

COMUNE DI CORREGGIO

PIANO PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVA
PRIVATA IN VARIANTE AL P.R.G. NELL'AREA SITA
ALL'INTERNO DEL VILLAGGIO INDUSTRIALE IN
VIA DEL LAVORO ANGOLO VIA GIANFRANCESCHI
– DENOMINATO L.16 –

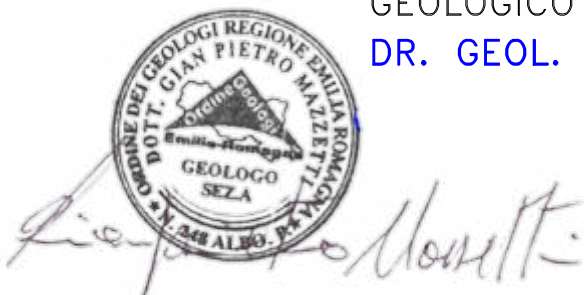
PROGETTO

Proprietà : A.MOR S.R.L.
CORSO MAZZINI N° 14
42015 CORREGGIO (RE)
C.F. e P.IVA:

Progetto: **dessau** studio

di Turci Dott. Dino, Gazzetti Ing. Silvia e Associati
Viale V. Veneto, 2/i – 42015 Correggio (RE)
Telefono e Fax: 0522/691606
e-mail info@dessau.it – internet www.dessau.it
C.F. e P.IVA 00745110353

Descrizione: CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE
GEOLOGICO GEOTECNICA E SISMICA
DR. GEOL. GIAN PIETRO MAZZETTI



Allegato:

E

Data: LUGLIO 2021 Agg.:

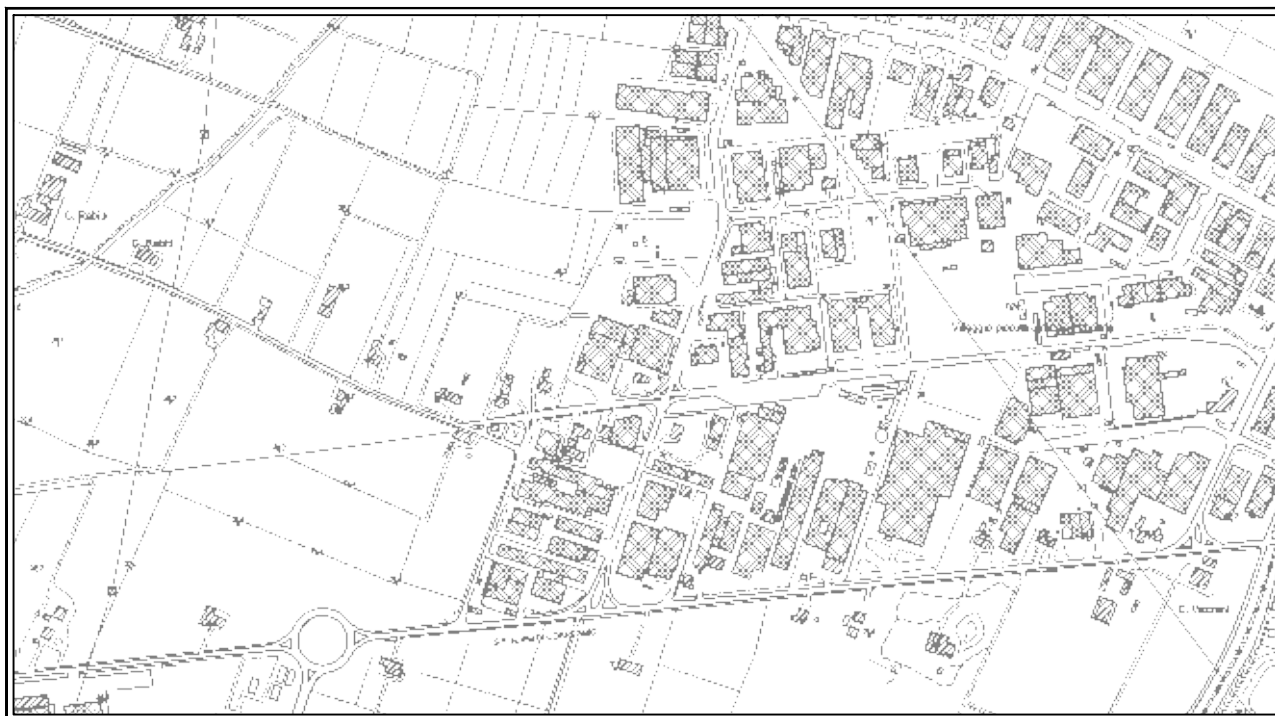
R. Emilia Romagna

Provincia di Reggio Emilia

Comune di CORREGGIO

CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA E SISMICA
PIANO PARTICOLAREGGIATO INIZIATIVA PRIVATA IN VARIANTE AL P.R.G.
VIA DEL LAVORO ANGOLO VIA GIANFRANCESCHI – DENOMINATO L.16
VILLAGGIO INDUSTRIALE CORREGGIO

A.MOR S.R.L.



CARATTERIZZAZIONE - MODELLAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Dr. Geol. GIAN PIETRO MAZZETTI



REL.N°	REV.	DATA	NOTE	Verificato	Approvato
2126/21	0	Luglio 2021		G.P. Mazzetti	G.P. Mazzetti

CENTROGEO

42015 CORREGGIO (RE) - PIAZZA S. QUIRINO, 6 - TEL-FAX 0522 641001

CITTA' DI CORREGGIO

CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA E SISMICA
 PIANO PARTICOLAREGGIATO INIZIATIVA PRIVATA IN VARIANTE AL P.R.G. VIA DEL LAVORO ANGOLO
 VIA GIANFRANCESCHI – DENOMINATO L.16
 VILLAGGIO INDUSTRIALE CORREGGIO
A.MOR S.R.L.

INDICE

INTRODUZIONE	1
INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO.....	1
CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA.....	2
INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	4
CARATTERI IDROGEOLOGICI	6
Assetto piezometrico dell'acquifero freatico.....	6
Soggiacenza	7
PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL TERRITORIO COMUNALE	8
Reticolo idrografico naturale principale alluvioni - PGRA.....	8
Reticolo secondario di pianura - PGRA.....	8
Vulnerabilità all'inquinamento	8
Zone SIC – ZPS – Parco.....	9
Zone, sistemi ed elementi della tutela paesaggistica.....	9
MODELLAZIONE SISMICA – PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	10
Inquadramento geografico	10
CARATTERI SISMOTETTONICI DEL TERRITORIO.....	10
Attività Tettonica.....	11
CLASSIFICAZIONE SISMICA – PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	13
MICROZONAZIONE SISMICA QC PSC	18
AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	19
PROSPEZIONE SISMICA ATTIVA / PASSIVA (MASW / Re.Mi.)	20
Identificazione categoria suolo di fondazione	22
Fattore di amplificazione sismico locale.....	23
ANALISI DEI MICROTREMORI CON LA TECNICA HVSR.....	25
CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	26
Considerazioni sulla litostratigrafia geomeccanica.....	28
Successione geotecnica – Parametri Caratteristici	28
MODULO DI REAZIONE	32
ANALISI SUSCETTIVITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	34
PORTANZA DEI TERRENI	37
Tensioni ammissibili.....	37
STATO LIMITE ULTIMO DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....	38
STATO LIMITE ULTIMO DEI TERRENI DI FONDAZIONE IN CONDIZIONI STATICHE	39
Verifica portanza terreni allo stato limite ultimo.....	40
STATO LIMITE ULTIMO DEI TERRENI DI FONDAZIONE IN CONDIZIONI DINAMICHE	41
Verifica portanza terreni allo stato limite ultimo in condizioni sismiche	42
STATO LIMITE DI ESERCIZIO - CEDIMENTI.....	43
Distorsione angolare	44
CEDIMENTI PERMANENTI POST SISMICI (STATO LIMITE DI ESERCIZIO IN CONDIZIONI DINAMICHE)	45
CONCLUSIONI E SUGGERIMENTI	46

ALLEGATI

UBICAZIONE AREA STUDIATA	TAV. 1
PLANIMETRIA UBICAZIONE PUNTI D'INDAGINE	TAV. 2
CARTA GEOLOGICO TECNICA	TAV. 3
CARTA MOPS	TAV. 4
CARTA DELLE ISOPIEZE	TAV. 5
CARTA DELLA SOGGIACENZA.....	TAV. 6
CARTA DELLA VULNERABILITA' ALL'INQUINAMENTO ACQUIFERO PRINCIPALE.....	TAV. 7

SCHEDE:

DIAGRAMMI PENETROMETRICI
 INDAGINI RE.MI./MASW
 INDAGINI HVSR

INTRODUZIONE

Nel contesto delle analisi progettuali per il *Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata in Variante al PRG – Denominato L. 16, nell'area del Villaggio Industriale, sita in via Del Lavoro angolo via Gianfranceschi, Correggio, R.E.* sono stati redatti gli studi di seguito descritti di caratterizzazione geologico geotecnica e sismica, pericolosità idraulica, paesaggistica, finalizzate all'individuazione delle proprietà litomeccaniche, valutazione della pericolosità sismica di base e determinazione della risposta sismica locale, dei terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area di variante in oggetto, analisi degli elementi di pericolosità idraulica e Verifica di Assoggettabilità a VAS.

L'analisi, eseguita su commissione di **A.MOR S.R.L.** Corso Mazzini n° 25, Correggio, R.E. ed in coordinamento con **Dessau Studio** Dr. Dino Turci – Ing. Silvia Gazzetti e Associati, V.le Vittorio Veneto, 2/l, Correggio, RE, **STUDIO MAAO Arch.** Mariavittoria Bosi, via della Pila, 40 Marghera, VE, si è redatta in ottemperanza ai dettati del D.M. 17-01-2018, DGR.ER 476/2021, DGR.ER 1300/2016, DGR. ER 1661/2009, LR. n° 19/2008.

Le indagini e valutazioni sviluppate hanno evidenziato caratteristiche geomorfologiche, idrogeologiche, parametri geotecnici e della risposta sismica con approccio semplificato, idonee per l'utilizzo ai fini edificatori dell'area di intervento.

INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

La zona in esame ricade nel quadrante nord orientale della sezione *CORREGGIO EST* n° 201022, delle basi C.T.R. ER in scala 1:5.000, appartenente alla tavoletta CORREGGIO II NW del F° REGGIO NELL'EMILIA N° 74 I. G. M. quadrato PQ zona 32 T.

I vertici delle coordinate *UTM-WGS84 fuso 32* riferite circa agli spigoli perimetrali dell'area oggetto del P.P.I.P. corrispondono a:

- 643550 – 4958880
- 643605 – 4959030
- 643760 – 4959000
- 643740 – 4958830
- 643700 – 4954945
- 643695 – 4958870
- 643605 – 4958860

Dal punto di vista catastale l'area è censita ai mappali: 619-616-669-668-427-426-424 del F° 43 NCT del Comune di Correggio.

CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA

La zona studiata appartiene al bacino subsidente Pliocenico Quaternario della Pianura Padana costituito da un'ampia depressione a stile compressivo formata, negli orizzonti più recenti da depositi pliocenico quaternari. Questi ultimi, in base ai dati *ENI – AGIP MINERARIA* (1986) – *R.E.R.* sono suddivisi, a loro volta, in formazioni del *Quaternario Continentale* nei primi 350 ÷ 450 m del sottosuolo e del *Quaternario Marino* circa da 400 ÷ 450 m a 1050 ÷ 1200 m pc. Tali unità geologiche sovrastano le formazioni pre quaternarie che nel sottosuolo correghese sono caratterizzate dalla fascia sud occidentale della Dorsale Ferrarese che ha coinvolto in deformazioni anche le sovrastanti unità quaternarie.

Detta struttura procedendo in direzione sud ovest, si esaurisce in prossimità di Reggio Emilia, dove è presente la sinclinale del Bacino Carpi – Cento con asse che si estende a oriente secondo la direzione Soliera – Nonantola – S. Giovanni in Persiceto e si immerge verso est.

La suddetta anticlinale è contraddistinta, nel suo complesso, da intensa tettonizzazione e risulta abbia subito movimenti anche in tempi recenti come denotano il fronte di accavallamento della Successione Carbonatica Meso–Cenozoica e la linea di sovrascorrimento che delimita l'ala occidentale – nord occidentale della Dorsale Ferrarese. Queste ultime sono classificate come strutture sepolte attive nella *Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna* (M. Boccaletti, L. Martelli; 2004 – L. Martelli et Alii, 2016). Tali fasce di dislocazione non risulta abbiano determinato fenomeni di frattura/spostamento nelle coperture quaternarie continentali più superficiali: primi 130/150 m del sottosuolo (AES7-AES8), che si siano ripercossi e manifestati in superficie nel settore di territorio al quale appartiene l'area di intervento.

L'attività delle strutture sopra citate sarebbe confermata anche dalle passate migrazioni fluviali verso ovest dei fiumi appenninici e verso nord del Po (Viggiani, 1974; DISS 3.2.1, 2018) e dalle forme superficiali che indicano attività neotettonica nelle zone sud occidentali del reggiano: Bibbiano, Quattro Castella, (Cremaschi e Papani, 1975); sussistono inoltre analoghe segnalazioni nei settori orientali del territorio in narrativa e nel modenese (Ist. Geol MO, 1978; RER 2000/2008).

I depositi alluvionali che formano i primi 250 – 400 m del sottosuolo sono costituiti da ripetitive sequenze di livelli sostanzialmente argilloso limosi ai quali si intercalano lenti sabbiose di modesto spessore contraddistinte da una spiccata geometria lentiforme ed a sviluppo nastriforme.

Detti caratteri e le componenti granulometriche e litologiche degli orizzonti sabbiosi, attribuiscono la successione descritta all'Unità Idrogeologica della Media Pianura

Padana Appenninica, formata dagli apporti distali dei fiumi appenninici, che è suddivisa in Sintemi e Subsintemi in funzione dei mutamenti climatici e movimenti tettonici che hanno interessato il Bacino Padano.

Di questi ultimi quello più superficiale AES8a/8 è costituito da successioni prevalentemente argilloso limose con intercalazioni o con sostituzione laterale di corpi sabbiosi ad assetto lentiforme e con sviluppo nastriforme, che costituiscono i primi 15 ÷ 25 m del sottosuolo (dall'attuale a ÷ 12.000 ÷ 14.000 anni b.p.), nei quali prevalgono le influenze dei cambiamenti climatici avvenuti nel bacino padano negli ultimi 12 ÷ 14.000 anni.

Successivamente si riscontrano sequenze prevalentemente argilloso limose, con intercalati in subordinate strati sabbiosi, che giungono sino a -90 ÷ -110 m pc correlabili al subsistema AES7 (12.000 ÷ 125.000 anni b.p.) che denotano significative influenze dell'assetto del substrato prepliocenico e pliocenico che hanno indotto deformazioni correlabili a processi di auto consolidazione differenziata dei terreni connessi all'assetto strutturale del substrato prepliocenico.

A queste seguono alternanze prevalentemente argillose, che presentano intercalazioni sabbiose in percentuale leggermente maggiore rispetto alle unità a esse sovrastanti; l'assetto di queste ultime evidenzia una sensibile influenza sia delle geometrie del substrato che dei processi di auto consolidazione che dei movimenti tettonici, ai quali sono correlate locali faglie per processi distensivi, non presenti nel sottosuolo dell'area in esame, che hanno coinvolto il settore al bordo orientale dell'area correggese; tali sequenze giungono a -200÷-220 / -240÷-280 m dal piano campagna e sono attribuite al subsistema AES (125.000 ÷ 400.000 anni b.p.) e sono state interessate da una fase secondaria di processi tettonici tra 220.000 a 260.000 anni b.p.

A dette successioni litostratigrafiche soggiacciono alternanze di orizzonti argilloso limosi e sabbiosi che denotano deformazioni correlate ad influenze dei movimenti tettonici, dei processi di faglia e di subsidenza, che hanno interessato il bacino padano in due fasi principali nel periodo tra 450.000 ad 800.000 anni b.p.; tali unità raggiungono profondità corrispondenti a -400 ÷ -450 m dal piano campagna, e sono attribuibili al subsistema AEI; in tempi precedenti sono avvenute importanti deformazioni tettoniche tra 950.000 e 1.150.000 anni b.p.

Superati detti depositi si rilevano orizzonti argilloso sabbiosi – sabbioso argilloso, contenenti macrofossili e livelli torbosi del *Quaternario Marino* che giungono a -1050 ÷ -1200 m di profondità, interessati da deformazioni correlate a fattori tettonici, processi di faglia e di subsidenza.

Dalle profondità di -450 ÷ -500 m dal piano campagna compaiono le acque salmastre.

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'assetto geomorfologico territoriale consegue dalle passate vicende fluviali del Po dei suoi affluenti che, unitamente all'azione dell'uomo: bonifiche, canalizzazioni, urbanizzazioni, ecc, hanno portato ad una conformazione pianeggiante, blandamente ondulata prevalentemente in senso W-E, con pendenze medie territoriali nell'area tra la SP 468R e via Geminiola del $1,2/1,7 \div 2,2$ ‰, declinanti in senso SSW-NNE e quote nella zona ad oriente di via Unità d'Italia mediamente comprese tra 28,5 e 30,0 m slm.

Negli ambiti di pianura i fiumi in condizioni naturali svolgono prevalentemente azioni sedimentanti per colmare le aree più depresse. Ne consegue che, in occasione delle variazioni climatiche comportanti processi di piena fluviale, si generano, fenomeni di rotta e/o tracimazione che determinano mutazioni nelle direzioni dei corpi d'alveo. I tratti residui di fiume così originatisi, a luoghi, costituiscono ostacoli alle successive impostazioni del reticolo idrografico.

Un sistema paleoidrografico come quello descritto è chiaramente osservabile a sud – sud ovest di Correggio ed al confine centro orientale con Carpi, dove si rilevano alcuni paleoalvei a direttrice sud ovest – nord est che nella zona occidentale, con l'approssimarsi al capoluogo tendono a flettere in senso ovest – est aggirando un antico tracciato fluviale naturale orientato ovest est che ha ostacolato l'impostazione degli assi idrici superficiali in direttrice settentrionale; analogamente nel settore orientale i corpi di paleoalveo curvano in verso nord est probabilmente con influenza anche del maggior tasso relativo di subsidenza nell'area del carpigiano.

Sono altresì presenti nel territorio correghese antichi sistemi idrografici non più attivi di gerarchia relativa inferiore orientati sud ovest – nord est, quale il tratto di tracciato fluviale estinto presente circa 1,5 km ad ovest – nordovest dell'area di intervento, generato dall'unione tra un corpo principale, orientato ovest sud ovest – est nord est da Madonna della Rosa a Centro Storico a via Astrologo e successivamente a nord est verso S. Martino di Correggio, ed un tratto di canale fluviale estinto secondario che gli confluisce tra via A. Panisi e via Astrologo, che si sviluppa in verso sud ovest – nord est da S. Bartolomeo a incrocio V.le Saltini/Via Don Minzoni a via Astrologo.

Oltre ai sopra descritti paleoalvei riconoscibili in superficie, nella zona in esame sono presenti corpi d'alveo fluviale sepolti costituiti in netta prevalenza da sabbie, in genere rinvenibili a profondità tra -7/-8 m e -10/-12 m pc ed a zone sino a -14/-15 m pc. quale quello riscontrato nel sottosuolo della parte centro orientale settentrionale dell'area di variate stralcio L/16 in corrispondenza di Cpt 4/21 ed in analoghe verticali di indagine effettuate nella zona immediatamente a sud di via Oratorio ed a settentrione di via G. Corradini.

Detto corpo sabbioso sepolto si estende nel sottosuolo in direzione nord est sino in prossimità di via costituzione e successivamente tende ad allungarsi in verso settentrionale orientale.

Ad est – nordest del sito in esame si rinviene un ambito vallivo di pianura che si allunga in direzione nord est dal Villaggio Industriale di Correggio a Via Vecchia Carpi che è delimitato ad oriente dal percorso fluviale estinto al confine con Carpi.

I corsi d'acqua residuali presenti nel correggese sono attribuibili prevalentemente ai torrenti Crostolo, Rodano e Tresinaro, il primo dei quali sino circa al 12° secolo d.C., precedentemente alla rotta del Po a Ficarolo avvenuta tra il 1152 ed il 1192 (*Ciabatti, 1966*), passava ad est di Reggio Emilia e proseguiva in verso nord est transitando nell'area compresa tra Budrio – Correggio – Cognento e successivamente proseguiva deviando verso oriente, in direzione Campagnola E, Fabbrico, Rolo, Novi (MO), per confluire poi al Po nei pressi di Bondeno di Ferrara congiuntamente al F. Secchia.

Oltre a detti antichi corsi principali si rilevano anche tratti secondari non sempre ben distinguibili e conservati.

Sull'evoluzione idrografica naturale ha esercitato una sensibile influenza l'uomo. Carte storiche del 1600 – 1700, evidenziano la presenza di antichi tratti fluviali che nel territorio in esame palesano opere di rettifica e regimazione antropica; concorre inoltre a confermare detta intensa attività nelle zone urbanizzate a destinazione sia civile che produttiva, la presenza di orizzonti superficiali, che giungono a $-1,5 \div -2,5$ m dal piano campagna (strade – cortili – piazzali – canali tombati – ecc.), costituiti da materiali di riporto e/o rimaneggiati; analoghe localizzate condizioni, con presenza di riporti sino a $-3 \div -4$ m pc, si riscontrano a zone nel centro storico in corrispondenza di preesistenti fossati contro murari e/o di antichi canali tombati.

Le caratteristiche litostratigrafiche riscontrate nelle indagini geognostiche eseguite, evidenziano nei primi 7 m da p.c. la presenza di alternanze prevalentemente argilloso limose con intercalate subordinate sottili lenti sabbioso limose – sabbiose che si assottigliano in direzione nord est. A queste da -7 a -12 m pc seguono alternanze essenzialmente limoso argillose – argilloso limose a medio – medio basso grado di consistenza con subordinate lenti sabbiose tra $-9/-10$ m pc che sono sostituite nel settore centro orientale settentrionale da uno spesso corpo sabbioso lentiforme mediamente addensato; successivamente si riscontra una sequenza argillosa – argilloso limosa con grado di consolidazione che aumenta la profondità.

Tale successione, correlabile alle aree di esondazione latitanti le fasce degli alvei fluviali nelle zone di pianura, concorda con le caratteristiche geomorfologiche territoriali precedentemente descritte.

Gli agenti sopraindicati nel sito di variante L. 16 hanno portato alla formazione di una topografia pianeggiante blandamente ondulata in senso ovest est con quote medie di $28,5 \div 29,0$ m s.l.m. e pendenze dell' $1,3 \div 3,0/5,5$ ‰ tendenzialmente declinanti in direzione ovest, che si accentuano al 1 % ai bordi dell'area in oggetto in prossimità/adiacenza delle nuove strade: via Unità d'Italia e dell'area al confine settentrionale, che hanno quote maggior di circa 1 m rispetto a quella del P.P.I.P. L. 16. Tali condizioni conferiscono all'area in esame situazioni di difficoltoso drenaggio.

Al periodo di esecuzione delle prospezioni geognostiche, luglio 2021, il livello idrico sotterraneo, misurato nei fori delle indagini, si è riscontrato a quote comprese tra:

$$\delta H_2O = -1,95 \div -2,05 \text{ m p.c.}$$

La profondità dell'acqua nel sottosuolo, riferita al periodo dei rilevamenti di QC. PSC, 2008/2009, nella zona a cui appartiene il sito in oggetto corrispondeva a:

$$\delta H_2O = -1,5 \div -2,0 \text{ m pc}$$

Detti valori di soggiacenza evidenziano un moderato trascurabile campo di escursione negativo del livello idrico, corrispondente mediamente a:

$$\delta_E \leq 0,5 \text{ m}$$

CARATTERI IDROGEOLOGICI

In funzione delle valutazioni delle condizioni di pericolosità sismica correlate alla presenza delle acque nel sottosuolo, che possono indurre processi di liquefazione, l'analisi delle caratteristiche idrogeologiche del settore di territorio al quale appartiene il sito di intervento, sono state sviluppate in riferimento all'acquifero freatico. Quest'ultimo nell'area in analisi costituisce i primi $15 \div 20$ m del sottosuolo ed è contraddistinto dalla presenza di alternanze prevalentemente limoso argillose che a zone includono corpi sabbioso limosi – sabbiosi, principalmente a sviluppo lentiforme, saturati dalla falda freatica: acquifero con tetto della superficie piezometrica libera.

Assetto piezometrico dell'acquifero freatico

L'esame sull'assetto della falda freatica è stato effettuato in base alla carta della superficie freatica elaborata in funzione dei precedenti censimenti pozzi eseguiti nel contesto delle analisi per il QC. PSC, 2009, di Correggio (*Centrogeo*).

La geometria dei moti di flusso idrico sotterraneo nel settore di territorio al quale appartiene l'area di variante al P.R.G. nella zona occidentale del Villaggio Industriale

di Correggio in via del Lavoro/via Gianfranceschi, L. 16, è contraddistinto dalla presenza di una falda ad assetto conico divergente, con direzioni dei flussi idrici sotterranei orientate sud est – nord ovest; detto assetto nel settore circa tra la SP 468R e Via Vecchia Carpi è caratterizzato dalla presenza di una fascia principale di alimentazione della falda idrica sotterranea con andamento sud est – nord ovest; le direttrici di moto dei deflussi idrici nel sottosuolo ad ovest di via Costituzione sono orientate a nord-nord ovest e ad oriente di detta via hanno direzione nord est.

Ad ovest del Cavo Argine, 0,8 ÷ 0,9 km ad ovest del sito sede della variante L.16, l'assetto è a falda conica convergente ed è caratterizzato da una fascia di drenaggio idrico sotterraneo principale con direzione sud ovest – nord est che si estende con andamento sub parallelo a detto cavo.

L'assetto geometrico delle isopieze della falda freatica del 1984 (P.T.C.C. Carpi-Correggio) e quelli del 2004 e 2009, evidenziano conformazioni praticamente equivalenti indicando un modello conservativo nel tempo delle direttrici dei moti di flusso idrico sotterraneo territoriale.

Soggiacenza

La profondità dell'acqua nel sottosuolo, riferita al periodo dei rilevamenti di QC. PSC (2009), nella zona a cui appartiene il sito in oggetto corrispondeva a:

$$\delta H_2O = -1,5 \div -2,0 \text{ m}$$

Simili/equivalenti valori di soggiacenza erano stati riscontrati nelle misurazioni del P.T.C.C. 1984:

$$\delta H_2O = -1,5 \div -2,0 \text{ m}$$

Al periodo di esecuzione delle indagini geognostiche nel sito, luglio 2021, nei fori delle indagini effettuate, il livello della falda freatica si è misurato a profondità dal piano di calpestio corrispondente a:

$$\delta H_2O = -1,95 \div -2,05 \text{ m}$$

Misurazioni in analoghe verticali di indagine effettuate a settentrione di via G. Corradini nell'aprile 2017 hanno evidenziato profondità del livello idrico corrispondenti a:

$$\delta H_2O = -1,7 \div -2,1 \text{ m}$$

Detti valori di soggiacenza evidenziano un moderato campo di escursione negativo del livello idrico al 2017/2021, equivalente a:

$$\delta_E \leq 0,5 \text{ m}$$

In funzione della modesta variabilità nel tempo della profondità del livello idrico nel sottosuolo nelle valutazioni della pericolosità di liquefazione sarà considerato il

valore della soggiacenza corrispondente a quello delle misurazioni momento delle indagini: -2,0 m pc.

PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL TERRITORIO COMUNALE

L'analisi relativa alle condizioni della potenziale pericolosità di allagamento o di esondazione dell'area oggetto della Variante L.16 è stata attuata in base agli elaborati del *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (2019)*.

La caratterizzazione idraulica del sito in oggetto è di seguito esposta in maggior dettaglio nello specifico rapporto.

Reticolo idrografico naturale principale alluvioni - PGRA

Il reticolo primario RP_RSCM Tav. 183 SO – Novellara, classifica l'area di Correggio capoluogo e quella sede del Villaggio Industriale ed il territorio a settentrione degli stessi sino circa all'allineamento Novellara – Campagnola Emilia – nord di Rio Saliceto – Migliarina e ad ovest del Autobrennero, come zona non soggetta a pericolosità di alluvioni, area esterna alla Fascia C del PAI.

Reticolo secondario di pianura - PGRA

L'elaborato RSP Tav. 183 SO – Novellara classifica l'area alla quale appartengono il capoluogo Correggio ed il Villaggio Industriale a scenario di pericolosità P2-M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 ani – media probabilità).

In dette aree (P2) sono da applicare misure indirizzate al principio dell'invarianza idraulica finalizzate alla salvaguardia della capacità ricettiva del sistema idrico e che contribuiscono alla difesa idraulica del territorio.

Vulnerabilità all'inquinamento

Le condizioni di pericolosità potenziale di inquinamento sono state desunte dalla "Carta della Vulnerabilità all'Inquinamento dell'Acquifero Principale, Pianure delle Province di Parma, Reggio Emilia, Modena" – CNR – GNDICI, 1993 (A. Zavatti, M. Civita).

Nel settore di territorio al quale appartiene l'area di Variante L. 16 l'acquifero principale è classificato a grado di vulnerabilità molto bassa, con presenza di paleoalvei sede di acquiferi sospesi, ambiti a vulnerabilità bassa, nella parte orientale del Villaggio Industriale, zone ad est di Snap On – Tecnofer.

Ne consegue che per quanto riguarda i sottoservizi destinati alla raccolta e allontanamento di fluidi potenzialmente contaminati è opportuno prevedere l'utilizzo di collettori a perfetta tenuta.

Zone SIC – ZPS – Parco

L'area di Variante al PRG L. 16 non appartiene a Zone SIC – ZPS ed a Zone Parco.

Zone, sistemi ed elementi della tutela paesaggistica

L'area di variante L. 16 non appartiene a Zone e Sistemi di Tutela Paesaggistica.

Gli interventi previsti, modesta sopraelevazione del piano campagna esistente +0,5/+1,0 m e spianatura dei temporanei accumuli di terreno, non comporteranno significative modificazioni dell'andamento planialtimetrico ed altimetrico del sito rispetto alle aree circostanti e non interferiranno con gli assi viari in essere, non produrranno alcun danno ad elementi geologici o mineralogici.

MODELLAZIONE SISMICA – PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Inquadramento geografico

Le coordinate geografiche (ellissoide ED50) relative circa al centro dell'area oggetto del Piano Particolareggiato L. 16, corrispondono a:

$$10.816225 \div 44.770305$$

(utilizzate per il calcolo dell'azione sismica – DM 17-01-18)

CARATTERI SISMOTETTONICI DEL TERRITORIO

L'area alla quale appartiene il territorio comunale di Correggio, RE, è costituita nei primi 250 ÷ 400/450 m del sottosuolo, da alternanze di orizzonti prevalentemente argillosi con intercalati, in subordine, livelli sabbiosi a spiccato assetto lentiforme, che rappresentano i depositi alluvionali del *Quaternario Continentale*. Ad essi soggiacciono alternanze di orizzonti sabbiosi ed argillosi, con la tendenziale prevalenza delle unità sabbiose, correlate ai depositi sedimentari del *Quaternario Marino*, che giungono a - 1200 ÷ - 2000 m pc.

Alle profondità sottostanti 450 ÷ 500 m dal piano campagna, si riscontra l'interfaccia acque dolci/acque salmastre.

Le sopradette sequenze proseguono da -2,5/-3 ÷ -4/4,5 Km, questi ultimi nel settore orientale del correggese, quota alla quale si riscontrano le successioni preplioceniche.

Tali formazioni, nell'area Emiliano Romagnola, sono state coinvolte nelle fasi di sollevamento del fondo bacino del *Miocene* e del *Pliocene* (3,9 – 2,2/0,8 – 0,65 Ma), che hanno generato un assetto strutturale a carattere compressivo. Dette interazioni tra il fronte appenninico e la monoclinale alpina, hanno originato nel sottosuolo del territorio in analisi la Struttura delle Pieghe Ferraresi caratterizzate dall'omonima Dorsale che rappresenta la parte più esterna dell'arco plicativo del trust appenninico ed ha vergenza settentrionale.

Dette pieghe sono state interessate da movimenti attivi negli ultimi 0,6 ÷ 0,22 Ma¹, come evidenziano sia le alterne fasi di sollevamento e abbassamento (minori entità relative dei sollevamenti) e traslazioni orizzontali identificati nella *Carta Neotettonica dell'Appennino Settentrionale* (CNR – PFG SN; 1987), che le faglie e sovrascorrimenti attivi o riattivatisi, evidenziati nella *Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna* (M. Boccaletti, L. Martelli; 2004 – L. Martelli et Alti; 2016).

¹ Ma: milioni di anni

Le strutture sepolte attive sono rappresentate dalla linea di sovrascorrimento che delimita l'ala occidentale e settentrionale della Dorsale Ferrarese e dallo sovrascorrimento sepolto ovest est orientato secondo le località Bellaria – Meletole – Lentigione. È inoltre attribuito stato di attività al Fronte di Accavallamento della Successione Carbonatica Meso – Cenozoica (M. Boccaletti, L. Martelli; 2004).

Il suddetto Fronte di Accavallamento si estende in direttrice sud ovest – nord est circa da Caviro a Pieve Rossa (Bagnolo in Piano) – Campagnola Emilia – Rolo – Concordia sulla Secchia. Analogo andamento sud ovest – nord est evidenzia anche la linea che delimita l'ala nord della Dorsale che si estende nel sottosuolo dei territori di Cadelbosco di Sopra – Novellara – Novi di Modena – S. Caterina di Concordia s. Secchia.

Nel sottosuolo dell'ambito territoriale di Correggio – Rio Saliceto – Carpi, è evidenziata una linea di sovrascorrimento riattivatasi nel *Pliocene – Pleistocene superiore*, che si estende in verso sud ovest – nord est circa secondo le località Prato – S. Martino in Rio – S. Biagio – intersezione Tresinaro/SP. 468R – Via Geminiola, interessando il settore centro orientale del Villaggio Industriale di Correggio; dalla suddetta via, assumendo una conformazione arcuata, flette in direttrice est – ovest, allungandosi circa sub parallelamente a via Geminiola sino a Mandrio – C. Fornaciari, in seguito riassume direzione sud ovest – nord est orientandosi circa secondo C. Brunetti, Stabilimenti Goldoni, Budrione.

Le linee tettoniche sopradescritte e loro componenti secondarie, per processi distensivi nelle unità quaternarie, non hanno evidenziato palesi ripercussioni in superficie: unità AES8 – AES7 nelle zone di cui fa parte l'area di intervento.

Nel territorio in analisi la sismicità è principalmente correlata all'attività dei processi deformativi che interessano le strutture superficiali nei primi 5/10÷15 km del sottosuolo, prevalentemente collegate a meccanismi focali compressivi e trascorrenti.

Attività Tettonica

L'interazione tra le strutture che costituiscono le Pieghe Emiliane – Romagnole, e Ferraresi con la Monoclinale Alpina, alla quale è conseguito il sollevamento delle omonime dorsali, evidenzia l'attività in età *Pliocene – Pleistocene inf.*, della fascia delle linee di sovrascorrimento delle zone settentrionali e nord occidentali di dette strutture (*Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna*; M. Boccaletti – L. Martelli; 2004).

Nella zona a settentrione della via Emilia è attribuita attività sismogenetica allo sovrascorrimento sepolto che delimita l'ala occidentale settentrionale – settentrionale

della Dorsale Ferrarese, orientata est sudest – ovest nordovest, circa da Roncocesi/Cadelbosco a Novellara – Fabbrico – Novi MO – Concordia sS. e successivamente a direzione ovest – est da Mirandola a Finale Emilia – S. Agostino – Poggio Renatico; analoghe caratteristiche sono conferite allo sovrascorrimento ovest – est Bellaria – Lentigione; è inoltre attribuita attività allo sovrascorrimento che delimita il Fronte delle Pieghe Emiliane e Romagnole circa esteso secondo le località Gavassa – Prato – Campogalliano – Saliceto sul Panaro.

Nei settori occidentali del territorio di Correggio, zona di Fosdondo – S. Michele – Bagnolo in Piano, l'attività sismica è sensibilmente influenzata dalla presenza nel sottosuolo da -4,5 ad almeno -5,7 km pc della Piattaforma Carbonatica di Bagnolo in Piano (A. Bosellini, 1981); quest'ultima costituisce una litozona a comportamento relativo più rigido rispetto alle rocce di substrato che nell'area tra Parma e Reggio Emilia – Modena la sostituiscono lateralmente; detta piattaforma forma la rampa sud occidentale della Dorsale Ferrarese che interagisce con il Fronte delle Pieghe Emiliane presenti nel sottosuolo della fascia di territorio sulla quale si estende la Via Emilia.

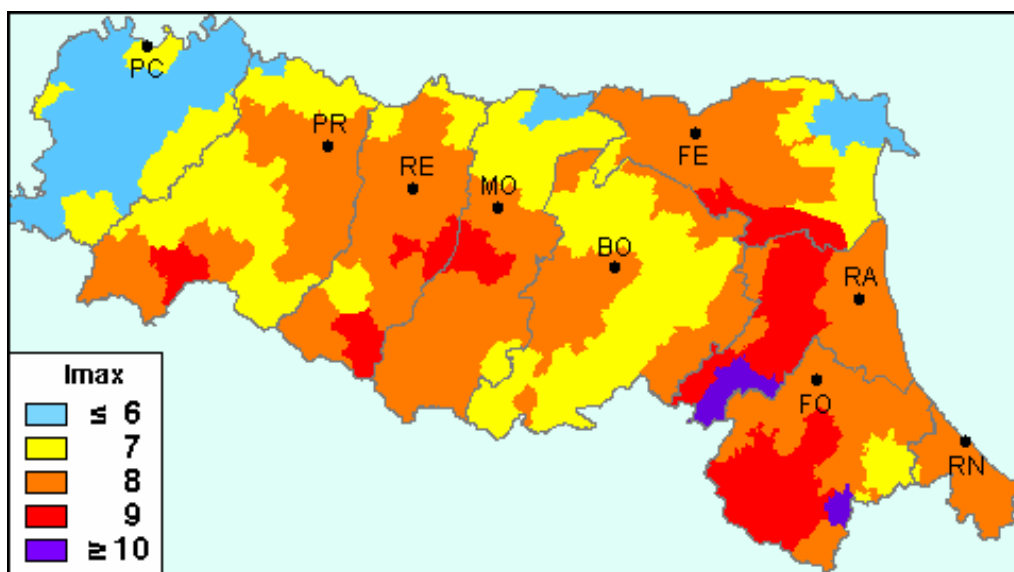
Le sopradescritte caratteristiche sismogenetiche concordano con le profondità di -5/-7 km pc degli ipocentri sismici in tale zona quali quello del 1996 corrispondente a $-5 \pm 0,3$ km dal piano campagna; quest'ultimo ha evidenziato prevalenze degli effetti in direzione sud ovest – nord est, concordanti con l'orientamento dello sovrascorrimento all'ala occidentale della Dorsale Ferrarese, ed in direzione ovest – est in accordo con la presenza della fascia ad elevato grado di fratturazione (faglia) con analogo orientamento individuata (AGIP) circa da S. Michele/Pieve Rossa a La Rocca, Cadelbosco Sopra.

Alle fasi compressive che hanno generato le sopra descritte strutture è correlata l'attività sismogenetica, prevalentemente di tipo compressivo superficiale: 5/10÷15 km dal piano campagna che si sviluppa conseguentemente all'accumularsi delle tensioni nelle fasce di sovrascorrimento del fronte della Successione Carbonatica e del Basamento (AGIP, 1986), rinvenibili rispettivamente circa tra -8/-9 km pc e -11/-13 km pc, con immersione a sud.

Nell'areale circostante il territorio di Correggio sono individuate zone sorgente sismogenetica, con ipocentri a -5/-7 km pc e $M_w=4,95/5,4$ a 7/10 km di distanza ad ovest dal centro storico di Correggio nell'area tra Bagnolo e Novellara, con ipocentri tra -4/-6/-9,5 km pc; a distanza di 15/25÷30 km a nord est, tra Novi MO/Mirandola, Finale Emilia e San Martino in Spino, sono documentati epicentri sismici con $M \geq 5,9/6,1$.

CLASSIFICAZIONE SISMICA – PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Nell'ambito in cui ricade il territorio comunale di Correggio (RE) il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, in base alla banca dati macrosismici del GNDT ed ai 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*) sono documentati eventi sismici giungenti al 7° – 8° grado della Scala *Mercalli – Cancani – Sieberg*, con intensità massima corrispondente ad $M_w = 5,5 \div 5,6$, come evidenziato nella seguente figura.



Nell'ambito a cui appartiene il territorio comunale di Correggio il *Database Macrosismico DBMI15*, (*M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi* (a cura di), 2015. DBMI15, nella versione 2015 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>) utilizzato per la compilazione del *catalogo parametrico CPTI15*, sono documentati gli eventi sismici di seguito riportati:

Storia sismica di Correggio

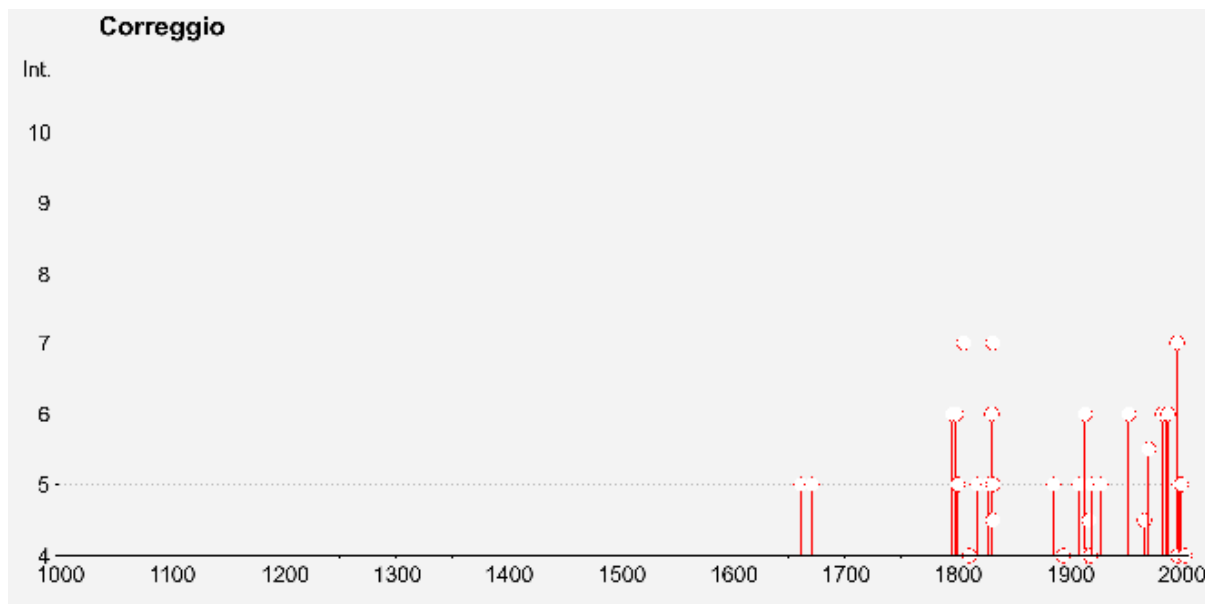
Numero di eventi: 53

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
NR	1591 05 24	REGGIO EMILIA	4	6	4.72 ± 0.34
5	1661 03 21 23:00	Modenese	4	6-7	4.93 ± 0.34
5	1661 03 22 12:50	Appennino romagnolo	79	9	6.09 ± 0.16
5	1671 06 20 10:00	Modena-Reggio Emilia	8	7	5.25 ± 0.72
6	1796 10 22 04:00	Emilia orientale	27	7	5.61 ± 0.36
6	1799 02 22 05:45	Correggio (RE)	2	5	4.30 ± 0.34
5	1801 10 08 07:5	Bologna	6	6	5.07 ± 0.83

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
3	1802 05 12 09:00	VALLE DELL'OGGIO	85	8	5.64 ±0.22
7	1806 02 12	NOVELLARA	28	7	5.19 ±0.39
4	1811 07 15 22:44	SASSUOLO	21	6-7	5.25 ±0.40
5	1818 12 09 18:55	Parmense	26	7	5.28 ±0.35
5	1828 10 09 02:20	Valle Staffora	114	8	5.76 ±0.15
F	1831 07 14 15:30	Reggiano	8	5-6	4.69 ±0.44
6	1831 09 11 18:15	Reggiano	25	7-8	5.54 ±0.32
5	1832 03 11 06:45	Carpi (MO)	14	5	4.80 ±0.37
4-5	1832 03 11 08:45	Reggiano	14		
7	1832 03 13 03:30	Reggiano	98	7-8	5.53 ±0.18
F	1834 02 14 13:15	Valle del Taro-Lunigiana	112	9	5.83 ±0.15
F	1834 07 04 00:45	Lunigiana-Parmense	24		
3	1834 10 04 19:00	Bolognese	12	6	4.85 ±0.43
F	1837 04 11 17:00	Alpi Apuane	60	9	5.81 ±0.20
5	1886 10 15 02:20	COLLECCHIO	44	6	4.70 ±0.24
F	1887 02 23 05:2	Liguria occidentale	1516		6.97 ±0.15
F	1891 06 07 01:0	Valle d'Illasi	403	8-9	5.86 ±0.06
3-4	1894 11 27 05:07	FRANCIACORTA	183	6	5.07 ±0.10
4	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8	6.23 ±0.08
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7	5.15 ±0.14
5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53 ±0.09
3-4	1913 11 25 20:55	Val di Taro	73	4-5	4.84 ±0.20
6	1914 10 27 09:2	Garfagnana	618	7	5.76 ±0.09
4	1915 10 10 23:08	REGGIO EMILIA	30	6	5.02 ±0.22
4-5	1918 05 06 08:05	Reggiano	8	5-6	4.52 ±0.69
4	1919 06 29 15:0	Mugello	566	10	6.29 ±0.09
5	1920 09 07 05:5	Garfagnana	756	10	6.48 ±0.09
3	1923 06 28 15:1	FORMIGINE	22	6	4.88 ±0.24
5	1928 06 13 08:00	CARPI	35	6	4.78 ±0.23
3	1939 10 15 14:05	Garfagnana	62	6-7	5.08 ±0.16
6	1953 08 22 05:26	Reggiano	6	6	4.77 ±1.00
NF	1965 11 09 15:3	ALTA V. SECCHIA	32	5	4.74 ±0.25
4-5	1967 04 03 16:3	Reggiano	47	5-6	4.69 ±0.19
5-6	1971 09 11 23:1	Correggio	15	5	4.23 ±0.31
6	1983 11 09 16:2	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
NF	1984 04 29 05:0	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.65 ±0.09
2	1986 12 06 17:0	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
6	1987 05 02 20:4	Reggiano	802	6	4.74 ±0.09
6	1988 03 15 12:0	Reggiano	160	6	4.66 ±0.12
3	1995 10 10 06:5	LUNIGIANA	341	7	4.85 ±0.09
7	1996 10 15 09:5	Correggio	135	7	5.41 ±0.09
4	1997 05 12 22:1	Reggiano	56	4-5	4.22 ±0.27
5	1998 02 21 02:2	Reggiano	104	5	4.34 ±0.17
3-4	1998 03 26 16:2	Appennino umbro-marchigiano	408	6	5.29 ±0.09
5	2000 06 18 07:4	Parmense	300	5-6	4.43 ±0.09

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
4	2003 09 14 21:4	Appennino bolognese	133	6	5.29 ± 0.09

Dove: Io ed Mw = Intensità e Magnitudo sismica epicentrale; Is = Intensità sismica percepita



(tabella e grafico reperiti dall'archivio DBMI11, consultabile al sito internet <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>)

In occasione degli eventi sismici che hanno colpito il territorio il 20 e 29 maggio 2012 l'area di Correggio, RE, ha subito effetti corrispondenti al V° grado MCS (Fonte: "Rilievo Macrosismico MCS Speditivo" – Rapporto Finale – Protezione Civile – Giugno 2012).

Le mappe di scuotimento INGV (<http://shakemap.rm.ingv.it/shake>) per gli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 e 3 giugno 2012, indicano per la parte di territorio alla quale appartiene l'area in analisi, i parametri di seguito esposti:

Sito Via Oratorio/Via Gianfranceschi - Correggio

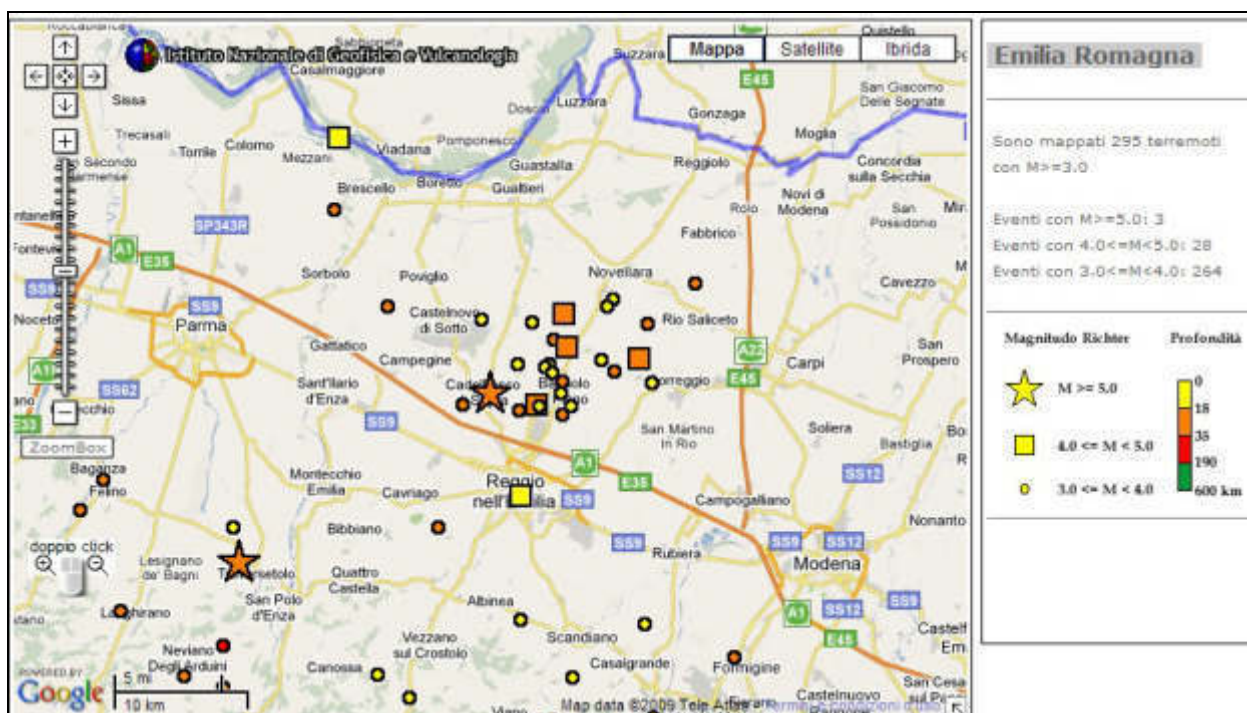
Data evento - M	PGA (g)	PGV (cm/s)	PSA 0,3s (g)	PSA 1,0s (g)	PSA 3,0s (g)
20-05-2012 – 5.9	0,058	4,0	0,129	0,039	0,008
29-05-2012 – 5.8	0,107	6,1	0,196	0,072	0,012
29-05-2012 – 5.3	0,047	4,2	0,109	0,029	0,006
03-06-2012 – 5.1	0,036	2,4	0,069	0,012	0,003

L'evento più gravoso per le strutture è quello del **29 maggio 07.00.03 (GMT)**
M_L=5.8.

I valori d'incremento dell'accelerazione di gravità registrati il 15/10/1996 presso la stazione sismica di Novellara corrispondenti a 0,199 g, per il territorio correggese sono maggiori di quelli sopraesposti avvenuti nel maggio 2012.

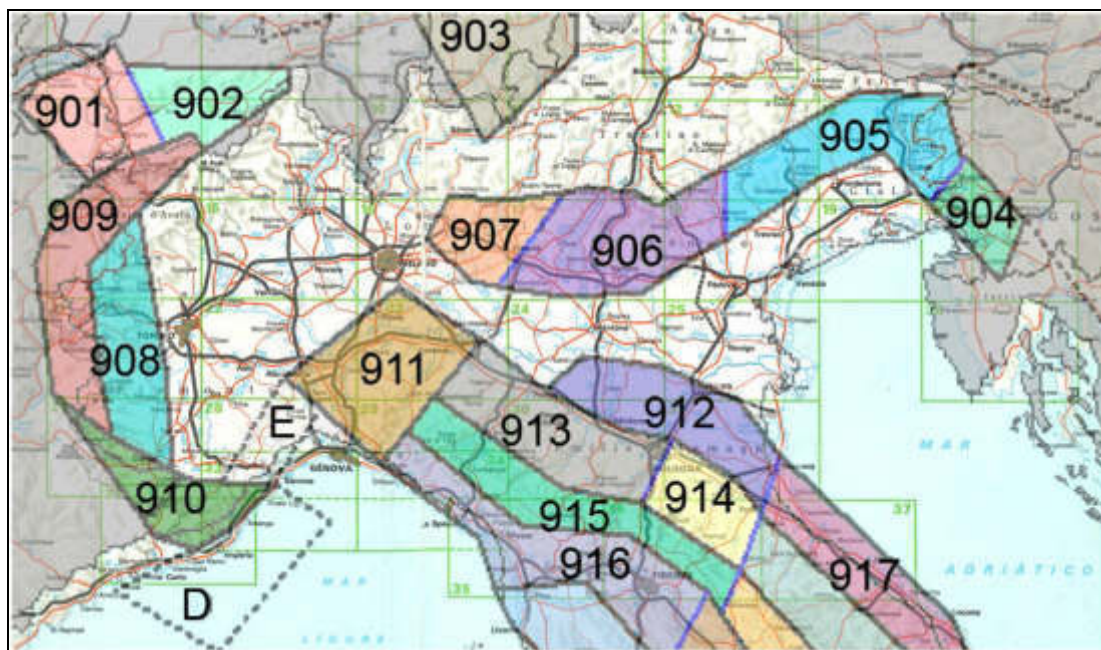
Una stazione sismica provvisoria, messa in opera dallo scrivente il 29 maggio 2012, nel settore orientale centrale di Correggio capoluogo, a distanza di 2 km ad ovest del sito di variante, nell'evento delle 12.58, ha rilevato: PGA = 0.15 g ed uno spostamento orizzontale di 4 cm.

Gli epicentri sismici verificatisi nel territorio in analisi hanno origine, per la percentuale maggiore, nei primi 10/15 km del sottosuolo evidenziando la prevalenza di un'attività sismogenetica di tipo superficiale o crostale.



Epicentri dei principali terremoti ($M > 3$) rilevati da INGV nell'intorno dell'area di interesse

La zonazione sismica del territorio nazionale, che identifica le zone sorgente a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata da I.N.G.V. (2003), attribuisce l'ambito territoriale in oggetto alla zona sismogenetica 912, quindi alla zona di dominio della Dorsale Ferrarese.



Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004)

La riclassificazione sismica del territorio nazionale OPCM 3274/2003 attribuisce il comune di Correggio alla zona 3 con grado di sismicità, riferito alla previgente normativa sismica, equivalente agli ambiti con S6.

I parametri di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, a_g , relativi all'area di pertinenza del settore di territorio in esame, in base alla griglia delle NTC 17/01/2018, sono congruenti con quelli delle classificazioni sopra esposte.

ZS	4.76	4.99	5.22	5.45	5.68	5.91	6.14	6.37	6.6
912	12	9	6	7	2	2	0	0	0
913	26	13	11	6	4	1	0	0	0

Distribuzione degli eventi sismici per classi di magnitudo per le zone 912 e 913 (INGV, 2004)

Gli epicentri sismici verificatisi nell'area che circoscrive il territorio di Correggio per un raggio di 20/25 km si sono originati per la percentuale maggiore nei primi 10/12 km del sottosuolo ed evidenziano un'attività sismogenetica principalmente di tipo superficiale; la distribuzione degli ipocentri focali che si generano tra -15 e -25 km dal piano campagna, è contraddistinta da percentuale relativa minore.

1.1.1.1 ZONE SISMOGENETICHE – DISS 3.2.1

Il territorio di Correggio appartiene alla zona sorgente sismogenetica composta ITCS049 - Campegine – Correggio che si estende in assetto blandamente arcuato in direzione ovest – est circa da Campegine a Santa Maria della Fossa al Villaggio Piccola e Media Industria di Correggio ed è adiacente alla zona sorgente ITCS051 - Carpi – Poggio Renatico.

Dette fasce sono caratterizzate da meccanismi focali compressivi che si originano tra -2/-3 e -10 km del sottosuolo.

Agli eventi sismici della zona Campegine – Correggio è attribuita una magnitudo massima $M_w=5,5$.

Ai terremoti della zona Carpi – Poggio Renatico è attribuita una magnitudo massima $M_w=6,0$; alla zona sorgente ITCS103 - Finale Emilia – Mirabello, 25 km a nord est, è attribuita una magnitudo massima $M_w = 6,1$ e profondità origine -3,5/-10 km.

Gli epicentri principali della zona Campegine – Correggio sono individuati a distanze di 7 – 10 km ad ovest del centro storico di Correggio (S. Tommaso della Fossa – S. Giovanni); per quanto riguarda la zona Carpi – Poggio Renatico i principali epicentri distano 18 – 24 km da detto centro storico.

Come sopra esposto tali ipocentri sono caratterizzati da meccanismi focali compressivi – compressivo trascorrenti.



MICROZONAZIONE SISMICA QC PSC

Le analisi di Microzonazione Sismica di III livello di approfondimento del territorio comunale di Correggio, 2016 (*Centrogeo*) classificano l'area alla quale appartiene il sito di Variante come: area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e suscettibile di instabilità per potenziale liquefazione, nella fascia più meridionale adiacente a via Oratorio è classificata zona suscettibile di instabilità differenti; per dette zone sono richiesti valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, stima del potenziale di liquefazione / densificazione, stima dei cedimenti

differenziali, con analisi di microzonazione di III° livello secondo l'allegato A3 della DGR 476/2021.

In funzione di quanto sopra esposto nell'area oggetto di intervento è stata sviluppata la valutazione della pericolosità di liquefazione e stima dei cedimenti post sismici per le verticali di indagine CPT eseguite.

AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

DM 17/01/2018

Sulla base delle indicazioni contenute delle NTC di cui al D.M. 17/01/18, per l'area in esame, considerando strutture di classe II (vita nominale $V_n = 50$ anni, coefficiente d'uso $C_u = 1,0$; $V_r = 50$ anni), risultano i seguenti valori di accelerazione di riferimento al suolo e parametri per il calcolo degli spettri di risposta di riferimento, in funzione dei diversi stati limite considerati:

STATO LIMITE	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c (s)
SLO	30	0.043	2.507	0.249
SLD	50	0.055	2.503	0.265
SLV	475	0.154	2.568	0.271
SLC	975	0.206	2.529	0.277

dove:

SLO = Stato limite di operatività; $P_{vr} = 81\%$

SLD = Stato limite di danno; $P_{vr} = 63\%$

SLV = Stato limite di salvaguardia della vita; $P_{vr} = 10\%$

SLC = Stato limite di prevenzione del collasso; $P_{vr} = 5\%$

a_g = accelerazione massima di riferimento al suolo

F_0 = fattore di amplificazione

T_c = inizio del tratto orizzontale dello spettro di risposta

D.G.R. E.R. 476/2021

Il valore della a_g di riferimento, con probabilità di eccedenza dell'evento sismico del 10% in 50 anni, riportato nell'allegato A4 della Delibera della Giunta Regionale Emilia Romagna n° 476/2021, per l'area in analisi, corrisponde a

$$a_{refg} = 0,154 \text{ g}$$

PROSPEZIONE SISMICA ATTIVA / PASSIVA (MASW / Re.Mi.)

In riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale ed a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, per determinare la categoria del suolo di fondazione, è stata eseguita una prospezione geofisica articolata in 2 profili di stendimento di acquisizione, con metodo integrato attivo – passivo (MASW/Re.Mi.), restituiti in un singolo profilo verticale, per la rilevazione della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.

La prospezione è stata effettuata con un sismografo digitale a 24 canali ad elevata dinamica *GEOMETRICS GEODE*, attrezzato con 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz, disposti ad interasse di 3 m per una lunghezza totale di stendimento di 69 m.

Nella procedura del “metodo attivo” le onde superficiali sono generate mediante una sorgente impulsiva disposta al piano campagna e sono registrate da uno stendimento lineare costituito da ricevitori posti a distanza variabile in rapporto alla lunghezza dell’antenna di rilevazione.

Il procedimento del “metodo passivo” presenta caratteristiche geometriche dello stendimento uguali a quelle del sistema attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (microtremore) generato da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche esaminano bande spettrali differenti: il metodo attivo consente di acquisire in modo dettagliato una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni relative alla parte più superficiale del sottosuolo (fino a circa 10–20 m di profondità); il metodo passivo permette di determinare e definire una curva di dispersione nelle bande di frequenza tra 2 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi.

La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nel campo di frequenze comprese tra 2 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell’andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 50–100 m di profondità, in funzione della lunghezza dello stendimento e delle caratteristiche del sottosuolo.

Nell’esecuzione della prova MASW (attiva) è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 10 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking). La sorgente è stata posta ad una distanza di 6 e 10 m dal primo geofono (“Optimum Field Parameters of an MASW Survey”, *Park et al., 2005; Dal Moro, 2008*).

Per l'acquisizione dei microtremori ambientali sono state effettuate venti registrazioni della durata di 30 sec per ciascuna fase di registrazione con una frequenza di campionamento di 500 Hz.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare, tramite un opportuno software, una trasformata bidimensionale "*slowness-frequency*" (*p-f*) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentare lo spettro di potenza su un grafico *p-f*. Gli spettri delle singole acquisizioni sono quindi mediati, escludendo eventualmente quelli che presentano una bassa coerenza.

In tale spettro mediato si evidenziano gli andamenti che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza significativa, ed è possibile un riconoscimento visivo delle onde di superficie (che hanno carattere dispersivo), da quelle riconducibili ad altri modi e tipi (onde di superficie di ordine superiore, onde di pressione, suono e rumore incoerente).

In funzione di quanto esposto è possibile effettuare un "*picking*", attribuendo ad un certo numero di punti una o più *slowness* (*p* o *1/velocità di fase*) ed ottenere una "*curva di dispersione*".

Quest'ultima è visualizzata su un diagramma in cui appare anche la curva di dispersione calcolata in base ad un modello di Vs che è modificabile in sede di elaborazione. Variando il numero di strati, la loro velocità e la densità, la curva di dispersione calcolata è adattata sino ad aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking.

I risultati ottenuti ed i relativi diagrammi di elaborazione sono visualizzati nelle allegate schede "*indagine MASW-Re.Mi.*", riportanti lo spettro di potenza mediato, la curva di dispersione, sia sperimentale che calcolata, ed il relativo modello interpretativo per ciascun stendimento.

Verticale sismica MASW/Re.Mi.

La successione sulla verticale delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio: Vs e gli spessori delle unità litologico sismiche correlabili alle stesse, sono caratterizzate da un graduale incremento di velocità con l'aumento della profondità e contraddistinte dall'assenza di significativi contrasti di impedenza: $V_{s2}/V_{s1} \geq 1,5 \div 2,0$, nei primi 34/50 m del sottosuolo. Quanto esposto concorda con la stima della profondità e spessore dell'unità sismotecnica correlabile al bedrock sismico come definito dalle NTC 17/01/2018: $V_s \geq 800$ m/sec, determinato in funzione della frequenza principale dei terreni mediante la relazione:

$$H = V_s/4f_0$$

che corrisponde a -120 ÷ -130 m pc.

Detta successione simico tecnica evidenzia che le condizioni stratigrafiche e proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie del sottosuolo di fondazione della Tab. 3.2.II delle suddette NTC 2018.

Pertanto in funzione delle caratteristiche della verticale sismica del sito di intervento può essere fatto riferimento all'approccio semplificato per la classificazione del sottosuolo di fondazione in base alla sopracitata Tab. 3.2.II – NTC 2018.

Identificazione categoria suolo di fondazione

I dati acquisiti dalle rilevazioni effettuate denotano che i primi 55 m del sottosuolo, soggiacenti il piano di posa delle fondazioni, sono contraddistinti da velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , profondità e spessori, come riportato nella seguente tabella:

Stendimento sismico MASW/ Re.Mi.

Orizzonte sismostratigrafico	Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	V_s (m/sec)
1	1 ÷ 2,5	1,5	80
2	2,5 ÷ 6,5	4,0	230
3	6,5 ÷ 17	10,5	270
4	17 ÷ 34	17,0	340
5	34 ÷ 55	21,0	380
6	>55	Inf.	420

La definizione della categoria del sottosuolo è stata effettuata in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s_{eq}}$ (in m/s) mediante la relazione:

$$V_{s_{eq}} = \frac{H}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove:

h_i = spessore dello strato i esimo, m

V_{si} = velocità onde di taglio strato i esimo, m/sec

N = numeri di strati

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s_{eq}}$ è definita dal parametro $V_{s_{30}}$, assumendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino

a tale profondità; in base a quanto esposto per una profondità di incastro media della fondazione a -1,0 m dal piano campagna al momento delle indagini si ottiene:

$$Vs_{30} = 258 \text{ m/s}$$

In funzione del miglioramento delle proprietà sismiche e geomeccaniche con la profondità, dei valori delle Vs sopra esposti e dell'analisi della sequenza sismotecnica, risulta che i litotipi che formano i primi 30 m del sottosuolo sono attribuibili a:

- **Categoria 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.

Fattore di amplificazione sismico locale

Fattore di amplificazione topografico

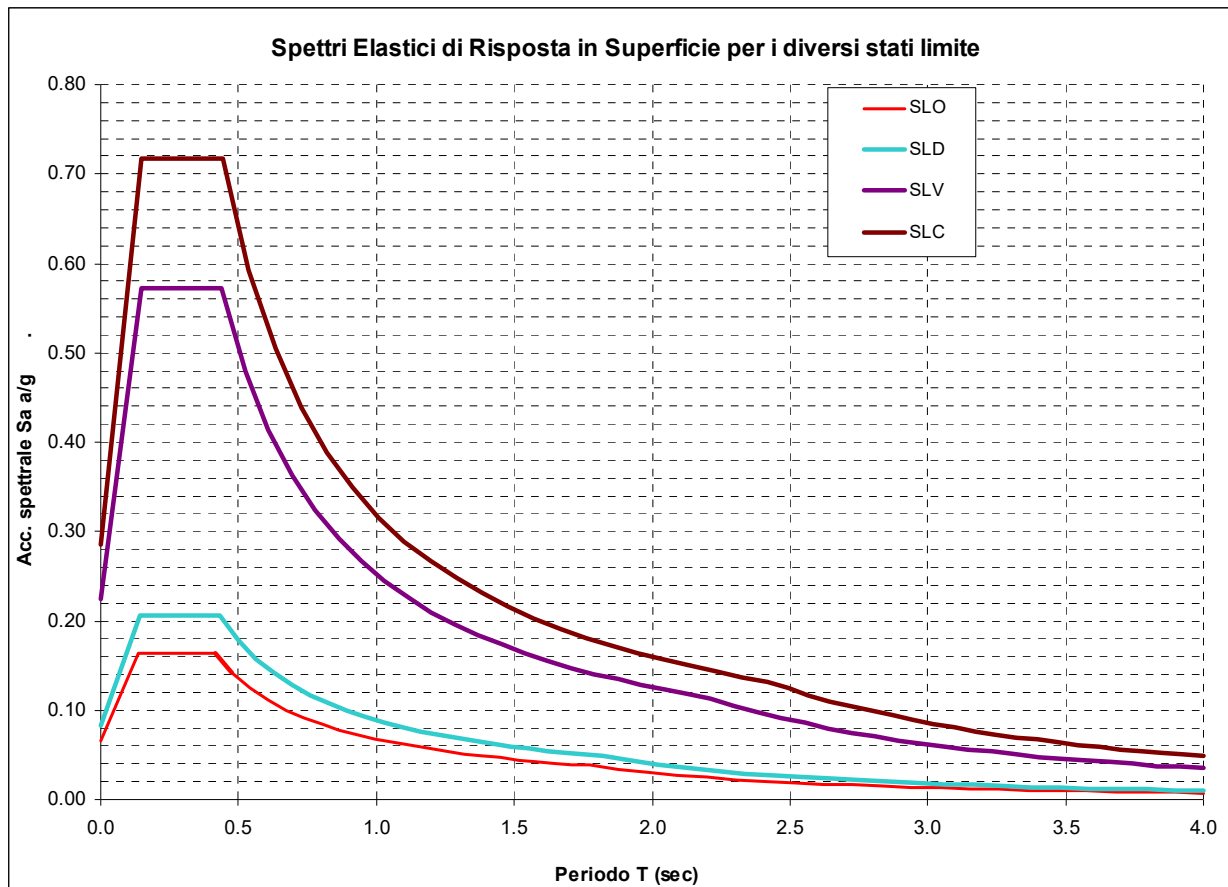
L'area si ubica in una zona pianeggiante, quindi in ottemperanza alle normative regionali e nazionali, il coefficiente di amplificazione topografico corrisponde a:

$$S_T = 1,0 \text{ (categoria T1)}$$

Fattore di amplificazione stratigrafico - D.M. 17-01-2018

Sulla base delle indicazioni contenute delle NTC di cui al D.M. 17/01/08, per l'area in esame, considerando strutture di classe II (vita nominale $V_n = 50$ anni, coefficiente d'uso $C_u = 1,0$; $V_r = 50$ anni), risultano, in funzione dei diversi stati limite considerati, i seguenti valori di amplificazione in superficie per la costruzione dei relativi spettri elastici di progetto in superficie (categoria suolo C – Fattore di amplificazione topografico 1,0):

STATO LIMITE	T_R (anni)	S_s (-)	C_c (-)
SLO	30	1,5	1,66
SLD	50	1,5	1,63
SLV	475	1,46	1,62
SLC	975	1,39	1,60



dove:

SLO = Stato limite di operatività; Pvr = 81% - SLD = Stato limite di danno; Pvr = 63%

SLV = Stato limite di salvaguardia della vita; Pvr = 10% - SLC = Stato limite di prevenzione del collasso;
Pvr = 5%

T_r = Tempo di ritorno - S_s = fattore di amplificazione stratigrafico

C_c = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo - a_g = accelerazione massima di riferimento al suolo

Tramite gli spettri di risposta in superficie sarà possibile ottenere gli spettri di progetto per ogni stato limite considerato, mediante l'assunzione del fattore di struttura q , definito sulla base delle capacità dissipative delle opere in progetto (NTC par. 7.3.1).

ANALISI DEI MICROTREMORI CON LA TECNICA HVSR

Nel sito oggetto di variante si è eseguita un'acquisizione di microtremori ambientali mediante un sismometro *GeoBox SARA* ad elevata dinamica (24 bits) attrezzato con geofono tridirezionale da 4,5 Hz di frequenza propria.

L'acquisizione è stata effettuata campionando il segnale a 100 Hz per una durata di circa 60 minuti.

Tali dati sono stati elaborati con la tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Il metodo è basato sul principio dei microtremori correlati dalle onde di *Rayleigh*, che in corrispondenza di marcati contrasti di impedenza sismica non subiscono fenomeni di amplificazione nelle componenti verticali del moto, mentre tale amplificazione avviene per le componenti orizzontali, soprattutto in corrispondenza della frequenza fondamentale di risonanza (F_0) dei terreni indagati. Eseguendo quindi il rapporto tra le componenti degli spettri di frequenza orizzontale e verticale (H/V) si ottiene un grafico in cui si evidenziano le frequenze in cui si hanno i maggiori effetti di amplificazione locale.

L'elaborazione HVSR dei dati acquisiti ha evidenziato i risultati riportati nell'allegata scheda "Indagine HVSR" in cui la linea rossa continua in grassetto evidenzia la media delle finestre di calcolo, mentre le linee sottili rappresentano l'intervallo di confidenza al 90% rispetto alla media calcolata.

Dall'esame dei dati risulta un picco di amplificazione con ampiezza

$$A = 2,2$$

al quale corrisponde una frequenza fondamentale:

$$f_0 = 0,7 \text{ Hz}$$

equivalente al periodo principale:

$$t_0 = 1,43 \text{ sec}$$

In riferimento al range che compete ai parametri sopra esposti sono da valutare possibili effetti di fenomeni di doppia risonanza nel campo dei periodi:

$$1,11 < T < 1,67 \text{ sec.}$$

in rapporto ai periodi di vibrazione dei manufatti.

CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

Per definire le caratteristiche litotecniche dei terreni che formano il sottosuolo dell'area in esame, sono state effettuate quattro prove penetrometriche statiche CPT tipo Rm eseguite con un penetrometro statico di tipo olandese, con caratteristiche conformi allo standard europeo (cfr. *Raccomandazioni ISSMFE-AGI*), mod. TM16, da 20 ton di spinta, dotato di cella di pressione idraulica a lettura analogica ed attrezzando la prima asta con punta *Begemann* (*Friction Sleeve Cone*). Le indagini hanno raggiunto profondità di $-17 \div -19$ m pc.

I parametri di resistenza rilevati con il penetrometro statico sono visualizzati negli allegati certificati prova penetrometrica che riportano:

Profondità (m):

- Resistenza alla punta (qc; kgf/cm²) log di sinistra a tratto continuo.
- Resistenza ad attrito laterale (fs; kgf/cm²) istogramma di destra a tratto continuo.
- Rapporto di Begemann (qc/fs) log di destra a punteggiato.

I punti di indagine sono ubicati come nella planimetria (Tav. 2):

In base al rapporto di *Begemann* che indica la componente litologica dei terreni sondati dal penetrometro si è riconosciuta, dall'alto in basso rispetto alla quota del piano campagna al momento delle prove, la successione litostratigrafico - meccanica di seguito descritta:

Successione litomeccanica

Profondità	Descrizione Litologica
Da piano campagna a -1,0 m p.c.	Superato lo strato di suolo agrario, dello spessore di 0,6 m, si riscontrano litotipi rimaneggiati prevalentemente argilloso limosi e limoso argillosi, sovra consolidati per processi di essiccazione o compattazione antropica, caratterizzati da valori di resistenza alla punta pronunciatamente variabili in senso laterale oscillanti tra $q_{cm} = 12/14 \div 20/28$ kgf/cm ² e da valori di resistenza ad attrito laterale locale compresi tra $f_{sm} = 0,5 \div 1,2$ kgf/cm ²
Da -1,0 m a - 2,0 m p.c.	Alternanze prevalentemente argilloso limose e limoso argillose che si arricchiscono in componenti limoso sabbiose in direzione nord occidentale (CPT. 3); i valori di resistenza alla punta variano mediamente tra $q_{cm} = 9 \div 12$ kgf/cm ² , la resistenza ad attrito laterale oscilla tra $f_{sm} = 0,25 \div 0,4$ kgf/cm ² .
Da - 2,0 m a - 2,8 m p.c.	Strato a moderata variabilità laterale sia litologico granulometrica che del grado di consistenza, prevalentemente costituito da argillose limose che sono sostituite in direzione nord occidentale (CPT. 3) da sabbie limose; i valori di resistenza alla punta oscillano tra $q_{cm} = 8 \div 12$ kgf/cm ² nelle argille limose e tra $q_{cm} = 14 \div 18$ kgf/cm ² nelle sabbie limose (CPT. 3); la resistenza all'attrito laterale varia tra $f_{sm} = 0,3 \div 0,45$ kgf/cm ² .

Profondità	Descrizione Litologica
Da - 2,0 m a -3,6 p.c.	Unità a sensibile variabilità laterale sia granulometrica che del grado di consistenza, principalmente costituita da argille limose mediamente consistenti sostituite in direzione nord occidentale (CPT. 3) da sabbie limose a basso grado di densità relativa; i valori di resistenza alla punta nelle argille limose sono compresi tra $q_{cm} = 12 \div 14$ kgf/cm ² e nelle sabbie limose tra $q_{cm} = 8 \div 10$ kgf/cm ² ; analogamente la resistenza ad attrito laterale varia tra $f_{sm} = 0,5 \div 0,6$ kgf/cm ² nelle argille limose e tra $f_{sm} = 0,2 \div 0,3$ kgf/cm ² nelle sabbie limose.
Da - 3,6 m a -5,0 m p.c.	Orizzonte prevalentemente argilloso limoso, continuo lateralmente ed a moderata differenziazione verticale del grado di consistenza; valori di resistenza alla punta variano tra $q_{cm} = 12 \div 14$ kgf/cm ² e la resistenza ad attrito laterale locale è compresa tra $f_{sm} = 0,5 \div 0,7$ kgf/cm ² .
Da - 5,0 m a -7,0 m p.c.	Alternanze prevalentemente argilloso limose – limoso argillose con presenza di sottili corpi lentiformi limosi percentualmente più rappresentati nella zona settentrionale; i valori di resistenza alla punta variano mediamente tra $q_{cm} = 10 \div 12/13$ kgf/cm ² , la resistenza ad attrito laterale oscilla tra $f_{sm} = 0,4 \div 0,6$ kgf/cm ²
Da -7,0 m a -9,0 m p.c.	Unità a pronunciata variabilità litologico granulometrica e di consistenza in verso laterale, costituita prevalentemente da litotipi limoso argillosi – argilloso limosi sostituiti in direzione nord orientale (CPT. 4) da sabbie a medio – medio basso grado di densità relativa; i valori di resistenza alla punta nei limi argillosi variano tra $q_{cm} = 14/16 \div 18/20$ kgf/cm ² e la resistenza all'attrito laterale è mediamente compresa tra $f_{sm} = 0,6 \div 0,8$ kgf/cm ² , nel corpo sabbioso lentiforme a medio basso grado di addensamento i valori di resistenza alla punta medi sono compresi $q_{cm} = 30 \div 40$ kgf/cm ² e la resistenza all'attrito laterale oscilla tra $f_{sm} = 0,25 \div 0,5$ kgf/cm ² .
Da -9,0 m a - 10,4 ÷ -11,0 m p.c.	Orizzonte a sensibile variabilità litologico granulometrica in senso laterale, costituito prevalentemente da alternanze limoso argillose e limose – limoso sabbiose sostituite lateralmente da sabbie a medio basso – medio grado di densità relativa; i limi argillosi–limo soni contraddistinti da valori di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 14 \div 16/18$ kgf/cm ² e di resistenza all'attrito laterale mediamente compresi tra $f_{sm} = 0,5 \div 0,8$ kgf/cm ² ; le sabbie sono caratterizzate da valori medi di $q_{cm} = 28/30 \div 40$ kgf/cm ² e di $f_{sm} = 0,3 \div 0,4$ kgf/cm ² .
Da - 10,4 ÷ -11,0 m a -12,0 m p.c.	Unità a pronunciata variabilità litologico granulometrica e del grado di consistenza in verso laterale, costituita prevalentemente da litotipi argilloso limosi – limoso argillosi a basso grado di consistenza, sostituiti sull'orizzontale in direzione nord orientale (CPT. 2) da sabbie a medio grado di densità relativa; i valori di resistenza alla punta nei limi argillosi variano tra $q_{cm} = 8 \div 10$ kgf/cm ² e la resistenza all'attrito laterale è mediamente compresa tra $f_{sm} = 0,3 \div 0,5$ kgf/cm ² ; nel corpo sabbioso lentiforme a medio grado densità relativa i valori medi variano tra $q_{cm} = 60 \div 68$ kgf/cm ² e la resistenza all'attrito oscilla tra $f_{sm} = 0,2 \div 0,4$ kgf/cm ² .
Da -12,0 m a -13,2 m p.c.	Unità prevalentemente argillosa e argilloso limosa leggermente sovraconsolidata contraddistinta da valori di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 13 \div 16$ kgf/cm ² e di resistenza ad attrito laterale compresi tra $f_{sm} = 0,7 \div 1,0$ kgf/cm ² .

Profondità	Descrizione Litologica
Da -13,2 m a -15,0 m p.c.	Argille limose a medio bassa consistenza contraddistinte da valori di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 8 \div 10/12$ kgf/cm ² e di resistenza ad attrito laterale compresi tra $f_{sm} = 0,5 \div 0,7$ kgf/cm ² .
Da -15,0 m a -16,0 ÷ -21,0 m p.c.	Argille – argille limose leggermente sovraconsolidate caratterizzate da valori di resistenza alla punta variabili mediamente tra $q_{cm} = 16/18 \div 20/24$ kgf/cm ² ; la resistenza ad attrito laterale oscilla tra $f_{sm} = 0,8 \div 1,2$ kgf/cm ² .
Da -16,0 m a -17,0 m p.c.	Strato a pronunciata variabilità laterale litologica granulometrica e di consistenza, costituito da litotipi argilloso limosi a medio basso grado di consistenza, sostituiti in direzione occidentale (CPT. 2) da sabbie – sabbie limose; nelle argille limose la resistenza alla punta varia tra $q_{cm} = 8 \div 12$ kgf/cm ² e la resistenza all'attrito laterale è mediamente compresa tra $f_{sm} = 0,45 \div 0,6$ kgf/cm ² ; nel corpo lentiforme sabbioso – sabbioso limoso a basso grado di addensamento i valori medi di resistenza alla punta variano tra $q_{cm} = 28 \div 30$ kgf/cm ² e resistenza all'attrito laterale oscilla tra $f_{sm} = 0,3 \div 0,7$ kgf/cm ² .
Da -17,0 m a -19,0 m p.c.	Alternanze argillose – argilloso limose consistenti contraddistinte da valori di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 16/18 \div 22/24$ kgf/cm ² e di resistenza ad attrito laterale compresi tra $f_{sm} = 1,1 \div 1,8$ kgf/cm ² .

Considerazioni sulla litostratigrafia geomeccanica

Dalle correlazioni tra le prove penetrometriche eseguite si riscontra una moderata variabilità sia litologica che del grado di consistenza laterale ed una contenuta differenziazione in senso verticale in orizzonti a caratteri litogranulometrici diversi sino a -7/-8 m pc e pronunciata variabilità laterale degli stessi da -7/-8 m pc a -12 m pc; successivamente sino a -20 m pc la successione litologica e grado di consistenza sono discretamente continui sia sull'orizzontale e differenziati sulla verticale.

Successione geotecnica – Parametri Caratteristici

I dati ottenuti dalle indagini geognostiche eseguite, restituiti negli allegati certificati prova penetrometrica, sono stati elaborati in parametri caratteristici in base ai quali è stata sviluppata l'analisi geomeccanica ricavando i valori della coesione non drenata c_u , dalla relazione di *Begemann* e dalla correlazione del *MIT*, l'angolo d'attrito interno in termini di tensioni efficaci ϕ' dall'equazione di *Sandven* e da quella di *Caquot* per le unità soggiacenti -10/-11 m pc, l'angolo di attrito interno di stato critico ϕ_c in funzione della relazione di *Horwath*, la coesione in termini di tensioni efficaci dalla equazione di *Coulomb* e dalla correlazione di *Merse*, il grado di consolidazione dalla relazione di *Kulhawy e Mayne*, la densità relativa dalla correlazione di *Jamiolkowski*.

In base a quanto esposto è stata discretizzata la successione geotecnica di seguito descritta.

Successione geotecnica

Orizzonte	Descrizione litotecnica	Parametri caratteristici
Unità 1 Da -0,6 m a -1,0 m p.c.	Argille - argille limose, a medio – medio elevato grado di consistenza sensibilmente variabile lateralmente; il grado di compressibilità è medio basso – basso.	$q_{c_k} = 19,7 \text{ kgf/cm}^2$ $f_{s_k} = 1,0 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_k = 24^\circ$ $c'_{uk} = 0,15 \text{ kgf/cm}^2$ $c_{uk} = 0,58 \text{ kgf/cm}^2$ $\gamma_k = 0,0019 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 54 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 2 Da -1,0 m a -2,6 m p.c.	Argille limose - limi argillosi, saturi a quote sottostanti -2,0 m p.c; il grado di consistenza e di compressibilità sono di tipo medio.	$q_{c_k} = 10,2 \text{ kgf/cm}^2$ $f_{s_k} = 0,48 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_k = 22^\circ$ $c'_{uk} = 0,12 \text{ kgf/cm}^2$ $c_{uk} = 0,43 \text{ kgf/cm}^2$ $\gamma_k = 0,00182 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 46 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 2 bis Da -2,0 m a -2,8 m p.c. cpt 3	Sabbie – sabbie limose, sature, a grado di densità relativa medio, a medio grado di compressibilità.	$q_{c_k} = 16 \text{ kgf/cm}^2$ $f_{s_k} = 0,31 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_k = 28^\circ$ $c'_{uk} = 0,03 \text{ kgf/cm}^2$ $Dr_k = 28\%$ $\gamma_k = 0,00182 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 50 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 3 Da -2,6 m a -5,0 m p.c.	Argille limose, sature, a grado di consistenza e compressibilità di tipo medio.	$q_{c_k} = 13,2 \text{ kgf/cm}^2$ $f_{s_k} = 0,68 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_k = 23$ $c'_{uk} = 0,13 \text{ kgf/cm}^2$ $c_{uk} = 0,55 \text{ kgf/cm}^2$ $\gamma_k = 0,0019 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 50 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 3 bis Da -2,8 m a -3,6 m p.c. cpt 3	Sabbie sature, a grado di densità relativa basso – molto basso e compressibilità medio elevato.	$q_{c_k} = 9,1 \text{ kgf/cm}^2$ $f_{s_k} = 0,18 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_k = 20^\circ$ $c'_{uk} = 0,02 \text{ kgf/cm}^2$ $Dr_k = 12\%$ $\gamma_k = 0,00175 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 38 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 4 Da -5,0 m a -7,0 m p.c.	Argille limose con subordinate sottili intercalazioni limoso argillose, saturi, a grado di consistenza e di compressibilità medi, discretamente continui in senso laterale.	$q_{c_k} = 11,8 \text{ kgf/cm}^2$ $f_{s_k} = 0,54 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_k = 21^\circ$ $c'_{uk} = 0,13 \text{ kgf/cm}^2$ $c_{uk} = 0,45 \text{ kgf/cm}^2$ $\gamma_k = 0,00187 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 50 \text{ kgf/cm}^2$

Orizzonte	Descrizione litotecnica	Parametri caratteristici
Unità 5 Da -7,0 m a -9,2 m p.c.	Argille limose – limi argillosi, saturi, a grado di consistenza medio – medio elevato e di compressibilità medio basso moderatamente variabile lateralmente.	$q_{c_k} = 18 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,68 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 22^\circ$ $c'_k = 0,15 \text{ kgf/cmq}$ $c_{uk} = 0,60 \text{ kgf/cmq}$ $\gamma_k = 0,0019 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 58 \text{ kgf/cmq}$
Unità 5 bis Da -7,2 m a -10,4 m p.c. cpt 4	Sabbie fini – medio fini, sature, a grado di densità relativa medio – medio basso e di compressibilità medio basso.	$q_{c_k} = 36 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,35 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 30^\circ$ $c'_k = 0,03 \text{ kgf/cmq}$ $Dr_k = 38\%$ $\gamma_k = 0,00185 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 72 \text{ kgf/cmq}$
Unità 6 Da -9,2 m a -10,6 m p.c.	Limi argillosi – argille limose con intercalate subordinate sottili lenti sabbioso limose, saturi; il grado di consistenza è medio – medio elevato e la compressibilità medio bassa.	$q_{c_k} = 16,6 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,63 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 21^\circ$ $c'_k = 0,15 \text{ kgf/cmq}$ $c_{uk} = 0,57 \text{ kgf/cmq}$ $\gamma_k = 0,0019 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 54 \text{ kgf/cmq}$
Unità 6 bis Da -10,4 m a -12,0 m p.c. cpt 4	Sabbie medio fini, sature, a grado di densità relativa medio e di compressibilità basso.	$q_{c_k} = 63 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,25 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 33^\circ$ $c'_k = 0,00 \text{ kgf/cmq}$ $Dr_k = 52\%$ $\gamma_k = 0,00185 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 110 \text{ kgf/cmq}$
Unità 7 Da -10,4 m a -11,2 m p.c.	Argille limose e limi argillosi, saturi, a grado di consistenza medio basso e di compressibilità medio elevato, moderatamente variabili in senso orizzontale.	$q_{c_k} = 8,7 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,42 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 18^\circ$ $c'_k = 0,10 \text{ kgf/cmq}$ $c_{uk} = 0,35 \text{ kgf/cmq}$ $\gamma_k = 0,00183 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 44 \text{ kgf/cmq}$
Unità 8 Da -11,2 m a -13,2 m p.c.	Argille – argille limose, sature, il grado di consistenza è medio elevato e quello di compressibilità medio basso –basso, moderatamente differenziato sulla verticale.	$q_{c_k} = 15,6 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,9 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 21^\circ$ $c'_k = 0,15 \text{ kgf/cmq}$ $c_{uk} = 0,60 \text{ kgf/cmq}$ $\gamma_k = 0,0019 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 52 \text{ kgf/cmq}$

Orizzonte	Descrizione litotecnica	Parametri caratteristici
Unità 9 Da -13,2 m a -15,0 m p.c.	Argille limose, sature, a grado di consistenza e di compressibilità di tipo medio.	$q_{c_k} = 10,4 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,58 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 19^\circ$ $c'_k = 0,10 \text{ kgf/cmq}$ $c_{u_k} = 0,60 \text{ kgf/cmq}$ $\gamma_k = 0,00185 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 48 \text{ kgf/cmq}$
Unità 10 Da -15,0 m a -16,0 m p.c.	Argille e argille limose leggermente sovraconsolidate, sature; il grado di consistenza è medio elevato e quello di compressibilità medio basso, discretamente continui in senso laterale e moderatamente differenziati sulla verticale.	$q_{c_k} = 19,8 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,85 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 22^\circ$ $c'_k = 0,15 \text{ kgf/cmq}$ $c_{u_k} = 0,70 \text{ kgf/cmq}$ $\gamma_k = 0,00193 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 64 \text{ kgf/cmq}$
Unità 11 Da -16,0 m a -17,0 m p.c.	Argille limose, sature, a grado di consistenza medio basso e di compressibilità medio elevato.	$q_{c_k} = 9,9 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,59 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 17^\circ$ $c'_k = 0,10 \text{ kgf/cmq}$ $c_{u_k} = 0,38 \text{ kgf/cmq}$ $\gamma_k = 0,00183 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 45 \text{ kgf/cmq}$
Unità 11 bis Da -16,0 m a -16,6 m p.c. cpt 2	Sabbie fini, sature, a grado di densità relativa basso e di compressibilità medio elevato.	$q_{c_k} = 28 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,50 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 26^\circ$ $c'_k = 0,03 \text{ kgf/cmq}$ $Dr_k = 24\%$ $\gamma_k = 0,00185 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 70 \text{ kgf/cmq}$
Unità 12 Da -17,0 m a -19,0 m p.c.	Argille e argille limose leggermente sovraconsolidate, sature; il grado di consistenza è medio elevato e quello di compressibilità medio basso, discretamente continui in senso laterale e moderatamente differenziati sulla verticale.	$q_{c_k} = 20,7 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 1,1 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 22^\circ$ $c'_k = 0,18 \text{ kgf/cmq}$ $c_{u_k} = 0,72 \text{ kgf/cmq}$ $\gamma_k = 0,00195 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 62 \text{ kgf/cmq}$

Legenda dati: ϕ' = angolo di attrito interno; c' = coesione drenata; c_u = coesione non drenata; γ = peso di volume; E_{ed} = modulo edometrico, Dr_k = densità relativa.

The figure consists of three vertical charts sharing a common y-axis representing depth in meters (0 to 30) and stratigraphic units (Unità 1 to 12).

- Left Chart:** "Resistenza alla punta qc (Kg/cm²)". The x-axis ranges from 0 to 100. It shows four data series: CPT 3/21 (dark blue), CPT 2/21 (light blue), CPT 1/21 (purple), and CPT4/21 (grey). The data shows significant variability with depth, with peaks around 10m and 15m.
- Middle Chart:** "Res. ad attrito laterale locale fs (Kg/cm²)". The x-axis ranges from 0.00 to 3.00. It shows the same four data series. The values are generally lower than the tip resistance, with some peaks around 10m and 15m.
- Right Chart:** "Rapporto di Begemann". The x-axis ranges from 0 to 60. It shows the same four data series. The values are scattered, with a notable peak around 10m and 15m.

Stratigraphic units labeled on the right side of the charts include: Unità 1, Unità 2/2bis, Unità 3/3bis, Unità 4, Unità 5/5bis, Unità 6/6bis, Unità 7, Unità 8, Unità 9, Unità 10, Unità 11/11bis, and Unità 12.

[illegible][illegible]

MODULO DI REAZIONE

In riferimento ai parametri caratteristici ottenuti dall'analisi geomeccanica dei dati forniti dalle prove penetrometriche Cpt. Rm effettuate, è stato determinato il modulo di reazione dei terreni soggiacenti le quote di imposta delle fondazioni, mediante la relazione:

$$K_s = \alpha \cdot E'$$

dove:

K_s = modulo di reazione, kgf/cm²

α = coefficiente funzione del diametro della piastra di riferimento in cm.

E' = coefficiente elastico kgf/cm²

In funzione delle diverse condizioni di possibilità di dissipazione delle pressioni interstiziali sono stati determinati i valori del modulo elastico in condizioni drenate, non drenate, in condizioni dinamiche, mediante le relazioni.

- Modulo in condizioni drenate

$$E' = E_{ed}(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu) / (1 - \nu)$$

dove:

E' = modulo elastico, kgf/cm²

E_{ed} = modulo edometrico, kgf/cm².

ν = coefficiente di Poisson

- Modulo in condizioni non drenate

$$E'_u = \frac{3E'}{2(1 + \nu)}$$

- Modulo dinamico

$$E'_d = \frac{E'}{(1 - \nu^2)}$$

e da questi ultimi il modulo di reazione in condizioni drenate, non drenate e dinamiche.

ottenendo:

Unità	Profondità terreni	Modulo di reazione kgf/cmc		
		K'	Ku	Kd
Unità 1	Da -0,6 a -1,0 m p.c.	1,28	1,39	1,63
Unità 2	Da -1,0 ÷ -2,0 m p.c.	1,23	1,35	1,56
Unità 2 bis CPT 3	Da -2,0 ÷ -2,8 m p.c.	1,80	2,12	2,29
Unità 3	Da -2,6 a -5,0 m p.c.	1,25	1,36	1,59
Unità 3 bis CPT 3	Da -2,8 a -3,6 m p.c.	1,08	1,20	1,36
Unità 4	Da -5,0 a -7,0 m p.c.	1,25	1,36	1,59
Unità 5	Da -7,0 a -9,2 m p.c.	1,34	1,45	1,71
Unità 5 bis CPT 4	Da -7,2 a -10,4 m p.c.	2,43	2,81	3,08
Unità 6	Da -9,2 a -10,6 m p.c.	1,31	1,43	1,67
Unità 6 bis CPT 4	Da -10,4 a -12,0 m p.c.	3,71	4,29	4,71
Unità 7	Da -10,6 a -11,2 m p.c.	1,16	1,28	1,47
Unità 8	Da -11,2 m a -13,2 m pc	1,21	1,31	1,54
Unità 9	Da -13,2 a -15,0 m p.c.	1,09	1,18	1,39
Unità 10	Da -15,0 a -16,0 m p.c.	1,36	1,45	1,73
Unità 11	Da -16,0 a -17,0 m p.c.	0,98	1,06	1,25
Unità 11 bis CPT 2	Da -16,0 a -16,6 m p.c.	2,26	2,61	2,87
Unità 12	Da -10,0 a -19,0 m p.c.	1,32	1,41	1,68

dove:

K' = modulo di reazione in condizioni drenate, kgf/cmc

Ku = modulo di reazione in condizioni non drenate, kgf/cmc

Kd = modulo di reazione in condizioni dinamiche, kgf/cmc

ANALISI SUSCETTIVITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

In relazione alla riclassificazione sismica del territorio nazionale: OPCM n° 3274 del 03-2003 che attribuisce il comune di Correggio alla zona 3, del valore di ag indicato delle NTC del DM 17/01/2018, alla presenza nei primi 3/4 m del sottosuolo di strati sabbiosi – limoso sabbiosi di spessore decimetrico saturati dalla falda idrica sotterranea e di livelli sabbiosi fini – medio fini di spessore metrico tra -7,0 e -12,0 m p.c, in ottemperanza a quanto richiesto dalle elaborazioni di Microzonazione Sismica del comune di Correggio, si è effettuata l'analisi di risposta dei terreni in rapporto a condizioni di sollecitazione dinamica.

In funzione delle condizioni locali le verifiche sono state effettuate per i terreni saturi escludendo da tale analisi i litotipi con contenuto in granulometria più fine di 0,005 mm superiore al 20%, poiché non liquefacibili.

Detta valutazione è stata eseguita considerando l'assenza di manufatti poiché è la configurazione più sfavorevole per il rischio di liquefazione.

Accelerazione attesa nel sito

Nelle elaborazioni è stata considerata una classe d'uso dei manufatti corrispondente alla Classe II, come da NTC tab. 2.4.II e vita nominale che compete alle opere di importanza normale prevista dalle NTC/2018 tab. 2.4.1 corrisponde a $V_N \geq 50$ anni ed adottando il valore di magnitudo dell'adiacente zona sismogenetica sorgente composita ITCS051:

$$M_w = 6,0$$

che è maggiore di quella della zona ITCS049 Campegine – Correggio.

La verifica di suscettibilità alla liquefazione è stata effettuata in base al valore di accelerazione orizzontale ottenuto dalle analisi di risposta sismica locale sviluppate nello studio di Microzonazione Sismica di III° livello del comune di Correggio (MS 2016) relative al settore di territorio al quale appartiene il P.P.I.P. via Del Lavoro/via Gianfranceschi, Villaggio industriale di Correggio, R.E. equivalente a:

$$a_{\max}/g = 0,27$$

Suscettività alla liquefazione

L'analisi delle condizioni di rischio per i litotipi potenzialmente liquefacibili, in funzione dei valori di q_c e f_s , si è eseguita mediante il metodo semplificato di *Robertson & Wride modificato (1997b)*, utilizzando il fattore di scala della magnitudo, per $M_w \leq 7.5$, di *Idriss*, che definisce la suscettività alla liquefazione in rapporto ai valori di q_c ed alla sollecitazione tangenziale ciclica.

Il coefficiente di sicurezza alla liquefazione è stato determinato mediante la relazione:

$$FSL = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF$$

dove:

FSL = coefficiente di sicurezza

$$CRR = 93 \cdot \left[\frac{(qc_{ln})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08$$

dove:

$(qc_{ln})_{cs}$ = valore resistenza alla punta normalizzato, funzione di CF (% componenti fini) e di K, funzione di IC (indice del tipo di terreno); kPa

$$CSR = \frac{\tau_d}{\sigma'_0} = 0,65 \frac{A}{g} \frac{\sigma_0}{\sigma'_0} (1 - 0,015z)$$

dove

τ_d = tensione tangenziale ciclica; τ_e = resistenza del terreno

σ_0 = tensione verticale totale; σ'_0 = tensione verticale efficace

A/g = valore di accelerazione; z = profondità dello strato

Δn_f = coefficiente funzione del contenuto in materiali fini

$CRR_{7,5}$ = capacità di resistenza ciclica riferita a $M = 7,5$

MSF = fattore di magnitudo riferito all'intensità attesa in sito

Il modello di calcolo elabora gli intervalli potenzialmente suscettibili alla liquefazione in funzione del contenuto di materiali fini, restituendo i coefficienti di sicurezza sulla verticale della prova penetrometrica.

I risultati sono esposti negli allegati certificati -“Analisi di suscettibilità alla liquefazione”, dove viene anche indicato il valore dell'Indice del Potenziale di Liquefazione (I_L), definito come:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

in cui z è la profondità dal piano campagna in metri e $w(z) = 10 - 0,5z$.

Ad una data quota z il fattore $F(z) = F$ vale (Sonmez, 2003):

0	per	$F_L > 1,2$
$2 \cdot 10^6 \cdot e^{-18,427 \cdot F_L}$	per	$0,95 < F_L \leq 1,2$
$1 - F_L$	per	$F_L \leq 0,95$

dove F_L è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

In riferimento al valore di accelerazione al sito, determinato come precedentemente esposto e per un valore di magnitudo $M_w=6,0$, si è sviluppata l'analisi di suscettività alla liquefazione, secondo il p.to 7.11.3.4 delle NTC/2018, considerando presenza della falda freatica a -2,0 m dal piano campagna, come hanno evidenziato le quote dei livelli idrici misurati all'interno dei fori delle indagini eseguite. In riferimento a quanto ora esposto è da specificare che nel contesto delle opere di urbanizzazione sarà effettuata una sopraelevazione del piano di calpestio attuale di $+0,5 \div +1,0$ m. Pertanto considerando che la pressione aggiunta che sarà esercitata da detti riporti comporterà un maggior grado di confinamento delle sovra pressioni interstiziali e conseguentemente la diminuzione dell'Indice del Potenziale di Liquefazione i valori di I_L di seguito esposti saranno da rivalutare in funzione dei reali spessori di riporto messi in opera.

Le elaborazioni sviluppate hanno evidenziato la presenza in Cpt. 4 di strati sabbiosi di spessore metrico saturati dalla falda idrica sotterranea con valori del coefficiente di sicurezza alla liquefazione inferiori a 1 tra -7,4 e -12,0 m pc. e di strati sabbioso limosi di spessore decimetrico tra -8,5 e -10,0 m pc nelle altre verticali di indagine.

Detti spessori e profondità degli strati, hanno fornito valori dell'Indice del Potenziale di Liquefazione: I_L , in funzione della profondità della falda idrica sotterranea considerata, come riportato nella tabella di seguito esposta:

Cpt n°	I_L
1	0,5
2	0,1
3	0,5
4	4,0

Secondo la classificazione proposta da *Sonmez (2003)*, per le verticali contraddistinte da indice del potenziale di liquefazione $I_L=0,1 \div 0,5$, la pericolosità di liquefazione è bassa, per $I_L=4,0$ (Cpt. 4) la pericolosità è moderata

In riferimento a quanto verificatosi nel territorio correghese nel contesto degli eventi sismici del 1996 e 2012 e degli effetti documentati relativi al sisma del 1831 – 1832 con $M_w = 5,54 - 5,53$ che non hanno indotto osservabili fenomeni di liquefazione e di pronunciati cedimenti/addensamenti dei terreni, i valori di I_L ottenuti rientrano nel campo dell'accettabilità.

VERIFICA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE COL METODO DI ROBERTSON & WRIE MODIFICATO (1998)

Cantiere: Via Oratorio

Località: Correggio (RE)

Operatore: Dr. S.Gili - Dr. M. Boccaletti

Quota inizio: Piano campagna

Prof. falda: -1.95 m pc

MSF (driss, 1997): 1.77

PROVA N°: 11/21

Prof. Falda considerata: amax/g

Indice del Potenziale di liquefazione I_L: 0.5

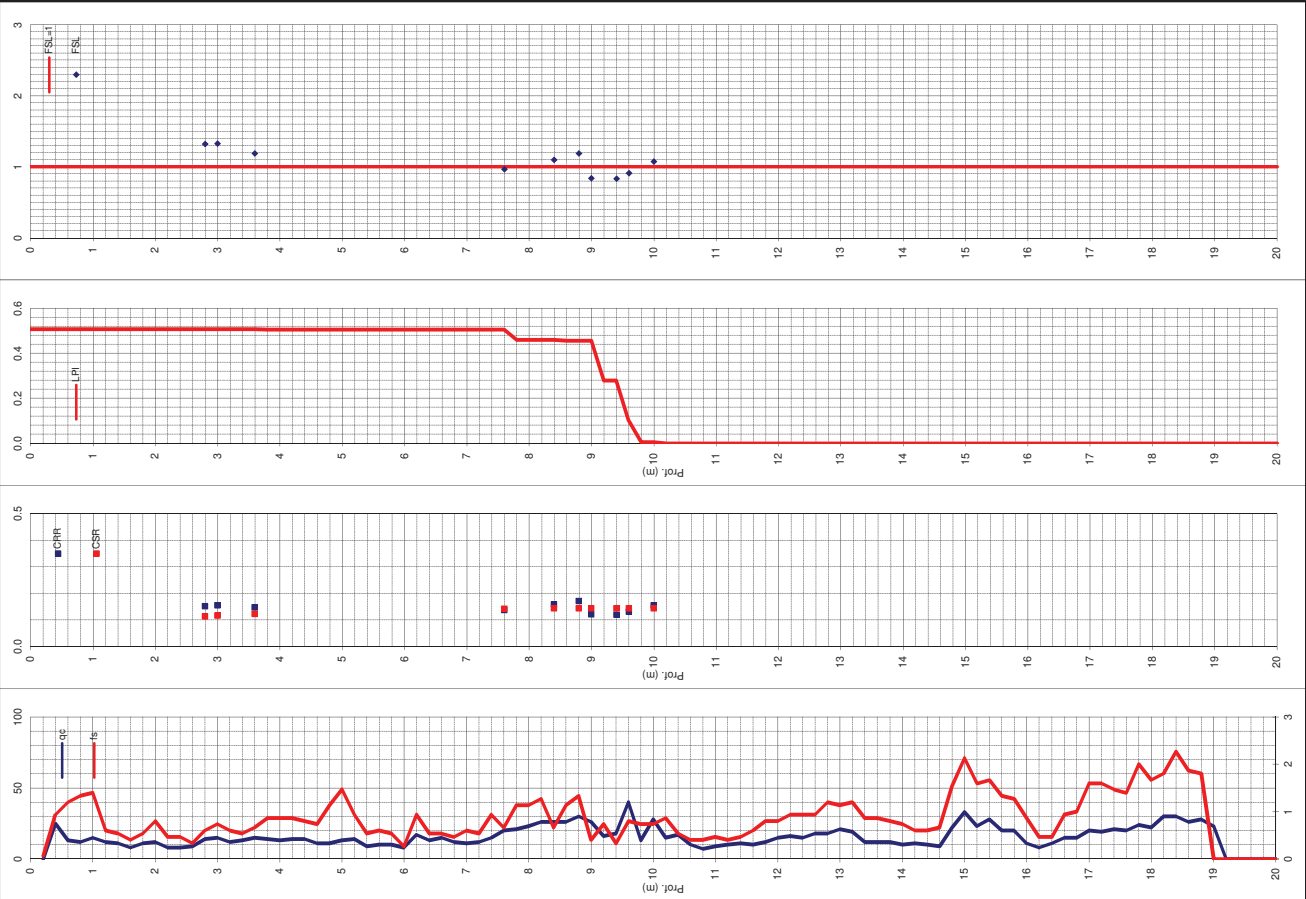
2

0.27

6

01/07/2021

DATA



VERIFICA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE COL METODO DI ROBERTSON & WRIE MODIFICATO (1998)

Cantiere: Via Oratorio

Località: Correggio (RE)

Operatore: Dr. S.Gili - Dr. M. Boccaletti

Quota inizio: Piano campagna

Prof. falda: -2.05 m pc

MSF (driss, 1997): 1.77

PROVA N°: 2/21

Prof. Falda considerata: amax/g

Indice del Potenziale di liquefazione I_L: 0.1

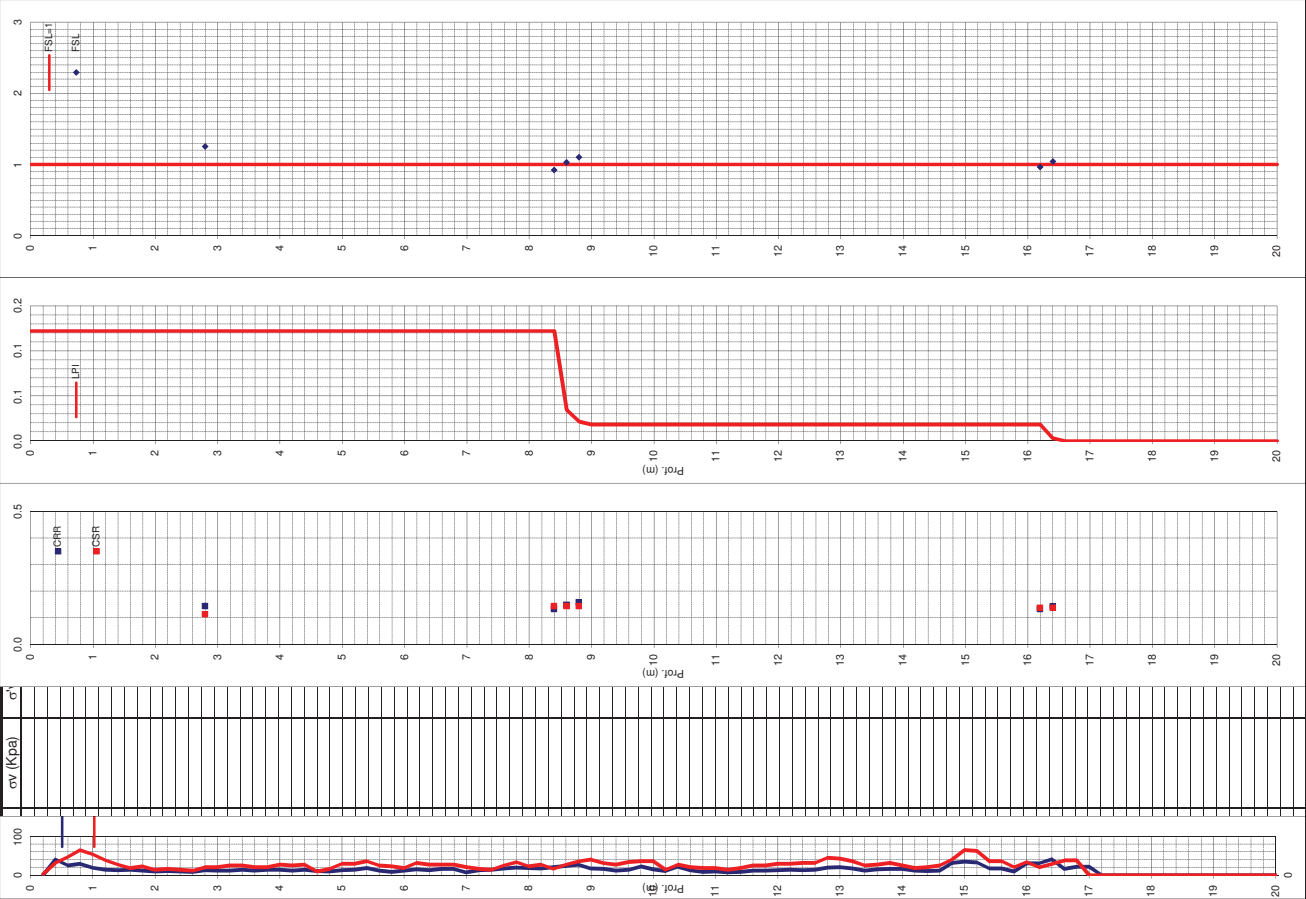
2

0.27

6

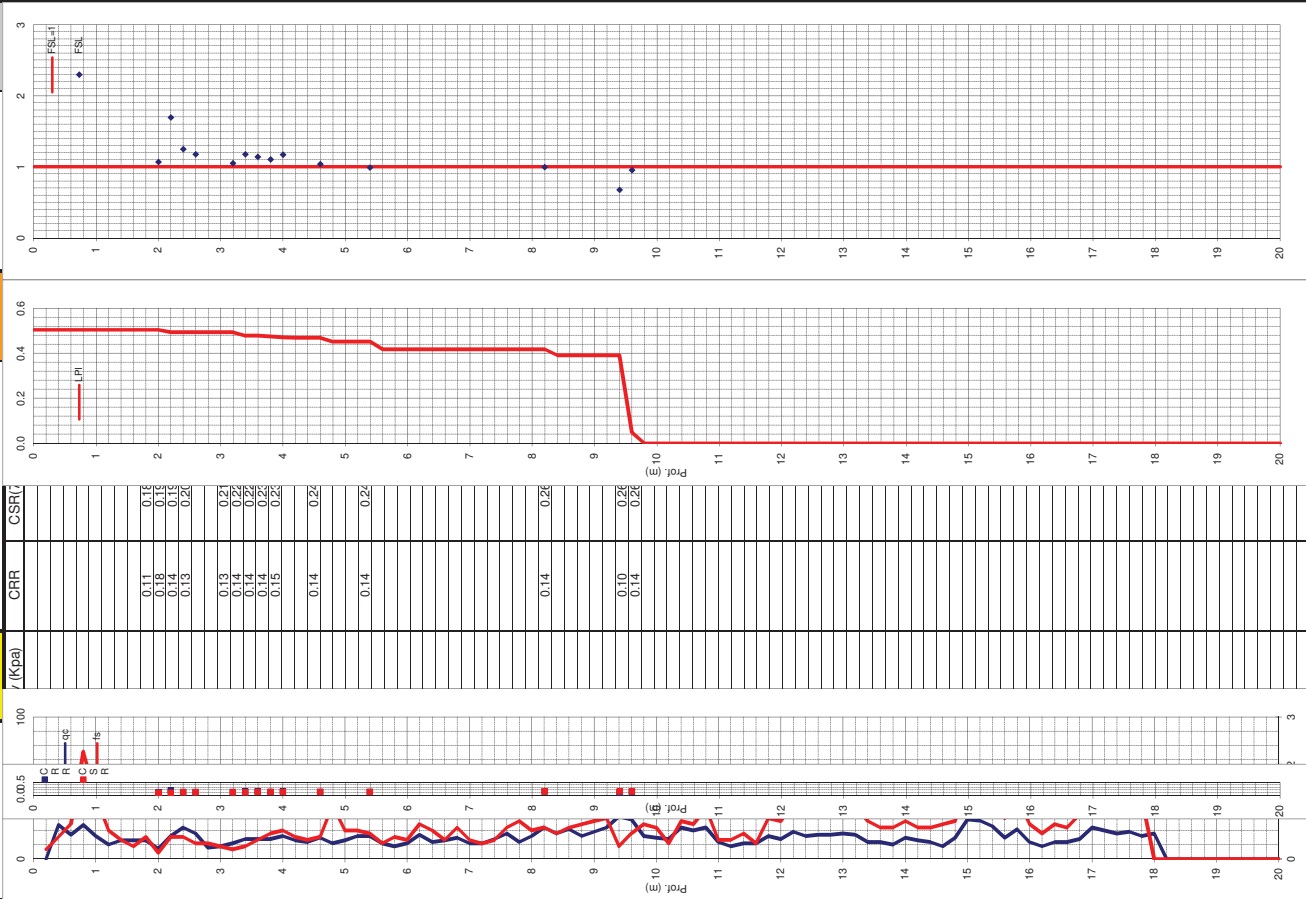
01/07/2021

DATA



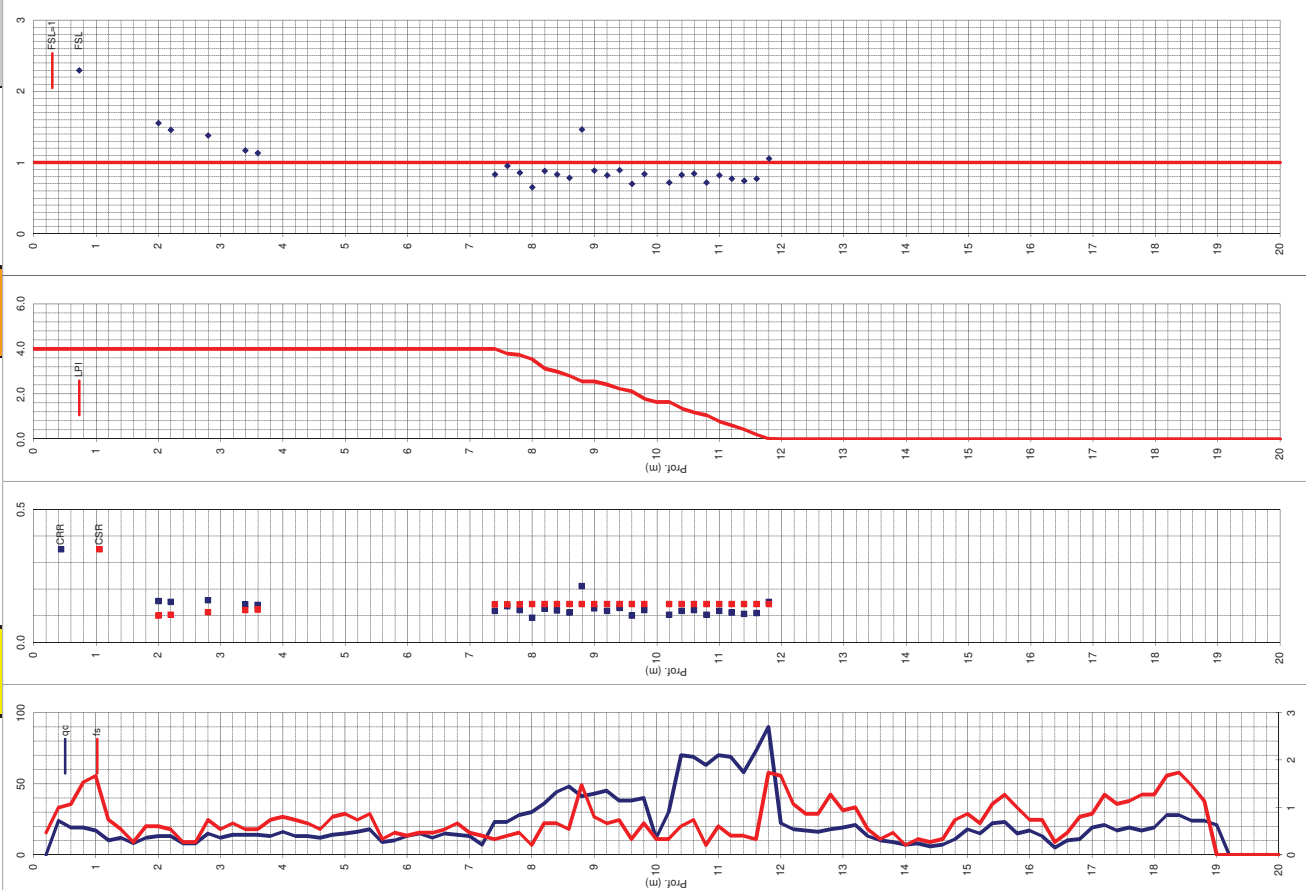
VERIFICA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE COL METODO DI ROBERTSON & WRIEDE MODIFICATO (1998)

Caniliere:	Via Oratorio	Quota inizio:	Piano campagna	PROVA N°: 3/21
Località:	Correggio (RE)	Prof. f.alda:	-2,00 m pc	
Operatore:	Dr. S.Gilli - Dr. M. Boccaletti	DATA	01/07/2021	Prof. F.alda considerata
MSF (Idriss, 1997)	1.77	Indice del Potenziale di liquefazione I _L	0.5	amax/g
				Magnitudo attesa M
				2
				0.27
				6



VERIFICA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE COL METODO DI ROBERTSON & WRIEDE MODIFICATO (1998)

Caniliere:	Via Oratorio	Quota inizio:	Piano campagna	PROVA N°: 4/21
Località:	Correggio (RE)	Prof. falda:	-1.97 m pc	
Operatore:	Dr. S.Gilli - Dr. M. Boccaletti	DATA	01/07/2021	
MSF (dtrss. 1997)		1.77	indice del Potenziale di lificazione I_L	4.0
				Prof. Falda considerata
				amax/g
				Magnitudo attesa M
				2
				0.27
				6



PORTANZA DEI TERRENI

La valutazione del carico ammissibile sul terreno è funzione del tipo di variabilità verticale e laterale del grado di compressibilità del sottosuolo. Ne consegue che il carico da trasmettere ai terreni di fondazione deve determinare cedimenti totali e differenziali contenuti nel limite di accettabilità per le strutture in elevazione.

Nel contesto di quanto esposto, le tensioni trasmesse dovranno rientrare nel campo delle reazioni delle terre di tipo elastico – elastoplastico in campo lineare.

Tensioni ammissibili

Per il calcolo del carico ammissibile sul terreno si è utilizzata la relazione di *Meyerhof*:

$$q_a = q_c / f$$

dove:

q_a = carico ammissibile sui terreni in kgf/cm²

q_c = valore della resistenza alla punta in kgf/cm²

f = fattore di sicurezza funzione delle caratteristiche del penetrometro usato e della punta con cui si è attrezzato lo stesso, del rapporto D/B e cioè tra profondità del piano di posa e larghezza della fondazione.

ottenendo:

$$q_a = 1,05 \text{ kgf/cm}^2$$

per un piano di posa delle opere fondali ubicato ad una profondità media dal piano campagna al periodo delle indagini in sito: 07/2021, pari a:

$$D = -1,2 \text{ m p.c.}$$

STATO LIMITE ULTIMO DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Per l'analisi geomeccanica si sono determinati i valori caratteristici della resistenza alla punta del penetrometro statico, relativi ad ogni metro o parte di metro, di ogni singola prova.

Il calcolo del valore della resistenza del terreno allo stato limite ultimo per fondazioni dirette a plinti con solette a comportamento poco flessibile, tra loro collegati, si è eseguito utilizzando la relazione di *Terzaghi*, integrata dai coefficienti di *Hansen*:

$$q_d = c\delta_c N'_c + q_0\delta_q N'_q + \delta_\gamma 1/2\gamma B N'_\gamma$$

dove:

N'_c , N'_q , N'_γ = coefficienti di capacità portante in funzione di ϕ . Si adottano i valori N' in rapporto al tipo di compressibilità dei litotipi riscontrati.

δ_c , δ_q , δ_γ = coefficienti in forma funzione del rapporto B/L

q_0 = peso efficace del terreno al piano di incastro della fondazione e che contribuisce alla resistenza in relazione al carico laterale dei terreni in kgf/cmq

γ = peso di volume del terreno in kgf/cm³

c = coesione del terreno in kgf/cmq

B = larghezza della fondazione in cm

L = lunghezza della fondazione in cm

Per quanto riguarda l'analisi geomeccanica dei parametri caratteristici ottenuti dalle prove penetrometriche statiche si sono ricavati, in base alle correlazioni precedentemente citate, i valori della coesione non drenata c_u , l'angolo d'attrito interno in termini di tensioni efficaci ϕ' , il grado di consolidazione, la densità relativa,

Detti valori sono stati determinati in riferimento allo spessore di terreno sottostante le opere fondali coinvolto dall'involuppo di spirale logaritmica delle sollecitazioni generate dal cuneo di penetrazione delle fondazioni nel contesto dell'insieme opera – terreno.

STATO LIMITE ULTIMO DEI TERRENI DI FONDAZIONE IN CONDIZIONI STATICHE

In riferimento ai dettati del DM 17/01/18, sono state determinate le caratteristiche di resistenza del terreno di fondazione allo stato limite ultimo (SLU) adottando i parametri previsti nella tab. 6.2.II – condizioni M1 e M2 del suddetto D.M., che parzializzano i coefficienti geotecnici.

In funzione dei tipi di terreni riscontrati nel sito esaminato è stata utilizzata una profondità del piano di posa delle fondazioni dal piano campagna al momento delle prove corrispondente a:

$$D = -1,2 \text{ m pc}$$

In funzione della stratigrafia dei primi $1/2 \div 8$ m. del sottosuolo, caratterizzata da moderata variabilità verticale delle componenti litologiche e del grado di consistenza, al fine del calcolo delle capacità resistenti del terreno, sono stati utilizzati parametri geotecnici medi ponderali delle unità geotecniche da -1,0 a -7,0 m pc.

Detti valori dovranno essere inseriti negli approcci di verifica scelti dal progettista delle strutture e diminuiti dal coefficiente di riduzione della resistenza del sistema (γ_r).

M1	ϕ'	c' kgf/ cmq	cu kgf/ cmq	γ_n kgf/ cmq	D' cm	Tensioni efficaci			Tensioni totali		
						N'c	N'γ	N'q	N'c	N'γ	N'q
						13,2	6,3	3,2	5,14	1,0	0
	22	0,12	0,45	0,00182	80						

M2	ϕ'	c' kgf/ cmq	cu kgf/ cmq	γ_n kgf/ cmq	D' cm	Tensioni efficaci			Tensioni totali		
						N'c	N'γ	N'q	N'c	N'γ	N'q
						10,7	5,2	2,5	5,14	1,0	0
	17,9	0,096	0,336	0,00182	80						

<i>Fondazioni continue</i>	<i>Capacità resistenti kgf/cmq</i>	
Condizioni di calcolo	Utilizzo coefficienti M1	Utilizzo coefficienti M2
Condizioni non drenate	2,921 kgf/cmq	2,126 kgf/cmq
Condizioni drenate	3,106 kgf/cmq	2,215 kgf/cmq

Verifica portanza terreni allo stato limite ultimo

La verifica alla portanza allo stato limite ultimo per fondazioni superficiali (par. 6.4.2.1 – DM 17/01/2018), prevede che l'insieme opera – terreno sia verificato seguendo l'approccio di seguito esposto, applicando i coefficienti parziali γ_r della tabella 6.4.I. per la definizione della resistenza di progetto (R_d), dove:

$$R_d = \frac{R}{\gamma_r}$$

Approccio 2:**- Combinazione (A1+M1+R3)**

$$E_d \leq R_d = \frac{R}{2,3}$$

dove:

E_d = Valore di progetto delle azioni

R_d = Valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico

γ_r = Coefficienti parziali (Tab. 6.4.I)

	<i>Fondazioni a plinti</i>
Approccio 2: - Combinazione: (A1+M1+R3)	$E_d \leq 1,270 \text{ kgf/cm}^2$

STATO LIMITE ULTIMO DEI TERRENI DI FONDAZIONE IN CONDIZIONI DINAMICHE

In riferimento ai dettati del DM 14/01/08, sono state determinate le caratteristiche di resistenza del terreno di fondazione allo stato limite ultimo (SLU-SLV) in condizioni di presenza di sisma adottando il metodo di *Richards et al.* (1993).

Tale modello di calcolo prevede l'applicazione di fattori riduttivi della capacità portante in condizioni statiche, funzione dell'inerzia strutturale (effetto inerziale), dell'inerzia del terreno (effetto cinematico), dell'eventuale presenza di inclinazione e/o eccentricità del carico. Tale relazione è esplicita nella formulazione:

$$q_{lim,e} = i_c \cdot \delta_c \cdot c' \cdot N_c + i_q \cdot \delta_q \cdot q_0 \cdot N_q + \frac{1}{2} i_\gamma \cdot \delta_\gamma \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma$$

dove:

$q_{lim,e}$ = capacità portante in condizioni dinamiche

$\delta_c, \delta_q, \delta_\gamma$ = coefficienti in forma funzione del rapporto B/L

q_0 = peso efficace del terreno al piano di incastro della fondazione e che contribuisce alla resistenza in relazione al carico laterale dei terreni in kgf/cm²

γ = peso di volume del terreno in kgf/cm³

c' = coesione del terreno in kgf/cm²

B = larghezza della fondazione in cm

L = lunghezza della fondazione in cm

i_c, i_q, i_γ = coefficienti riduttivi funzione delle accelerazioni di progetto e dei fattori di amplificazione.

In riferimento ai dettati della circolare esplicativa n°617/2009 l'effetto inerziale della struttura è stato applicato all'intero valore di capacità portante, mentre l'effetto cinematico incide solo sul coefficiente N_γ . Le verifiche sono state condotte in condizioni drenate poiché non esistono modelli analitici validati e dati relativi che evidenzino una riduzione di capacità portante in condizioni non drenate. Le verifiche sismiche effettuate con l'EC8 evidenziano per terre coesive riduzioni non significative.

M1	i_c	i_q	i_γ	M2	i_c	i_q	i_γ
	0,84	0,86	0,74		0,83	0,86	0,72
	N'_c	N'_q	N'_γ		N'_c	N'_q	N'_γ
	13,5	6,5	3,5		10,5	5,2	2,5

Fondazioni continue	Capacità resistenti kgf/cm²	
Condizioni di calcolo	Utilizzo coefficienti M1	Utilizzo coefficienti M2
Condizioni drenate	2,599 kgf/cm ²	1,836 kgf/cm ²

Verifica portanza terreni allo stato limite ultimo in condizioni sismiche

La verifica alla portanza allo stato limite ultimo per fondazioni di tipo superficiale (par. 6.4.2.1 – DM 17/01/2018), prevede che l'insieme opera – terreno sia verificato seguendo l'approccio di seguito esposto, applicando i coefficienti parziali γ_r della tabella 6.4.I. per la definizione della resistenza di progetto (R_d), dove:

$$R_d = \frac{R}{\gamma_r}$$

Approccio 2:**- Combinazione (A1+M1+R3)**

$$E_d \leq R_d = \frac{R}{2,3}$$

dove:

E_d = Valore di progetto delle azioni

R_d = Valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico

γ_r = Coefficienti parziali (Tab. 6.4.I)

	<i>Fondazioni a plinti</i>
Approccio 2: - Combinazione (A1+M1+R3)	$E_d \leq 1,130$ kgf/cmq

STATO LIMITE DI ESERCIZIO - CEDIMENTI

In relazione al tipo di variazione laterale e verticale del grado di compressibilità dei litotipi riscontrati nel sottosuolo necessita che il carico di esercizio determini abbassamenti dei terreni di sottofondazione accettabili nel contesto dell'interazione terreno-struttura.

Le stime dei valori dei cedimenti di seguito esposte sono da considerarsi di tipo indicativo dato che le caratteristiche delle strutture in elevazione sono state definite in via preliminare; pertanto i cedimenti saranno da sviluppare nelle fasi successive in funzione delle caratteristiche strutturali definitive.

Per il calcolo dei cedimenti si è utilizzata la relazione:

$$\Delta H = H_o \cdot \Delta p \cdot m_v$$

dove:

ΔH = cedimento totale in cm

H_o = spessore degli strati considerati in cm

Δp = sovraccarico residuo sullo strato considerato in base al modello matematico di *Jelinek*.

m_v = coefficiente di compressibilità di volume ottenuto dalla relazione di *Sanglerat*: $m_v = 1/\alpha$ qc, nella quale α è un fattore funzione della litologia formante lo strato a spessore H_o considerato.

In rapporto a quanto esposto, per fondazioni dirette a plinti con solette a comportamento poco flessibile (coefficiente di rigidezza 0,8) e tra loro collegati, soggette a carichi centrati e verticali, con piano di posa: D = -120 cm da p.c. in riferimento alle caratteristiche generali del manufatto e dei criteri progettuali preliminari, per pressioni allo SLE trasmesse sul suolo mediamente corrispondenti a:

$$q_a = 0,88 \text{ kgf/cm}^2$$

considerando la riduzione della tensione sul suolo in funzione del coefficiente di incastro della fondazione, si ottengono i seguenti cedimenti:

PROVA N°	B = 200 cm	B = 250 cm
	ΔH cm	ΔH cm
1	3,38	4,13
2	3,35	4,11
3	3,30	4,04
4	3,26	3,97

Cedimenti totali profondità -17 m p.c.

Cedimenti totali delle entità risultate, per fondazioni con dimensioni equivalenti e soggette a tensioni dello stesso ordine di quelle considerate, sono usuali per terreni con proprietà geotecniche simili a quelle riscontrate nel sottosuolo dell'area studiata.

In base ai valori di cedimento determinati si ottengono cedimenti differenziali, Δh , considerando la profondità alla quale la tensione residua nel sottosuolo è minore del 10% del carico geostatico, in rapporto all'interasse tra le prospezioni CPT eseguite tra gli interassi dei pilastri previsti, come riportato in tab. B.

I valori di cedimento differenziale risultati rientrano nella tollerabilità poiché contenuti nel limite di ritiro del C.A.

Distorsione angolare

In rapporto alle tensioni che potranno verificarsi nella struttura in elevazione, considerando un comportamento elastico - elastoplastico in campo lineare dei terreni di sottofondazione ed una reazione rigida delle opere fondali, sono stati determinati i rapporti cedimento differenziale/distanza: Δ/L , ottenendo i valori riportati in tab. B.

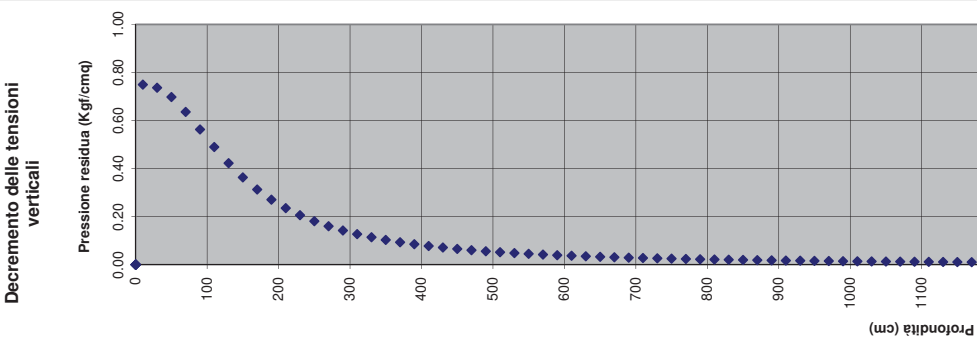
I valori di distorsione risultati sono normalmente accettabili, per manufatti come quelli in progetto, poiché contenuti nel limite di ammissibilità in base ai diagrammi di Bjerrum.

PROVE CPT N°	Plinti	
	Δh cm	Δ/L
1-2	0,72	$1,11 \cdot 10^{-3}$
1-4	0,81	$1,24 \cdot 10^{-3}$
2-4	0,80	$1,23 \cdot 10^{-3}$
4-3	0,72	$1,11 \cdot 10^{-3}$
3-2	0,77	$1,18 \cdot 10^{-3}$

tab. B: Cedimenti differenziali e distorsione angolare (profondità -11 m p.c.)

In rapporto alle entità dei cedimenti differenziali si rileva che i valori di distorsione angolare in funzione delle distanze tra le indagini e gli interassi tra i previsti pilastri, rientrano nel campo dell'accettabilità per strutture come quelle del progetto di ipotesi preliminare.

CEDIMENTI PROVAN°				1/21		AMOR				
FONDAZIONE										
Carico amm. qa =	1,27	Kg/cmq				Correggio (RE)				
Piano di posa D =	120	cm				Via Oratorio				
Larghez. fond. B =	200	cm				-1,95 m pc				
Lunghez. fond. L =	200	cm				Piano campagna				
Distanza calcolo del cedimento dal centro della fondaz. X =						0				
Strato	Spessore	DA	A	Z	LJ	Δh strato	Δh totale			
1	20	0	0,2	0	0,00	0,00	0,00			
2	20	0,2	0,4	0	0,00	0,00	0,00			
3	20	0,4	0,6	0	0,00	0,00	0,00			
4	20	0,6	0,8	0	0,00	0,00	0,00			
5	20	0,8	1	0	0,00	0,00	0,00			
6	20	1	1,2	0	0,00	0,00	0,00			
7	20	1,2	1,4	10	1,00	0,30	0,30			
8	20	1,4	1,6	30	0,88	0,37	0,67			
9	20	1,6	1,8	50	0,83	0,28	0,95			
10	20	1,8	2	70	0,85	0,26	1,22			
11	20	2	2,2	90	0,75	0,28	1,50			
12	20	2,2	2,4	110	0,65	0,24	1,74			
13	20	2,4	2,6	130	0,56	0,21	1,95			
14	20	2,6	2,8	150	0,48	0,14	2,10			
15	20	2,8	3	170	0,42	0,12	2,21			
16	20	3	3,2	190	0,36	0,11	2,32			
17	20	3,2	3,4	210	0,31	0,09	2,42			
18	20	3,4	3,6	230	0,28	0,08	2,54			
19	20	3,6	3,8	250	0,24	0,07	2,65			
20	20	3,8	4	270	0,21	0,06	2,82			
21	20	4	4,2	290	0,19	0,06	2,98			
22	20	4,2	4,4	310	0,17	0,05	3,13			
23	20	4,4	4,6	330	0,15	0,05	3,28			
24	20	4,6	4,8	350	0,14	0,04	3,42			
25	20	4,8	5	370	0,12	0,04	3,55			
26	20	5	5,2	390	0,11	0,03	3,68			
27	20	5,2	5,4	410	0,10	0,04	3,83			
28	20	5,4	5,6	430	0,09	0,03	3,96			
29	20	5,6	5,8	450	0,09	0,03	4,09			
30	20	5,8	6	470	0,08	0,03	4,22			
31	20	6	6,2	490	0,07	0,02	4,34			
32	20	6,2	6,4	510	0,07	0,02	4,46			
33	20	6,4	6,6	530	0,06	0,02	4,58			
34	20	6,6	6,8	550	0,06	0,02	4,70			
35	20	6,8	7	570	0,06	0,02	4,82			
36	20	7	7,2	590	0,05	0,02	4,94			
37	20	7,2	7,4	610	0,05	0,01	5,06			
38	20	7,4	7,6	630	0,05	0,01	5,18			
39	20	7,6	7,8	650	0,04	0,01	5,30			
40	20	7,8	8	670	0,04	0,01	5,42			
41	20	8	8,2	690	0,04	0,01	5,54			
42	20	8,2	8,4	710	0,04	0,01	5,66			
43	20	8,4	8,6	730	0,03	0,01	5,78			
44	20	8,6	8,8	750	0,03	0,01	5,90			
45	20	8,8	9	770	0,03	0,01	6,02			
46	20	9	9,2	790	0,03	0,01	6,14			
47	20	9,2	9,4	810	0,03	0,01	6,26			
48	20	9,4	9,6	830	0,03	0,01	6,38			
49	20	9,6	9,8	850	0,03	0,01	6,50			
50	20	9,8	10	870	0,02	0,01	6,62			
51	20	10	10,2	890	0,02	0,01	6,74			
52	20	10,2	10,4	910	0,02	0,01	6,86			
53	20	10,4	10,6	930	0,02	0,01	6,98			
54	20	10,6	10,8	950	0,02	0,01	7,10			
55	20	10,8	11	970	0,02	0,01	7,22			
56	20	11	11,2	990	0,02	0,01	7,34			
57	20	11,2	11,4	1010	0,02	0,01	7,46			
58	20	11,4	11,6	1030	0,02	0,01	7,58			
59	20	11,6	11,8	1050	0,02	0,01	7,70			
60	20	11,8	12	1070	0,02	0,00	7,82			
61	20	12	12,2	1090	0,02	0,00	7,94			
62	20	12,2	12,4	1110	0,02	0,00	8,06			
63	20	12,4	12,6	1130	0,01	0,00	8,18			
64	20	12,6	12,8	1150	0,01	0,00	8,30			
65	20	12,8	13	1170	0,01	0,00	8,42			
66	20	13	13,2	1190	0,01	0,00	8,54			
67	20	13,2	13,4	1210	0,01	0,00	8,66			
68	20	13,4	13,6	1230	0,01	0,00	8,78			
69	20	13,6	13,8	1250	0,01	0,00	8,90			
70	20	13,8	14	1270	0,01	0,00	9,02			
71	20	14	14,2	1290	0,01	0,00	9,14			
72	20	14,2	14,4	1310	0,01	0,00	9,26			
73	20	14,4	14,6	1330	0,01	0,00	9,38			
74	20	14,6	14,8	1350	0,01	0,00	9,50			
75	20	14,8	15	1370	0,01	0,00	9,62			
76	20	15	15,2	1390	0,01	0,00	9,74			
77	20	15,2	15,4	1410	0,01	0,00	9,86			
78	20	15,4	15,6	1430	0,01	0,00	9,98			
79	20	15,6	15,8	1450	0,01	0,00	10,10			
80	20	15,8	16	1470	0,01	0,00	10,22			



CEDIMENTI PROVA N°				1/21		AMOR	
FONDAZIONE							
Carico amm. qa =	1,27	Kg/cmq				Data:	01/07/2021
Piano di posa D =	120	cm				Località:	Correggio (RE)
Larghez. fond. B =	250	cm				Cantiere:	Via Oratorio
Lunghez. fond. L =	250	cm				Falda:	-1,95 m pc
Distanza calcolo del cedimento dal centro della fondaz. X =						Quota:	Piano campagna
							0
Strato	Spessore	DA	A	Z	LJ	Δh strato	Δh totale
1	20	0	0,2	0	0,00	0,00	0,00
2	20	0,2	0,4	0	0,00	0,00	0,00
3	20	0,4	0,6	0	0,00	0,00	0,00
4	20	0,6	0,8	0	0,00	0,00	0,00
5	20	0,8	1	0	0,00	0,00	0,00
6	20	1	1,2	0	0,00	0,00	0,00
7	20	1,2	1,4	10	1,00	0,30	0,30
8	20	1,4	1,6	30	0,99	0,37	0,67
9	20	1,6	1,8	50	0,96	0,29	0,97
10	20	1,8	2	70	0,91	0,28	1,25
11	20	2	2,2	90	0,84	0,31	1,56
12	20	2,2	2,4	110	0,76	0,29	1,85
13	20	2,4	2,6	130	0,68	0,25	2,10
14	20	2,6	2,8	150	0,61	0,18	2,28
15	20	2,8	3	170	0,54	0,15	2,43
16	20	3	3,2	190	0,48	0,15	2,58
17	20	3,2	3,4	210	0,42	0,12	2,70
18	20	3,4	3,6	230	0,38	0,10	2,81
19	20	3,6	3,8	250	0,34	0,09	2,94
20	20	3,8	4	270	0,30	0,09	3,08
21	20	4	4,2	290	0,27	0,08	3,27
22	20	4,2	4,4	310	0,24	0,07	3,41
23	20	4,4	4,6	330	0,22	0,07	3,51
24	20	4,6	4,8	350	0,20	0,06	3,67
25	20	4,8	5	370	0,18	0,05	3,83
26	20	5	5,2	390	0,17	0,05	3,98
27	20	5,2	5,4	410	0,15	0,06	3,43
28	20	5,4	5,6	430	0,14	0,05	3,48
29	20	5,6	5,8	450	0,13	0,04	3,52
30	20	5,8	6	470	0,12	0,05	3,57
31	20	6	6,2	490	0,11	0,03	3,60
32	20	6,2	6,4	510	0,10	0,03	3,63
33	20	6,4	6,6	530	0,10	0,03	3,66
34	20	6,6	6,8	550	0,09	0,03	3,68
35	20	6,8	7	570	0,09	0,03	3,71
36	20	7	7,2	590	0,08	0,02	3,73
37	20	7,2	7,4	610	0,07	0,02	3,76
38	20	7,4	7,6	630	0,07	0,02	3,77
39	20	7,6	7,8	650	0,07	0,01	3,79
40	20	7,8	8	670	0,06	0,01	3,80
41	20	8	8,2	690	0,06	0,01	3,81
42	20	8,2	8,4	710	0,06	0,01	3,83
43	20	8,4	8,6	730	0,05	0,01	3,84
44	20	8,6	8,8	750	0,05	0,01	3,85
45	20	8,8	9	770	0,05	0,01	3,86
46	20	9	9,2	790	0,05	0,01	3,87
47	20	9,2	9,4	810	0,04	0,01	3,88
48	20	9,4	9,6	830	0,04	0,01	3,89
49	20	9,6	9,8	850	0,04	0,01	3,90
50	20	9,8	10	870	0,04	0,01	3,91
51	20	10	10,2	890	0,04	0,01	3,92
52	20	10,2	10,4	910	0,03	0,01	3,93
53	20	10,4	10,6	930	0,03	0,01	3,94
54	20	10,6	10,8	950	0,03	0,01	3,95
55	20	10,8	11	970	0,03	0,01	3,97
56	20	11	11,2	990	0,03	0,01	3,98
57	20	11,2	11,4	1010	0,03	0,01	3,98
58	20	11,4	11,6	1030	0,03	0,01	3,99
59	20	11,6	11,8	1050	0,03	0,01	4,00
60	20	11,8	12	1070	0,03	0,01	4,01
61	20	12	12,2	1090	0,02	0,01	4,02
62	20	12,2	12,4	1110	0,02	0,01	4,02
63	20	12,4	12,6	1130	0,02	0,01	4,03
64	20	12,6	12,8	1150	0,02	0,01	4,03
65	20	12,8	13	1170	0,02	0,00	4,04
66	20	13	13,2	1190	0,02	0,00	4,04
67	20	13,2	13,4	1210	0,02	0,01	4,05
68	20	13,4	13,6	1230	0,02	0,01	4,05
69	20	13,6	13,8	1250	0,02	0,01	4,06
70	20	13,8	14	1270	0,02	0,01	4,07
71	20	14	14,2	1290	0,02	0,01	4,07
72	20	14,2	14,4	1310	0,02	0,01	4,08
73	20	14,4	14,6	1330	0,02	0,01	4,08
74	20	14,6	14,8	1350	0,02	0,00	4,09
75	20	14,8	15	1370	0,02	0,00	4,09
76	20	15	15,2	1390	0,02	0,00	4,09
77	20	15,2	15,4	1410	0,01	0,00	4,10
78	20	15,4	15,6	1430	0,01	0,00	4,10
79	20	15,6	15,8	1450	0,01	0,00	4,11
80	20	15,8	16	1470	0,01	0,00	4,11

Decremento delle tensioni verticali

Pressione residua (Kg/cmq)

Profondità (cm)

CEDIMENTI PROVA N°				3/21		AMOR	
FONDAZIONE				Data:		01/07/2021	
				Località:		Correggio (RE)	
				Caniliere:		Via Orlorio	
				Faldia:		-2,00 m pc	
				Quota:		Piano campagna	

CEDIMENTI PROVA N°				FONDAZIONE		4/21		AMOR	
				pilini		Data:		01/07/2021	
						Località:		Correggio (RE)	
						Caniliere:		Via Oratorio	
						Falda:		-1.97 m pc	
						Quota:		Piano campagna	
								0	

CEDIMENTI PERMANENTI POST SISMICI (STATO LIMITE DI ESERCIZIO IN CONDIZIONI DINAMICHE)

La verifica allo stato limite di esercizio in condizioni dinamiche valuta l'entità del cedimento permanente massimo causato dallo scuotimento sismico atteso allo stato limite di esercizio (SLE-SLD).

A tal fine è stata utilizzata la metodologia di *Richards et al. (1993)* nella quale per la valutazione del cedimento indotto in caso di sisma deve essere definito il valore critico dell'accelerazione orizzontale kh^* per la quale il coefficiente di sicurezza in condizioni dinamiche si riduce all'unità. Nell'ipotesi di comportamento rigido-perfettamente plastico del terreno di fondazione, si manifesteranno spostamenti solo per valori di accelerazione superiore a kh^* .

È possibile valutare gli spostamenti dovuti al sisma (Δ) mediante la correlazione ottenuta da *Richards e Elms (1979)*, ottenuta sulla base di un consistente insieme di registrazioni di cedimenti conseguiti ad eventi sismici:

$$\Delta = 0,087 \cdot \left(\frac{V^2}{A \cdot g} \right) \cdot \left| \frac{kh^*}{A} \right|^{-4}$$

dove:

- Δ = spostamento del blocco in direzione orizzontale
- V = velocità di picco dello scuotimento
- A = accelerazione di picco dello scuotimento
- g = accelerazione di gravità

Una volta calcolato Δ il cedimento w è dato da:

$$w = 2 \cdot \Delta \cdot \tan \rho_{AE}$$

dove:

ρ_{AE} = angolo che definisce la zona di spinta attiva in condizioni dinamiche

In rapporto a quanto esposto, si ottengono, per le fondazioni preliminari di progetto, i seguenti cedimenti permanenti post sismici:

ΔH cm	
B = 200 cm	B = 250 cm
0,73	0,79

tollerabili dalle previste strutture di progetto.

CONCLUSIONI E SUGGERIMENTI

Nel contesto delle analisi progettuali per il *Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata in Variante al PRG – Denominato L. 16, nell'area del Villaggio Industriale, sita in via Del Lavoro angolo via Gianfranceschi, R.E.* sono stati redatti gli studi di seguito descritti di caratterizzazione geologico geotecnica e sismica, pericolosità idraulica, paesaggistica, finalizzate all'individuazione delle proprietà litomeccaniche, valutazione della pericolosità sismica di base e determinazione della risposta sismica locale, dei terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area di variante in oggetto, analisi degli elementi di pericolosità idraulica e verifica di assoggettabilità a VAS.

Lo studio, eseguito su commissione di **A.MOR S.R.L.** Corso Mazzini n° 25, Correggio, R.E. ed in coordinamento con **Dessau Studio** Dr. Dino Turci – Ing. Silvia Gazzetti e Associati, V.le Vittorio Veneto, 2/l, Correggio, RE, **STUDIO MAAO Arch.** Mariavittoria Bosi, via della Pila, 40 Marghera, VE, si è redatto in ottemperanza ai dettati del D.M. 17-01-2018, DGR.ER 476/2021, DGR.ER 1300/2016, DGR. ER 1661/2009, LR. n° 19/2008.

Le indagini e valutazioni sviluppate hanno evidenziato caratteristiche geomorfologiche, idrogeologiche, parametri geotecnici e della risposta sismica con approccio semplificato, idonee per l'utilizzo ai fini edificatori dell'area di intervento.

Geologia

La zona in esame appartiene al Bacino Subsidente della Pianura Padana costituito da un'ampia depressione a stile compressivo, formata negli orizzonti più recenti da depositi pliocenico quaternari. Questi ultimi sono a loro volta suddivisi in formazioni del *Quaternario Continentale* nei primi 300/350 ÷ 450 m del sottosuolo e del *Quaternario Marino* circa da -400 ÷ -450 m a -1050 ÷ -1200 m.

Tali unità geologiche sovrastano le formazioni pre quaternarie che nel sottosuolo di Correggio sono caratterizzate dalla fascia sud occidentale della Dorsale Ferrarese rinvenibile a -2,0/-2,5 km pc nei settori occidentali di Bagnolo in Piano – Fosdondo, a -3,5/-4,5 km pc nell'area di Correggio Capoluogo, in verso orientale immerge ulteriormente a -4,5/-4,5 km al confine comunale con Carpi e -5,5 km con quello di San Martino in Rio.

La anticlinale Ferrarese è contraddistinta da intensa tettonizzazione e risulta abbia subito movimenti anche in tempi recenti come denotano il Fronte di Accavallamento della Successione Carbonatica meso-cenozoica e la linea di sovrascorrimento che delimita l'ala occidentale – nord occidentale della Dorsale Ferrarese classificata come struttura sepolta attiva (*Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna*).

Dette fasce di dislocazione non risulta abbiano determinato fenomeni di frattura nelle coperture quaternarie continentali dei primi 130/150 m del sottosuolo, che si siano ripercossi e manifestati in superficie nel settore della superficie comunale al quale appartiene il capoluogo.

L'attività tettonica recente del territorio, con sollevamenti della Dorsale Ferrarese, è confermata anche dalle passate migrazioni fluviali verso ovest dei fiumi appenninici e verso nord del Po (Veggiani, 1974; DISS 3.2.1, 2018) e dalle interazioni di detta struttura con il fronte delle pieghe pedeappenniniche, indicate dalle forme superficiali correlabili ad attività neotettonica, nelle zone sud occidentali del reggiano: Bibbiano, Quattro Castella (Cremaschi e Papani, 1975); equivalenti segnali morfologici sono evidenziati nei settori orientali del reggiano e nel modenese (Ist. Geol MO, 1978; RER 2000/2008).

Geomorfologia

Il territorio in esame appartiene alla fascia della Media Pianura Padana Appenninica costituitasi tra i coni alluvionali pedeappenninici ed il settore francamente dominato dal Po.

L'assetto geomorfologico dell'area in oggetto è legato alle passate vicende dei torrenti Crostolo, Tresinaro e Rodano che nelle zone di piana esondabile hanno depositato sequenze formate prevalentemente da alternanze argilloso limose – limose argillose, con intercalati subordinati livelli lentiformi sabbiosi – limoso sabbiosi che a luoghi prevalgono e sostituiscono orizzontalmente le componenti fini nei primi 5/12 m del sottosuolo.

L'attuale assetto geomorfologico territoriale consegue alle passate vicende fluviali degli assi idrici sopra indicati, che unitamente all'azione dell'uomo: bonifiche, canalizzazioni, riporti, ecc, hanno portato ad una conformazione pianeggiante con ondulazioni più o meno accentuate in senso ovest est.

Le caratteristiche litostratigrafiche riscontrate nelle indagini geognostiche eseguite, hanno evidenziato nei primi 7 m del sottosuolo, la presenza di un'unità litotecnica a moderata variabilità laterale sia delle componenti litogranulometriche che di consistenza. Detto orizzonte è costituito in prevalenza da alternanze limose – limoso argillose con intercalati subordinati sottili livelli lentiformi sabbioso limosi a basso grado di densità relativa tendenzialmente prevalenti nel settore nord occidentale dell'area di variante. Successivamente sino a -12 m pc si riscontrano in prevalenza alternanze argilloso limose – limoso argillose che sono lateralmente sostituite nel settore centro orientale settentrionale da unità sabbiose lentiformi. A profondità sottostanti -12 m dal piano di campagna segue una sequenza

essenzialmente argillosa – argilloso limosa leggermente sovraconsolidata, contenente locali subordinati livelli sabbiosi.

Tale successione, correlabile alle aree di esondazione comprese tra gli alvei fluviali nelle zone di pianura, concorda con le caratteristiche geomorfologiche territoriali precedentemente descritte.

Gli agenti sopraindicati unitamente all'azione dell'uomo nel sito di variante hanno portato alla formazione di una topografia pianeggiante blandamente ondulata in senso ovest est con quote medie di 28, ÷ 29,0 m s.l.m. e pendenze dell' 1,2 – 1,8 ‰ declinanti in direzione ovest, che sono perimetralmente delimitate da terreni più elevati di 0,5 ÷ 1,0 m conseguiti ad interventi di urbanizzazione e realizzazione di assi stradali.

Falda idrica sotterranea

Al periodo di esecuzione delle prospezioni geognostiche, luglio 2021, il livello idrico sotterraneo, misurato nei fori delle indagini, si è riscontrato a quote comprese tra:

$$\delta H_2O = -1,95 \div -2,05 \text{ m p.c.}$$

Le rilevazioni delle profondità della falda idrica nel sottosuolo, precedentemente effettuate (*Centrogeo*) nel contesto delle analisi geologico tecniche idrogeologiche eseguite nell'ambito delle disamine del QC. PSC di Correggio nel 2008/2009, hanno evidenziato nel settore al quale appartiene il sito in oggetto una profondità del livello idrico in equilibrio corrispondente a:

$$\delta H_2O = -1,5 \div -2,0 \text{ m p.c.}$$

Tali valori evidenziano un modesto campo di escursione negativo della falda che può interessare l'area di variante corrispondente a:

$$\delta' H_2O \leq 0,5 \text{ m}$$

Modellazione sismica

Il sottosuolo dell'area alla quale appartiene Correggio è caratterizzato dalla presenza delle formazioni che costituiscono la Dorsale Ferrarese che nella zona capoluogo si rinvencono a profondità di -3,0/-3,5 e di -4.5/-5,5 km dal piano campagna nelle aree orientali – sud orientali.

Le principali strutture sismogenetiche nell'ambito territoriale tra S. Ilario d'Enza/Campegine – Guastalla – Mirandola – Carpi – Rubiera – Reggio Emilia, sono rappresentate dal Fronte delle Pieghe Emiliane e dalla Dorsale Ferrarese entrambe delimitate, le prime nella fascia settentrionale e la seconda all'ala occidentale, da linee di sovrascorrimento classificate attive (*M. Boccaletti, L. Martelli; 2004*).

Ciò è in accordo con l'allineamento a direzione nord ovest – sud est, da Parma a Reggio Emilia – Rubiera, contraddistinto da epicentri sismici con magnitudo $5,5 \leq M \leq 6,0$, da magnitudo $5,3 \leq M \leq 6,1$ nella zona estesa ovest est Novi MO – Mirandola – Finale Emila; Con quanto sopra esposto concorda la fascia ad andamento sud ovest – nord est individuata dall'allineamento: Cadelbosco di Sopra – Novellara / Campagnola E. – Fabbrico, caratterizzata da epicentri classificati con magnitudo $5,0 \leq M \leq 5,5$.

Il territorio correggese appartiene alla zona sismogenetica sorgente composita (DISS 3.2.1) ITCS049 - Correggio – Campegine ed è adiacente per la parte orientale alla zona ITSC081 - Carpi – Poggio Renatico.

La prima di queste (Correggio) è caratterizzata da ipocentri tra -3 e -10 km pc con magnitudo massima

$$M_w \leq 5,5$$

la seconda (Carpi) da ipocentri tra -2 e -10 km pc con

$$M_w \leq 6,0$$

Quanto esposto indica che l'area alla quale appartengono Correggio e Carpi è interessata da grado di sismicità medio.

Caratterizzazione Sismica – microzonazione sismica con approccio semplificato.

La categoria del suolo di fondazione, in riferimento ai parametri del D.M. 17/01/2018, determinata in funzione delle velocità di onde sismiche di taglio VSH ottenute dall'elaborazione dei dati acquisiti da uno stendimento sismico con metodo integrato attivo – passivo MASW/Re.Mi. che ha fornito valori equivalenti a: $V_{s30} = 258$ m/sec, corrisponde a:

- **Categoria 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.

Il fattore di amplificazione topografico equivale a:

$$St = 1,0$$

Il fattore di amplificazione stratigrafico determinato in base a quanto previsto dal DM 17-01-2018, in funzione dei vari stati limite, corrisponde a:

STATO LIMITE	T_R (anni)	S_s (-)	C_c (-)
SLO	30	1,5	1,66
SLD	50	1,5	1,63
SLV	475	1,46	1,62
SLC	975	1,39	1,60

Frequenza fondamentale terreni

La determinazione della frequenza fondamentale dei terreni con metodo HVSR ha evidenziato un picco di amplificazione principale con ampiezza

$$A = 2,2$$

al quale corrisponde una frequenza fondamentale:

$$f_0 = 0,70 \text{ Hz}$$

equivalente al periodo principale:

$$t_0 = 1,43 \text{ sec}$$

In riferimento al range che compete ai parametri sopra esposti sono da valutare possibili effetti di fenomeni di doppia risonanza nel campo dei periodi:

$$1,11 < T < 1,67 \text{ sec.}$$

in rapporto ai periodi di vibrazione dei manufatti.

Suscettività alla liquefazione

Le verifiche di suscettività alla liquefazione hanno evidenziato valori dell'indice del potenziale di liquefazione:

Cpt n°	I_L
1	0,5
2	0,1
3	0,5
4	4,0

In base alla classificazione proposta da Sonmez (2003) per le verticali di indagini con $I_L = 0,1 \div 0,5$ la pericolosità di liquefazione è di grado basso, per $I_L = 4,0$ la potenziale pericolosità è di grado moderato.

In riferimento agli effetti conseguiti agli eventi sismici avvenuti in precedenza: 1996 e 2012, 1830 e 1831, che nel territorio correggese non hanno indotto fenomeni di liquefazione o di accentuati cedimenti / addensamenti dei terreni, si evince che i

valori di I_L ottenuti concordano con i tipi di risentimento sismico territoriale avvenuti e rientrano nel campo dell'accettabilità.

Portanza dei terreni - tensioni ammissibili

I caratteri geotecnici dei terreni, desunti da due prove penetrometriche statiche, Cpt Rm, direttamente eseguite, in funzione del tipo di variabilità laterale del grado di compressibilità, evidenziano adottabili fondazioni dirette di tipo continuo con solette a comportamento poco flessibile.

Per la valutazione del carico ammissibile sul terreno in termini di tensioni ammissibili, si è utilizzata la relazione di *Meyerhof*:

$$q_a = q_c / f$$

ottenendo:

$$q_a = 1,05 \text{ kgf/cm}^2$$

per un piano di posa delle opere fondali ubicato ad una profondità media dal piano campagna al periodo delle indagini: luglio 2021, pari a:

$$D = -1,2 \text{ m p.c.}$$

Resistenza del sistema geotecnico allo Stato limite ultimo (R)

In riferimento ai dettati del DM 17/01/18, sono state determinate le **caratteristiche di resistenza del terreno di fondazione allo stato limite ultimo (SLU)** adottando i parametri previsti nella tab. 6.2.II – condizioni M1 e M2 del suddetto D.M, che parzializzano i coefficienti geotecnici.

Detti valori determinati in termini sia di tensioni totali che di tensioni efficaci, in condizioni statiche e dinamiche, per unità geotecniche assimilate ad un insieme omogeneo, sono riassunti nella seguente tabella:

<i>Fondazioni continue</i>	<i>Condizioni statiche</i>	<i>Condizioni dinamiche</i>
CONDIZIONE M1	$R = 2,921 \text{ kgf/cm}^2$	$R = 2,599 \text{ kgf/cm}^2$
CONDIZIONE M2	$R = 2,126 \text{ kgf/cm}^2$	$R = 1,836 \text{ kgf/cm}^2$

Verifica portanza terreni allo stato limite ultimo

La verifica alla portanza allo stato limite ultimo per fondazioni superficiali (par. 6.4.2.1 – DM 17/01/2018), prevede che l'insieme opera – terreno sia verificato seguendo l'approccio 2, applicando i coefficienti parziali γ_r esposti nella tabella 6.4.I. per la definizione della resistenza di progetto (R_d), ottenendo:

	Condizioni statiche	Condizioni dinamiche
Approccio 2: - Combinazione 1: (A1+M1+R3)	$E_d \leq 1,270 \text{ kgf/cmq}$	$E_d \leq 1,130 \text{ kgf/cmq}$

dove:

E_d = Valore di progetto delle azioni

Si osserva che nella valutazione della pressione di contatto fondazione/terreno, vanno conteggiati sia i pesi propri delle opere fondali che il carico dei terreni e/o materiali di riempimento gravanti sulle stesse.

Cedimenti statici e dinamici

I valori di cedimenti totali, differenziali e di distorsione angolare, per strutture che impongono tensioni al sottosuolo allo $SLE \leq 0,88 \text{ kgf/cmq}$, per le dimensioni e tipologia delle fondazioni preliminari considerate, rientrano nel campo dell'accettabilità.

I valori dei cedimenti post sismici, in riferimento alla magnitudo attesa nel territorio in oggetto, sono di entità compatibile.

In funzione di quanto esposto si specifica che i valori dei cedimenti, dei differenziali e distorsione angolare, dovranno essere rideterminati nel contesto delle progettazioni esecutive.

Modulo di reazione

In funzione dei parametri caratteristici dei terreni presenti nei primi 13,0/16 m del sottosuolo e delle caratteristiche litologico granulometriche degli stessi, si sono ottenuti i valori dei moduli di reazione di seguito esposti:

Unità	Profondità terreni	Modulo di reazione kgf/cmc		
		K'	Ku	Kd
Unità 1	Da -0,6 a -1,0 m p.c.	1,28	1,39	1,63
Unità 2	Da -1,0 ÷ -2,0 m p.c.	1,23	1,35	1,56
Unità 2bis CPT3	Da -2,0 ÷ -2,8 m p.c.	1,80	2,12	2,29
Unità 3	Da -2,6 a -5,0 m p.c.	1,25	1,36	1,59
Unità 3bis CPT3	Da -2,8 a -3,6 m p.c.	1,08	1,20	1,36
Unità 4	Da -5,0 a -7,0 m p.c.	1,25	1,36	1,59
Unità 5	Da -7,0 a -9,2 m p.c.	1,34	1,45	1,71
Unità 5bis CPT4	Da -7,2 a -10,4 m p.c.	2,43	2,81	3,08
Unità 6	Da -9,2 a -10,6 m p.c.	1,31	1,43	1,67

Unità 6bis CPT4	Da -10,4 a -12,0 m p.c.	3,71	4,29	4,71
Unità 7	Da -10,6 a -11,2 m p.c.	1,16	1,28	1,47
Unità 8	Da -11,2 m a -13,2 m pc	1,21	1,31	1,54
Unità 9	Da -13,2 a -15,0 m p.c.	1,09	1,18	1,39
Unità 10	Da -15,0 a -16,0 m p.c.	1,36	1,45	1,73
Unità 11	Da -16,0 a -17,0 m p.c.	0,98	1,06	1,25
Unità 11bis CPT2	Da -16,0 a -16,6 m p.c.	2,26	2,61	2,87
Unità 12	Da -10,0 a -19,0 m p.c.	1,32	1,41	1,68

dove:

K' = modulo di reazione in condizioni drenate, kgf/cmc

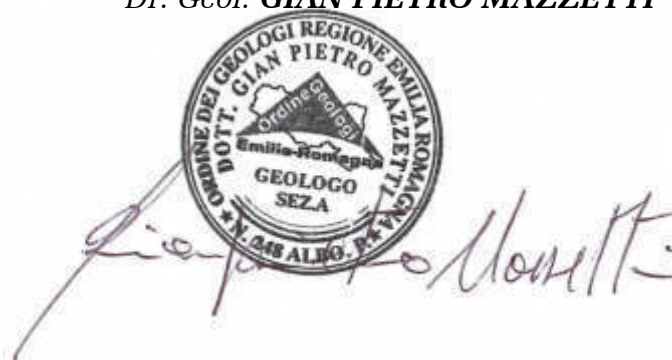
Ku = modulo di reazione in condizioni non drenate, kgf/cmc

Kd= modulo di reazione in condizioni dinamiche, kgf/cmc

Oltre a quanto esposto, nel contesto dell'esecuzione lavori, è opportuno adottare i seguenti accorgimenti:

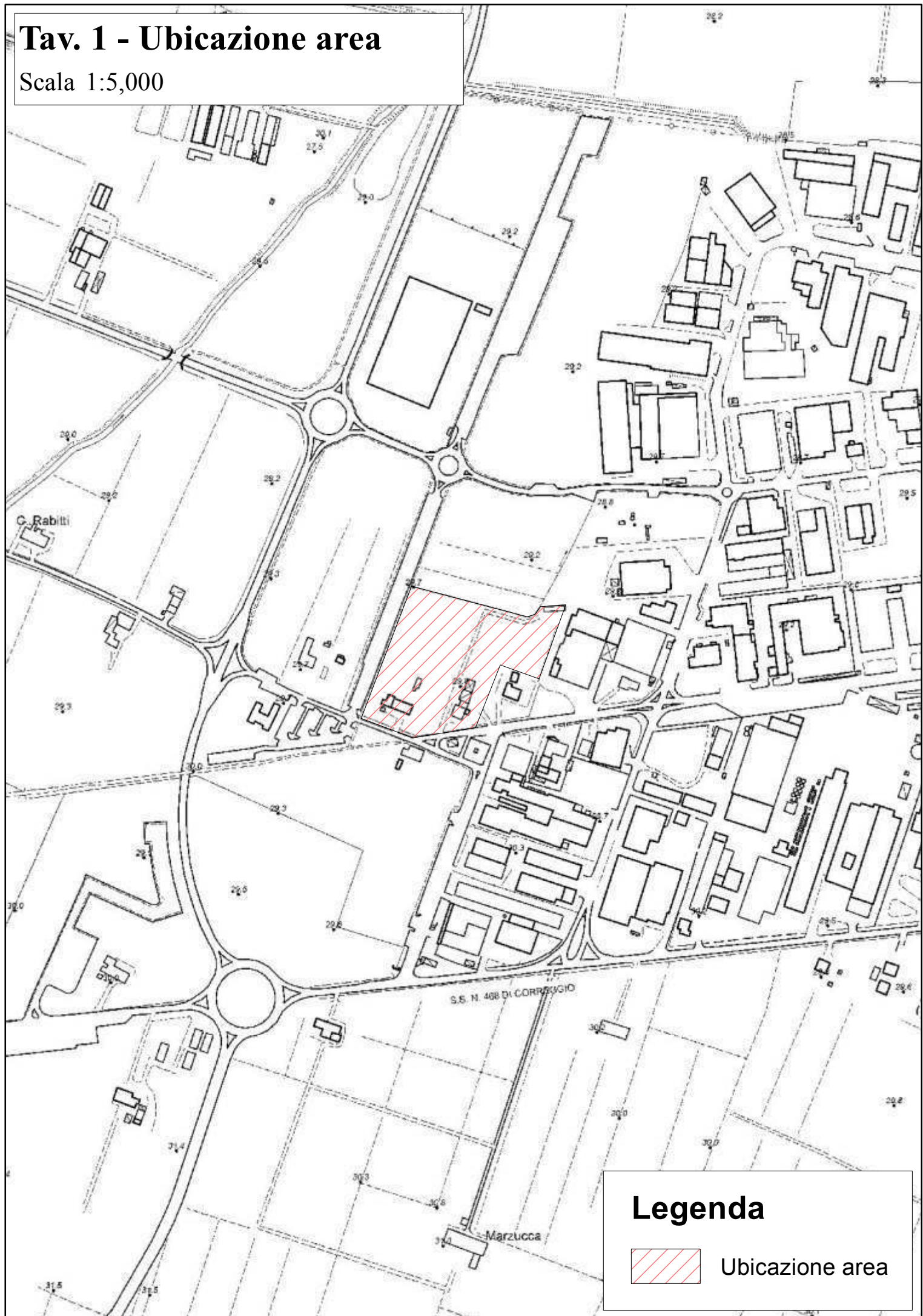
- Eseguire ulteriori punti di indagine ad integrazione di quelli effettuati in funzione delle dimensioni e caratteristiche delle strutture di progetto.
- Accertare l'assenza di eventuali strati cedevoli e/o rimaneggiati - riporti e nell'eventualità di un loro riscontro effettuare idonei risanamenti.
- Accertarsi, mediante saggi con escavatore meccanico, in punti esterni all'area di impronta delle costruzioni, preliminarmente agli scavi di fondazione, che non si verifichino processi di sifonamento al fondo degli sbancamenti; qualora si incorresse in detta eventualità, dovranno essere adottate idonee tecniche di depressione delle acque sotterranee.
- Operare in modo che il tempo tra l'apertura degli sbancamenti e la costruzione delle fondazioni sia breve per limitare il rilassamento di fondo scavo.
- Regularizzare e proteggere i piani di posa delle opere fondali con getto di conglomerato magro.

Dr. Geol. **GIAN PIETRO MAZZETTI**



ALLEGATI

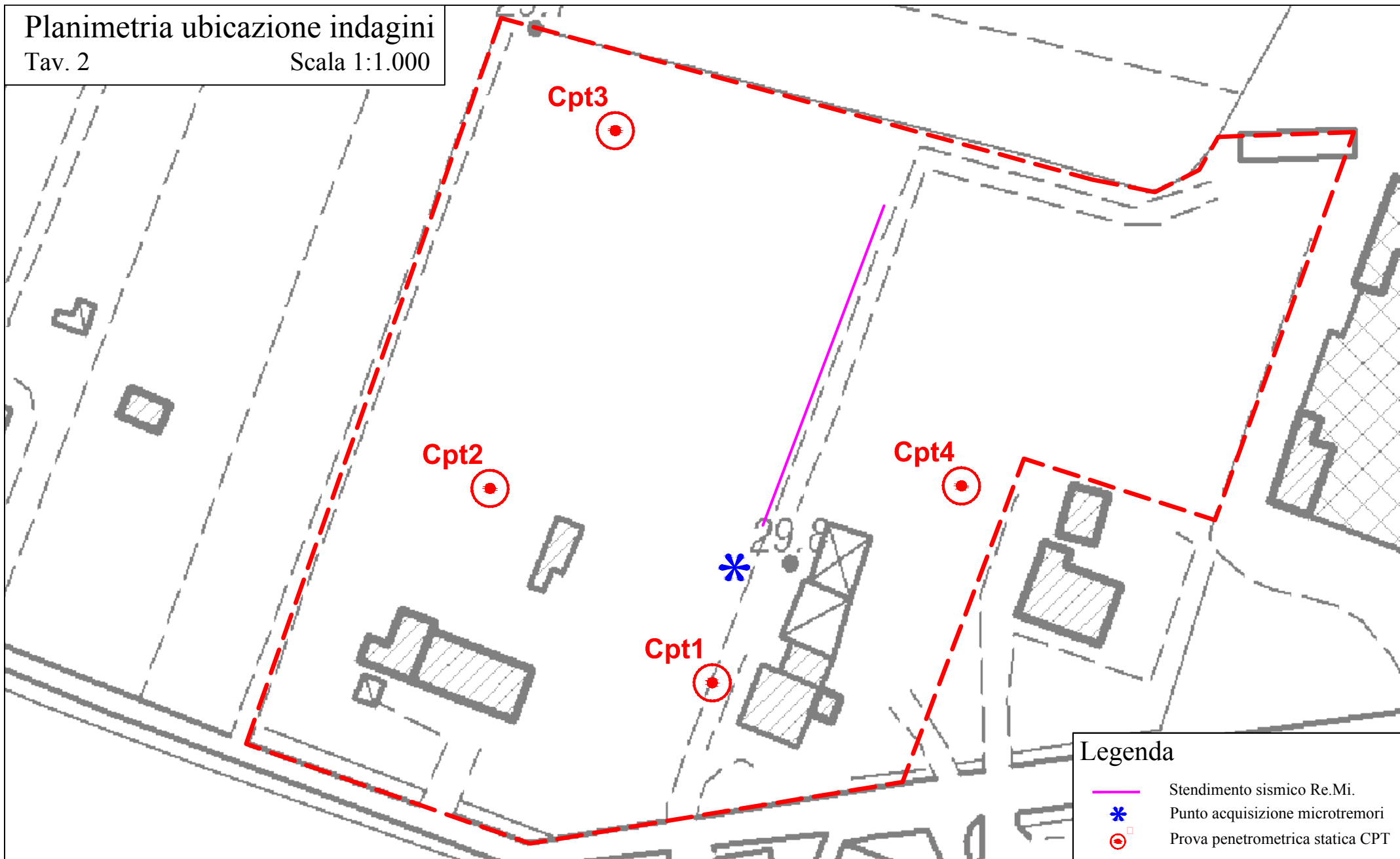
Scala 1:5,000



Planimetria ubicazione indagini

Tav. 2

Scala 1:1.000

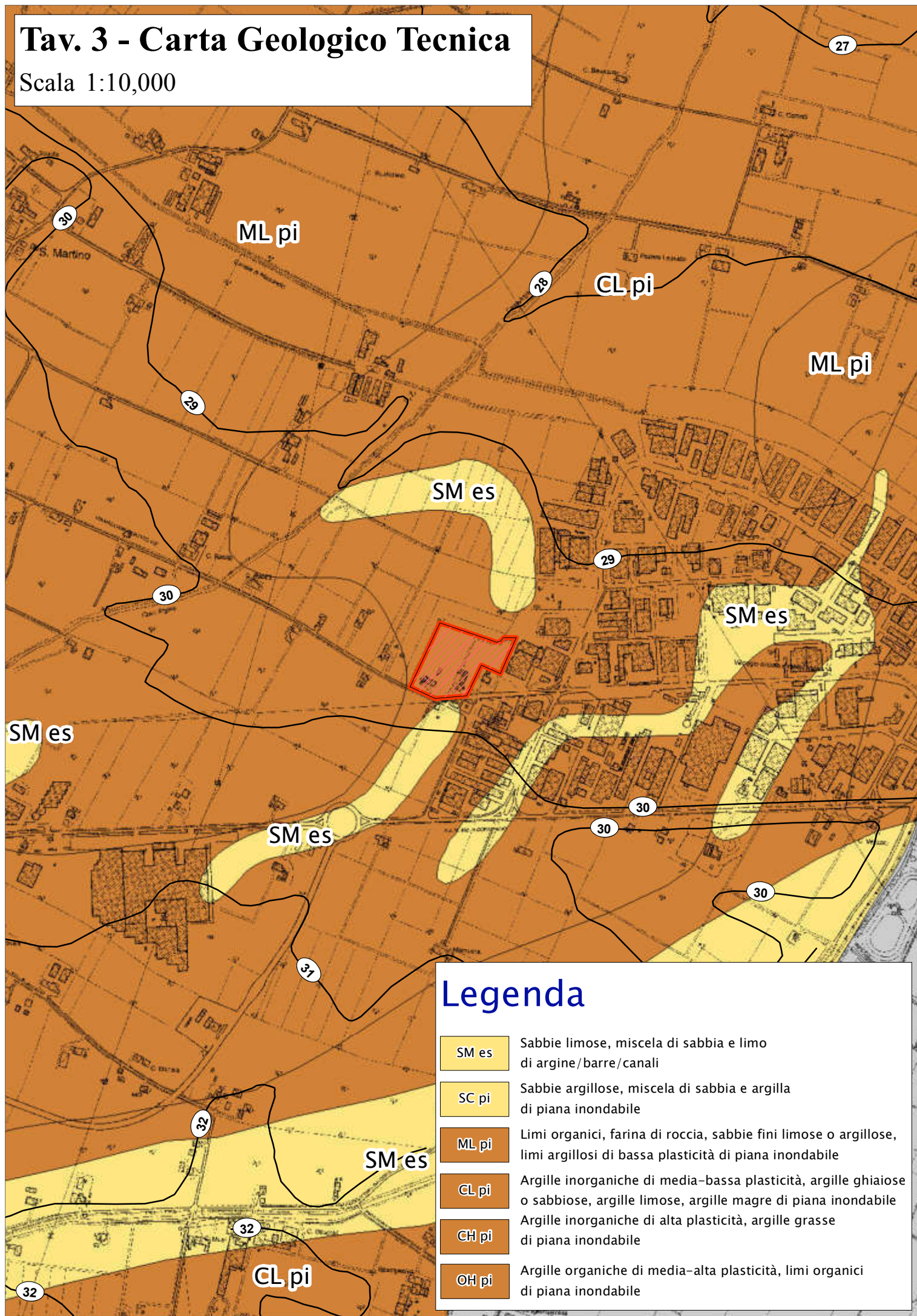


Legenda

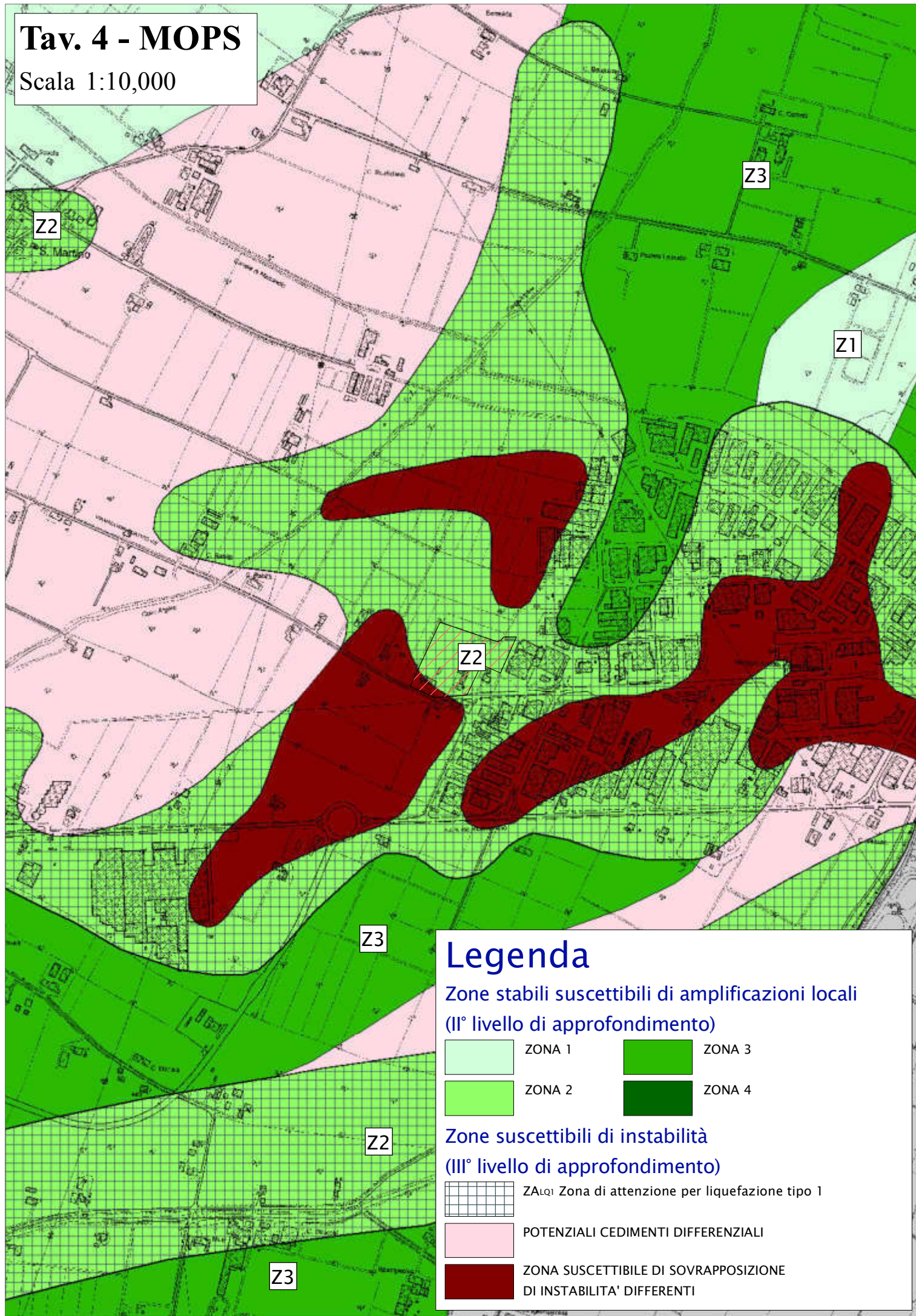
- Stendimento sismico Re.Mi.
- * Punto acquisizione microtremori
- ⊙ Prova penetrometrica statica CPT

Tav. 3 - Carta Geologico Tecnica

Scala 1:10,000

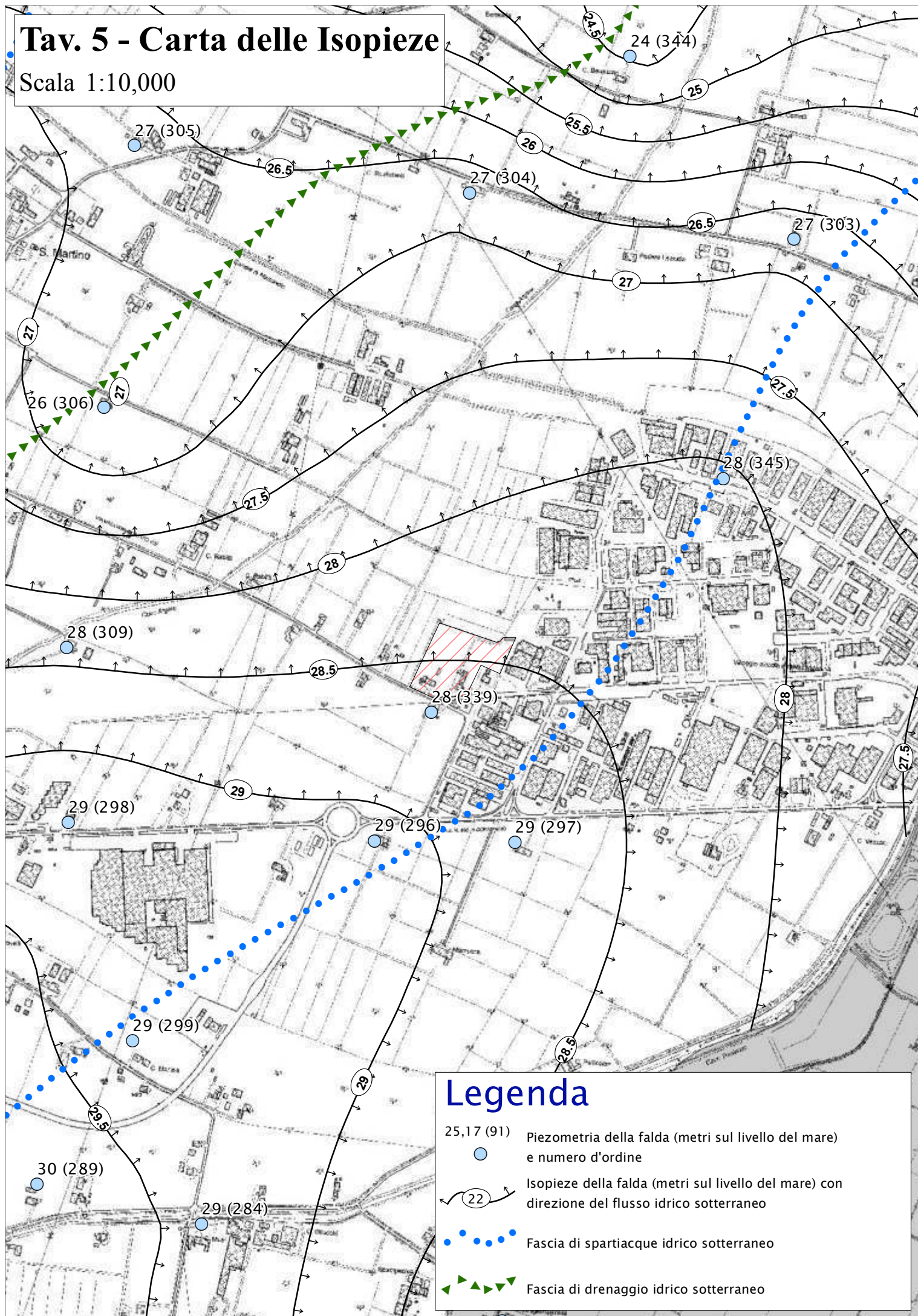


Scala 1:10,000



Tav. 5 - Carta delle Isopieze

Scala 1:10,000

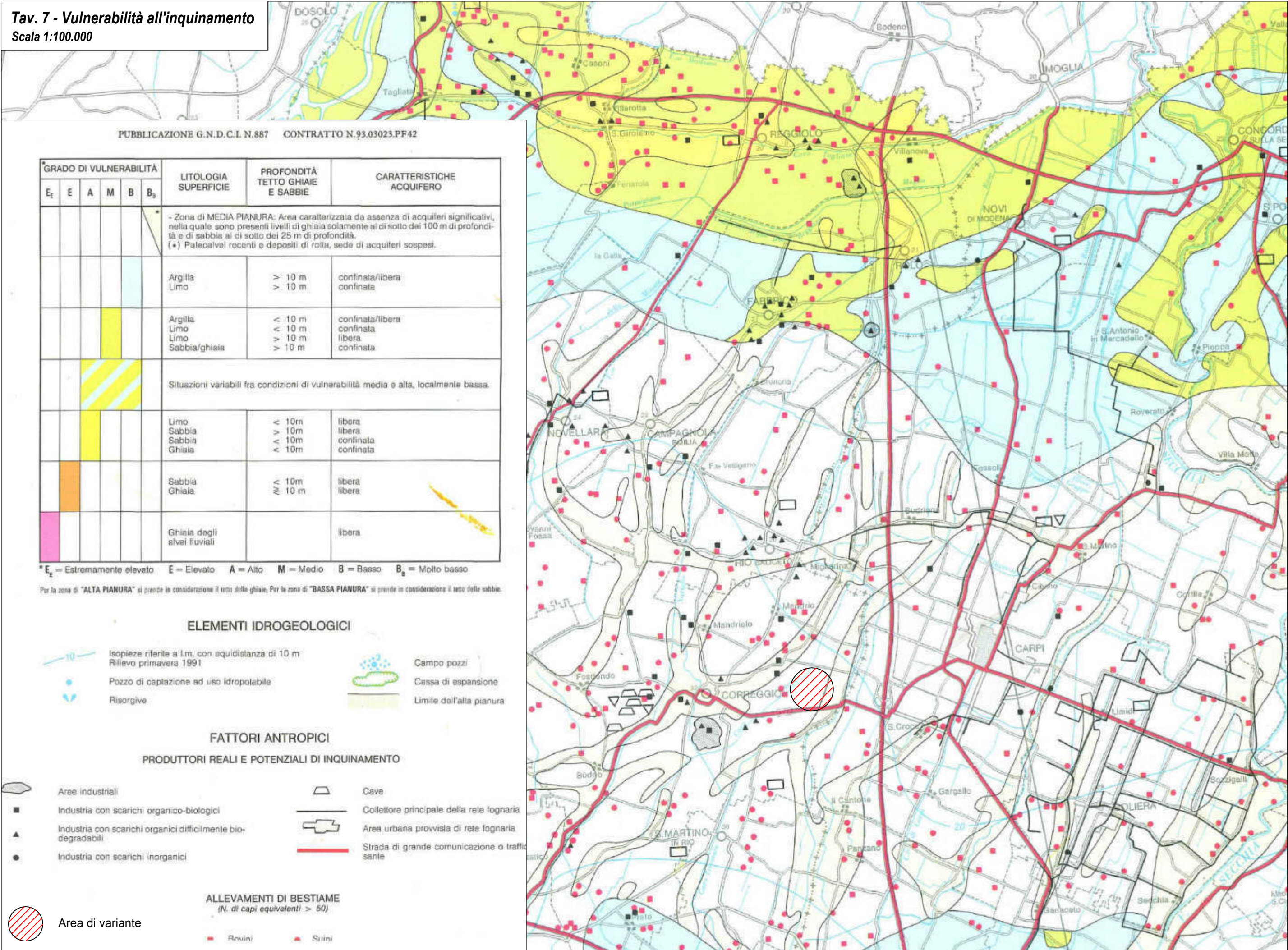


Tav. 6 - Carta della Soggiacenza

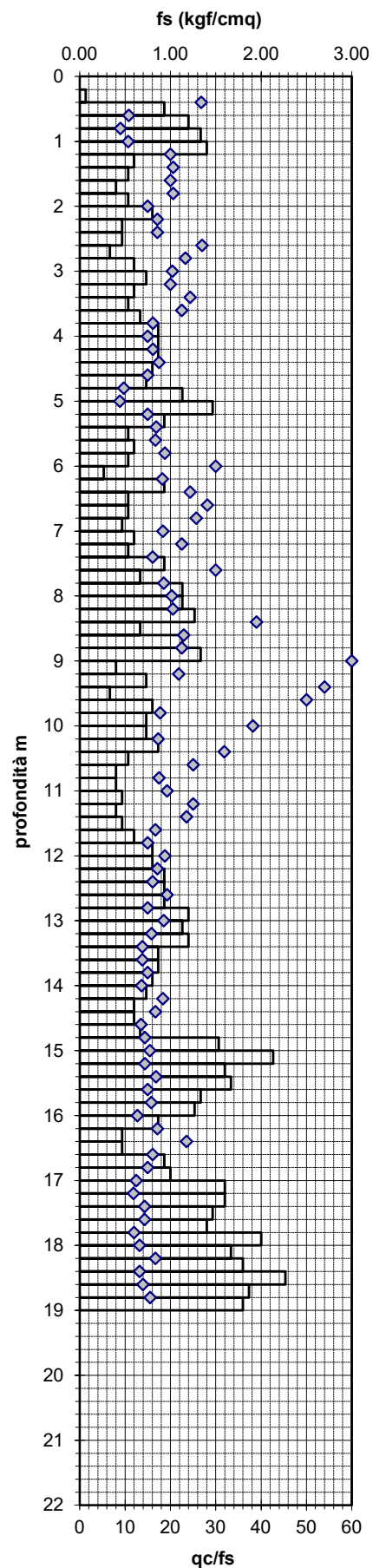
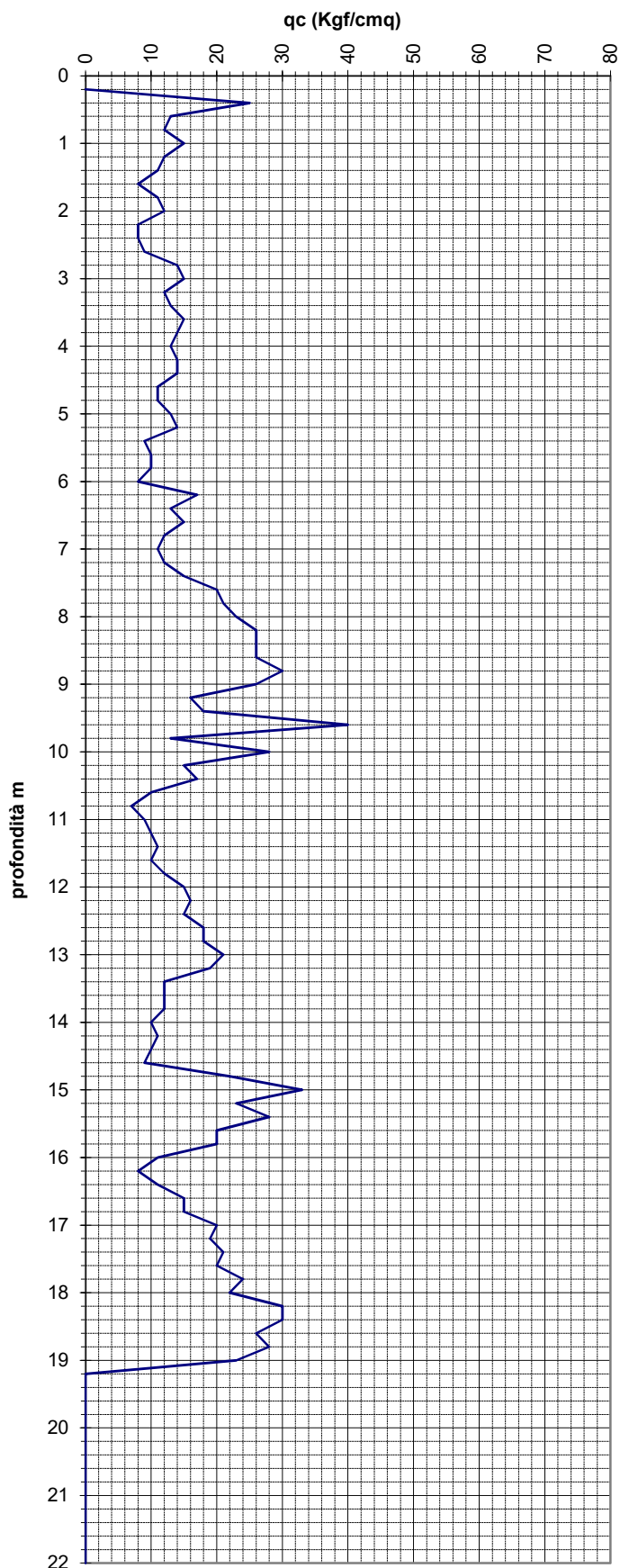
Scala 1:10,000



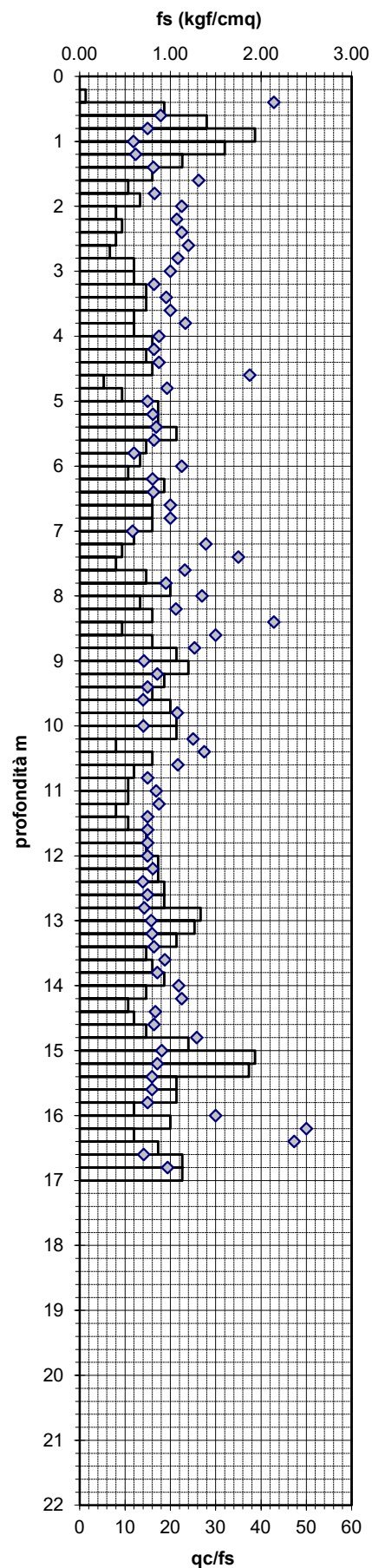
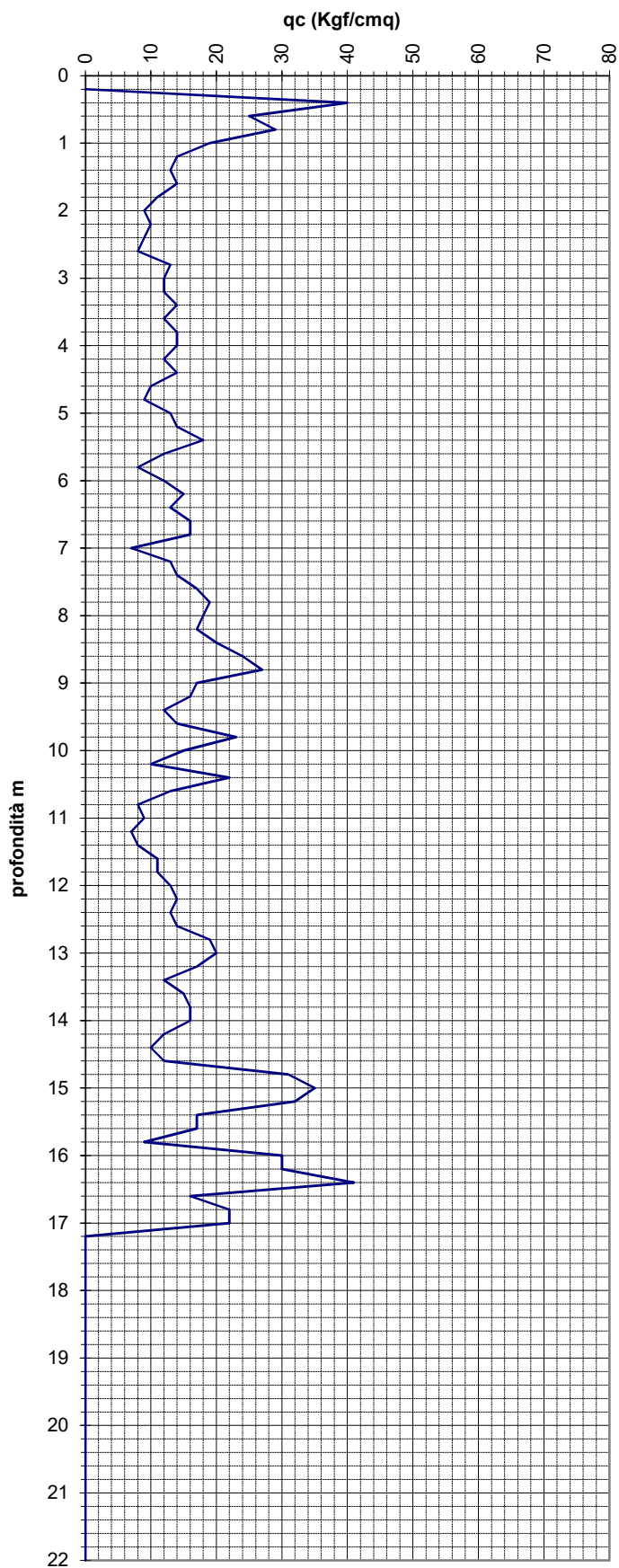
Tav. 7 - Vulnerabilità all'inquinamento
Scala 1:100.000



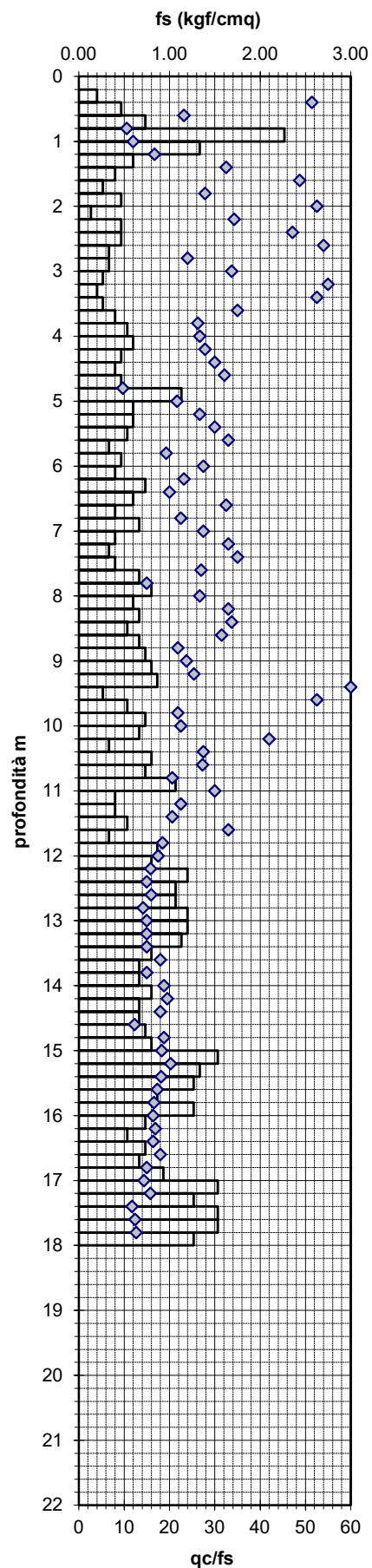
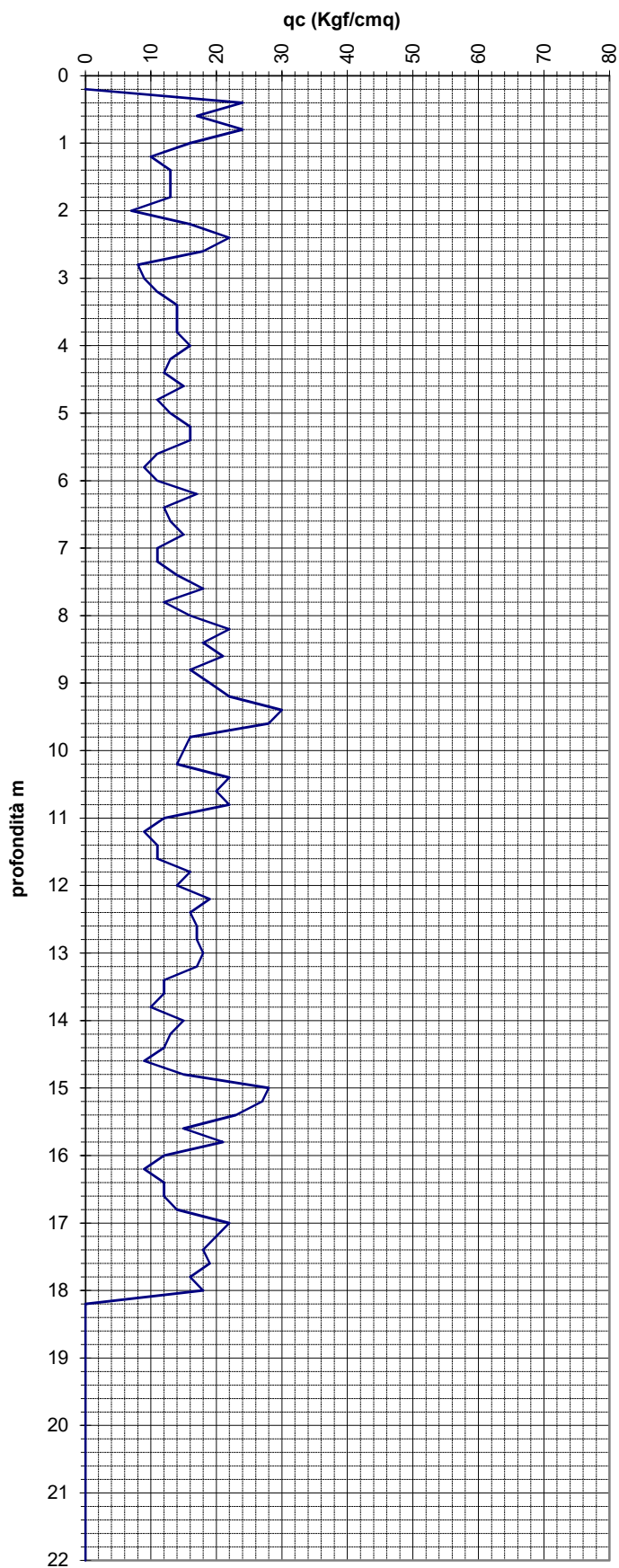
CENTROGEO Correggio (RE) Piazza S. Quirino n° 6 Tel./fax 0522 641001	PROVA PENETROMETRICA C.P.T. N° 1/21	COMMITTENTE: A.MOR
OPERATORE: Dr. S.Gilli - Dr. M. Boccaletti	ATTREZZO: Pen. statico TM16	CANTIERE: Correggio (RE) Via Oratorio
QUOTA: Piano campagna	Profondità falda: -1,95 m pc	DATA: 01/07/2021

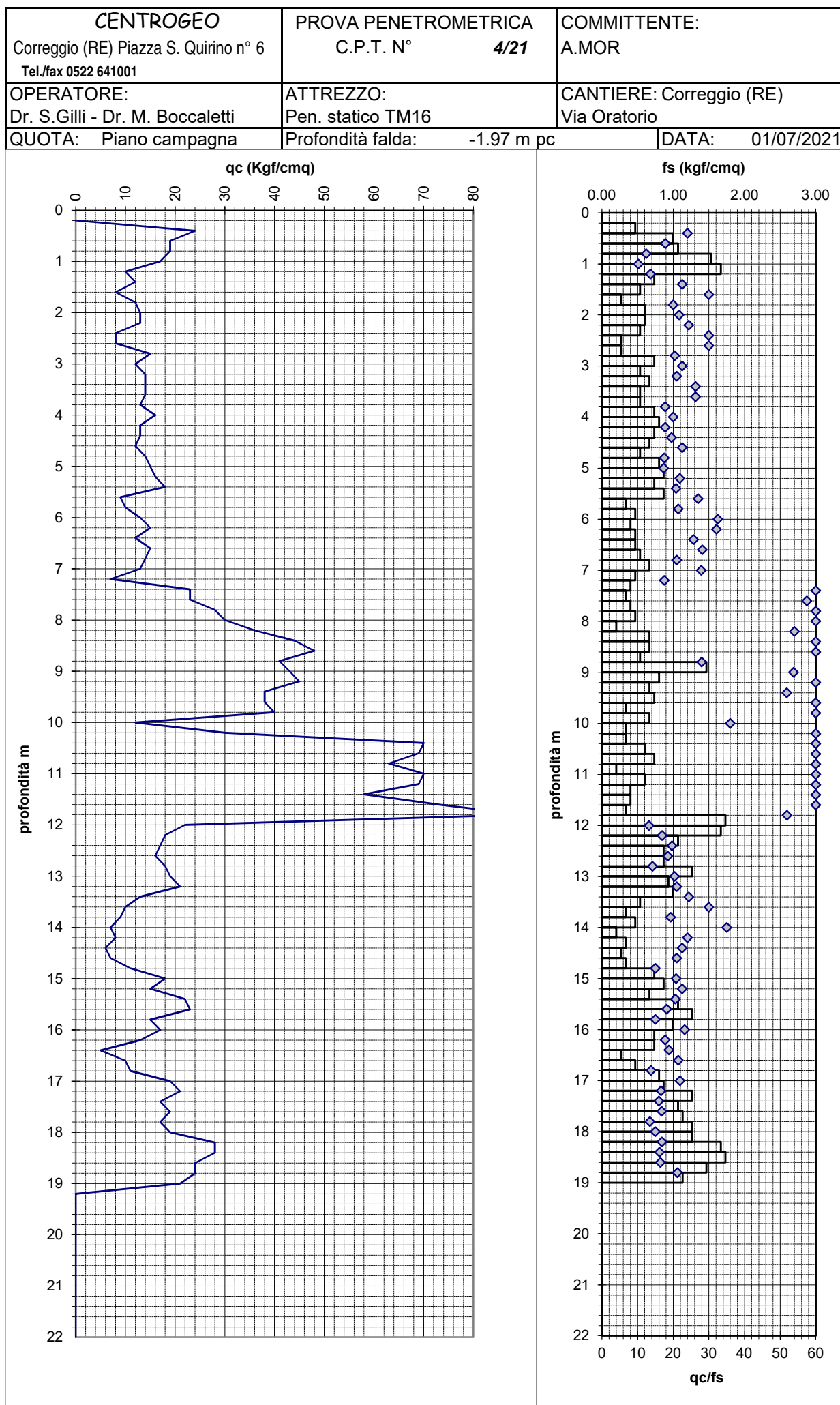


CENTROGEO Correggio (RE) Piazza S. Quirino n° 6 Tel./fax 0522 641001	PROVA PENETROMETRICA C.P.T. N° 2/21	COMMITTENTE: A.MOR
OPERATORE: Dr. S.Gilli - Dr. M. Boccaletti	ATTREZZO: Pen. statico TM16	CANTIERE: Correggio (RE) Via Oratorio
QUOTA: Piano campagna	Profondità falda: -2.05 m pc	DATA: 01/07/2021



CENTROGEO Correggio (RE) Piazza S. Quirino n° 6 Tel./fax 0522 641001	PROVA PENETROMETRICA C.P.T. N° 3/21	COMMITTENTE: A.MOR
OPERATORE: Dr. S.Gilli - Dr. M. Boccaletti	ATTREZZO: Pen. statico TM16	CANTIERE: Correggio (RE) Via Oratorio
QUOTA: Piano campagna	Profondità falda: -2.00 m pc	DATA: 01/07/2021





P.zza S.Quirino, 6 - 42015 Correggio (RE)

INDAGINE MASW/Re.Mi.

LOCALITA': Correggio (RE)

COMMITTENTE: Dessau

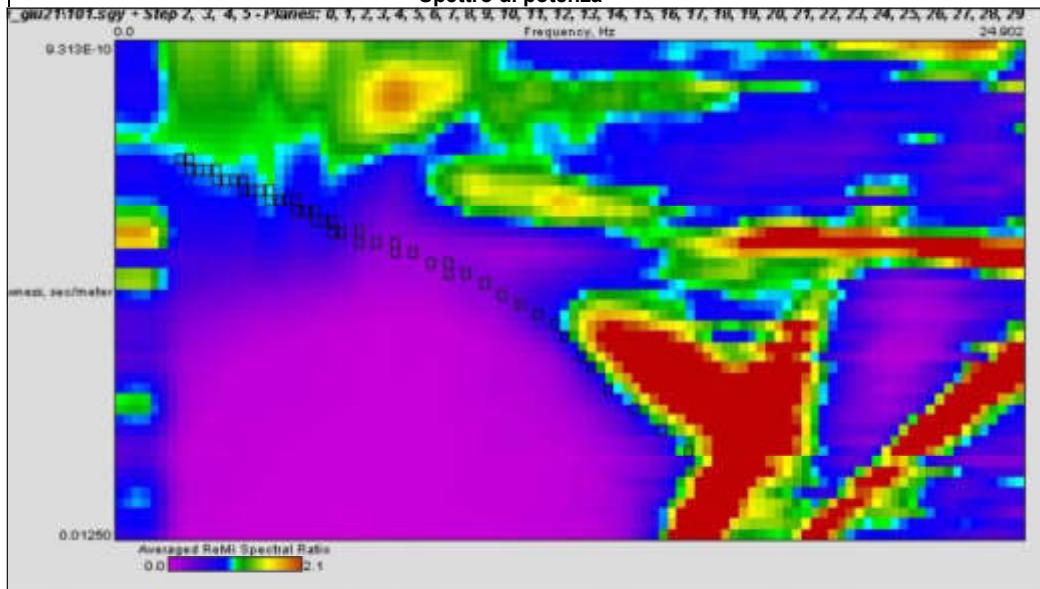
DATA: 02-07-2021

CANTIERE: Via Oratorio

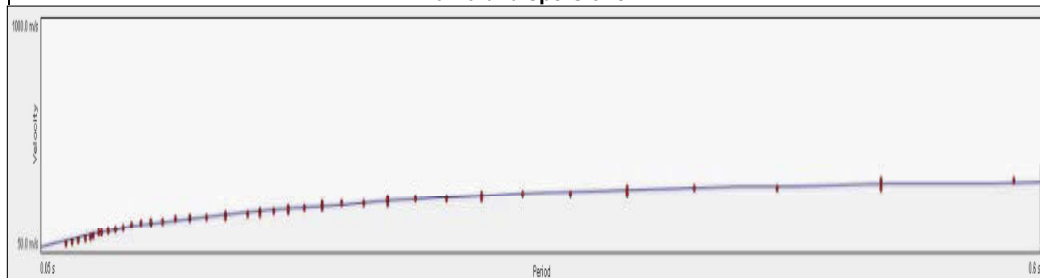
QUOTA: p.c.

OPERATORI: Boccaletti M. - S.Gilli

Spettro di potenza



Curva di dispersione

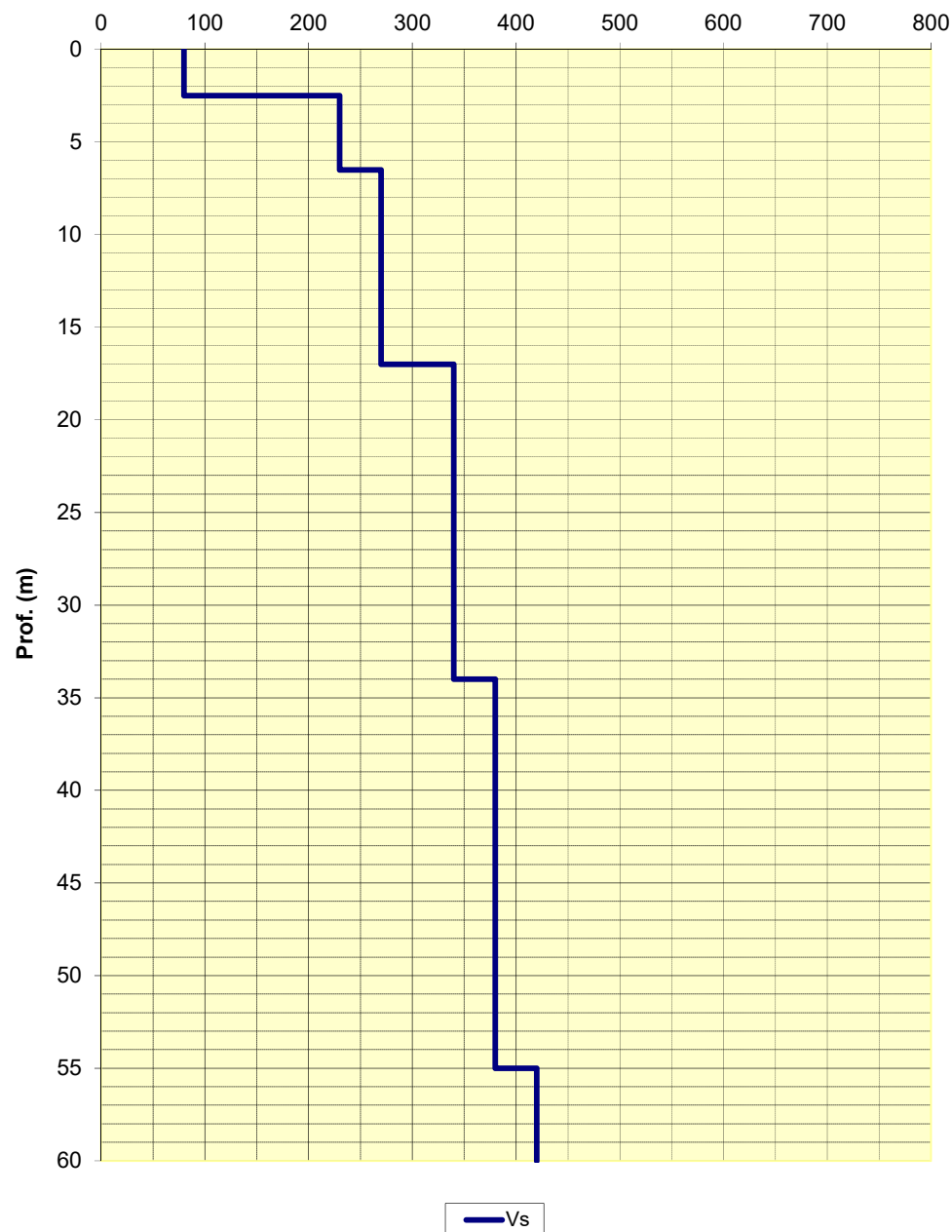


Note:

Modello interpretativo

Strato n°	Prof. (m)		Spess. (m)	Vs (m/s)
1	0	2.5	2.5	80
2	2.5	6.5	4	230
3	6.5	17	10.5	270
4	17	34	17	340
5	34	55	21	380
6	55	INF	INF	420
7				
8				
9				
10				

Modello interpretativo
profilo Vs (m/s)



CENTROGEO

P.zza S.Quirino, 6 - 42015 CORREGGIO

INDAGINE HVSR1

LOCALITA': Correggio (RE)

COMMITTENTE: Dessau

DATA: 02-07-2021

CANTIERE: Via Oratorio

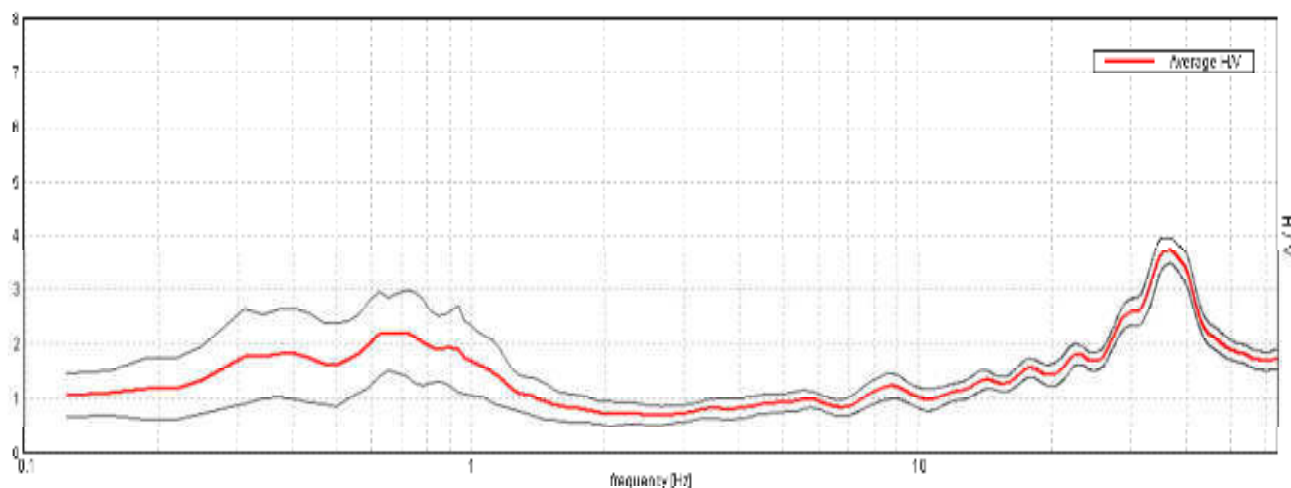
QUOTA: p.c.

OPERATORI: Boccaletti M. - S.Gilli

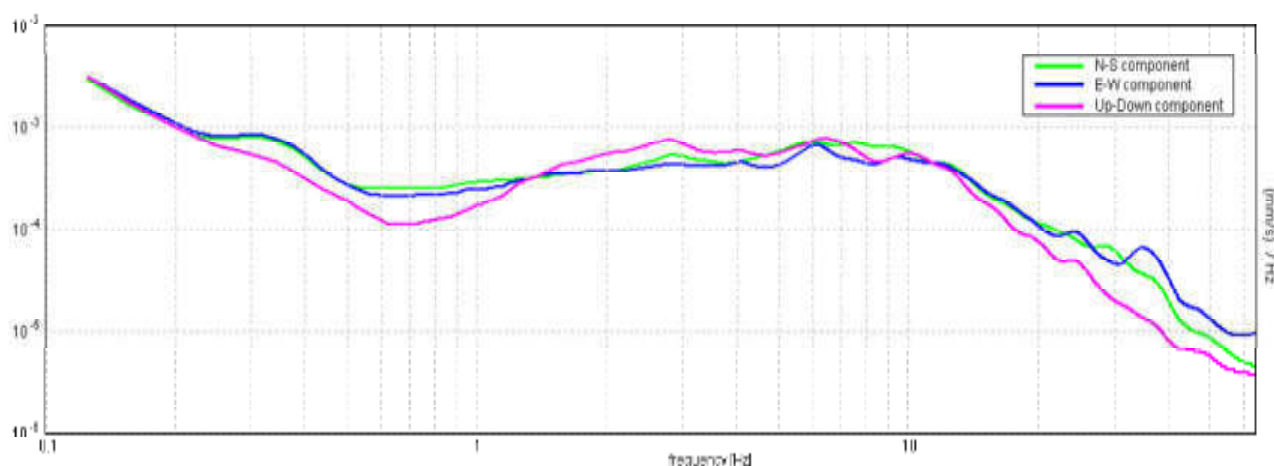
Strumentazione: TROMINO TRZ 0134/01-11

Rapporto spettrale

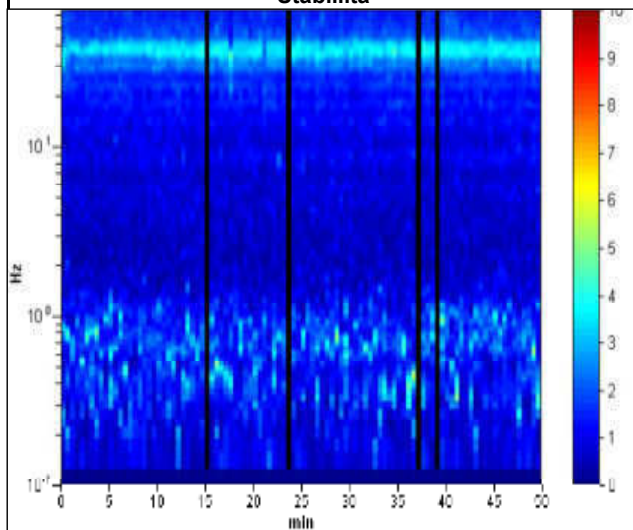
Max: HV at 29.97 ± 8.63 Hz. (in the range 0.4 - 50.0 Hz)



Ampiezza spettrale



Stabilità



Direzionalità

