-	0.00	6.4	0.0	
#VALORE!	0.236	0.943	0.2390	1.429	0.16728	#VALORE!	-	0.00	6.3	0.0	
#VALORE!	0.236	0.942	0.2401	1.429	0.16807	#VALORE!	-	0.00	6.2	0.0	
#VALORE!	0.236	0.940	0.2412	1.429	0.16883	#VALORE!	-	0.00	6.1	0.0	
#VALORE!	0.236	0.939	0.2422	1.429	0.16953	#VALORE!	-	0.00	6.0	0.0	
#VALORE!	0.236	0.937	0.2432	1.429	0.17020	#VALORE!	-	0.00	5.9	0.0	
#VALORE!	0.236	0.936	0.2441	1.429	0.17083	#VALORE!	-	0.00	5.8	0.0	
#VALORE!	0.236	0.934	0.2449	1.429	0.17142	#VALORE!	-	0.00	5.7	0.0	
#VALORE!	0.236	0.933	0.2457	1.429	0.17198	#VALORE!	-	0.00	5.6	0.0	
#VALORE!	0.236	0.931	0.2465	1.429	0.17251	#VALORE!	-	0.00	5.5	0.0	
#VALORE!	0.236	0.928	0.2468	1.429	0.17277	#VALORE!	-	0.00	5.4	0.0	
#VALORE!	0.236	0.923	0.2465	1.429	0.17252	#VALORE!	-	0.00	5.3	0.0	
#VALORE!	0.236	0.918	0.2461	1.429	0.17224	#VALORE!	-	0.00	5.2	0.0	
#VALORE!	0.236	0.912	0.2456	1.429	0.17193	#VALORE!	-	0.00	5.1	0.0	
#VALORE!	0.236	0.907	0.2451	1.429	0.17159	#VALORE!	-	0.00	5.0	0.0	
#VALORE!	0.236	0.902	0.2446	1.429	0.17122	#VALORE!	-	0.00	4.9	0.0	
#VALORE!	0.236	0.896	0.2440	1.429	0.17082	#VALORE!	-	0.00	4.8	0.0	
#VALORE!	0.236	0.891	0.2434	1.429	0.17040	#VALORE!	-	0.00	4.7	0.0	
#VALORE!	0.236	0.886	0.2428	1.429	0.16995	#VALORE!	-	0.00	4.6	0.0	
#VALORE!	0.236	0.880	0.2421	1.429	0.16947	#VALORE!	-	0.00	4.5	0.0	
#VALORE!	0.236	0.875	0.2414	1.429	0.16898	#VALORE!	-	0.00	4.4	0.0	
#VALORE!	0.236	0.870	0.2407	1.429	0.16846	#VALORE!	-	0.00	4.3	0.0	
#VALORE!	0.236	0.864	0.2399	1.429	0.16792	#VALORE!	-	0.00	4.2	0.0	
#VALORE!	0.236	0.859	0.2391	1.429	0.16736	#VALORE!	-	0.00	4.1	0.0	
#VALORE!	0.236	0.854	0.2383	1.429	0.16678	#VALORE!	-	0.00	4.0	0.0	
#VALORE!	0.236	0.848	0.2374	1.429	0.16619	#VALORE!	-	0.00	3.9	0.0	
#VALORE!	0.236	0.843	0.2365	1.429	0.16557	#VALORE!	-	0.00	3.8	0.0	
#VALORE!	0.236	0.838	0.2356	1.429	0.16494	#VALORE!	-	0.00	3.7	0.0	
#VALORE!	0.236	0.832	0.2347	1.429	0.16429	#VALORE!	-	0.00	3.6	0.0	
#VALORE!	0.236	0.827	0.2338	1.429	0.16363	#VALORE!	-	0.00	3.5	0.0	
#VALORE!	0.236	0.822	0.2328	1.429	0.16295	#VALORE!	-	0.00	3.4	0.0	
#VALORE!	0.236	0.816	0.2318	1.429	0.16226	#VALORE!	-	0.00	3.3	0.0	
#VALORE!	0.236	0.811	0.2308	1.429	0.16155	#VALORE!	-	0.00	3.2	0.0	
#VALORE!	0.236	0.806	0.2298	1.429	0.16083	#VALORE!	-	0.00	3.1	0.0	
#VALORE!	0.236	0.800	0.2287	1.429	0.16010	#VALORE!	-	0.00	3.0	0.0	
#VALORE!	0.236	0.795	0.2277	1.429	0.15935	#VALORE!	-	0.00	2.9	0.0	
#VALORE!	0.236	0.790	0.2266	1.429	0.15859	#VALORE!	-	0.00	2.8	0.0	
#VALORE!	0.236	0.784	0.2255	1.429	0.15783	#VALORE!	-	0.00	2.7	0.0	
#VALORE!	0.236	0.779	0.2244	1.429	0.15705	#VALORE!	-	0.00	2.6	0.0	
#VALORE!	0.236	0.774	0.2232	1.429	0.15625	#VALORE!	-	0.00	2.5	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.768	0.2221	1.429	0.15545	#DIV/0!	-	0.00	2.4	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.763	0.2209	1.429	0.15464	#DIV/0!	-	0.00	2.3	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.757	0.2198	1.429	0.15382	#DIV/0!	-	0.00	2.2	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.752	0.2186	1.429	0.15299	#DIV/0!	-	0.00	2.1	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.747	0.2174	1.429	0.15215	#DIV/0!	-	0.00	2.0	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.741	0.2162	1.429	0.15130	#DIV/0!	-	0.00	1.9	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.736	0.2149	1.429	0.15044	#DIV/0!	-	0.00	1.8	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.731	0.2137	1.429	0.14958	#DIV/0!	-	0.00	1.7	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.725	0.2124	1.429	0.14871	#DIV/0!	-	0.00	1.6	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.720	0.2112	1.429	0.14783	#DIV/0!	-	0.00	1.5	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.715	0.2099	1.429	0.14694	#DIV/0!	-	0.00	1.4	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.709	0.2086	1.429	0.14604	#DIV/0!	-	0.00	1.3	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.704	0.2074	1.429	0.14514	#DIV/0!	-	0.00	1.2	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.699	0.2061	1.429	0.14423	#DIV/0!	-	0.00	1.1	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.693	0.2047	1.429	0.14331	#DIV/0!	-	0.00	1.0	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.688	0.2034	1.429	0.14239	#DIV/0!	-	0.00	0.9	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.683	0.2021	1.429	0.14146	#DIV/0!	-	0.00	0.8	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.677	0.2008	1.429	0.14053	#DIV/0!	-	0.00	0.7	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.672	0.1994	1.429	0.13958	#DIV/0!	-	0.00	0.6	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.667	0.1981	1.429	0.13864	#DIV/0!	-	0.00	0.5	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.661	0.1967	1.429	0.13769	#DIV/0!	-	0.00	0.4	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.656	0.1953	1.429	0.13673	#DIV/0!	-	0.00	0.3	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.651	0.1940	1.429	0.13576	#DIV/0!	-	0.00	0.2	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.645	0.1926	1.429	0.13480	#DIV/0!	-	0.00	0.1	0.0	
#DIV/0!	0.236	0.640	0.1912	1.429	0.13382	#DIV/0!	-	0.00	0.0	0.0	