

RELAZIONE GEOLOGICO SISMICA

INERENTE LA VARIANTE URBANISTICA SPECIFICA DI UN'AREA SITA IN ZONA VIA BELFIORE,
COMUNE DI SAN CESARIO SUL PANARO

COMMITTENTI: COLLINA AUGUSTO, SORAGNI ANTONELLA e NICOLETTA, SOC.AGR.MAVORA SRL

INDICE

1	PREMESSA	1
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	2
3	STATO DI VARIANTE	3
4	INQUADRAMENTO TETTONICO	4
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
6	INQUADRAMENTO IDROMORFOLOGICO	6
7	VINCOLI E ZONIZZAZIONI P.T.C.P. DELLA PROVINCIA DI MODENA	8
8	SISMICITA'	9
9	ZONIZZAZIONE SISMICA NAZIONALE E REGIONALE	10
10	INDAGINI GEOGNOSTICHE	12
10.1	PROVE PENETROMETRICHE	12
10.2	INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE CON TECNICA MASW	21
10.2.1	INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE – MASW 1	22
10.2.2	INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE – MASW 2	26
10.3	SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA HVSR	30
11	AZIONE SISMICA – APPROCCIO SEMPLIFICATO NTC2018	33
11.1	VITA NOMINALE DELL'OPERA	33
11.2	PARAMETRI SISMICI APPROCCIO SEMPLIFICATO – NTC 2018	35
12	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA MEDIANTE STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	36
12.1	DATI DI INPUT SISMICO	38
12.2	CURVE DI VARIAZIONE DEL MODULO DI RIGIDEZZA E SMORZAMENTO DEI LITOTIPI	40
12.3	RISULTATI DELL'ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	41
13	VERIFICHE PREVISTE DALLA DELIBERA DI GIUNTA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA N. 476 DEL 12/04/2021 (G.U. N. 111 DEL 20/04/2021 – PARTE SECONDA)	46
14	VERIFICHE ALLA POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	48
15	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA	48
16	EDIFICABILITA'	49
17	CONCLUSIONI	49

IL TECNICO: DR. GEOL. SILVIO PAGANELLI



LA COMMITTENZA

RELAZIONE GEOLOGICO SISMICA

INERENTE LA VARIANTE URBANISTICA SPECIFICA DI UN'AREA SITA IN ZONA VIA BELFIORE,
COMUNE DI SAN CESARIO SUL PANARO

1 PREMESSA

Su incarico della *Proprietà* e d'intesa con i tecnici progettisti *Arch.A.Zanetti e Geom.F.Gibertini*, si è svolta nel corrente periodo un'indagine geologico sismica su di un'area posta in via Belfiore angolo via Modenese, nel territorio comunale di San Cesario sul Panaro (MO); lo scopo è stato quello analizzare nel dettaglio gli aspetti geologici, litostratigrafici, idrogeologici, idraulici e sismici del sito richiesto in Variante urbanistica specifica al PRG 2021.

Per i dati di sottosuolo ci si è avvalsi di una campagna di prove penetrometriche dinamiche, di due stendimenti sismici MASW e di due acquisizioni in sismica passiva a stazione singola tipo HVSr, tali da consentire di produrre la caratterizzazione litologica, litomeccanica e sismica della superficie in esame; si sono pertanto analizzate le caratteristiche edificatorie dell'area e le potenzialità degli effetti indotti sul sito in seguito ad eventi sismici.

La presente relazione ha pertanto concentrato la propria attenzione sull'idoneità all'edificazione della superficie per le destinazioni richieste, seguendo le indicazioni riportate nella:

Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n.112/2007

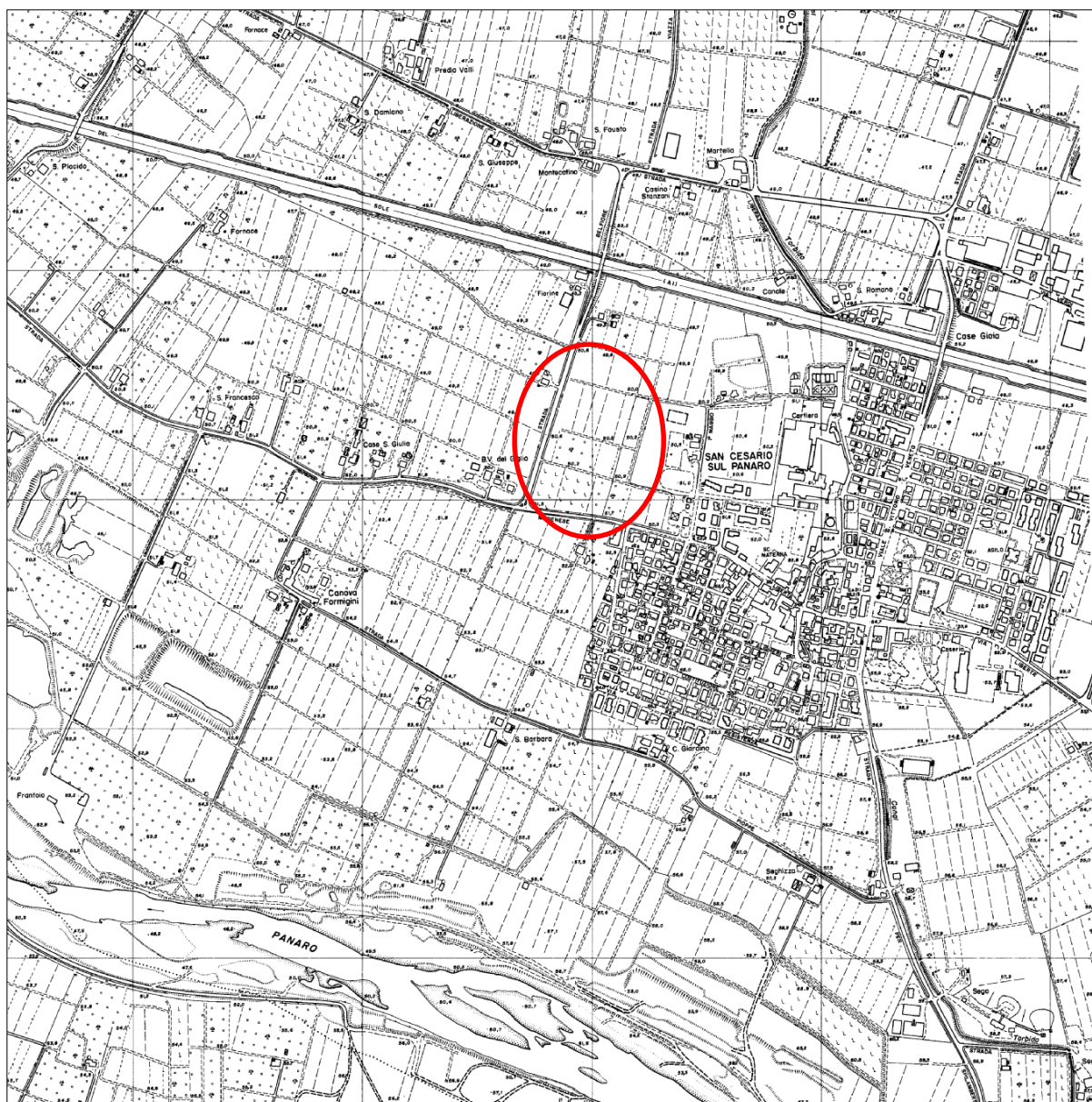
Delibera Assemblea legislativa Regione Emilia-Romagna del 29.04.2019 n. 630

Deliberazione della Giunta Regionale 12 Aprile 2021, n. 476

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito è geograficamente ubicato oltre la porzione ovest del comune di San Cesario sul Panaro; lo stesso si allinea lungo l'incrocio fra via Belfiore e via Modenese, all'interno di un'area utilizzata seminativo e quotata in mezzeria circa mt.50,5 s.l.m.

Il punto risulta cartograficamente ubicato nella tavola C.T.R. n.220 NO "Castelfranco Emilia" a scala 1:25.000, nella sezione C.T.R. C.T.R. n.220010 "Castelfranco Emilia" a scala 1:10.000 e nell'elemento C.T.R. n. 220013 "S. Cesario S.P." a scala 1:5.000; lo stesso risulta inoltre accatastato al N.C. del comune di San Cesario sul Panaro al foglio n.24.



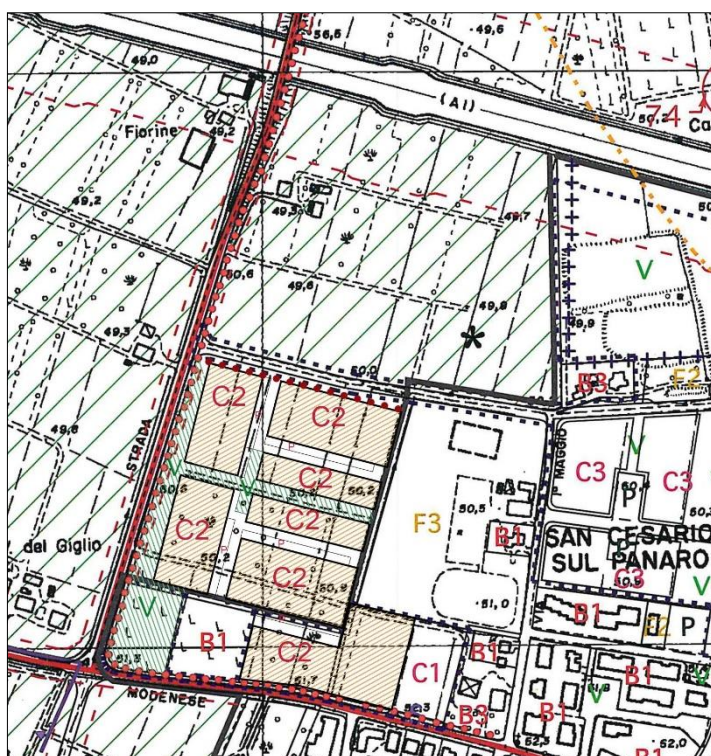
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO SCALA 1:20.000

 Area in esame

3 STATO DI VARIANTE

La Variante richiesta porta la riclassificazione di una porzione di 'Zona Agroalimentare A1'- via Belfiore angolo via Modenese, distinta catastalmente al Foglio di mappa n.24, mappale n.1 di mq. 14040, mappale n. 2 di mq. 7550, mappale n. 106 di mq. 14802, mappale n. 100 di mq. 4552, per una ST pari a mq. 40.944, in ambito residenziale 'Zona Residenziale C2', ricomprendo al suo interno anche la 'Zona C1' ancora non attuata distinta catastalmente al Foglio di mappa n.24, mappale n.86 di mq. 3589, mappale n. 99 di mq. 9898, per una ST pari a mq.13.487, identificando tutta la zona come 'Zona a bassa densità abitativa'.

I vantaggi derivanti dalla Variante proposta risultano evidenti anche in termini di qualità/quantità del suolo, infatti a recepimento della Variante otteniamo una valorizzazione ambientale della superficie del suolo pari a complessivi mq. 7.500 di aree destinate a Verde Pubblico.



CARTOGRAFIA C.T.R. Fuori Scala



ESTRATTO DI MAPPA Fuori Scala

4 INQUADRAMENTO TETTONICO

Il sito in oggetto di studio si colloca nel settore centro-orientale della Pianura Padana ove è presente bacino d'avanfossa di rilevante superficie areale con caratteristiche di subsidenza, compreso tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord. L'evoluzione dell'area inizia nell'era Terziaria, con graduale accumulo dei sedimenti derivanti dallo smantellamento delle catene alpina e appenninica in sollevamento.

Nell'ambito del bacino, i terreni databili all'era olocenica sono di origine alluvionale e sono geometricamente soprastanti alle formazioni Pleistoceniche continentali e/o marine. Dal punto di vista strutturale l'area è stata definita con un alto livello di dettaglio mediante esplorazioni geognostiche e geofisiche profonde effettuate per la ricerca idrica e petrolifera.

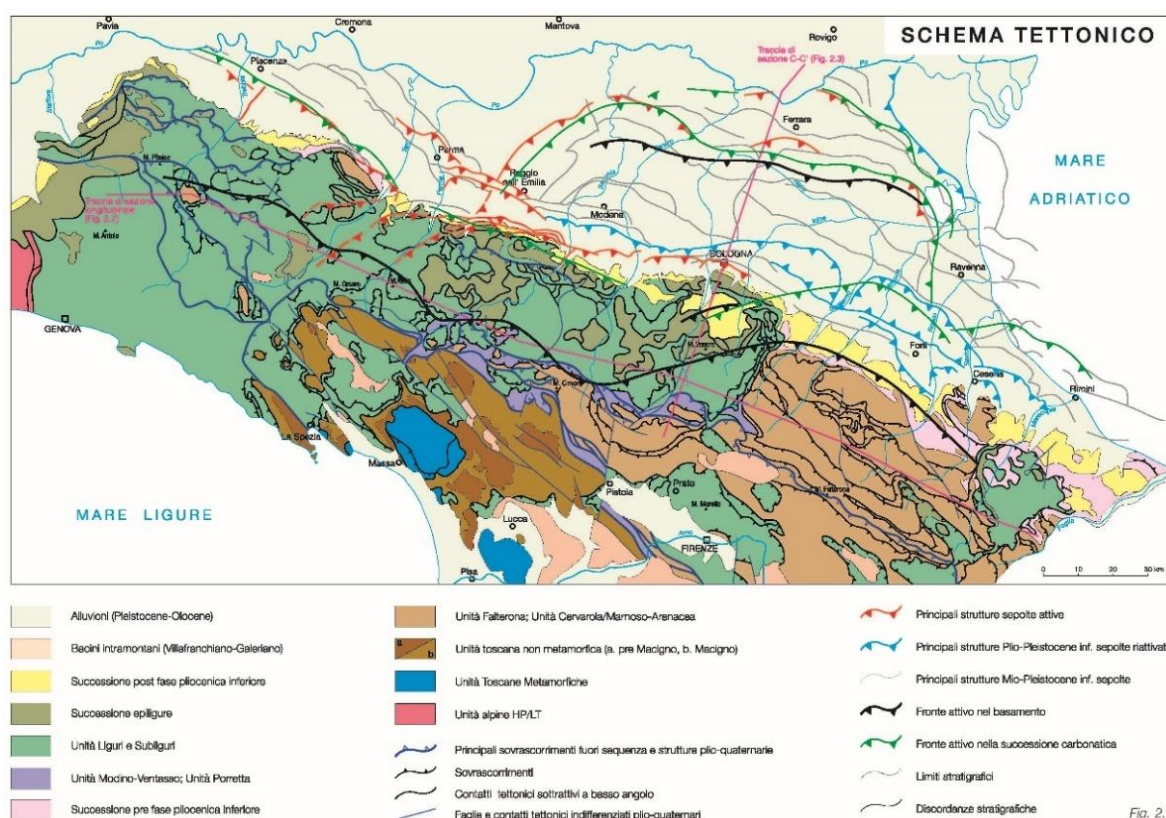
Da tali studi si è constatato che la Pianura Padana non costituisce una unità omogenea in quanto nel sottosuolo sono presenti strutture sepolte appartenenti alle pieghe e falde di sovrascorimento più esterne dell'Appennino settentrionale e delle Alpi meridionali lombarde, l'avampaese comune alle due catene e, nel Veneto, l'avampaese delle Alpi meridionali orientali e della catena dinarica; su questi elementi è impostata l'avanfossa pliocenico-quadernaria dell'Appennino.

Per quanto concerne il territorio di interesse, in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** si riporta un estratto dello Schema tettonico della Pianura padana, che in evidenza la presenza di un ampio bacino sedimentario, fortemente subsidente ed attivo sin dal Plio-Pleistoceniche, che si estende tra Carpi e Cento di Ferrara, denominato "Bacino di Carpi-Cento" oppure come "Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia".

Tale bacino, è caratterizzato una copertura plio-quadernaria avente uno spessore massimo pari a 8 km ma che in corrispondenza del Comune di Carpi presenta uno spessore di circa 3,5 km. in quanto si colloca tra due elementi tettonici costituenti archi e pieghe a largo raggio correlabili al movimento di rotazione antioraria della catena appenninica; il comune di San Cesario si colloca in posizione intermedia tra le pieghe del Margine pedeappenninico poste a sud e la Dorsale Ferrarese posta a nord, quest'ultima completamente sepolta e che in alcune zone di "alto strutturale" si rinviene a modesta profondità (80/90 m) con conseguente diminuzione di spessore dei terreni di copertura di età pliocenica e quadernaria.

La continua evoluzione di tali strutture geologiche genera un'attività sismica che è testimoniata sia su base storica, che da episodi più recenti (eventi sismici maggio 2012).

SCHEMA TETTONICO DELLA PIANURA PADANA ESTRATTO DA CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA



5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il ritiro delle acque dal bacino Padano è avvenuto da Ovest verso Est e dai margini delle catene verso l'asse della pianura (Gasperi e Pellegrini, 1984) si è verificato con movimenti alterni che hanno determinato situazioni sedimentarie con alternanze di depositi marini e/o di transizione e di episodi di deposizione continentale (Colombetti e altri, 1975). Il riempimento del bacino marino, fino alle condizioni di continentalità, avviene attraverso eventi tettonico-sedimentari separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale.

Questo andamento è testimoniato da superfici di discontinuità stratigrafica le quali indicano diverse fasi ed affiorano sul margine appenninico; nell'area oggetto di studio sono presenti litologie deposizionali di tipo sedimentario che hanno avuto inizio in era pleistocenica caratterizzato dal riempimento del Bacino Padano e che in età media pleistocenica a causa del sollevamento tettonico si verificano episodi deposizionali di origine continentale in quanto il sollevamento della catena appenninica con il suo rapido smantellamento e modellamento delle catene montuose danno luogo a sedimenti fluviali e fluvio-glaciali, ove la fase deposizionale precedentemente descritta è denominata Supersintema Emiliano Romagnolo.

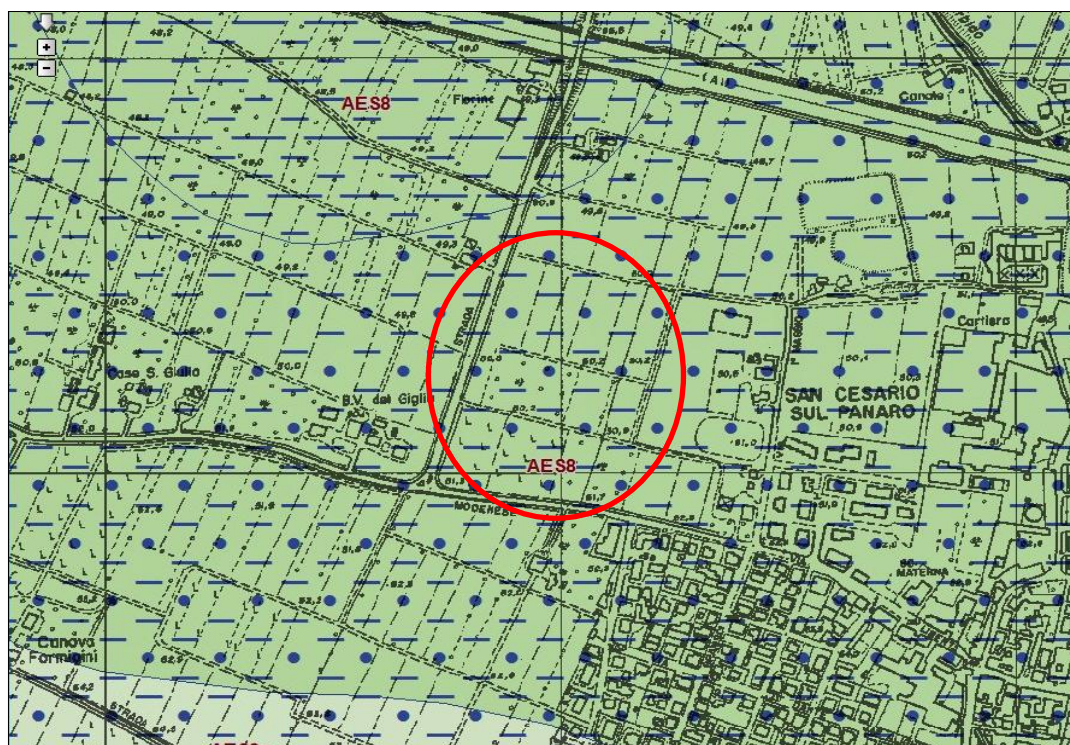
La zona oggetto di studio si colloca nella fascia di alta pianura modenese, in un settore deposizionalmente influenzato sia dai fenomeni deposizionali alluvionali del Fiume Panaro che durante le fasi di esondazione ha depositato sedimenti a granulometria variabile da grossolana a fine con variabilità laterale molto elevata relativamente allo spessore dei sedimenti.

Sottostanti ai depositi quaternari e di pianura sono presenti le formazioni geologiche di ambiente deposizionale marino a litologia fine argillosa e limosa; con riferimento alla carta geologica edita dalla Regione Emilia-Romagna, nell'area in esame affiorano depositi appartenenti alle sotto riportate formazioni e coperture quaternarie:

Coperture Quaternarie

AES8 – Subsintema di Ravenna: Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m.

ESTRATTO DI CARTA GEOLOGICA EDITA DALLA REGIONE EMILIA ROMAGNA - SCALA 1:5.000



AES8 – Subsintema di Ravenna

● — Limi sabbiosi

— Limi argillosi

○ Area di Interesse

6 INQUADRAMENTO IDROMORFOLOGICO

L'area di studio si inquadra geograficamente su di una porzione dovuta all'unità idrogeologica della conoide del Fiume Panaro, attualmente insediato ad una distanza di circa Km.0,70 in direzione sud rispetto all'abitato di San Cesario.

La situazione idrogeologica, che in superficie si evidenzia con un prevalente senso di scorrimento in direzione NW delle acque superficiali, identificabili nell'unità idrografica principale del fiume Panaro ed infossature antropiche agronomiche, risulta nel sottosuolo condizionata dagli antichi apporti fluviali, ospitanti acquiferi del tipo confinato all'interno di alluvioni ghiaioso-sabbiose o in deboli acquiferi del tipo libero, presenti in lenti superficiali talvolta arealmente disomogenee.

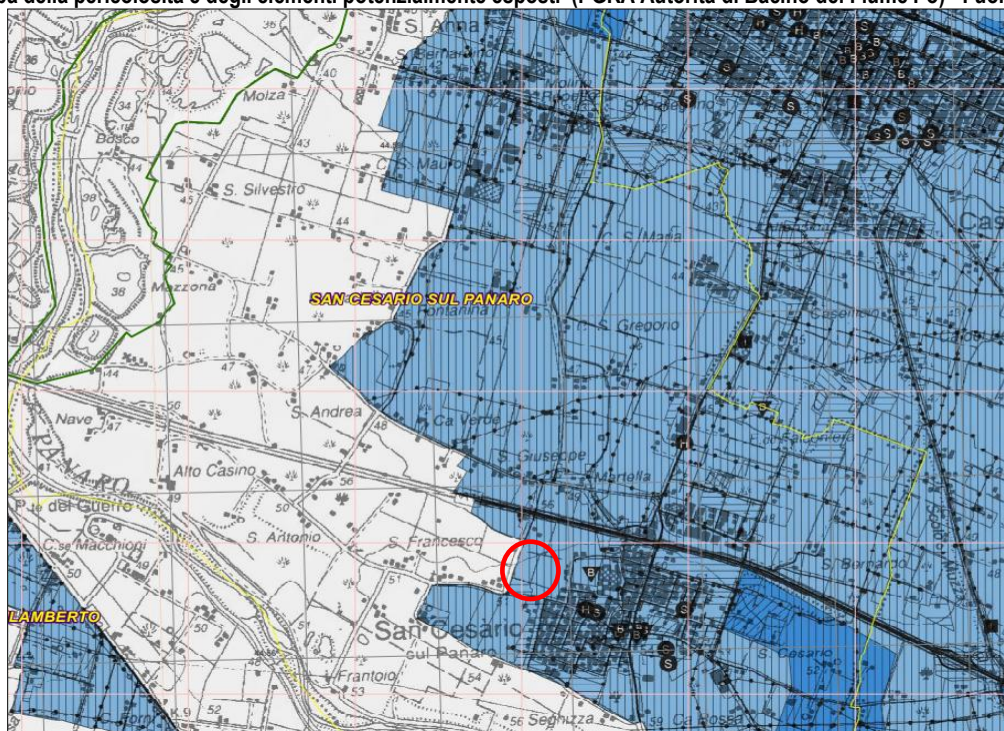
La *Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento* (Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi 2 - Alta e media pianura modenese, N. Paltrinieri, M. Pellegrini, A. Zavatti, 1990) riporta l'area in esame come inserita all'interno di un grado di vulnerabilità medio alto, in cui le litologie alluvionali sono caratterizzate appunto da materiali pseudocoerenti; nella stessa cartografia il rilievo piezometrico, riferito alla fase di piena della primavera dell'anno '87, riporta il punto d'interesse in prossimità dell'isopiezia di mt.38-39 s.l.m.

Morfologicamente il sito risulta incassato a catino rispetto ai bordi, essendo più basso di circa mt.1,0 sia di via Modenese che di via Belfiore; a nord il rialzo è dato dalla sede della Autostrada A1, al cui piede è posta una fossatura all'interno della quale sembrano confluire parte delle acque meteoriche, mentre ad ovest il rialzo maggiore è dato da un sopralzo di terreni antropici che la chiude almeno per metà.

Ad ovest corre il canale Torbido, una volta servente la Cartiera e passante al di sotto del tracciato A1, al cui interno sembrano confluire le acque della zona.

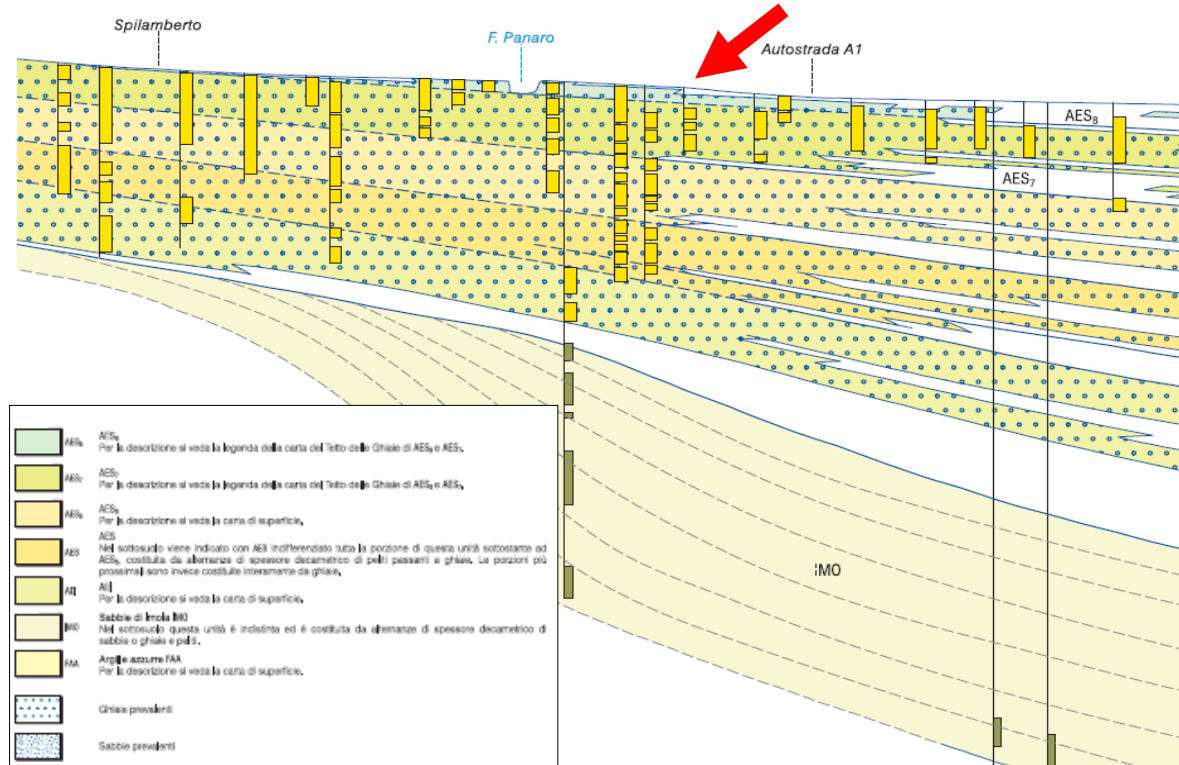
Secondo il piano di gestione del rischio alluvioni RER, l'ambito territoriale di appartenenza del sito è quello del Reticolo Secondario di Pianura; nella Mappa della Pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti prodotta nell'ambito del PGRA, Variante approvata il 3 Marzo 2016, viene inserito nel P2 - L (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100-200 anni) con rischio R1.

Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti (PGRA Autorità di Bacino del Fiume Po) - Fuori Scala



Scenari di Pericolosità

- | | |
|---|---|
|  | P3 – H (Alluvioni frequenti:
tempo di ritorno tra 20 e 50 anni - elevata probabilità) |
|  | P2 – M (Alluvioni poco frequenti:
tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità) |
|  | P1 – L (Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi) |

SEZIONE 12 R.E.R.

220010 P 675

[illegible]

220010 P687

[illegible]

7 VINCOLI E ZONIZZAZIONI P.T.C.P. DELLA PROVINCIA DI MODENA

Con riferimento alla cartografia allegata al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Modena approvato con DCP n.46 del 18/03/2009 ed in vigore dal 08/04/2009, l'area oggetto di studio risulta essere compresa all'interno delle seguenti cartografie tematiche:

TAV. 1.1 – TUTELA DELLE RISORSE PAESISTICHE E STORICO-CULTURALI

L'area in oggetto risulta esterna a zonizzazione di vincoli e tutele

TAV. 1.2 – TUTELA DELLE RISORSE NATURALI, FORESTALI E DELLA BIODIVERSITA' DEL TERRITORIO

L'area in oggetto risulta interna ad aree definite come ambiti agricoli periurbani di rilievo provinciale (art. 72)

TAV. 2.2 – RISCHIO SISMICO: CARTA DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI

La zona in oggetto risulta all'interno di un'area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche

TAV. 2.3 – RISCHIO IDRAULICO: CARTA DELLA PERICOLOSITA' E DELLA CRITICITA' IDRAULICA

L'area in oggetto risulta all'interno di aree soggette a criticità idrauliche

TAV. 3.1 – RISCHIO INQUINAMENTO ACQUE: VULNERABILITA' ALL'INQUINAMENTO DELL'ACQUIFERO PRINCIPALE

L'area di intervento si colloca in un'area con grado di vulnerabilità alta (A) porzione centrale, elevata(E) lembo sud e di grado bassa (B) nel settore centro nord

TAV. 3.2 – RISCHIO INQUINAMENTO ACQUE: ZONE DI PROTEZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE DESTINATE AL CONSUMO UMANO

L'area in oggetto risulta compresa all'interno del settore di ricarica tipo B - zona di ricarica indiretta della falda (Art. 12A)

TAV. 3.3 – RISCHIO INQUINAMENTO ACQUE: ZONE VULNERABILI DA NITRATI DI ORIGINE AGRICOLA E ASSIMILATE

In relazione al rischio di inquinamento delle acque, la zona in oggetto risulta essere vulnerabile ai nitrati di origine agricola (Art. 13B)

TAV. 3.4 – RISCHIO INQUINAMENTO SUOLO

In relazione al rischio di inquinamento del suolo la zona in oggetto risulta essere esterna a vincoli di tutela ambientale

TAV. 6 – CARTA FORESTALE ATTIVITA' ESTRATTIVE

L'area in oggetto non risulta soggetta a vincoli di tutela

TAV. 7 – CARTA DELLE UNITA' DI PAESAGGIO

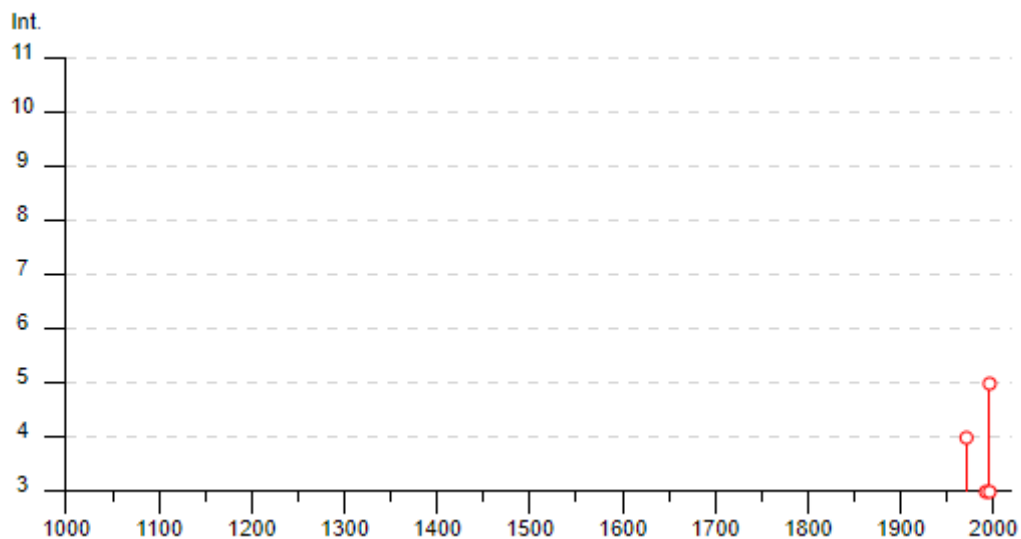
L'area in oggetto risulta identificata come paesaggio dell'alta pianura tra Castelfranco Emilia e San Cesario sul Panaro (zona 15)

8 SISMICITA'

La sismicità storica del Comune di San Cesario sul Panaro (MO) è stata desunta mediante la consultazione del database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Il database è stato realizzato nell'ambito delle attività del TTC (Tema Trasversale Coordinato) "Banche dati e metodi macrosismici" dell'INGV, con il contributo parziale del Dipartimento della Protezione Civile.

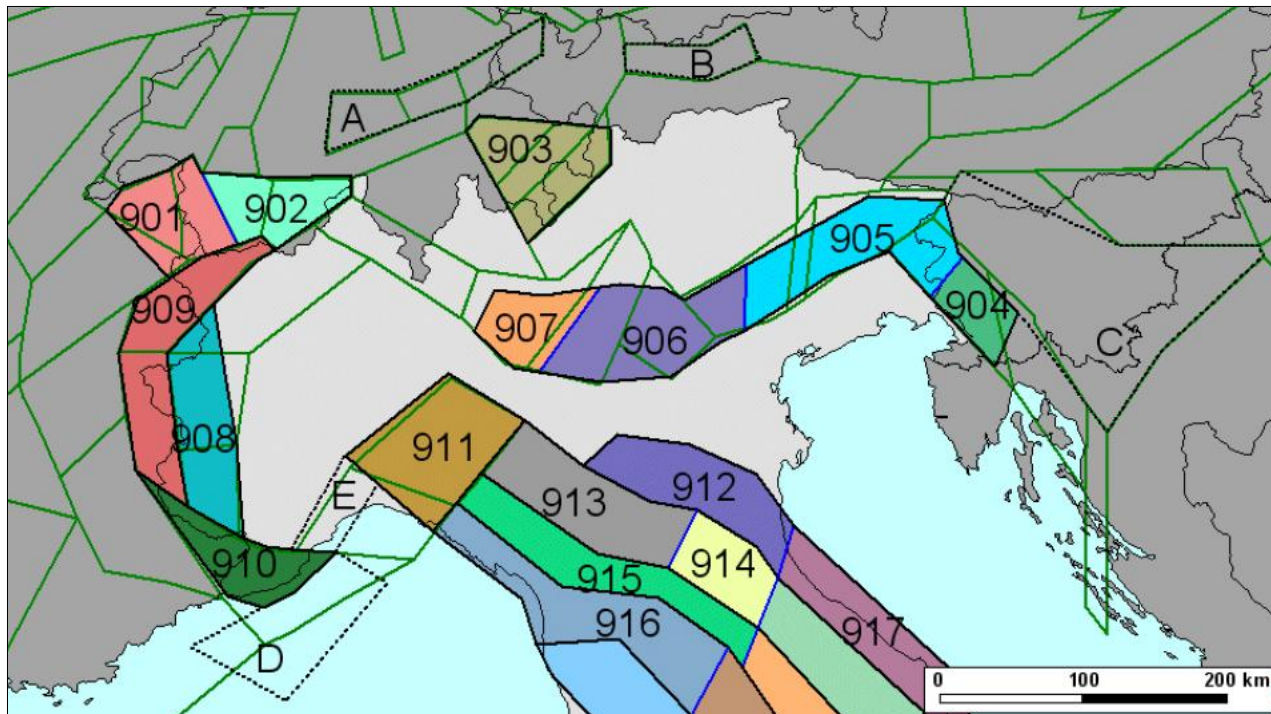
Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
NF	🔗	1899	06	26	23	17	22 Valle del Bisenzio	138	7	5.02
2	🔗	1967	04	03	16	36	18 Reggiano	45	5	4.44
4	🔗	1971	07	15	01	33	23 Parmense	228	8	5.51
2	🔗	1971	09	11	23	18	12 Pianura emiliana	15	5	4.19
NF	🔗	1986	12	06	17	07	1 Ferrarese	604	6	4.43
NF	🔗	1987	05	02	20	43	5 Reggiano	802	6	4.71
3	🔗	1992	04	17	11	59	0 Appennino bolognese	56	4-5	4.11
5	🔗	1996	10	15	09	55	5 Pianura emiliana	135	7	5.38
3	🔗	1996	12	16	09	09	5 Pianura emiliana	115	5-6	4.06
NF	🔗	1998	02	21	02	21	0 Pianura emiliana	104	5	3.93



9 ZONIZZAZIONE SISMICA NAZIONALE E REGIONALE

Negli ultimi anni il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica è stato rappresentato dalla zonazione sismogenetica ZS9 (Scandone et al. 1996 - 2000) che rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico riassunto in Meletti et al. (2000); in seguito all'emanazione dell'O.P.C.M. 20.3.2003, n. 3274 è stato redatto a cura di un gruppo di lavoro dell'INGV un documento denominato "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall' O.P.C.M. 20-3-2003, n. 3274. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici".

ZONIZZAZIONE SISMOGENETICA ZS9



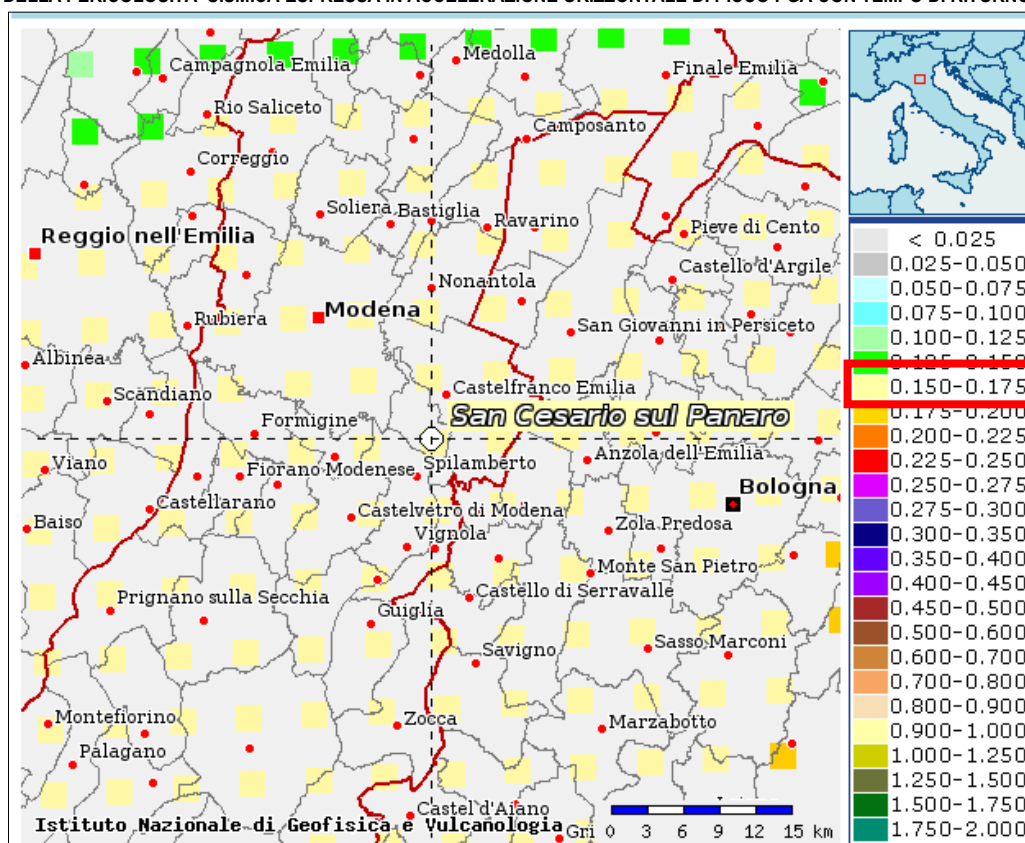
Tale modello ha utilizzato come base di partenza la precedente zonazione, con inserimento delle nuove conoscenze relative alla tettonica attiva della penisola italiana con anche le indicazioni derivanti da episodi sismici più recenti; la zonizzazione è stata costruita, pertanto, mediante l'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari, coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale.

Il confronto tra le informazioni ha permesso di costruire la carta del modello geodinamico e la sismicità osservata utilizzata per la costruzione della carta nazionale delle zone sismo genetiche; i dati relativi alla sismicità osservata sono stati desunti dal catalogo storico il quale contiene 2.488 eventi degli ultimi 1.000 anni con intensità epicentrali maggiore o uguale al V – VI grado MCS con magnitudo pari o maggiore a 4.

Per ogni zona sismogenetica è stata effettuata la caratterizzazione da un definito modello cinematico basato sulle relazioni di attenuazioni stimate delle misure accelerometriche rilevate sia sul territorio nazionale che europeo, con conseguente sviluppo delle carte di pericolosità sismica; il risultato finale raggiunto è rappresentato da una stima del rischio sismico espresso in termini probabilistici per ogni comune del territorio italiano. Il valore della pericolosità sismica di riferimento, PGA (Peak Ground Acceleration), ipotizza un substrato omogeneo roccioso associato ad un periodo di ritorno di 475 anni, valore convenzionale in quanto rappresenta l'accelerazione associata alla probabilità del 90% di non superamento considerato un tempo di ritorno di 50 anni.

La zona oggetto di studio si posiziona internamente alla zona sismogenetica nr. 913, che appartiene al complesso "Appennino Emiliano - Romagnolo" la quale presenta un valore di magnitudo massima pari a **Mwmax = 5,91**.

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA ESPRESSA IN ACCELERAZIONE ORIZZONTALE DI PICCO PGA CON TEMPO DI RITORNO 475 ANNI



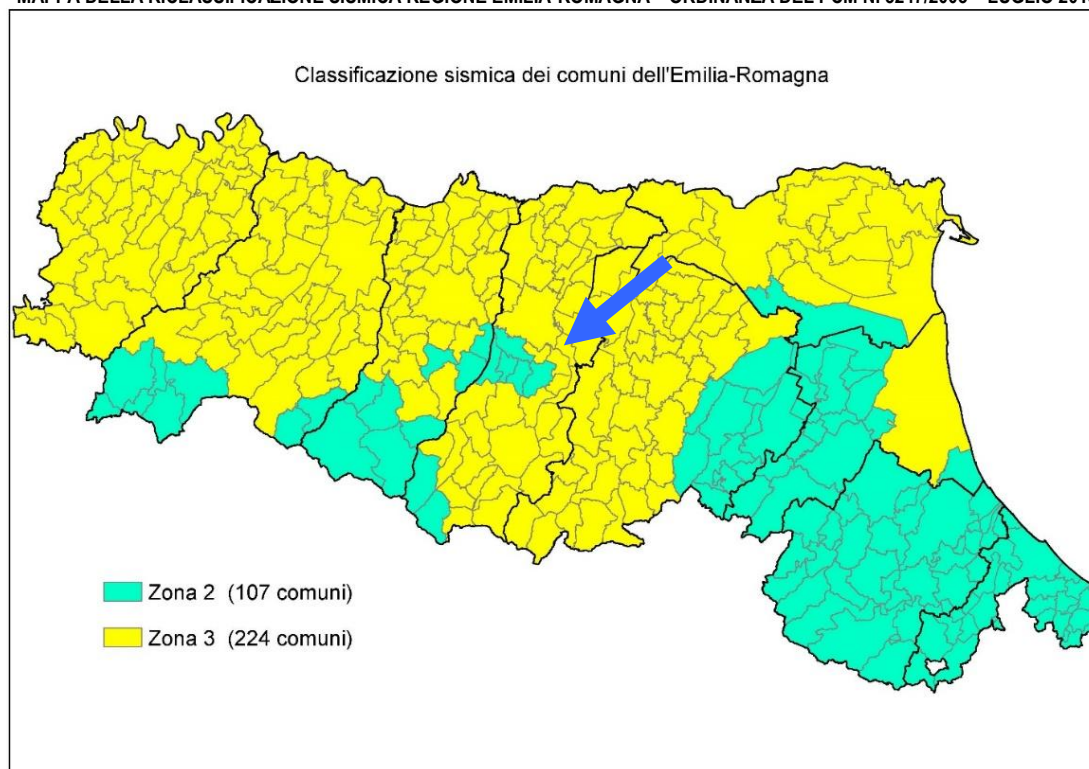
Con riferimento all'O.P.C.M. del 20.03.2003 n. 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modifiche (O.P.C.M. del 02.10.2003 n. 3316 e O.P.C.M. del 03.05.2005 n. 3431) e all'O.P.C.M. del 28.04.2006 n. 3519, vengono definiti i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche; le "Norme tecniche" suddividono il territorio nazionale in 4 zone sismiche, caratterizzate da 4 diversi valori di accelerazione (a_g) orizzontale massima convenzionale su suolo di tipo A, alle quali viene ancorato lo spettro di risposta elastico. Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30} > 800$ m/sec.

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [a_g]	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g]
1	$0,25 < a_g \leq 0,35$ g	0,35 g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25$ g	0,25 g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15$ g	0,15 g
4	$\leq 0,05$ g	0,05 g

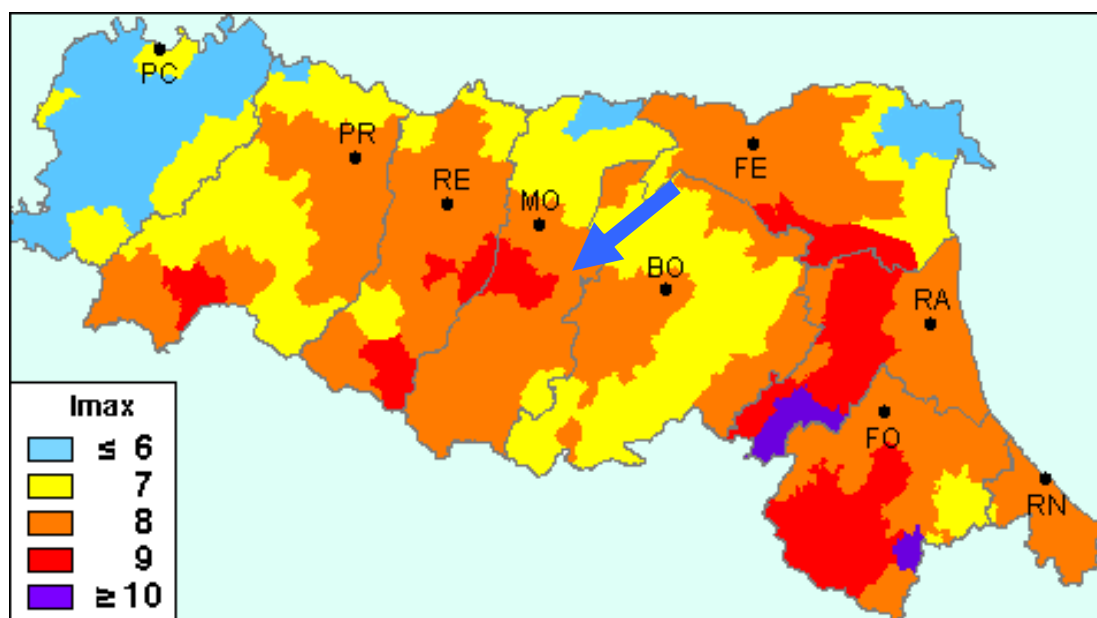
Con riferimento all'O.P.C.M. del 20.03.2003 n. 3274 il **Comune di San Cesario sul Panaro (MO)** ricade in **zona sismica 3**; con riferimento all'O.P.C.M. del 28.04.2006 n. 3519 al **Comune di San Cesario sul Panaro (MO)** è attribuito un valore di pericolosità sismica compreso tra **0,150 e 0,175**.

Per quanto riguarda l'aspetto macrosismico della zona in esame, dallo studio effettuato da D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise (1996) per conto del Dipartimento della Protezione Civile con l'utilizzo della banca dati del GNDT e il Catalogo dei Forti Terremoti Italiani di ING/SGA, il **Comune di San Cesario sul Panaro (MO)** presenta un'intensità macrosismica I_{max} pari a **8**.

MAPPA DELLA RICLASSIFICAZIONE SISMICA REGIONE EMILIA-ROMAGNA – ORDINANZA DEL PCM N. 3247/2003 – LUGLIO 2018



MAPPA DELLE MASSIME INTENSITA' MACROSISMICHE NEI COMUNI ITALIANI - PARTICOLARE DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA



10 INDAGINI GEOGNOSTICHE

10.1 PROVE PENETROMETRICHE

L'esame geomeccanico dei terreni si è svolto attraverso sei sondaggi penetrometrici dinamici, realizzati attraverso un'attrezzatura media Pagani (DPM3020) che sfrutta l'energia di battuta di un maglio di Kg.30 avente una volata di cm.20 su di un'incudine posta alla testa di un treno di aste, alla cui base estrema è posta una punta conica di area pari a cmq.10 con angolo alla punta di 60 gradi; l'ubicazione è stata posizionata in base alle previsioni di variante che sulla possibilità di transito dei terreni, lavorati agronomicamente e sondati in un periodo di piogge abbondanti.

Il diagramma dinamico riporta due logs di prova, di cui il primo illustra in funzione della profondità il n.colpi per l'avanzamento di cm.10 della punta ed il secondo, sempre in base al dato di profondità, presenta le resistenze dinamiche desunte attraverso la formula degli Olandesi e legate alle caratteristiche strumentali; in base ai dati penetrometrici si sono distinti più livelli lungo la verticale di prova, caratterizzati da valori dinamici uniformi, attribuendo a ciascuno la resistenza per dato medio e le principali proprietà definenti lo stato delle terre.

PROVA DPM1

Strati	Prof. Strato (m)	NPDM	Rdm	Tipo	Pv	Ps	Ts	NSPT
Str.1	0.9	4.89	16.21	Coesivo	1.68	1.87	0.08	3.68
Str.2	2.3	17.5	54.58	Mista	2.04	2.24	0.29	13.32
Str.3	2.9	8.83	26.43	Coesivo	1.85	1.89	0.49	6.77
Str.5	3.8	7.11	20.45	Coesivo	1.79	1.88	0.63	5.5
Str.6	3.9	50	137.41	Incoerente	2.2	2.1	0.72	38.65

PROVA DPM2

Strati	Prof. Strato (m)	NPDM	Rdm	Tipo	Pv	Ps	Ts	NSPT
Str.1	0.5	3.4	11.36	Coesivo	1.6	1.86	0.04	2.56
Str.2	1.8	20.69	66.2	Mista	2.07	2.28	0.21	15.75
Str.3	2.5	15.43	46.52	Coesivo	2.01	2.21	0.42	11.83
Str.5	3.0	11.6	34.33	Coesivo	1.93	2.12	0.54	8.9
Str.6	3.1	50	143.77	Incoerente	2.2	2.1	0.6	38.65

PROVA DPM3

Strati	Prof. Strato (m)	NPDM	Rdm	Tipo	Pv	Ps	Ts	NSPT
Str.1	0.6	2.83	9.46	Coesivo	1.57	1.85	0.05	2.13
Str.2	1.9	28.46	90.45	Mista	2.11	2.13	0.23	21.66
Str.3	2.2	16.0	48.24	Coesivo	2.02	2.22	0.4	12.27
Str.5	2.5	30.67	92.46	Coesivo	2.11	2.18	0.46	23.52
Str.6	2.6	50	150.75	Incoerente	2.19	2.09	0.5	38.35

PROVA DPM4

Strati	Prof. Strato (m)	NPDM	Rdm	Tipo	Pv	Ps	Ts	NSPT
Str.1	0.4	2.25	7.52	Coesivo	1.54	1.85	0.03	1.69
Str.2	1.8	17.0	54.42	Mista	2.04	2.24	0.2	12.94
Str.3	3.2	6.36	18.87	Coesivo	1.75	1.88	0.47	4.88
Str.5	3.3	50	143.77	Incoerente	2.2	2.1	0.6	38.65

PROVA DPM5

Strati	Prof. Strato (m)	NPDM	Rdm	Tipo	Pv	Ps	Ts	NSPT
Str.1	0.4	2.75	9.18	Coesivo	1.57	1.85	0.03	2.07
Str.2	1.6	18.58	59.7	Mista	2.05	2.25	0.19	13.99
Str.3	2.7	11.45	34.89	Coesivo	1.93	2.12	0.41	8.78
Str.5	3.7	5.5	15.88	Coesivo	1.72	1.87	0.61	4.25
Str.6	3.8	50	143.77	Incoerente				

PROVA DPM6

Strati	Prof. Strato (m)	N	Rdm	Tipo	Pv	Ps	Ts	NSPT
Str.1	0.5	3.8	12.69	Coesivo	1.62	1.86	0.04	2.86
Str.2	1.6	23.09	74.15	Mista	2.09	2.3	0.2	17.57
Str.3	2.1	8.2	25.28	Coesivo	1.82	1.89	0.36	6.24
Str.5	3.0	4.33	12.93	Coesivo	1.66	1.86	0.48	3.32
Str.6	3.2	20	57.51	Coesivo	2.07	2.28	0.57	15.46
Str.7	3.3	50	143.77	Incoerente	2.2	2.1	0.6	38.65

N=Numero colpi medio

Rdm=Resistenza dinamica media (Kg/cm²)

Nspt=Numero colpi prova SPT

Pv= Peso di volume (T/mc)

Ps= Peso di volume (T/mc)

Ts=Tensione efficace (Kg/cm²)

L'esame degli andamenti di diagramma permette un'interpretazione litologica del sottosuolo investigato, dove si evidenzia come le prove attraversino stratificazioni inizialmente coesive, con gradi di forza modesti ed ben estraibili dei quadri penetrometrici, sovrapposte ad una stratificazione probabilmente mista legata agli ultimi fenomeni alluvionali importanti del fiume Panaro; al di sotto le terre tornano coesive, con gradi di forza anche bassi, tali da precedere la bancata ghiaiosa addensata su cui si sono arrestate per rifiuto le dinamiche.

Ad un primo esame delle indagini geognostiche il tetto delle ghiaie sembra rialzarsi in direzione nord; nel corso d'indagine, non si è riscontrata per le profondità raggiunte, acqua libera di gravità nei fori di sondaggio.

UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE



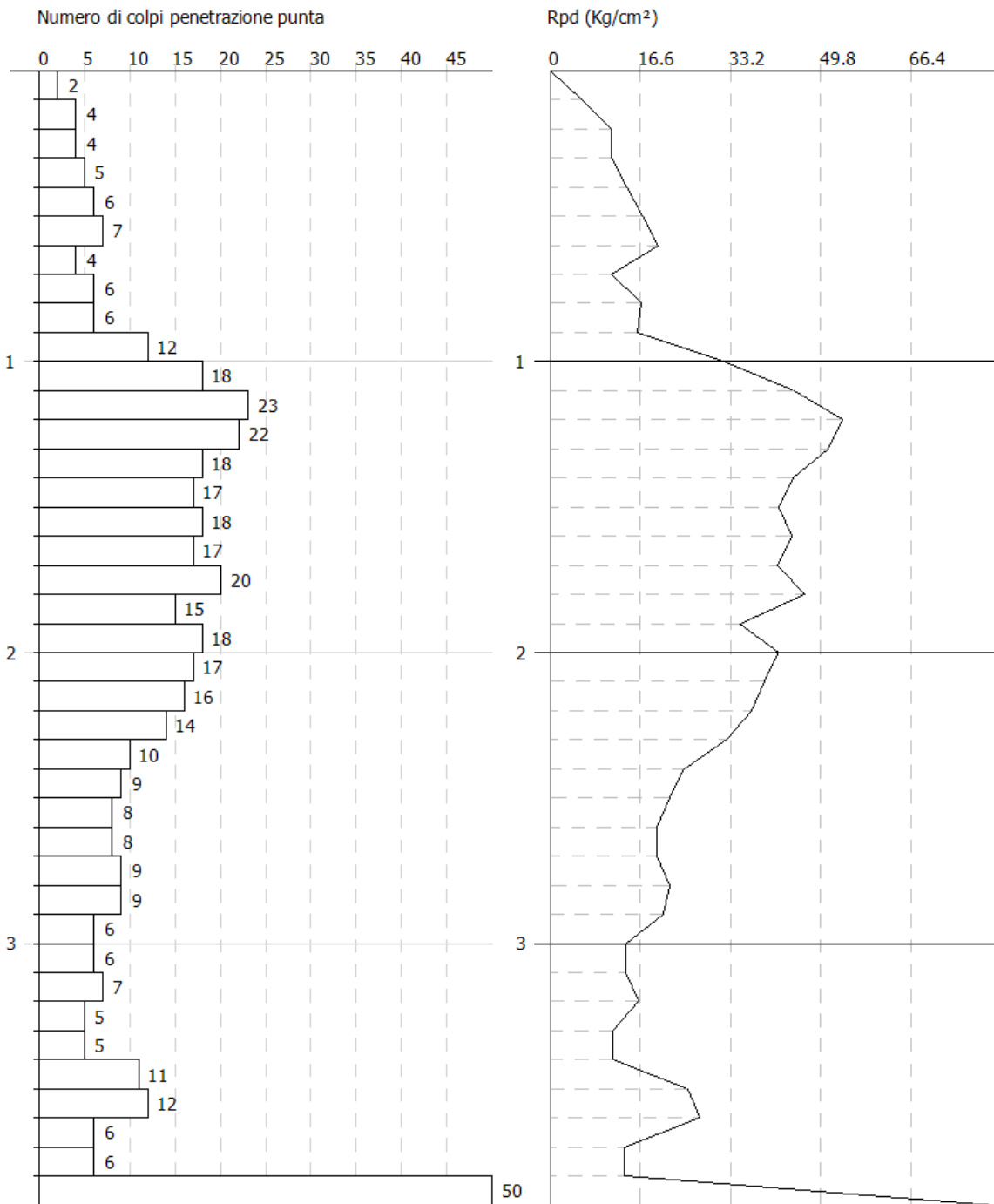


STUDIO GEOLOGICO PRO-GEO
VIALE L.A. MURATORI 100 MODENA
TEL.FAX.059239843 CELL.3475703676
EMAIL:silviopaganelli@gmail.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: COLLINA AUGUSTO
Descrizione: VARIANTE P.R.G.
Localita': VIA BELFIORE, SAN CESARIO SUL PANARO

21-11-2021



MAGLIO Kg.30, VOLATA Cm.20, AREA PUNTA Cmq.10, ANGOLO PUNTA Gradi 60, PESO ASTE Kg.2.7, MASSA PASSIVA Kg.21.0

FIRMA

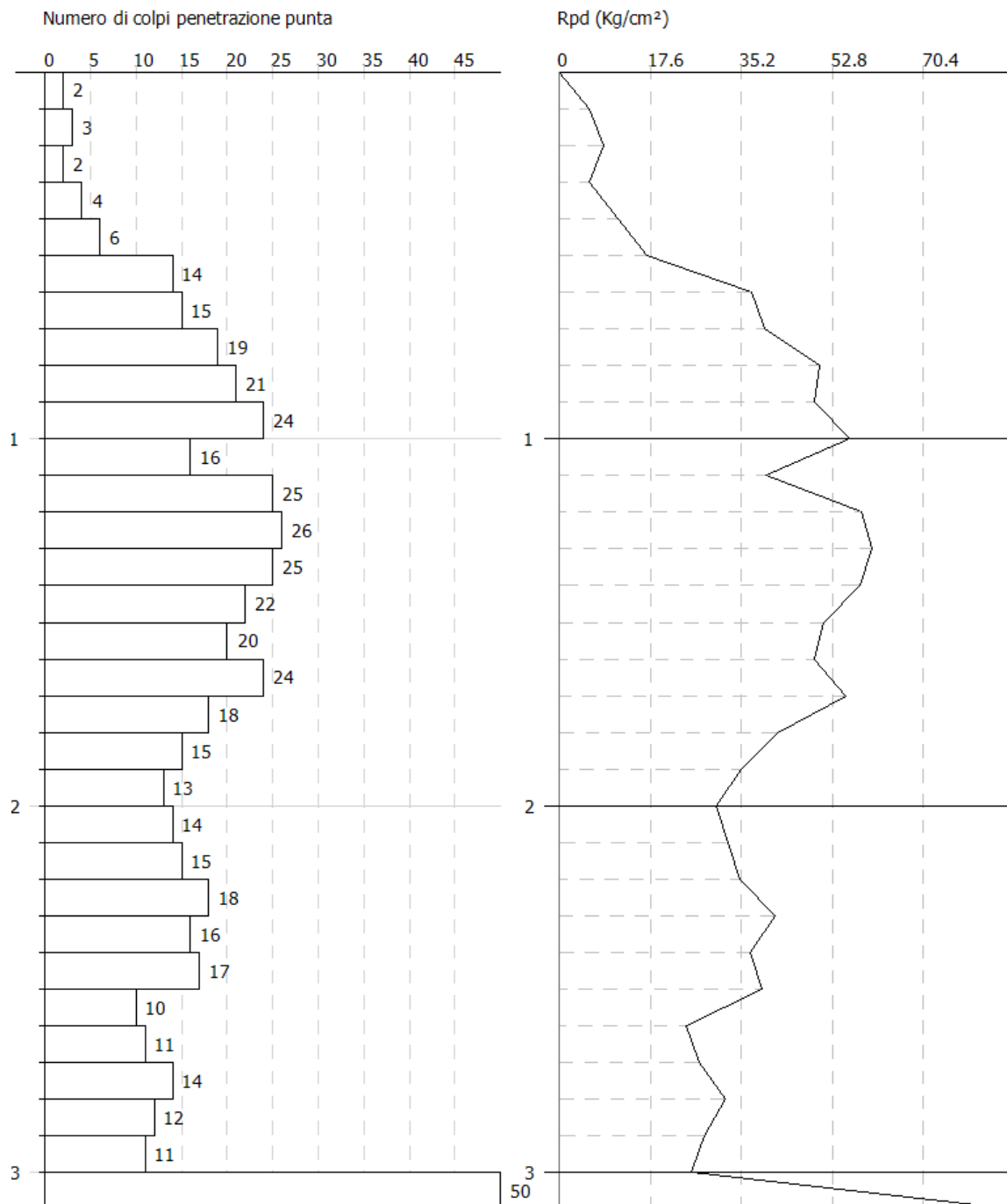


STUDIO GEOLOGICO PRO-GEO
VIALE L.A. MURATORI 100 MODENA
TEL.FAX.059239843 CELL.3475703676
EMAIL:silviopaganelli@gmail.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: COLLINA AUGUSTO
Descrizione: VARIANTE P.R.G.
Localita': VIA BELFIORE, SAN CESARIO SUL PANARO

21-11-2021



MAGLIO Kg.30, VOLATA Cm.20, AREA PUNTA Cmq.10, ANGOLO PUNTA Gradi 60, PESO ASTE Kg.2.7, MASSA PASSIVA Kg.21.0

FIRMA

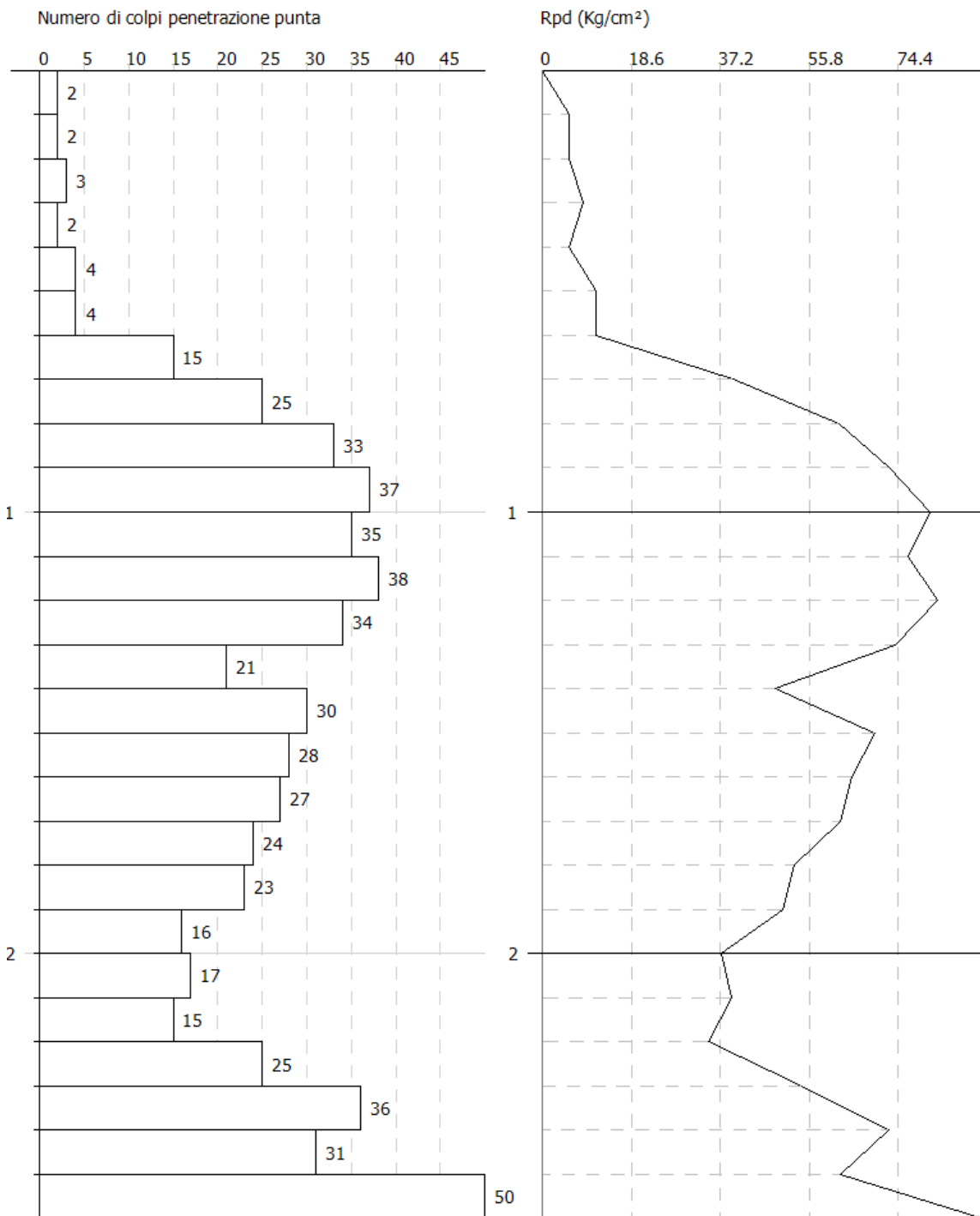


STUDIO GEOLOGICO PRO-GEO
VIALE L.A. MURATORI 100 MODENA
TEL.FAX.059239843 CELL.3475703676
EMAIL:silviopaganelli@gmail.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: COLLINA AUGUSTO
Descrizione: VARIANTE P.R.G.
Localita': VIA BELFIORE, SAN CESARIO SUL PANARO

21-11-2021



MAGLIO Kg.30, VOLATA Cm.20, AREA PUNTA Cmq.10, ANGOLO PUNTA Gradi 60, PESO ASTE Kg.2.7, MASSA PASSIVA Kg.21.0

FIRMA

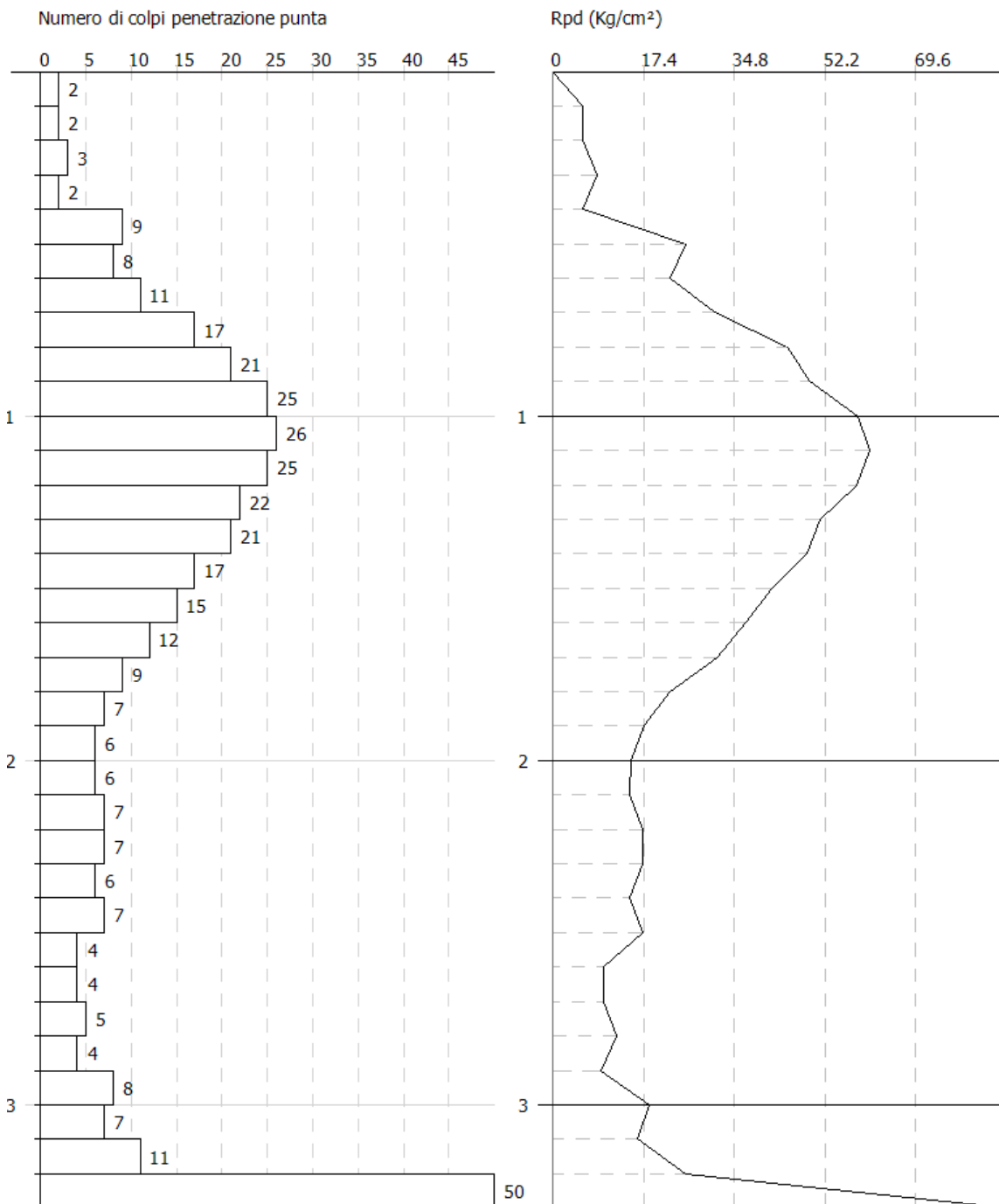


STUDIO GEOLOGICO PRO-GEO
VIALE L.A. MURATORI 100 MODENA
TEL.FAX.059239843 CELL.3475703676
EMAIL:silviopaganelli@gmail.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: COLLINA AUGUSTO
Descrizione: VARIANTE P.R.G.
Localita': VIA BELFIORE, SAN CESARIO SUL PANARO

21-11-2021



MAGLIO Kg.30, VOLATA Cm.20, AREA PUNTA Cmq.10, ANGOLO PUNTA Gradi 60, PESO ASTE Kg.2.7, MASSA PASSIVA Kg.21.0

FIRMA

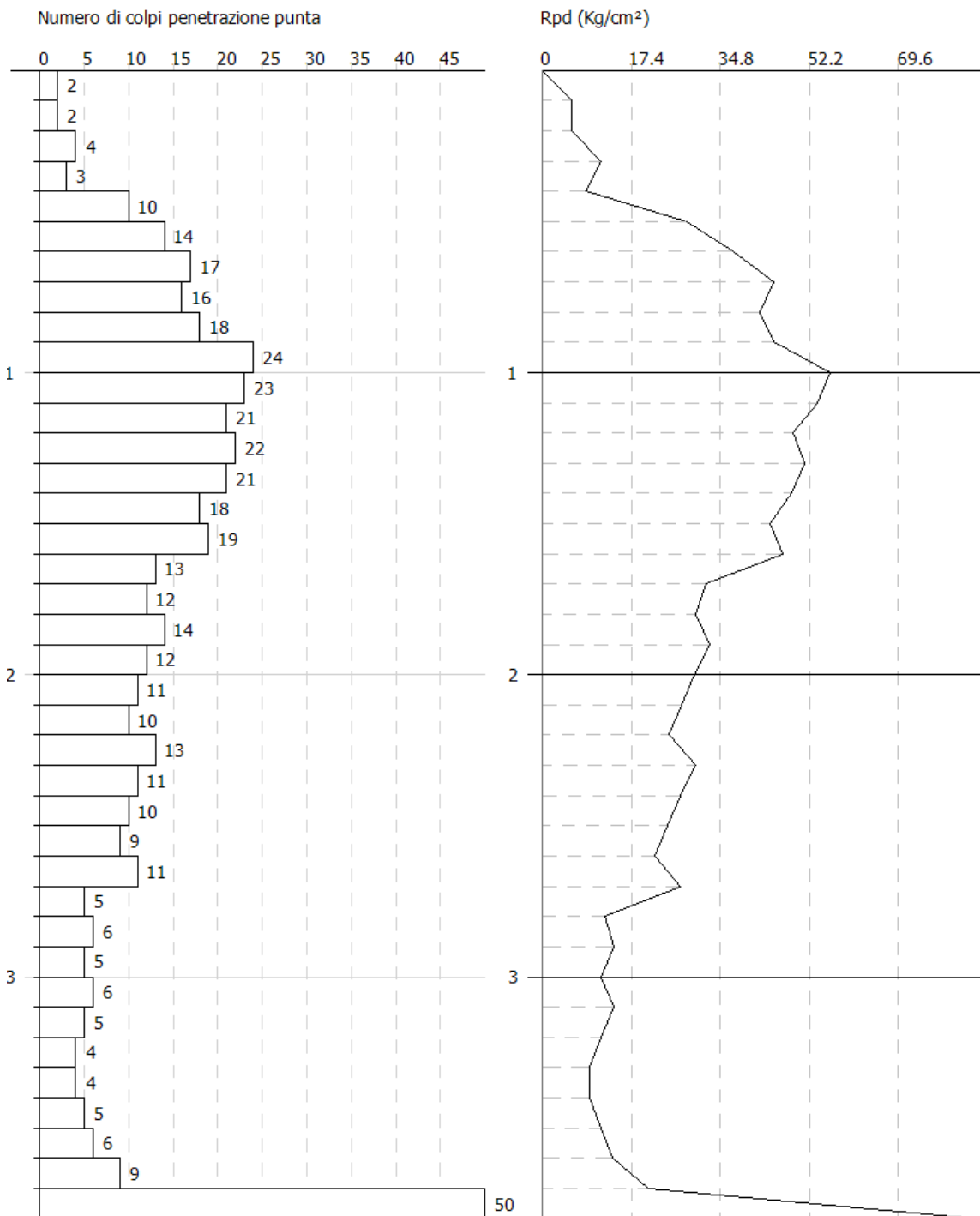


STUDIO GEOLOGICO PRO-GEO
VIALE L.A. MURATORI 100 MODENA
TEL.FAX.059239843 CELL.3475703676
EMAIL:silviopaganelli@gmail.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.5
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: COLLINA AUGUSTO
Descrizione: VARIANTE P.R.G.
Localita': VIA BELFIORE, SAN CESARIO SUL PANARO

21-11-2021



MAGLIO Kg.30, VOLATA Cm.20, AREA PUNTA Cmq.10, ANGOLO PUNTA Gradi 60, PESO ASTE Kg.2.7, MASSA PASSIVA Kg.21.0

FIRMA

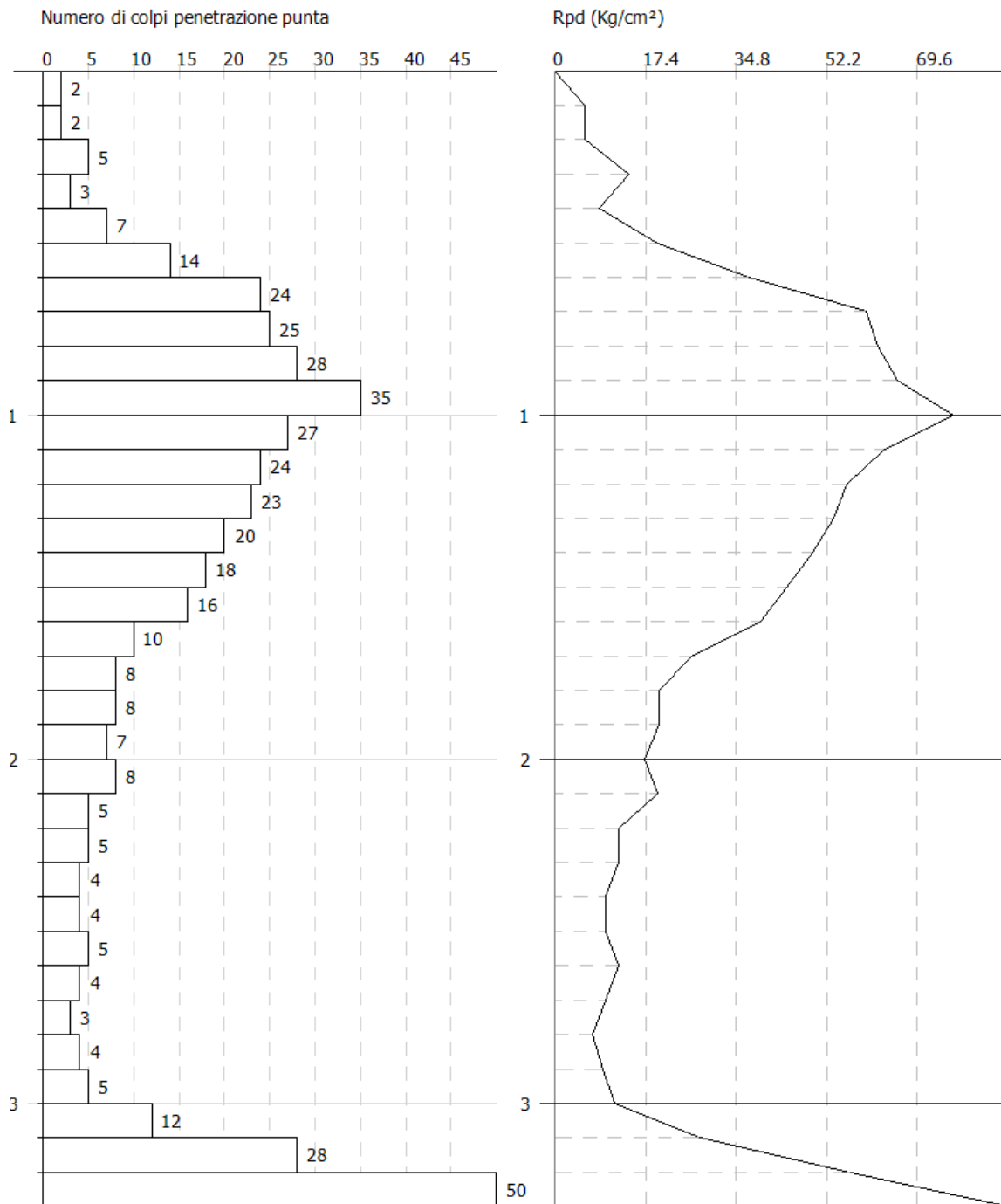


STUDIO GEOLOGICO PRO-GEO
VIALE L.A. MURATORI 100 MODENA
TEL.FAX.059239843 CELL.3475703676
EMAIL:silviopaganelli@gmail.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.6
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: COLLINA AUGUSTO
Descrizione: VARIANTE P.R.G.
Localita': VIA BELFIORE, SAN CESARIO SUL PANARO

21-11-2021



MAGLIO Kg.30, VOLATA Cm.20, AREA PUNTA Cmq.ID, ANGOLO PUNTA Gradi 60, PESO ASTE Kg.2,7, MASSA PASSIVA Kg.21,0

10.2 INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE CON TECNICA MASW

In corrispondenza dell'area oggetto di variante sono state eseguite in collaborazione con GEO-XPRT Italia srl, nr. 2 indagini sismiche attive a rifrazione con tecnica MASW per definire l'andamento delle onde di taglio nel primo sottosuolo.

La strumentazione utilizzata per il rilievo sismico presenta le sotto riportate caratteristiche tecniche:

- Acquisitore a 24 canali fabbricato dalla ditta PASI mod. GEA24 dotato di convertitore analogico/digitale
- Risoluzione 24bit
- 24 geofoni a frequenza di risonanza pari 4.5 Hz e distorsione inferiore allo 0,2%
- Nr. 2 Cavi telemetrici con 12 connettori cadauno per collegamento geofoni – lunghezza 75 mt
- Energizzazione del terreno mediante mazza da Kg 10 su piattello in alluminio
- Start trigger mediante geofono da 10Hz posto a contatto del piattello in alluminio.

Caratteristiche geometriche e di registrazione

- | | | | |
|--|---------|-----------------------------|-------------|
| • Tipo di stendimento: | Lineare | | |
| • Equidistanza geofonica: | 1.50 ml | Lunghezza complessiva: | 36.00 ml. |
| • Tempo di campionamento: | 1024 Ms | Frequenza di campionamento: | 500 μ S |
| • Filtri inseriti in fase di acquisizione: | nessuno | | |

Per l'acquisizione dei dati sono state effettuate ripetute energizzazioni disposte all'estremità dello stendimento ad una distanza massima pari a 12,00 m.; la determinazione della velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) è stata effettuata mediante l'elaborazione dei dati registrati dalla strumentazione con il metodo MASW, secondo quanto indicato dall'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) del 17/01/2018 pubblicate in Gazzetta Ufficiale in data 20/02/2018. Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche.

L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

Con riferimento al modello geotecnico sintetico determinato con le indagini in sito, è stata tracciata una curva di dispersione teorica, la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \cdot x \cdot v$$

In seguito, i parametri del modello geotecnico preliminare si sono apportate le modifiche necessarie al fine di ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale. Questa fase definita come processo di inversione consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi caratterizzati da valori di rigidità differente.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

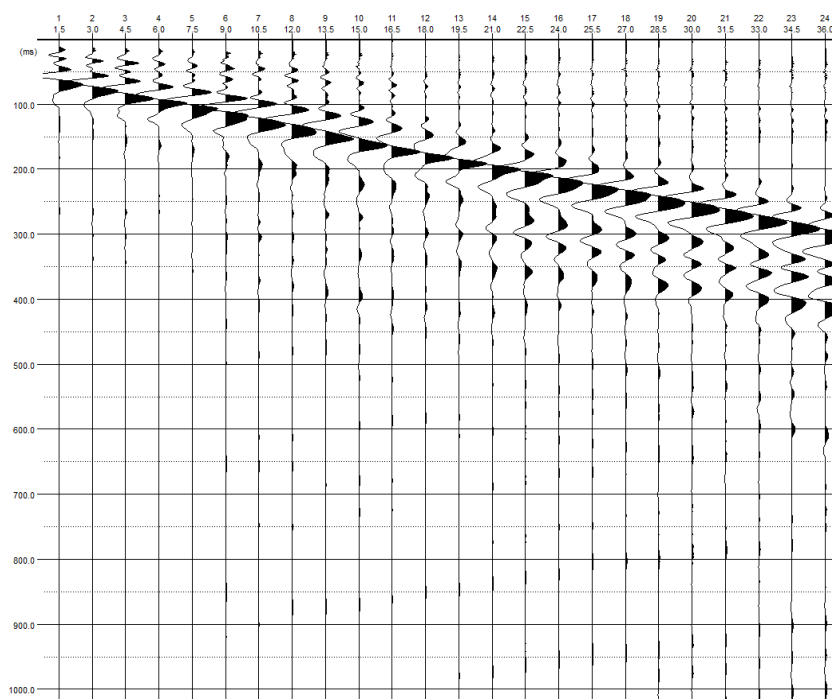
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

L'elaborazione ha riguardato l'intero campionamento della registrazione avente durata 1024 mS e una frequenza di campionamento di 500 microS.

D seguito si riportano i profili delle velocità delle onde di taglio ottenute dalle indagini sismiche MASW, mentre in allegato viene riportata l'elaborazione integrale delle indagini.

10.2.1 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE – MASW 1

ANDAMENTO TRACCE SISMICHE RILEVATE



ANDAMENTO DELL'ANALISI SPETTRALE

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/s]	1
Velocità massima di elaborazione [m/s]	800
Intervallo velocità [m/s]	1

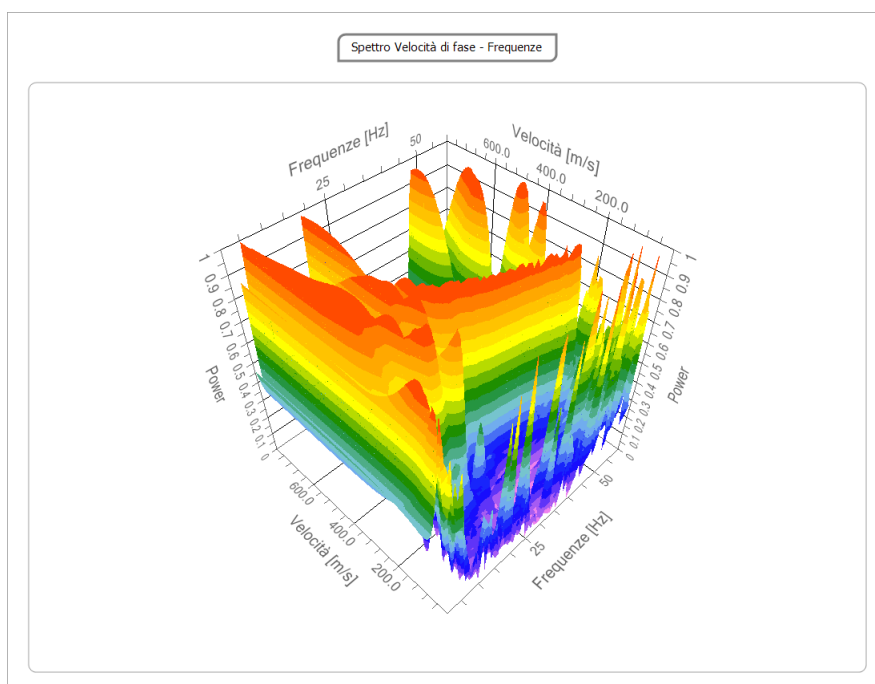
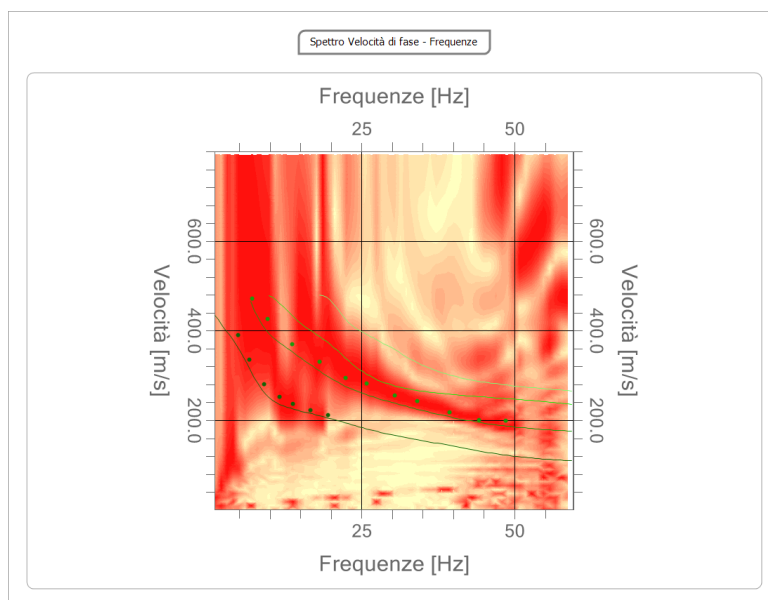


TABELLA RIPORTANTE I VALORI DELLA CURVA DI DISPERSIONE

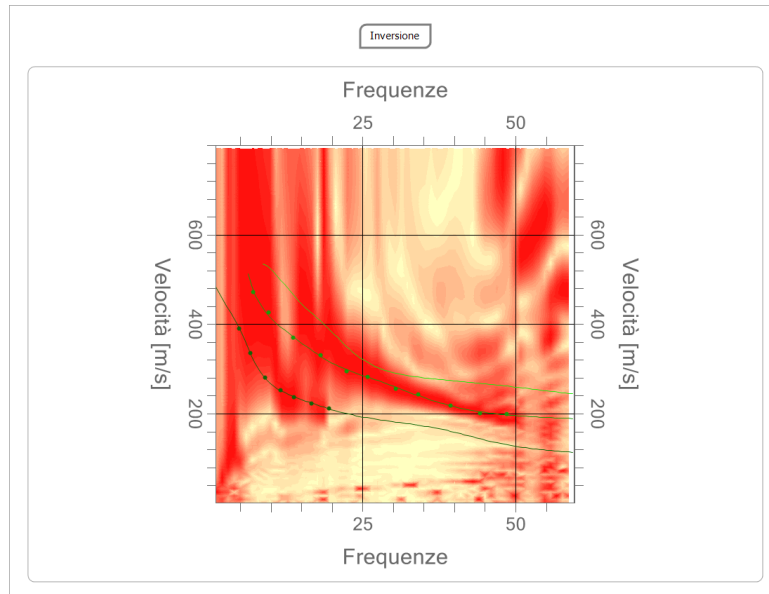
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/s]	Modo
1	4.8	389.9	0
2	7.1	471.6	1
3	6.6	336.0	0
4	9.6	425.8	1
5	9.0	280.4	0
6	13.6	370.3	1
7	11.6	252.6	0
8	13.7	236.3	0
9	16.6	223.2	0
10	18.2	331.1	1
11	19.5	211.8	0
12	22.4	295.1	1
13	25.9	282.0	1
14	30.4	255.9	1
15	34.1	242.8	1
16	39.4	218.3	1
17	44.2	200.3	1
18	48.5	198.7	1

ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE

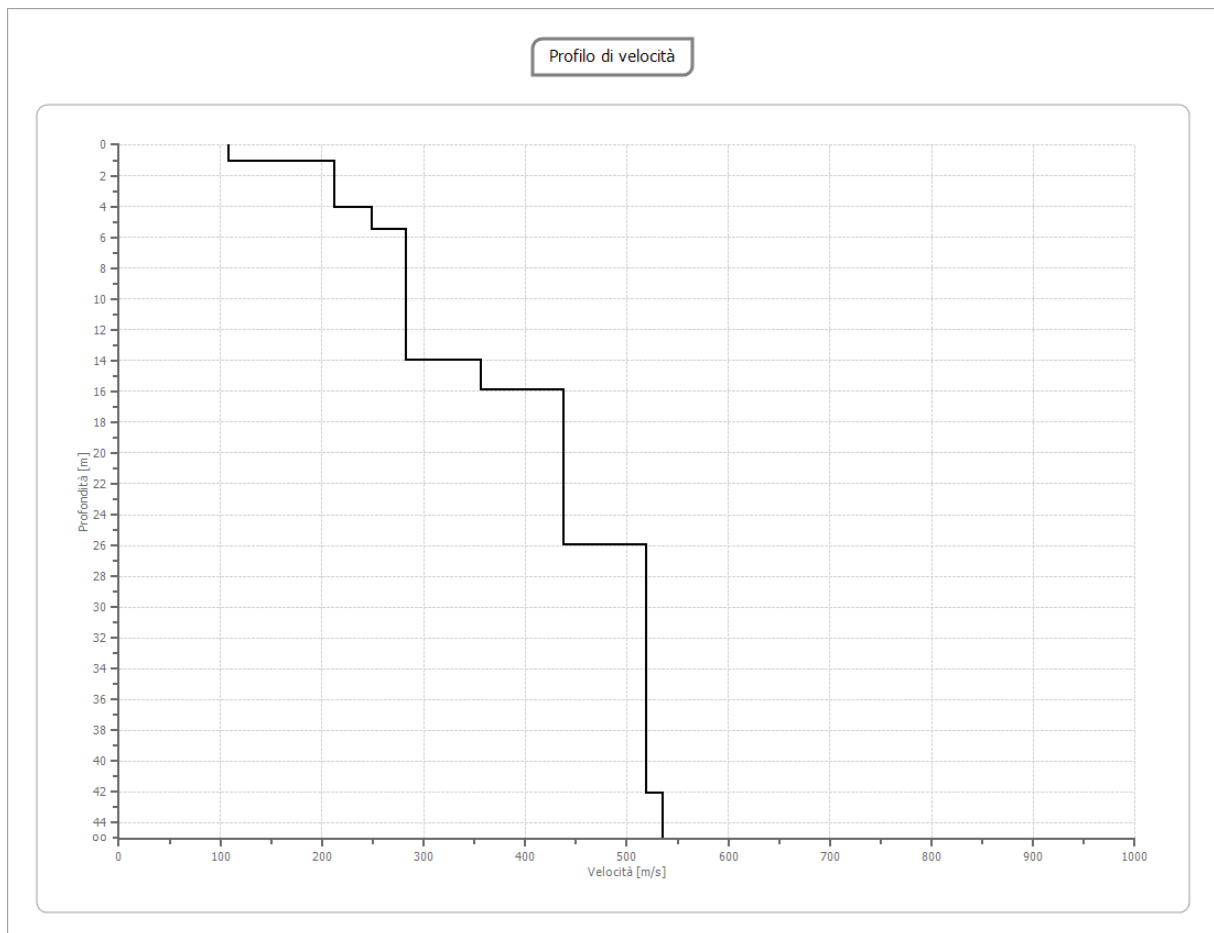


ANDAMENTO DELLA CURVA OTTENUTA CON IL PROCESSO DI INVERSIONE

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/s]	Vs [m/s]
1	1.04	1.04	1800.0	0.40	No	265.3	108.3
2	4.08	3.04	1810.0	0.40	No	518.1	211.5
3	5.48	1.40	1820.0	0.40	No	608.5	248.4
4	13.99	8.50	1880.0	0.25	Si	489.3	282.5
5	15.87	1.89	1850.0	0.40	Si	871.6	355.8
6	25.93	10.06	1880.0	0.25	Si	757.8	437.5
7	42.10	16.17	1900.0	0.25	Si	899.3	519.2
8	oo	oo	1950.0	0.40	Si	1311.4	535.4



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO - MASW 1



Al termine della elaborazione si è riscontrata una convergenza dei valori (Errore dell'elaborazione) pari a **0,009**, con un fattore di disadattamento della soluzione pari a **0,009**.

TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA'

G0: Modulo di deformazione al taglio (*);

Ed: Modulo edometrico (*);

M0: Modulo di compressibilità volumetrica (*);

Ey: Modulo di Young (*);

*) Valori validi per piccolissime deformazioni comprese nel tratto lineare elastico del legame costitutivo dei materiali (deformazioni tangenziali inferiori alla soglia elastica).

N.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	densità [Kg/cm ³]	Coefficiente di Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.04	1.04	108.31	265.3	1800	0.4	21.12	126.69	98.54	59.12	29	34.88
2	4.08	3.04	211.5	518.07	1810	0.4	80.97	485.8	377.84	226.7	N/A	1007.17
3	5.48	1.4	248.41	608.47	1820	0.4	112.3	673.82	524.08	314.45	N/A	2259.98
4	13.99	8.5	282.52	489.34	1930	0.25	154.05	462.15	256.75	385.13	N/A	4314.92
5	15.87	1.89	355.84	871.62	1900	0.4	240.58	1443.47	1122.7	673.62	N/A	N/A
6	25.93	10.06	437.54	757.85	1930	0.25	369.49	1108.47	615.82	923.72	N/A	N/A
7	42.1	16.17	519.21	899.3	1950	0.25	525.68	1577.05	876.14	1314.21	N/A	N/A
8	oo	oo	535.39	1311.43	2000	0.4	573.28	3439.68	2675.31	1605.18	0	N/A

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine MASW ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali (V_s) fino a una profondità di **42,10 ml.** dal piano campagna, profondità alla quale non si sono riscontrati valori di velocità superiori a 800 m/s, pertanto di seguito è stato calcolato il valore di $V_{s,30}$ con il quale il tecnico incaricato per la stesura della relazione geologica e sismica dovrà fare riferimento per la determinazione della categoria di sottosuolo

Velocità onde Vs da elaborazione MASW				
Strato	Base strato [m]	h_i [m]	$V_{s,i}$ [m/s]	$h_i / V_{s,i}$ [s]
1	1.04	1.04	108.31	0.009602
2	4.08	3.04	211.50	0.014374
3	5.48	1.40	248.41	0.005636
4	13.99	8.51	282.52	0.030122
5	15.87	1.88	355.84	0.005283
6	25.93	10.06	437.54	0.022992
7	42.10	4.07	519.21	0.007839

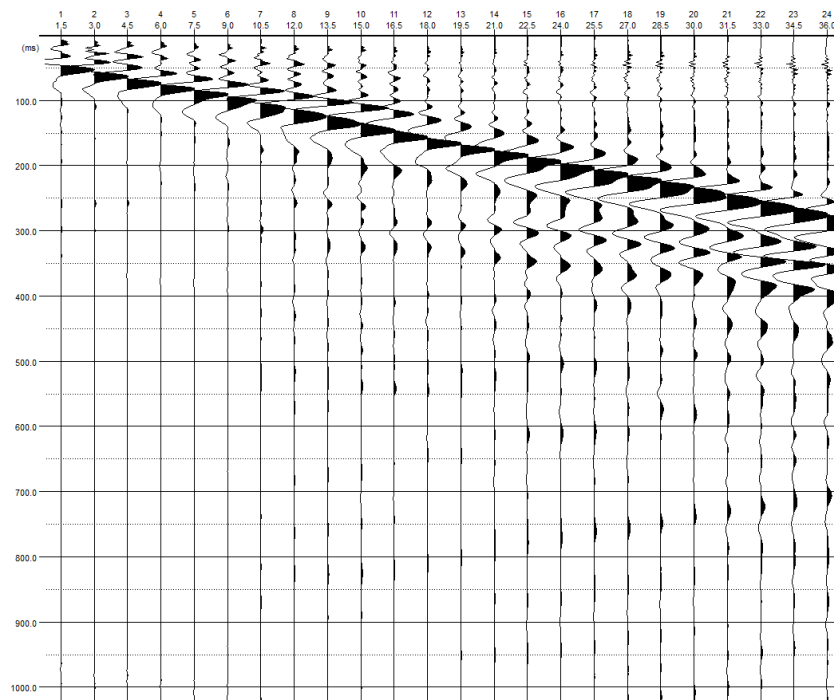
Calcolo del valore di $V_{s,eq}$		
$V_{s,eq}$ calcolato	313.00	[m/s]
Errore strumentale	0.009	[%]
$V_{s,eq}$ - Max	313.03	[m/s]
$V_{s,eq}$ - Min	312.97	[m/s]

Come riportato nella precedente tabella ai sensi del D. Min. Infrastrutture e Trasporti del 17/01/2018 il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ($V_{s,30}$) ottenuto mediante l'indagine M.A.S.W. è risultato pari a **313,00 m/s**, il quale, tenuto in considerazione l'errore derivante dall'elaborazione dei dati, risulta essere compreso tra **312,97 e 313,03 m/s**.

Con riferimento alla classificazione del suolo sulla base delle NTC 2018, preliminarmente è possibile assegnare al sito un suolo di **tipo C**: *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.*

10.2.2 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE – MASW 2

ANDAMENTO TRACCE SISMICHE RILEVATE



ANDAMENTO DELL'ANALISI SPETTRALE

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/s]	1
Velocità massima di elaborazione [m/s]	800
Intervallo velocità [m/s]	1

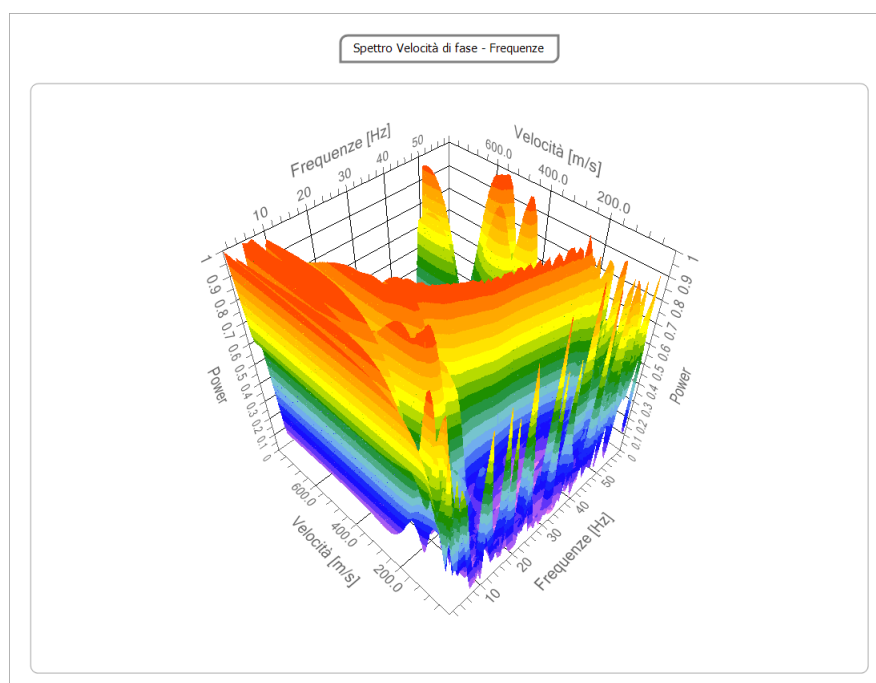
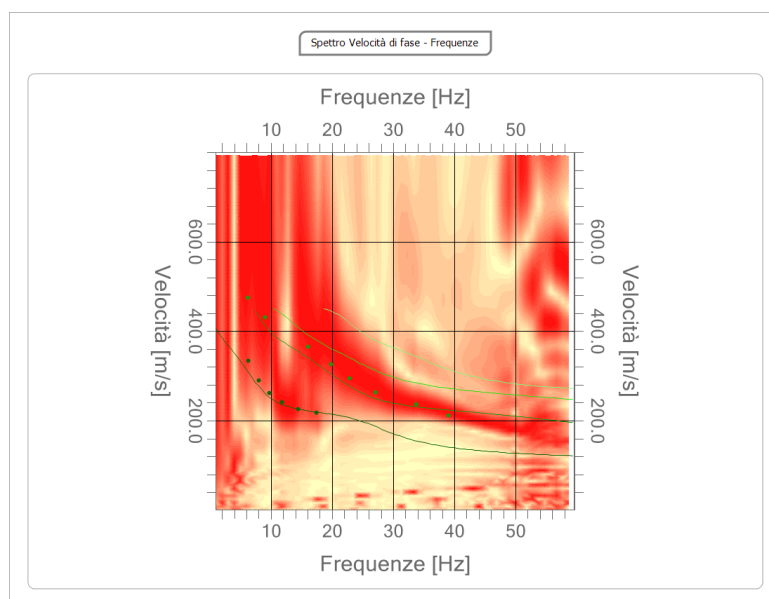


TABELLA RIPORTANTE I VALORI DELLA CURVA DI DISPERSIONE

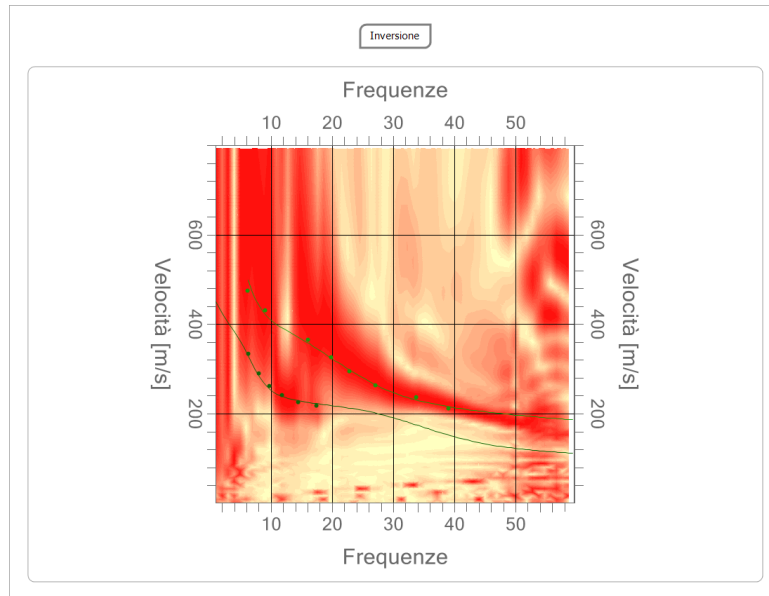
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/s]	Modo
1	6.3	334.3	0
2	8.0	290.2	0
3	6.2	474.8	1
4	9.0	430.7	1
5	9.8	262.4	0
6	11.8	241.2	0
7	14.4	226.5	0
8	16.0	365.4	1
9	17.4	218.3	0
10	19.9	326.2	1
11	22.9	295.1	1
12	27.1	264.1	1
13	33.8	236.3	1
14	39.1	211.8	1

ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE

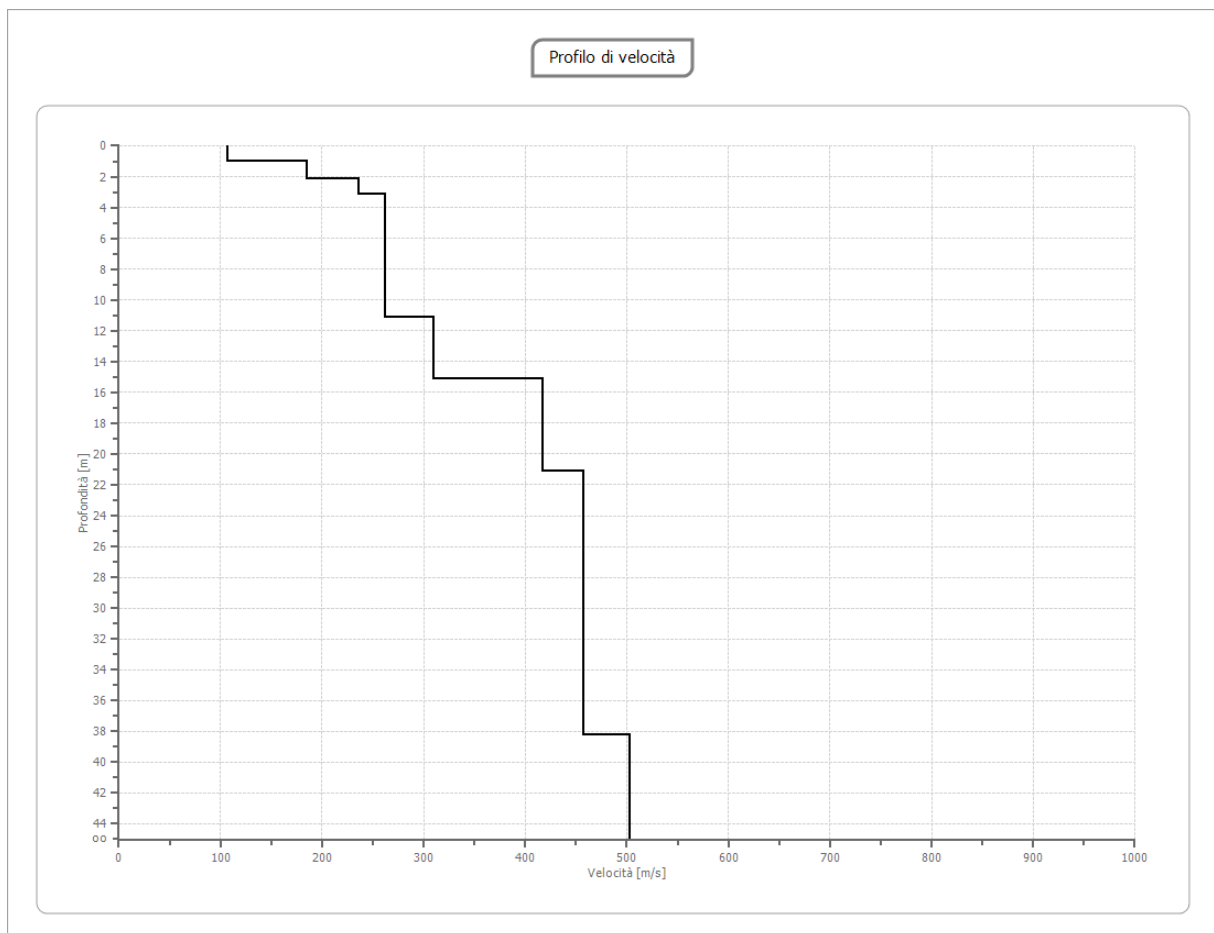


ANDAMENTO DELLA CURVA OTTENUTA CON IL PROCESSO DI INVERSIONE

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/s]	Vs [m/s]
1	1.01	1.01	1800.0	0.40	No	262.3	107.1
2	2.14	1.13	1810.0	0.40	No	451.6	184.4
3	3.14	1.00	1820.0	0.40	No	577.1	235.6
4	11.13	7.98	1880.0	0.25	Si	453.2	261.6
5	15.09	3.96	1850.0	0.40	Si	759.3	310.0
6	21.12	6.03	1880.0	0.25	Si	723.1	417.5
7	38.25	17.13	1900.0	0.25	Si	791.7	457.1
8	oo	oo	1800.0	0.40	Si	1230.9	502.5



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO - MASW 2



Al termine della elaborazione si è riscontrata una convergenza dei valori (Errore dell'elaborazione) pari a **0,082**, con un fattore di disadattamento della soluzione pari a **0,023**.

TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA'

G0: Modulo di deformazione al taglio (*);

Ed: Modulo edometrico (*);

M0: Modulo di compressibilità volumetrica (*);

Ey: Modulo di Young (*);

*) Valori validi per piccolissime deformazioni comprese nel tratto lineare elastico del legame costitutivo dei materiali (deformazioni tangenziali inferiori alla soglia elastica).

N.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	densità [Kg/cm ³]	Coefficiente di Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.01	1.01	107.08	262.30	1800.00	0.40	20.64	123.84	96.32	57.79	28.00	32.94
2	2.14	1.13	184.38	451.65	1810.00	0.40	61.54	369.21	287.17	172.30	N/A	505.44
3	3.14	1.00	235.60	577.10	1820.00	0.40	101.02	606.14	471.44	282.86	N/A	1732.19
4	11.13	7.98	261.64	453.18	1930.00	0.25	132.12	396.37	220.20	330.31	N/A	2933.72
5	15.09	3.96	309.99	759.31	1900.00	0.40	182.57	1095.45	852.02	511.21	N/A	N/A
6	21.12	6.03	417.50	723.12	1930.00	0.25	336.40	1009.21	560.67	841.01	N/A	N/A
7	38.25	17.13	457.10	791.72	1950.00	0.25	407.44	1222.31	679.06	1018.59	N/A	N/A
8	∞	∞	502.50	1230.88	1800.00	0.40	454.52	2727.11	2121.09	1272.65	0.00	N/A

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine MASW ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali (V_s) fino a una profondità di **38,25 ml.** dal piano campagna, profondità alla quale non si sono riscontrati valori di velocità superiori a 800 m/s, pertanto di seguito è stato calcolato il valore di $V_{s,30}$ con il quale il tecnico incaricato per la stesura della relazione geologica e sismica dovrà fare riferimento per la determinazione della categoria di sottosuolo

Velocità onde Vs da elaborazione MASW				
Strato	Base strato [m]	h_i [m]	$V_{s,i}$ [m/s]	$h_i / V_{s,i}$ [s]
1	1.01	1.01	107.08	0.009432
2	2.14	1.13	184.38	0.006129
3	3.14	1.00	235.60	0.004244
4	11.13	7.99	261.64	0.030538
5	15.09	3.96	309.99	0.012775
6	21.12	6.03	417.50	0.014443
7	38.25	8.88	457.10	0.019427

Calcolo del valore di $V_{s,eq}$		
$V_{s,eq}$ calcolato	309.32	[m/s]
Errore strumentale	0.082	[%]
$V_{s,eq}$ - Max	309.57	[m/s]
$V_{s,eq}$ - Min	309.06	[m/s]

Come riportato nella precedente tabella ai sensi del D. Min. Infrastrutture e Trasporti del 17/01/2018 il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ($V_{s,30}$) ottenuto mediante l'indagine M.A.S.W. è risultato pari a **309,32 m/s**, il quale, tenuto in considerazione l'errore derivante dall'elaborazione dei dati, risulta essere compreso tra **309.06 e 309,57 m/s**.

Con riferimento alla classificazione del suolo sulla base delle NTC 2018, preliminarmente è possibile assegnare al sito un suolo di **tipo C**: *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.*

10.3 SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA HVSR

A completamento di quanto già prodotto, si sono realizzate due acquisizioni mediante sismica passiva a stazione singola utilizzando un tromografo Gemini 2 della ditta PASI Srl per la definizione del picco di risonanza dei terreni, ubicate su mappa; oltre alla determinazione della frequenza di vibrazione naturale di un sito, la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral) permette, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo Vs30 attraverso un processo di inversione che consente di definire un profilo in termini di spessore e velocità delle onde di taglio.

La tecnica proposta da Nakamura (1989) assume che i microtremori consistano principalmente di onde superficiali Rayleigh, che si propagano in un singolo strato soffice e che tale strato determini amplificazione al sito, ove i microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura prevalente da onde superficiali; le curve H/V possono essere convertite tramite inversione vincolata dal dominio H/V-frequenza al dominio Vs-profondità, ove in generale il vincolo è costituito dalla profondità di un riflettore sismico o dal valore di Vs del primo macrolivello sismico definiti tramite prove preliminari il cui marker sia riconoscibile nelle curve H/V.

Da questo elemento noto, si generano una serie di modelli sintetici e si considera attendibile il modello teorico più vicino alle curve sperimentali; Gemini2@PASI Srl è un registratore disegnato specificatamente per le acquisizioni del rumore sismico, trattandosi di uno strumento portatile tutto in uno nel quale è integrata una terna di geofoni con frequenza di risonanza pari a 2Hz (accuratamente accoppiati meccanicamente ed elettricamente) ed un acquisitore dati 24 bit reali appositamente progettato.

Tramite l'interfaccia USB, Gemini può memorizzare le acquisizioni di microtremori a stazione singola di tipo HVSR e dedicare la successiva analisi tramite software; il modello presentato è stato implementato con i dati sismici e stratigrafici ricavati sia dall'indagine eseguita che da ricerche geologiche e mostra unicamente i fenomeni di risonanza, essendo stata caratterizzata la classe sismica del terreno attraverso prove sismiche MASW dedicate, il cui dato è stato confrontato con la Carta delle Frequenze naturali prodotta per la Microzonazione Sismica del Comune di S.Cesario S.P.

Si riportano ora le tracce, il grafico degli spettri, le mappe direzionali/stazionarie, il rapporto spettrale H/V, rilevando dal terzo i picchi principali, ove il dato di ellitticità vede le verifiche Sesame soddisfatte per entrambe.

Dati HVSR1

Numero tracce: 3

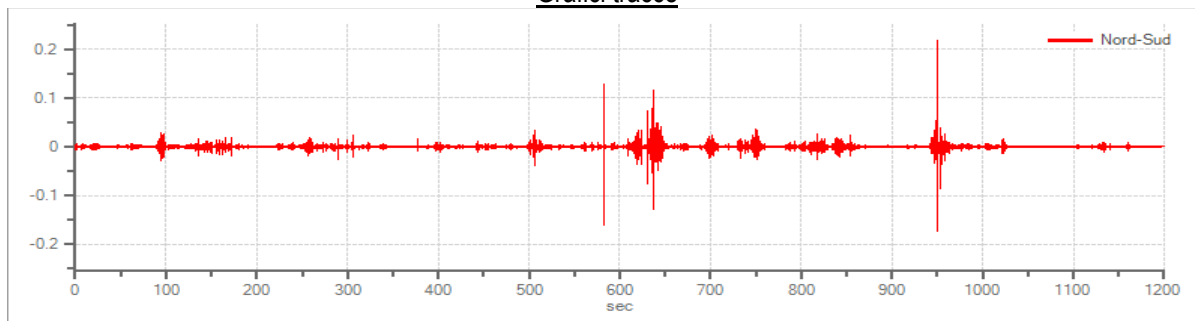
Durata registrazione:1200 s

Frequenza di campionamento:200.00 Hz

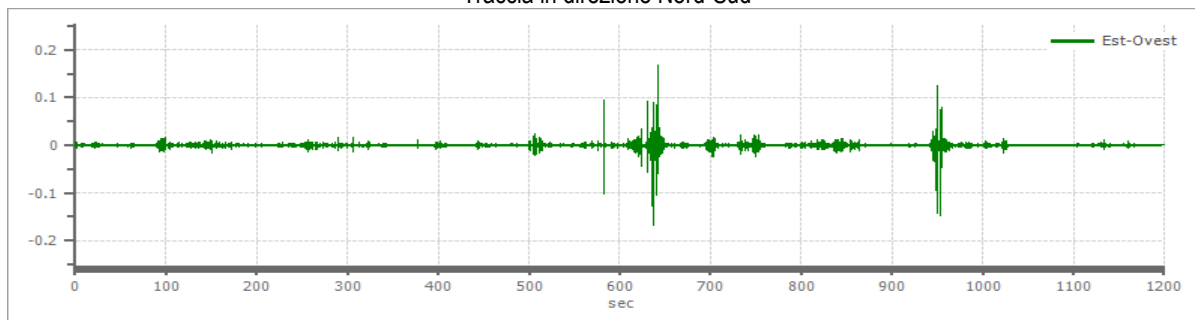
Numero campioni:240000

Direzioni tracce:Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale

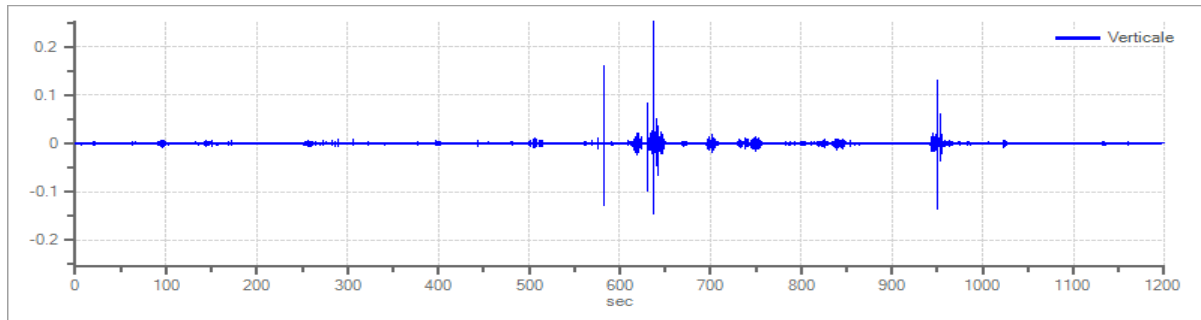
Grafici tracce



Traccia in direzione Nord-Sud

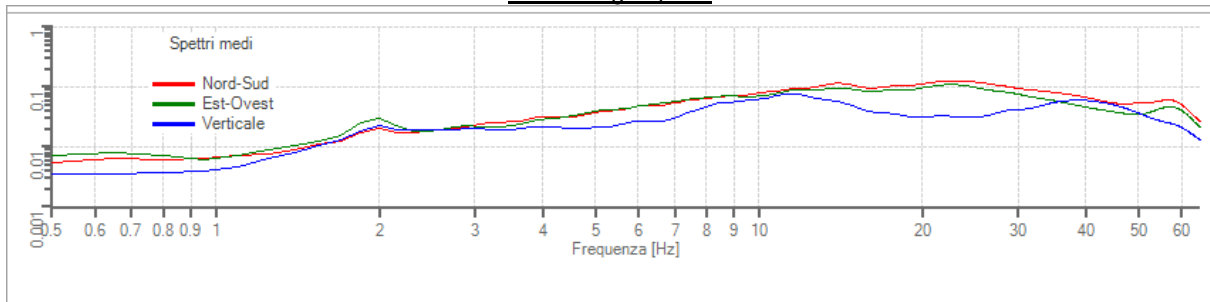


Traccia in direzione Est-Ovest

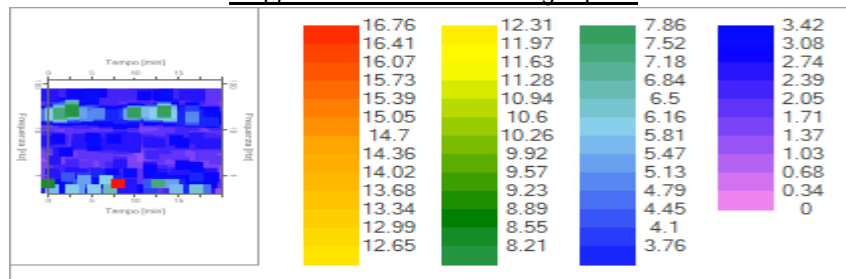


Traccia in direzione Verticale

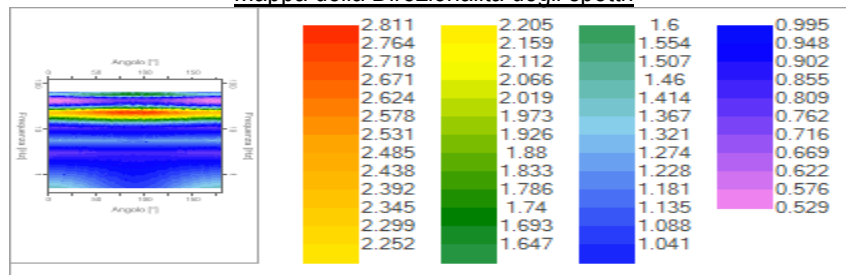
Grafici degli Spettri



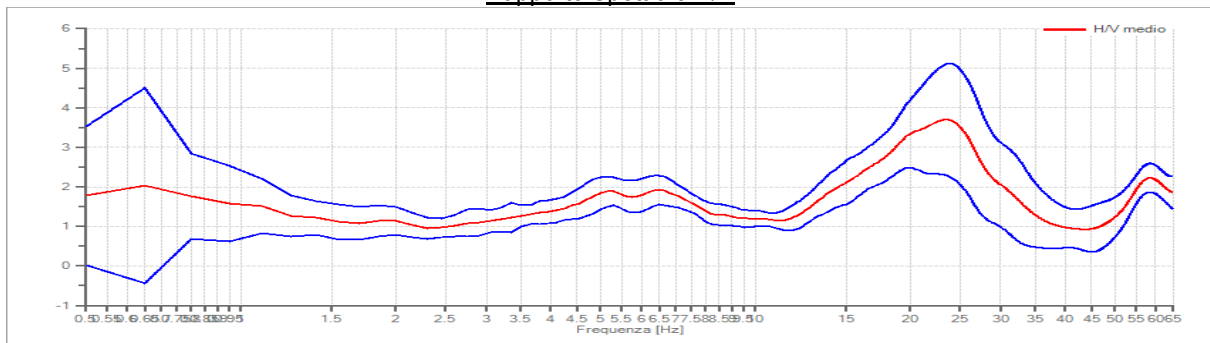
Mappa della Stazionarietà degli spettri



Mappa della Direzionalità degli spettri



Rapporto Spettrale H/V



Dati riepilogativi: Frequenza massima: 65.00 Hz. Frequenza minima: 0.5 Hz. Passo frequenza: 0.15 Hz.
Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi Percentuale di lisciamento: 10.00% Tipo di somma direzionale: Quadratica
Risultati: Frequenza del picco del rapporto H/V: 23,45 Hz $\pm$ 0.38

Dati HVSR2

Numero tracce: 3

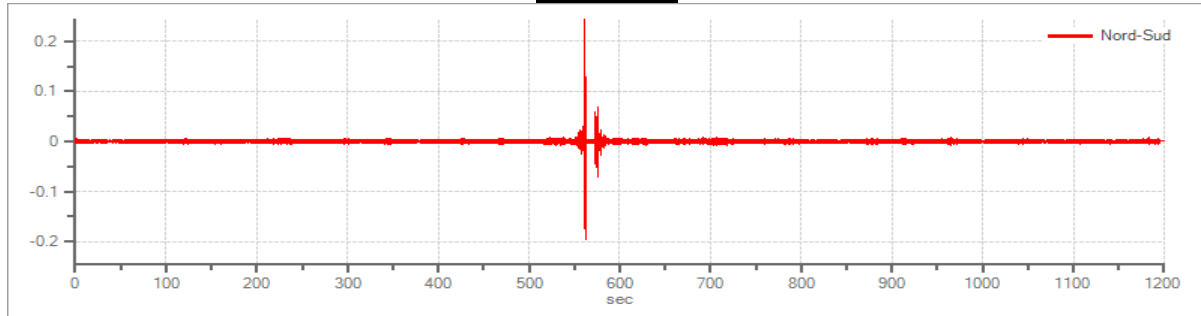
Durata registrazione:1200 s

Frequenza di campionamento:200.00 Hz

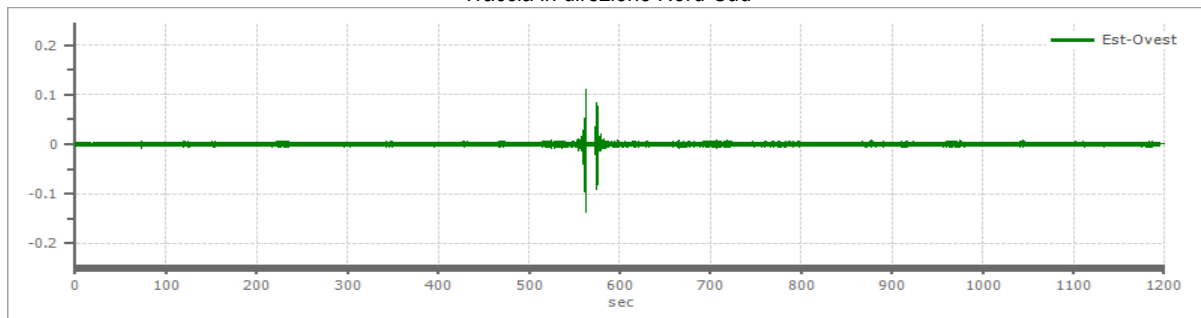
Numero campioni:240000

Direzioni tracce:Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale

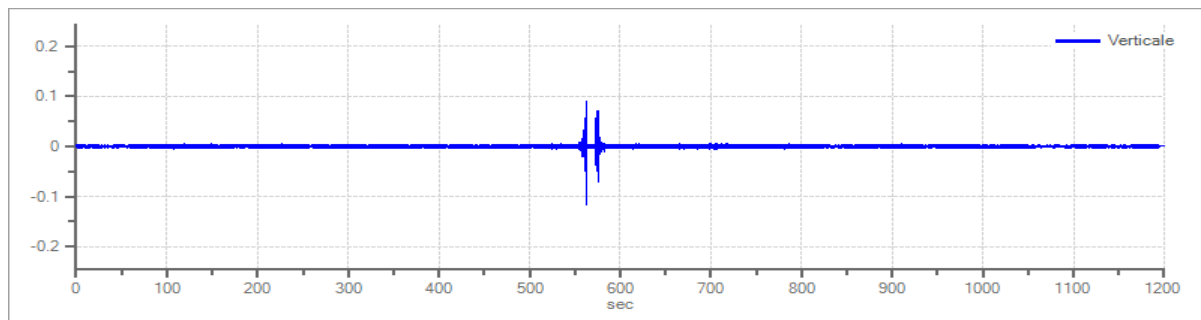
Grafici tracce



Traccia in direzione Nord-Sud

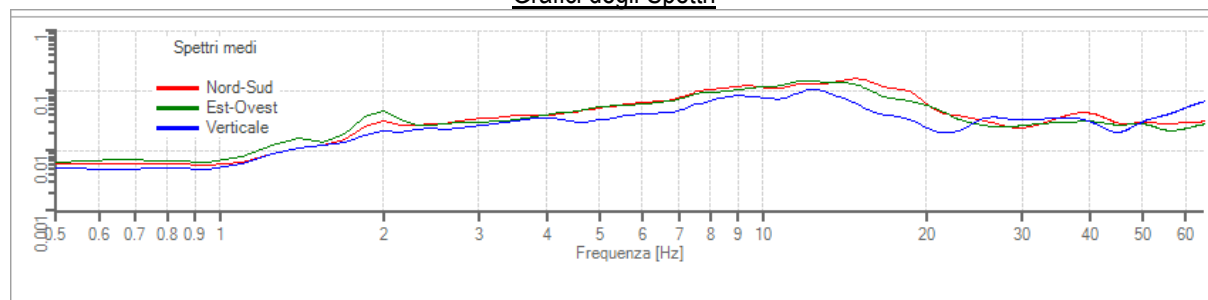


Traccia in direzione Est-Ovest

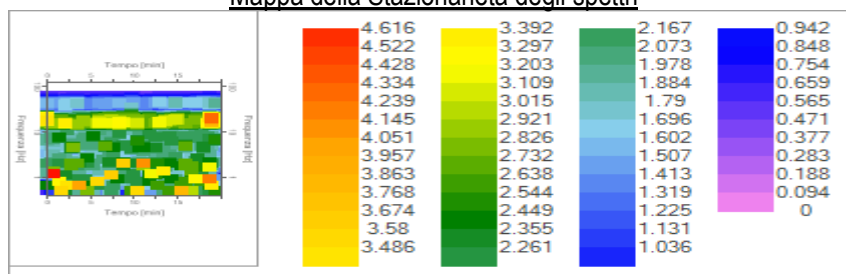


Traccia in direzione Verticale

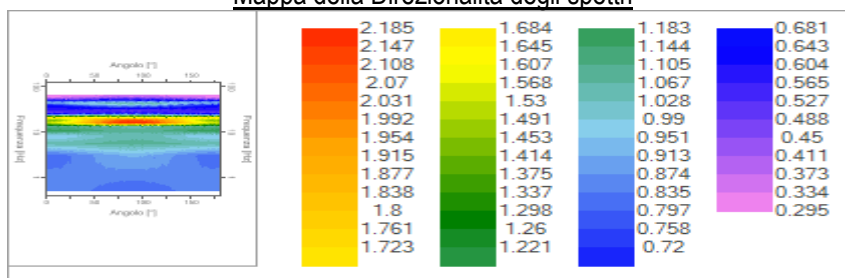
Grafici degli Spettri



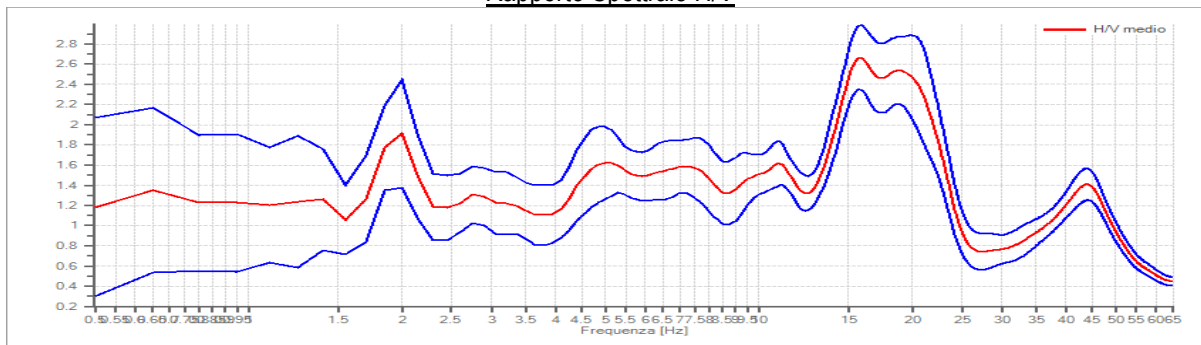
Mappa della Stazionarietà degli spettri



Mappa della Direzionalità degli spettri



Rapporto Spettrale H/V



Dati riepilogativi: Frequenza massima: 65.00 Hz. Frequenza minima: 0.5 Hz. Passo frequenza: 0.15 Hz.

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi Percentuale di lisciamento: 10.00% Tipo di somma direzionale: Quadratica

Risultati: Frequenza del picco del rapporto H/V: 15,08 Hz $\pm$ 0.12

11 AZIONE SISMICA – APPROCCIO SEMPLIFICATO NTC2018

11.1 VITA NOMINALE DELL'OPERA

Il D.M. del 17.01.2018 prescrive che le azioni sismiche su ciascuna struttura sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_r , ricavato moltiplicando la vita nominale dell'opera V_N per il coefficiente d'uso CU , definito al variare della classe d'uso dell'opera stessa.

TABELLA 2.4.I - VALORI MINIMI DELLA VITA NOMINALE V_N DI PROGETTO PER I DIVERSI TIPI DI COSTRUZIONE (DA N.T.C. 2018)

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

TABELLA CLASSI D'USO DELLE COSTRUZIONE (DA N.T.C. 2018)

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

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

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

TABELLA COEFFICIENTI D'USO (DA N.T.C. 2018)

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella.

Stati limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R si ricava il periodo di ritorno T_R del sisma utilizzando la relazione:

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

11.2 PARAMETRI SISMICI APPROCCIO SEMPLIFICATO – NTC 2018

Le Norme Tecniche per le costruzioni del D.M. 17-01-2018 definisce che l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali.

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni a_g e dai parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

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

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento, i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 975 anni).

PUNTI DELLA GRIGLIA UTILIZZATI PER IL CALCOLO DEI VALORI DEI PARAMETRI

☒ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
11.02808

LATITUDINE
44.56572

☐ Ricerca per comune

REGIONE
Emilia-Romagna

PROVINCIA
Modena

COMUNE
San Cesario sul Panaro

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione
superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere ... significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Nel caso in esame, in relazione alla tipologia dell'intervento in progetto, con riferimento alle NTC 2018 possono essere attribuiti i parametri sotto riportati per la valutazione dell'azione sismica:

CALCOLO PERIODO DI RIFERIMENTO E TEMPI DI RITORNO			
Tipo di costruzione	2	Costruzioni con livelli di prestazione ordinari	
Vita nominale dell'opera	V_N	50	anni
Classe d'uso (C_U)	II	1	[---]
Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.			
Periodo di riferimento	V_R	50	anni
Tempo di ritorno (SLO)	T_R	30	anni
Tempo di ritorno (SLD)	T_R	50	anni
Tempo di ritorno (SLV)	T_R	475	anni
Tempo di ritorno (SLC)	T_R	975	anni

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.051	2.484	0.255
50	0.063	2.504	0.270
72	0.074	2.480	0.276
101	0.085	2.478	0.281
140	0.099	2.439	0.283
201	0.117	2.386	0.287
475	0.162	2.379	0.305
975	0.209	2.415	0.309
2475	0.280	2.444	0.319

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.051	2.484	0.256
SLD	50	0.063	2.504	0.270
SLV	475	0.162	2.379	0.305
SLC	975	0.209	2.415	0.309

12 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA MEDIANTE STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Considerato l'intervento consistente in una variante urbanistica si è proceduto con uno studio di risposta sismica locale (RSL) finalizzato a definire con un livello di dettaglio superiore i parametri sismici e la relativa amplificazione attesa sul sito oggetto di studio.

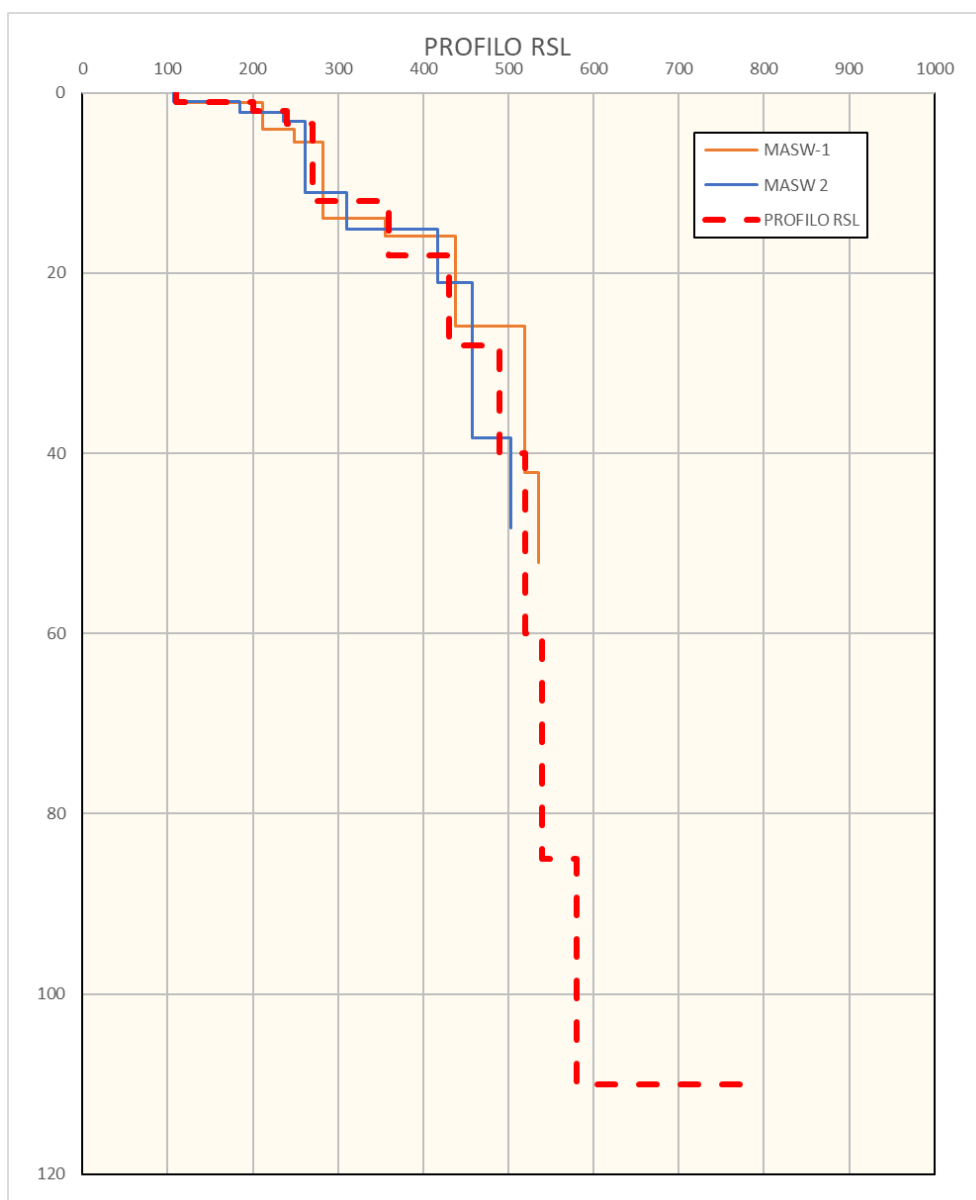
Lo studio di Risposta Sismica Locale (RSL) effettuato presso l'area oggetto di intervento è stata condotta mediante l'utilizzo di un software di calcolo denominato RSLIII commercializzato dalla ditta Geostru basato sul codice di calcolo Shake91.

Si tratta di un modello monodimensionale applicabile al sito in esame, in cui le cause principali di amplificazione del moto sismico sono il fenomeno di intrappolamento di onde S all'interno del deposito, favorito dal contrasto di impedenza fra terreno e basamento roccioso e la risonanza, determinata dalla prossimità tra le frequenze del moto al substrato e quelle naturali di vibrazione del deposito.

L'analisi è di tipo lineare equivalente che consiste nell'esecuzione di una sequenza di analisi lineari complete con aggiornamento successivo dei parametri di rigidità e smorzamento fino al soddisfacimento di un prefissato criterio di convergenza.

I sismogrammi utilizzati per le verifiche sono stati reperiti dal portale Eucentre della Regione Emilia-Romagna che permette il download dei sismogrammi spettro compatibili con $T_R=101 - 475 - 975$ anni per ciascun nodo del reticolo di riferimento per il territorio della Emilia-Romagna considerato dalle NTC08 (D.M. 14.01.2008) e NTC18 (D.M. 17.01.2018).

Il profilo utilizzato per l'analisi di RSL è stato valutato mediante la sovrapposizione dei profili ottenuti dalle indagini sismiche MASW effettuate all'interno dell'area; il bedrock di riferimento è stato collocato alla profondità di **110 m. da p.c.** sulla base delle indagini sismiche passive HVSR.



PROFILO DI VELOCITA' UTILIZZATO PER LO STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Smorzamen to critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	1.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=30	22.20	--	18.0	110.0	9.0
2	1.0	1.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=30	75.43	--	18.5	200.0	27.3
3	2.0	1.5	Vucetic & Dorby (1991) PI=30	108.62	--	18.5	240.0	50.4
4	3.5	8.5	Rollins et alii 1998 (gravel)	141.19	--	19.0	270.0	145.0
5	12.0	6.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=30	253.65	--	19.2	360.0	283.4
6	18.0	10.0	Rollins et alii 1998 (gravel)	365.65	--	19.4	430.0	438.0
7	28.0	12.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=30	482.16	--	19.7	490.0	653.2
8	40.0	20.0	Rollins et alii 1998 (gravel)	551.27	--	20.0	520.0	873.3
9	60.0	25.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=30	609.36	--	20.5	540.0	1108.8
10	85.0	25.0	Rollins et alii 1998 (gravel)	720.12	--	21.0	580.0	1382.3
11	110	oo	Smorzamento costante	1435.27	--	22.0	800.0	1522.2

Strato con falda: 7
Strato rilevamento accelerogramma: 11 Affiorante

12.1 DATI DI INPUT SISMICO

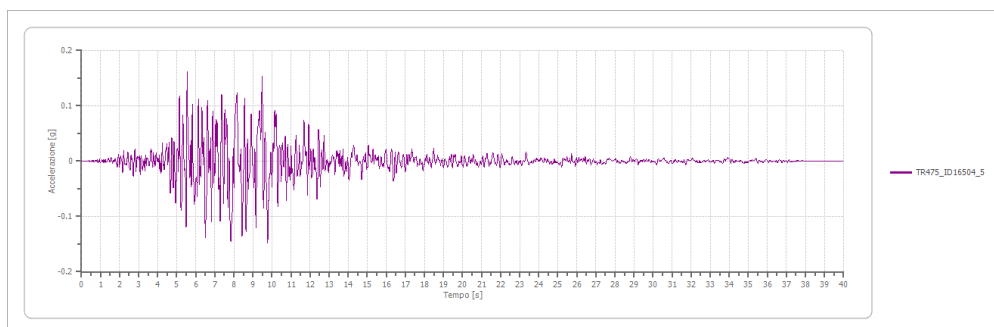
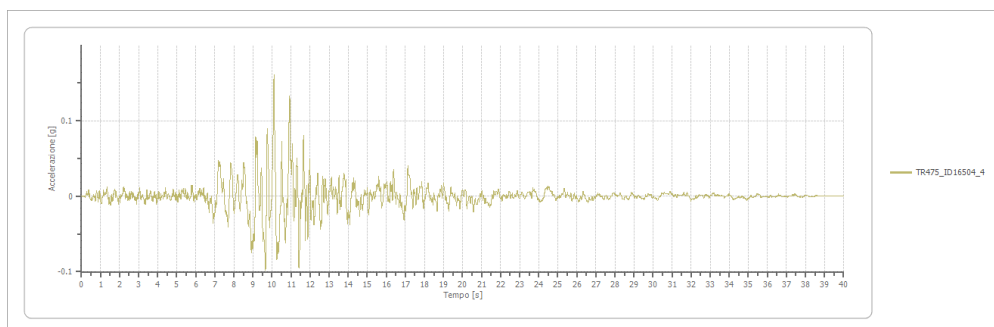
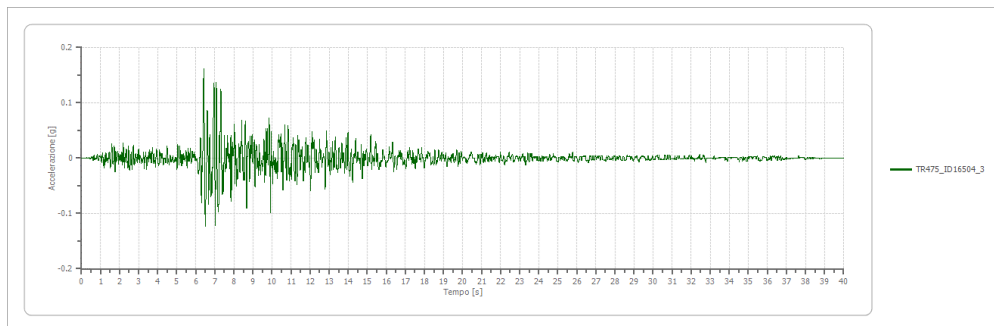
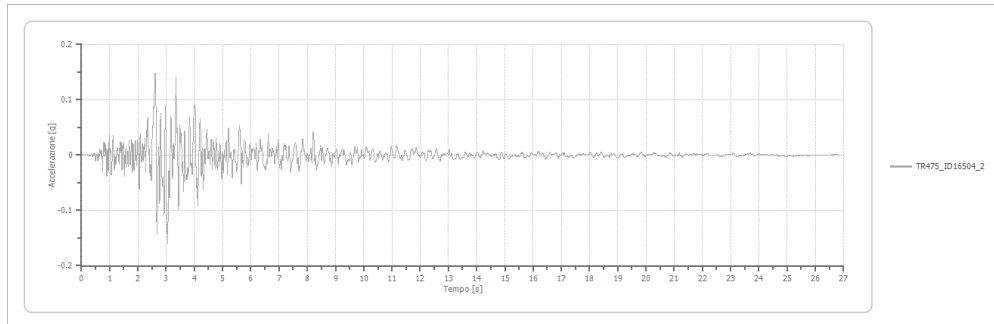
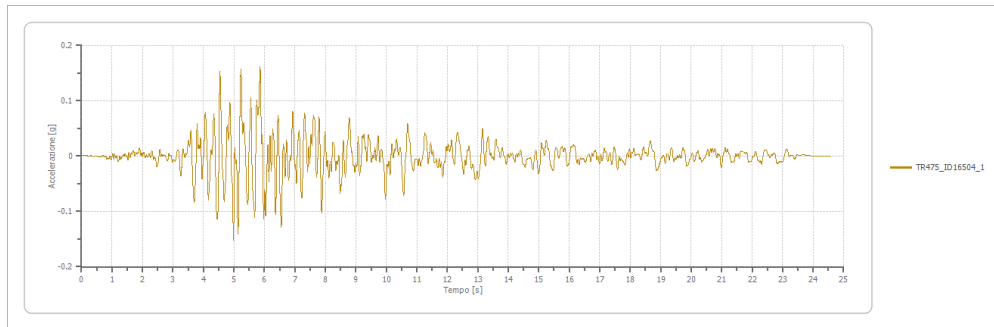
I sismogrammi di input selezionati con **T_R=475** anni sono stati riscaldati con un valore di accelerazione massima orizzontale di picco (PGA) su un suolo di riferimento di tipo A, per T=0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità (arefg - 10% di probabilità di superamento in 50 anni) pari a **0.162g** corrispondente a quanto definito dalla griglia di riferimento:

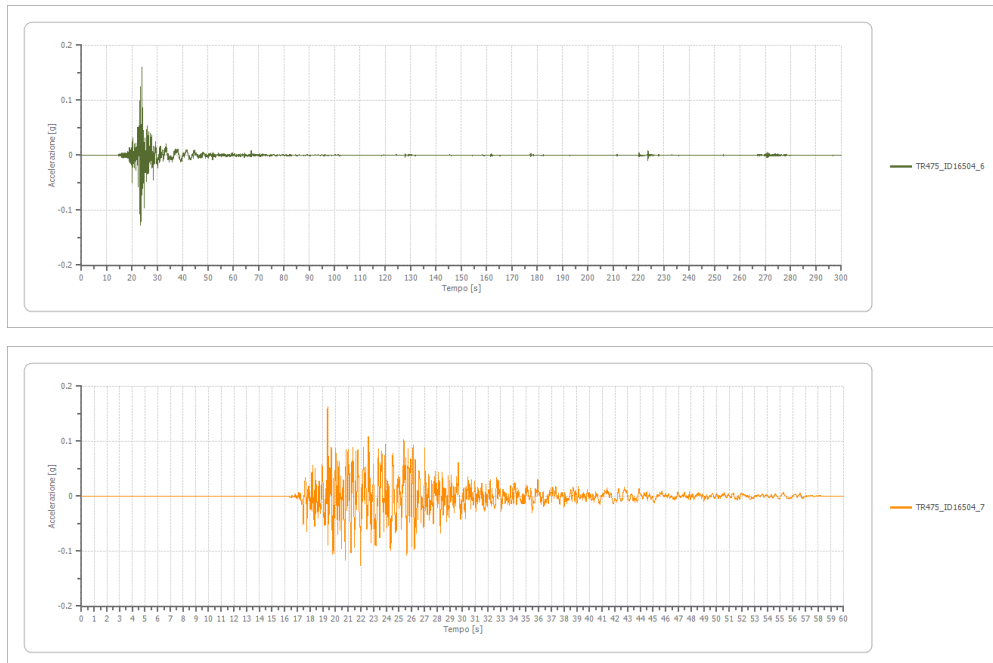
Sito 1	ID: 16503	Lat: 44,5580	Lon: 10,9652	Distanza: 5057,727
Sito 2	ID: 16504	Lat: 44,5595	Lon: 11,0353	Distanza: 898,343
Sito 3	ID: 16282	Lat: 44,6095	Lon: 11,0333	Distanza: 4880,939
Sito 4	ID: 16281	Lat: 44,6080	Lon: 10,9631	Distanza: 6970,951

Dati dei sismogrammi estratti dal portale Eucentre

% Magnitude(Mw) Epic.Distance(km) Scaling_Factor Source File_Name
6.20 29.90 2.11 % ESM EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
5.74 12.57 1.39 % NGA RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
5.99 54.21 2.61 % NGA RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
6.93 83.53 1.54 % NGA RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
6.69 38.07 1.16 % NGA RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
6.60 31.00 0.65 % KiKnet SMNH100010061330.EW2
5.90 14.40 2.75 % ESM IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

Di seguito sono vengono riportati i sismogrammi utilizzati.





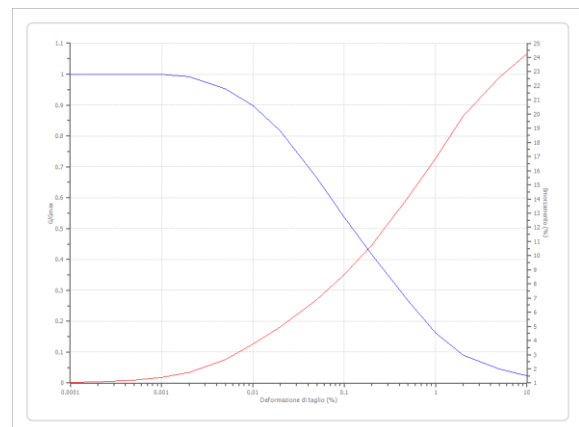
12.2 CURVE DI VARIAZIONE DEL MODULO DI RIGIDEZZA E SMORZAMENTO DEI LITOTIPI

L'analisi è stata effettuata utilizzando le curve di variazione del modulo di rigidezza a taglio G e del fattore di smorzamento D (damping ratio) in funzione della deformazione per le diverse tipologie di materiali desunte dalla pubblicazione del "Gruppo di lavoro MS, 2008 - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica - Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd" e da dati bibliografici.

I materiali utilizzati nella analisi di RSI sono di seguito riportati.

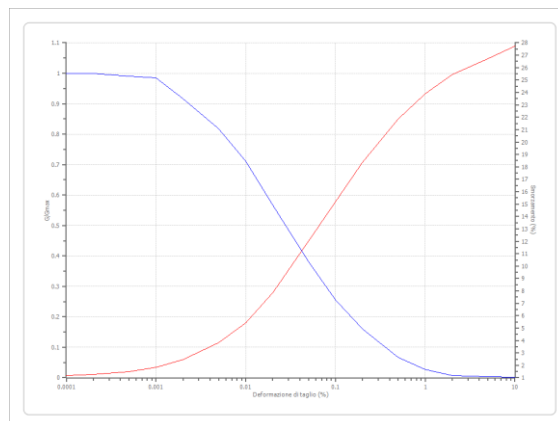
Vucetic & Dorby (1991) - P.I. 30

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.030
0.0002	1.000	0.0002	1.080
0.0005	1.000	0.0005	1.194
0.001	1.000	0.001	1.412
0.002	0.992	0.002	1.744
0.005	0.953	0.005	2.658
0.010	0.898	0.010	3.738
0.020	0.816	0.020	4.983
0.050	0.664	0.050	6.894
0.100	0.537	0.100	8.640
0.200	0.416	0.200	10.760
0.500	0.266	0.500	14.120
1.000	0.162	1.000	16.860
2.000	0.090	2.000	19.850
5.000	0.045	5.000	22.590
10.000	0.023	10.000	24.250



Rollins et alii 1998 (gravel)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.163
0.0002	1.000	0.0002	1.246
0.0005	0.990	0.0005	1.470
0.001	0.984	0.001	1.827
0.002	0.916	0.002	2.450
0.005	0.818	0.005	3.821
0.010	0.711	0.010	5.399
0.020	0.568	0.020	7.849
0.050	0.381	0.050	12.000
0.100	0.256	0.100	15.200
0.200	0.160	0.200	18.360
0.500	0.067	0.500	21.840
1.000	0.027	1.000	23.880
2.000	0.008	2.000	25.420
5.000	0.004	5.000	26.740
10.000	0.002	10.000	27.740



12.3 RISULTATI DELL'ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Ubicazione area oggetto di studio	San Cesario sul Panaro (MO)
Latitudine	44.5648079 [°]
Longitudine	11.0271254 [°]
Numero di iterazioni	20
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima	0.5
Tipo di modulo elastico	Shake 91
Massimo errore percentuale di convergenza	6.41 E-05

Fattori di amplificazione ICMS 2018

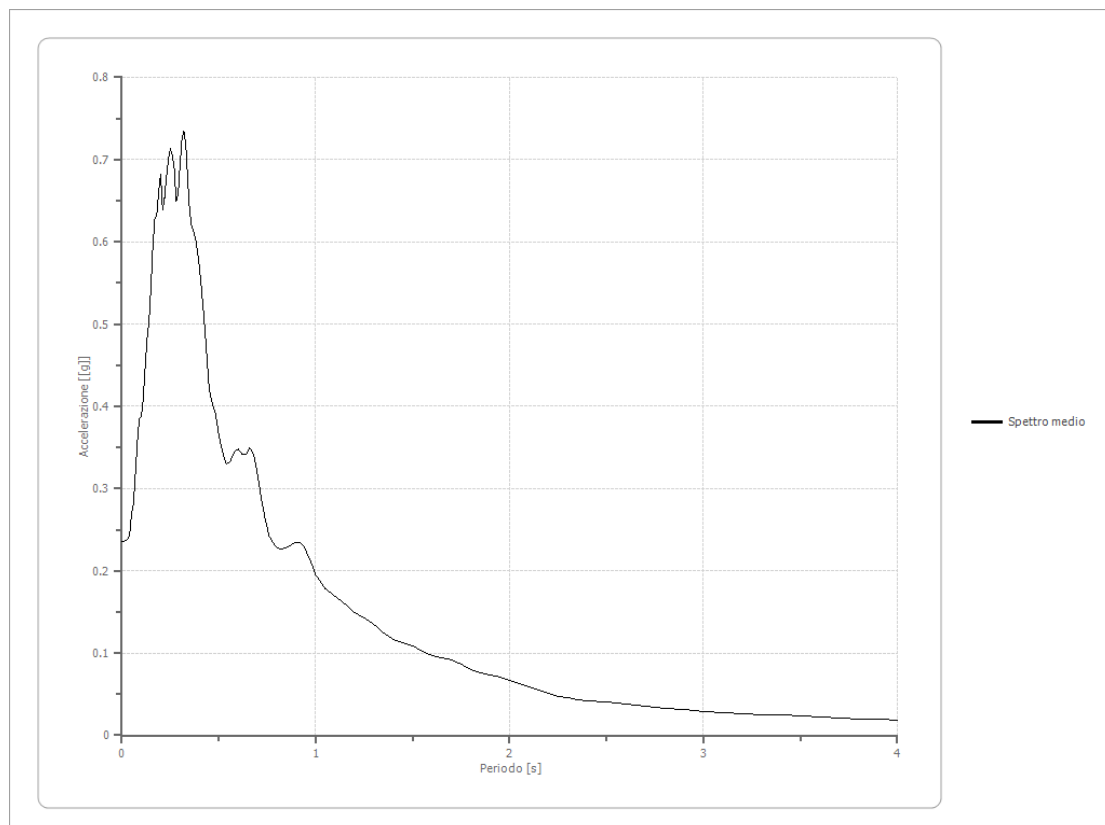
Tai	0.190 [s]
Tvi	0.620 [s]
Tao	0.320 [s]
Tvo	0.680 [s]
Sami	4.031 [m/s²]
Svmi	0.211 [m/s]
Samo	6.009 [m/s²]
Svmo	0.343 [m/s]
Fa	1.490 [-]
Fv	1.624 [-]
TB	0.119 [s]
TC	0.358 [s]
TD	2.402 [s]
SA(0)	0.201 [g]
SA(TB)	0.613 [g]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.062	0.102	0.200	1.652
0.500	1.000	0.102	0.169	0.500	1.659
0.500	1.500	0.200	0.325	0.333	1.626

Spettro medio di risposta elastico

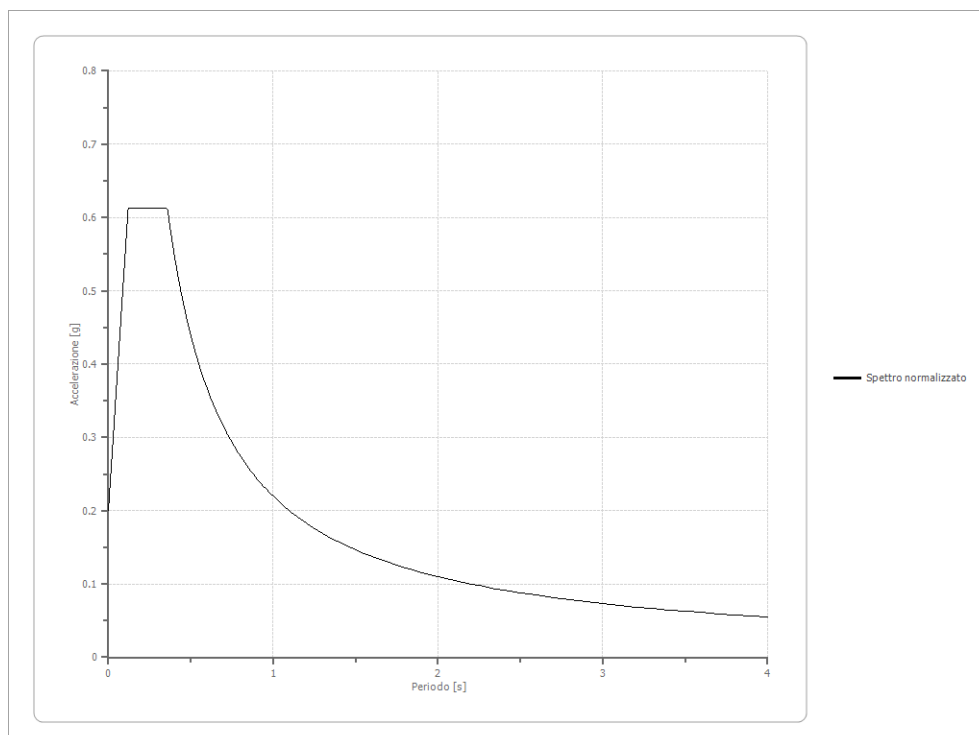
Periodo [s]	Acceleraz. [g]	Periodo [s]	Acceleraz. [g]	Periodo [s]	Acceleraz. [g]	Periodo [s]	Acceleraz. [g]	Periodo [s]	Acceleraz. [g]
0.00	0.2351	0.26	0.7051	0.52	0.3449	0.98	0.2076	2.25	0.0473
0.01	0.2351	0.27	0.6904	0.53	0.3354	1.00	0.1950	2.30	0.0456
0.02	0.2366	0.28	0.6499	0.54	0.3295	1.05	0.1787	2.35	0.0435
0.03	0.2381	0.29	0.6572	0.55	0.3308	1.10	0.1694	2.40	0.0420
0.04	0.2436	0.30	0.6937	0.56	0.3337	1.15	0.1595	2.50	0.0400
0.05	0.2701	0.31	0.7264	0.57	0.3390	1.20	0.1489	2.60	0.0376
0.06	0.2817	0.32	0.7341	0.58	0.3446	1.25	0.1425	2.70	0.0353
0.07	0.3205	0.33	0.7173	0.60	0.3479	1.30	0.1349	2.80	0.0331
0.08	0.3580	0.34	0.6749	0.62	0.3417	1.35	0.1250	2.90	0.0311
0.09	0.3846	0.35	0.6365	0.64	0.3422	1.40	0.1162	3.00	0.0294
0.10	0.3871	0.36	0.6191	0.66	0.3490	1.45	0.1130	3.10	0.0274
0.11	0.4084	0.37	0.6133	0.68	0.3420	1.50	0.1084	3.20	0.0258
0.12	0.4483	0.38	0.6042	0.70	0.3173	1.55	0.1018	3.30	0.0253
0.13	0.4815	0.39	0.5879	0.72	0.2866	1.60	0.0966	3.40	0.0245
0.14	0.5042	0.40	0.5693	0.74	0.2621	1.65	0.0942	3.50	0.0234
0.15	0.5443	0.41	0.5440	0.76	0.2426	1.70	0.0912	3.60	0.0223
0.16	0.5973	0.42	0.5166	0.78	0.2338	1.75	0.0865	3.70	0.0212
0.17	0.6281	0.43	0.4882	0.80	0.2282	1.80	0.0804	3.80	0.0201
0.18	0.6323	0.44	0.4537	0.82	0.2271	1.85	0.0759	3.90	0.0190
0.19	0.6619	0.45	0.4222	0.84	0.2274	1.90	0.0737	4.00	0.0180
0.20	0.6826	0.46	0.4102	0.86	0.2288	1.95	0.0706		
0.21	0.6385	0.47	0.4000	0.88	0.2330	2.00	0.0672		
0.22	0.6539	0.48	0.3940	0.90	0.2338	2.05	0.0634		
0.23	0.6790	0.49	0.3809	0.92	0.2341	2.10	0.0592		
0.24	0.6998	0.50	0.3649	0.94	0.2289	2.15	0.0549		
0.25	0.7137	0.51	0.3536	0.96	0.2189	2.20	0.0507		



Spettro normalizzato di risposta elastico
Confronto tra gli spettri normativa allo stato di Salvaguardia vita SLV – Suolo di tipo A, SLV Suolo Tipo C, Spettro Medio e Spettro Normalizzato con le **Linee Guida Nazionali di Protezione Civile**

Spettro normalizzato di risposta elastico

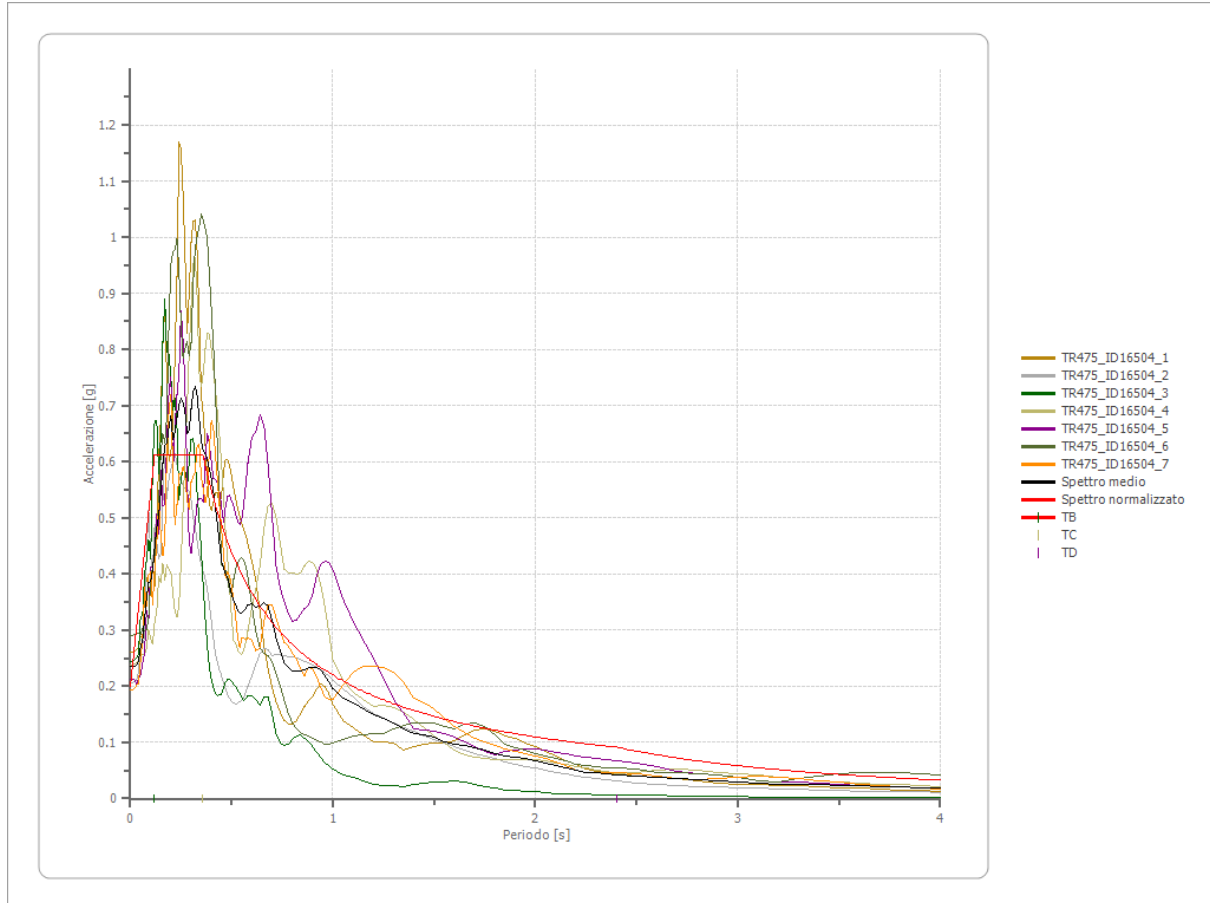
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2006	0.26	0.6125	0.52	0.4223	0.98	0.2241	2.25	0.0976
0.01	0.2351	0.27	0.6125	0.53	0.4143	1.00	0.2196	2.30	0.0955
0.02	0.2695	0.28	0.6125	0.54	0.4066	1.05	0.2091	2.35	0.0934
0.03	0.3040	0.29	0.6125	0.55	0.3992	1.10	0.1996	2.40	0.0915
0.04	0.3385	0.30	0.6125	0.56	0.3921	1.15	0.1909	2.50	0.0878
0.05	0.3730	0.31	0.6125	0.57	0.3852	1.20	0.1830	2.60	0.0845
0.06	0.4074	0.32	0.6125	0.58	0.3786	1.25	0.1757	2.70	0.0813
0.07	0.4419	0.33	0.6125	0.60	0.3660	1.30	0.1689	2.80	0.0784
0.08	0.4764	0.34	0.6125	0.62	0.3542	1.35	0.1627	2.90	0.0757
0.09	0.5108	0.35	0.6125	0.64	0.3431	1.40	0.1568	3.00	0.0732
0.10	0.5453	0.36	0.6099	0.66	0.3327	1.45	0.1514	3.10	0.0708
0.11	0.5798	0.37	0.5935	0.68	0.3229	1.50	0.1464	3.20	0.0686
0.12	0.6125	0.38	0.5778	0.70	0.3137	1.55	0.1417	3.30	0.0665
0.13	0.6125	0.39	0.5630	0.72	0.3050	1.60	0.1372	3.40	0.0646
0.14	0.6125	0.40	0.5489	0.74	0.2967	1.65	0.1331	3.50	0.0627
0.15	0.6125	0.41	0.5356	0.76	0.2889	1.70	0.1292	3.60	0.0610
0.16	0.6125	0.42	0.5228	0.78	0.2815	1.75	0.1255	3.70	0.0593
0.17	0.6125	0.43	0.5106	0.80	0.2745	1.80	0.1220	3.80	0.0578
0.18	0.6125	0.44	0.4990	0.82	0.2678	1.85	0.1187	3.90	0.0563
0.19	0.6125	0.45	0.4880	0.84	0.2614	1.90	0.1156	4.00	0.0549
0.20	0.6125	0.46	0.4773	0.86	0.2553	1.95	0.1126		
0.21	0.6125	0.47	0.4672	0.88	0.2495	2.00	0.1098		
0.22	0.6125	0.48	0.4575	0.90	0.2440	2.05	0.1071		
0.23	0.6125	0.49	0.4481	0.92	0.2387	2.10	0.1046		
0.24	0.6125	0.50	0.4392	0.94	0.2336	2.15	0.1021		
0.25	0.6125	0.51	0.4305	0.96	0.2287	2.20	0.0998		



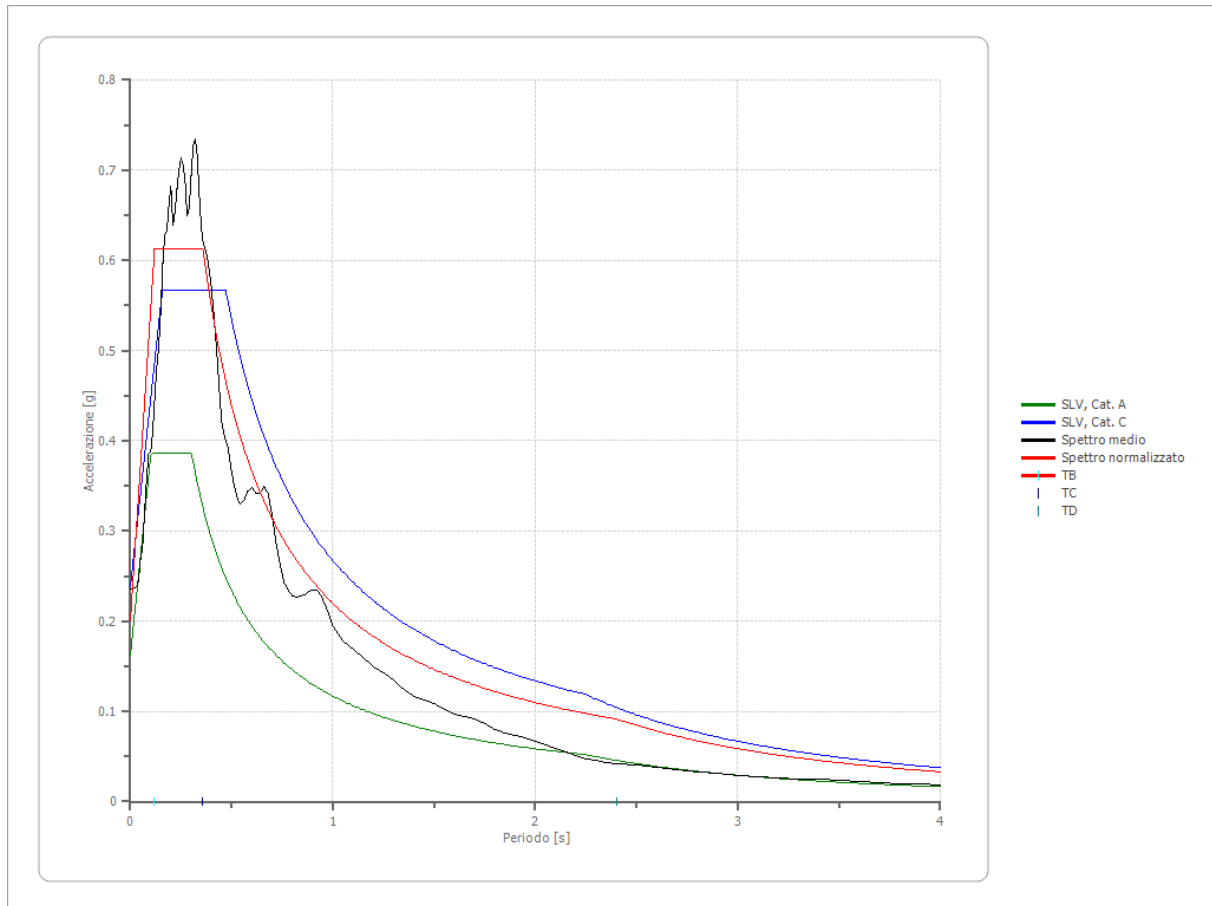
Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.201	3.053682	--	0.119	0.358	2.402	0.201	0.613	1.238

Confronto tra gli spettri – Valutazioni Linee Guida Nazionali di Protezione Civile

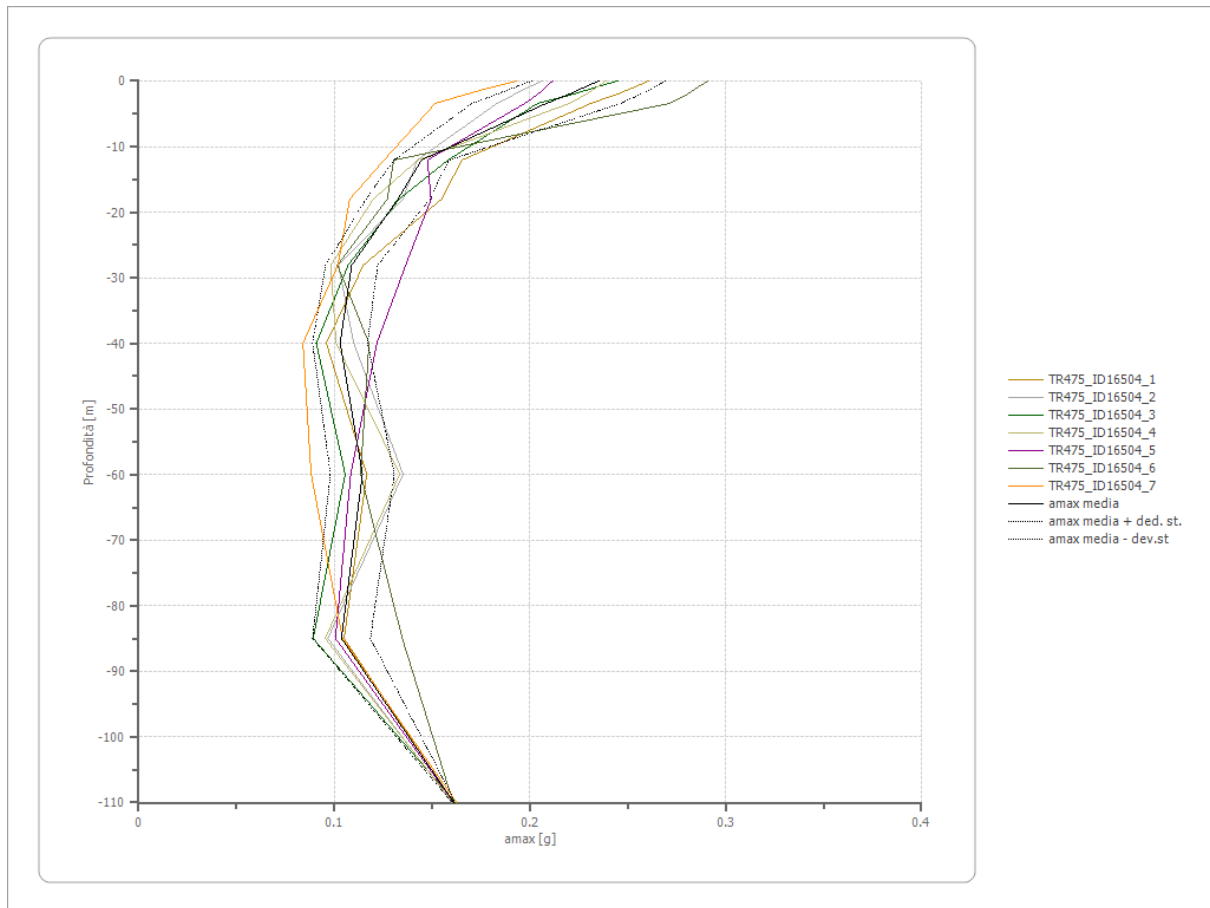


	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguad ia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguad ia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [g]	0.051	0.063	0.162	0.209	0.051	0.063	0.162	0.209
Fo	2.484	2.504	2.381	2.412	2.484	2.504	2.381	2.412
Tc* [s]	0.255	0.27	0.303	0.309	0.255	0.27	0.303	0.309
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.47	1.40
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.65	1.62	1.56	1.55
TB [s]	0.085	0.090	0.101	0.103	0.140	0.146	0.157	0.159
TC [s]	0.255	0.270	0.303	0.309	0.420	0.437	0.472	0.478
TD [s]	1.804	1.852	2.248	2.436	1.804	1.852	2.248	2.436
Se(0) [g]	0.051	0.063	0.162	0.209	0.077	0.095	0.238	0.292
Se(TB) [g]	0.127	0.158	0.386	0.504	0.190	0.237	0.566	0.705



Profilo a max

	0.0 [m]	1.0 [m]	2.0 [m]	3.5 [m]	12.0 [m]	18.0 [m]	28.0 [m]	40.0 [m]	60.0 [m]	85.0 [m]	110.0 [m]
TR475_I D16504_ 1 [g]	0.261	0.252	0.245	0.231	0.165	0.155	0.115	0.096	0.117	0.105	0.161
TR475_I D16504_ 2 [g]	0.206	0.198	0.192	0.183	0.142	0.135	0.102	0.110	0.135	0.097	0.160
TR475_I D16504_ 3 [g]	0.245	0.232	0.223	0.204	0.158	0.133	0.107	0.091	0.106	0.089	0.162
TR475_I D16504_ 4 [g]	0.239	0.234	0.229	0.220	0.143	0.120	0.098	0.101	0.133	0.095	0.161
TR475_I D16504_ 5 [g]	0.212	0.208	0.204	0.197	0.148	0.149	0.136	0.122	0.108	0.101	0.161
TR475_I D16504_ 6 [g]	0.291	0.285	0.281	0.271	0.130	0.127	0.102	0.118	0.113	0.135	0.161
TR475_I D16504_ 7 [g]	0.193	0.179	0.168	0.151	0.125	0.108	0.102	0.084	0.088	0.104	0.162
media [g]	0.235	0.227	0.220	0.208	0.145	0.132	0.109	0.103	0.114	0.104	0.161
Dev. St. [g]	0.034	0.036	0.037	0.038	0.014	0.016	0.013	0.014	0.016	0.015	0.001



In conclusione, lo spettro medio elastico determinato mediante la modellazione numerica della risposta sismica locale (RSL) presenta un fattore di amplificazione **FA PGA = 1.451**

13 VERIFICHE PREVISTE DALLA DELIBERA DI GIUNTA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA N. 476 DEL 12/04/2021 (G.U. N. 111 DEL 20/04/2021 – PARTE SECONDA)

I fattori di amplificazione (FA) rappresentano il rapporto fra lo scuotimento sismico, espresso con i parametri indicati nelle tabelle successive, che viene valutato per la condizione geo-litologica specifica e il corrispondente scuotimento relativo alla categoria di sottosuolo A.

Quest'ultimo è definito nella tabella 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC (2018), come *“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 FA riportati nelle tabelle riportati nel testo della Delibera sono stati calcolati per un tempo di ritorno TR=475 anni, con smorzamento $\zeta=5\%$, e sono relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

accelerazione di picco orizzontale (PGA)

Intensità spettrale: $SA = \int_{T1}^{T2} A(T, \zeta) dT$

dove A è lo spettro di risposta in accelerazione, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento; sono stati considerati quattro intervalli di periodo proprio T ottenendo quattro valori di intensità spettrale:

	T1	T2
SA 1	0,1 s	0,5 s
SA 2	0,4 s	0,8 s
SA 3	0,7 s	1,1 s
SA 4*	0,5 s	1,5 s

Intensità spettrale: $SI = \int_{T1}^{T2} V(T, \zeta) dT$

dove V è lo spettro di risposta in velocità, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio T ottenendo tre valori di intensità spettrale:

	T1	T2
SI 1	0,1 s	0,5 s
SI 2	0,5 s	1,0 s
SI 3*	0,5 s	1,5 s

*I fattori di amplificazione SA4 e SI3 sono richiesti per studi in aree di pianura e di costa.

Nel caso specifico dall'analisi ed elaborazioni di risposta sismica locale si sono ottenuti i seguenti parametri dei fattori di amplificazione spettrale:

Fattori di amplificazione su intensità spettrale (SA)

	Minimo	Massimo	FA
SA 1	0.10	0.50	1.628
SA 2	0.40	0.80	1.653
SA 3	0.70	1.10	1.680
SA 4*	0.50	1.50	1.614

Fattori di amplificazione su intensità spettrale (SI)

	Minimo	Massimo	FA
SI 1	0.10	0.50	1.652
SI 2	0.50	1.00	1.659
SI 3*	0.50	1.50	1.626

Per quanto riguarda il parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s²), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{UHS}), il parametro H_{SM} (Naso et al., 2019), definito come il valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi 0,1s ≤ T ≤ 0,5s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4 s) e ottenuto moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi.

In definitiva il parametro H_{SM} definisce la pericolosità sismica

$$H_{SM} = \frac{ASl_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

I valori determinati sono di seguito riportati:

A_{refg}	0.162	m/s
Acceleration Spectrum Intensity (ASl_{UHS}) tra 0.1 e 0.5s	136.555	cm/s
$ASl_{UHS}/0.4s$	341.388	cm/s
Fattore H_{SM} (0.1-0.5s)	556	cm/s ²

Secondo la classificazione proposta da Naso del Dipartimento della Protezione Civile – Servizio Rischio Sismico ove vengono definite le classi del valore di HSM seguenti:

Pericolosità sismica	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
$H_{MS}=ASl_{PU} \cdot FA/\Delta T$ (cm/s ²)	≤ 175	$175 < H_{MS} \leq 325$	$325 < H_{MS} \leq 1235$	> 1235

Il valore di pericolosità sismica del sito è da considerarsi come **“Alta”** in quanto il valore di H_{SM} risulta essere compreso tra 325 e 1235

14 VERIFICHE ALLA POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Con riferimento alle NTC 2018 capitolo 7.11.3.4 Stabilità nei confronti della liquefazione, la verifica è stata omessa in quanto:

- la profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali
- la distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

15 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA

In base alla consultazione della documentazione tecnica disponibile, al catasto prove sulla Carta Geologica regionale e agli esiti penetrometrici, il modello di sottosuolo è costituito inizialmente da una coltre di sedimenti fini, per lo più a tessitura limo argillosa, che si spingono sino a circa mt.3,30 medi da p.c., con leggero rialzo in direzione nord, a cui fa seguito la prima bancata ghiaiosa.

Essendo le prove dinamiche andate a rifiuto a breve profondità, il modello di sottosuolo profondo è stato estratto dalle prove CARG, dalle stratigrafie dei pozzi dell'area e dalle sezioni edite dalla R.E.R., ben rappresentate dalla Sezione 12 che passa leggermente ad est rispetto al sito di interesse.

Sulla base dei riscontri geognostici, il modello litostratigrafico può essere così preliminarmente identificato in termini litomeccanici, considerando valori mediati:

Prof. in mt. Da p.c.	Litologia presunta	N	Rdm (Kg/cmq)	Rpm (Kg/cmq)
0,00 – 0,60	Terreno in prevalenza limo argilloso	3,0	9,50	6,0
0,60 – 2,00	Terreno misto	18,0	52,0	14,0
2,00 – 3,30	Terreno in prevalenza limo argilloso	7,0	21,0	8,0
3,30 – 11,00	Terreno in prevalenza ghiaioso	>50	130,0	300
Oltre 11,00	Terreno in prevalenza ghiaioso con modesti livelli limo argillosi	-	-	-

Dove: N=Numero colpi medio

Rdm=Resistenza dinamica media Rp=Resistenza alla punta media

16 EDIFICABILITA'

Le risultanze di indagine e gli aspetti di forma portano quindi a giudicare il sito come edificabile, essendosi rilevate nell'ambito indagato condizioni geologiche e morfologiche favorevoli all'insediamento antropico.

Le opere di fondazione potranno quindi essere del tipo diretto, con l'obbligo di oltrepassare ed escludere la prima fascia soggetta a variazioni di umidità nel corso stagionale, per edifici di modeste dimensioni e carichi non concentrati; risulterà quindi indispensabile programmare, prima dell'accantieramento, un corretto tracciamento del piano di lavoro, analizzando il modello strutturale in base alle condizioni geologiche, litostratigrafiche e litomeccaniche.

L'analisi di campo ha quindi evidenziato come le terre mostrino nel complesso resistenze medie, con picchi in corrispondenza dei livelli incoerenti.

Considerando i risultati definiti dai riscontri penetrometrici nei primi metri di sottosuolo, si dovranno valutare gli assestamenti con attenzione; pertanto, risulterà importante definire progettualmente corpi edilizi con contenute differenze di carico fra i diversi punti strutturali, al fine di limitare i cedimenti differenziali e le relative distorsioni di fondazione.

17 CONCLUSIONI

La Variante richiesta porta la riclassificazione di una porzione di 'Zona Agroalimentare A1'- via Belfiore angolo via Modenese in ambito residenziale 'Zona Residenziale C2', ricomprendendo al suo interno anche la 'Zona C1' ancora non attuata.

.Caratterizzazione Sismica

- La zona sismica di riferimento è la "Zona 3".
- Le indagini sismiche effettuate di tipo MASW hanno fornito valori di $V_{S30} / V_{s,eq}$ compresi tra **309** e **313** m/s.
- Le indagini sismiche passive effettuate hanno evidenziato frequenze di risonanza principali del sito pari a circa:

HVSR 1:	23.45 Hz	± 0.38 Hz
HVSR 2:	15.08 Hz	± 0.12 Hz

- Le caratteristiche stratigrafiche comportano una amplificazione sismica della PGA valutata mediante lo studio di risposta sismica locale pari a **1.451**
- La topografia dell'area non raggiunge acclività tali da assoggettarla a fattori di amplificazione topografica
- L'applicazione della Delibera di Giunta Regionale 476/2021 per il sito in esame ha fornito i risultati riportati nella tabella seguente:

A_{refg}	0.162	m/s
Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{UHS}) tra 0.1 e 0.5s	136.555	cm/s
$ASI_{UHS} / 0.4s$	341.388	cm/s
Fattore H_{SM} (0.1-0.5s)	556	cm/s ²

- Il valore di H_{SM} , = **556** secondo la classificazione proposta da Naso del Dipartimento della Protezione Civile – Servizio Rischio Sismico, classifica il sito con una pericolosità sismica "**Alta**" in quanto il valore di H_{SM} risulta essere compreso tra 325 e 1235
- I fattori di amplificazione su intensità spettrale hanno evidenziato i valori riportati nelle successive tabelle:

Fattori di amplificazione su intensità spettrale (SA)

	Minimo	Massimo	FA
SA 1	0.10	0.50	1.628
SA 2	0.40	0.80	1.653
SA 3	0.70	1.10	1.680
SA 4*	0.50	1.50	1.614

Fattori di amplificazione su intensità spettrale (SI)

	Minimo	Massimo	FA
SI 1	0.10	0.50	1.652
SI 2	0.50	1.00	1.659
SI 3*	0.50	1.50	1.626

.Caratterizzazione Geolitologica

In base alla consultazione della documentazione tecnica disponibile e delle prove geognostiche eseguite, il modello di sottosuolo è costituito inizialmente da una coltre di sedimenti fini che si spingono sino a circa mt.3,30 medi da p.c., con leggero rialzo in direzione nord, a cui fa seguito la prima bancata ghiaiosa; le caratteristiche di resistenza generali sono esplicate nelle tabelle e diagrammi penetrometrici allegati.

.Avvertenze e Prescrizioni

Si riportano di seguito le prescrizioni preliminari relative agli interventi di progetto che dovranno essere attuate durante le fasi di realizzazione delle opere:

- I lavori di escavazione necessari per la realizzazione delle opere di fondazione dai quali ne consegue la produzione di terre e rocce da scavo dovranno essere gestiti nel pieno rispetto del DPR 120/17.
- Nel caso siano previste opere di riporto nelle aree di pertinenza ai nuovi fabbricati, si dovrà procedere alla stesura e compattazione mediante stesura in strati successivi del materiale (max cm.30) con l'utilizzo di mezzi con rulli vibranti. Il livello di compattazione dovrà essere verificato durante le fasi di realizzazione dei riporti mediante l'esecuzione di prove in sito, quali p.e. carico su piastra di diametro non inferiore a 300 mm.
- Considerato che l'area si colloca altimetricamente più ribassata rispetto la viabilità principale circostante, durante le fasi di progettazione esecutiva dovranno essere attuate le idonee soluzioni tecniche finalizzate ad eliminare gli eventuali pericoli di allagamento dell'area oggetto di studio. I sistemi di controllo delle acque superficiali dovranno inoltre garantire un'adeguata pendenza per consentire il normale deflusso delle acque in direzione della idrografia di superficie senza che si verifichino zone con ristagno delle acque
- Le acque di scarico e meteoriche dovranno essere conferite nella rete di smaltimento secondo le modalità di trattamento previste dalle vigenti normative, in modo da garantire il rispetto delle condizioni di vulnerabilità degli acquiferi come previsto dalle norme di PTCP 2009 della Provincia di Modena.

Con riferimento a quanto reperito durante le fasi di ricerca bibliografica, integrate successivamente con il rilievo geologico/geomorfologico e con le indagini geognostiche e geofisiche eseguite sull'area in esame, si esprime **parere favorevole** per quanto di competenza relativamente agli interventi previsti nel progetto di variante urbanistica; i progetti esecutivi dovranno poi obbligatoriamente rispettare quanto previsto dalle NTC 2018.

Dr. Geol. Silvio Paganelli



Modena, 01/12/2021

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

