

MASSIMO dr. MANNINI
GEOLOGIA

Indagini Geofisiche - Geotecniche

Via Caduti di Cefalonia, 9 29017 Fiorenzuola d'Arda (Pc)
Tel. 3452353055
e-mail: info@manninimassimo.it

**Relazione Geologica-Sismica
caratterizzazione sito per sviluppo
Piano di Lottizzazione Incrociata**

in Località "Calendasco (Pc)"

*Iscrizione Albo Geologi Regione Emilia Romagna n° 792
C.f.: MNNMSM68M16F023D P.I.V.A.: 01268290333*

INDICE

1.0 - PREMESSA	2
2.0 - INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO	2
3.0 - GEOLOGIA E MORFOLOGIA	2
4.0 - IDRO (GEO) LOGIA	3
5.0 - VERIFICA IDRAULICA DI ESONDABILITA'	6
6.0 - INDAGINI SVOLTE	7
7.0 - CARATTERISTICHE DEI TERRENI ATTRAVERSATI	8
7.1 - MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DI RIFERIMENTO	11
8.0 - PORTANZA DEI TERRENI DI FONDAZIONE	12
8.1 - STATO LIMITE ULTIMO - SLV	14
9.0 - COMPATIBILITA' SISMICA	16
10.0 - MICROZONAZIONE SISMICA AREALE	22
10.1 - SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	22
10.1.1 - PRIMA FASE - INDIVIDUAZIONE DELLE AREE SOGGETTE AD EFFETTI LOCALI	25
10.1.2 - SECONDA FASE - ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO	26
10.2 - ACCELERAZIONE MASSIMA ORIZZONTALE DI PICCO AL SUOLO	28
11.0 - CONCLUSIONI	29

ALLEGATI:

Relazione Sismica interpretativa
Report penetrometrici

1.0 - PREMESSA

Il presente Studio Geologico nasce dalla necessità di caratterizzazione dal punto di vista geologico e simico un terreno entro cui è in progetto uno sviluppo di un Piano di Lottizzazione, in località Incrociata sud di Calendasco; in accordo con la legislazione attualmente vigente.

PRINCIPALE NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- *D.M. 11-03-1988*
- *D.M. 16-01-1996*
- *O.P.C.M. 3274/2003*
- *D.M. 14-09-2005*
- *Euro Codice 7*
- *Euro Codice 8*
- *N.T.C. '18 e succ.*

2.0 - INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

Il terreno interessato dalla presente indagine si trova nel settore sud-est del territorio di Calendasco, in fregio alla S.P. di Calendasco ad est e la S.C. della Vaghinarda a sud, vedi cartografia allegata. Catastalmente, l'areale si trova associato al Foglio n.25, Mappali n.54, 125 del Comune di Calendasco.

3.0 - GEOLOGIA E MORFOLOGIA

Segue la caratterizzazione geolitologica emersa dalla Carta Geologica a scala 1:10.000 redatta dalla Regione Emilia Romagna.

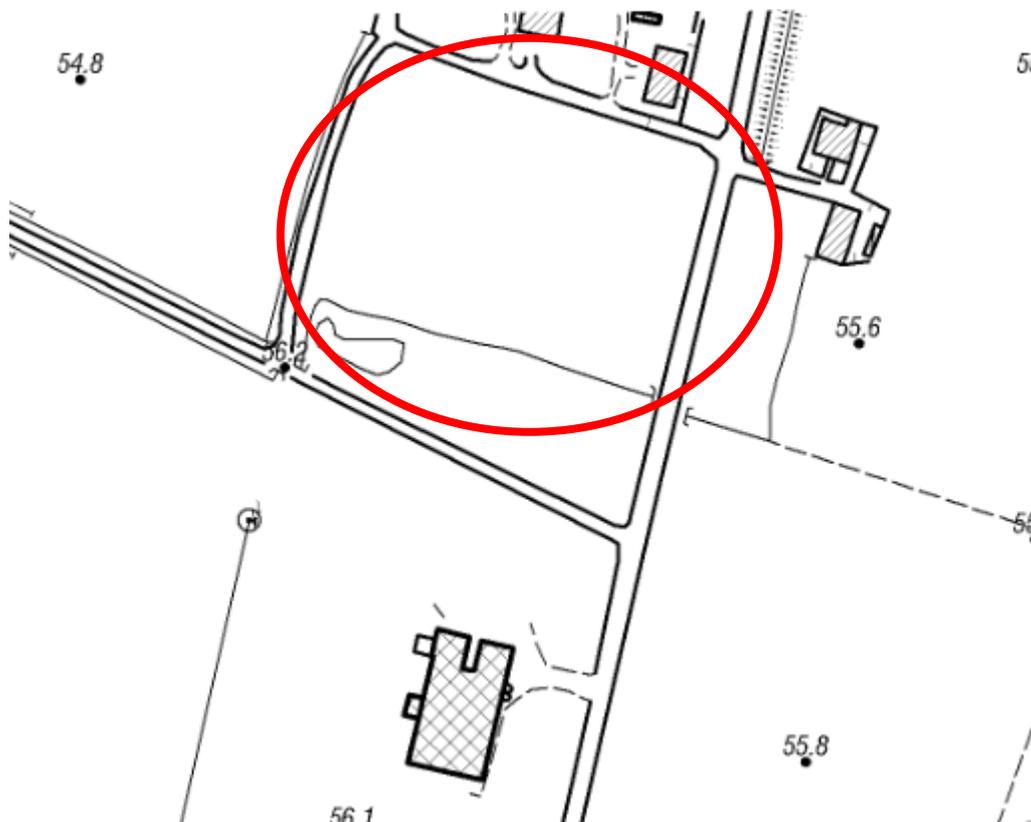
L'unità geologica caratterizzante l'area in oggetto, corrisponde alle "coperture quaternarie" appartenenti al Subsistema di Ravenna, Unità di Modena, tipico di ambiente di pianura, "AES8a": ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua: depositi alluvionali intra vallivi, terrazzati, e di conoide. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm). Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri. *Periodo: Olocene.*

Tale configurazione geologica trova riscontro nello studio geologico estratto dal QC del PSC comunale vigente.

Dalla Tavola N1 "Litologia di superficie e morfologia" estratta dal PSC Comunale vigente, l'areale in oggetto si trova caratterizzato dalla litologia di "tipo 3" nel settore sud-est: sedimenti di natura prevalentemente ghiaiosa con copertura limosa sabbiosa di spessore

compreso tra 2 e 5 metri; mentre nel settore nord-ovest si ha la litologia di "tipo 4": sedimenti di natura prevalentemente ghiaiosa con copertura limosa sabbiosa di spessore superiore a 5.0 metri.

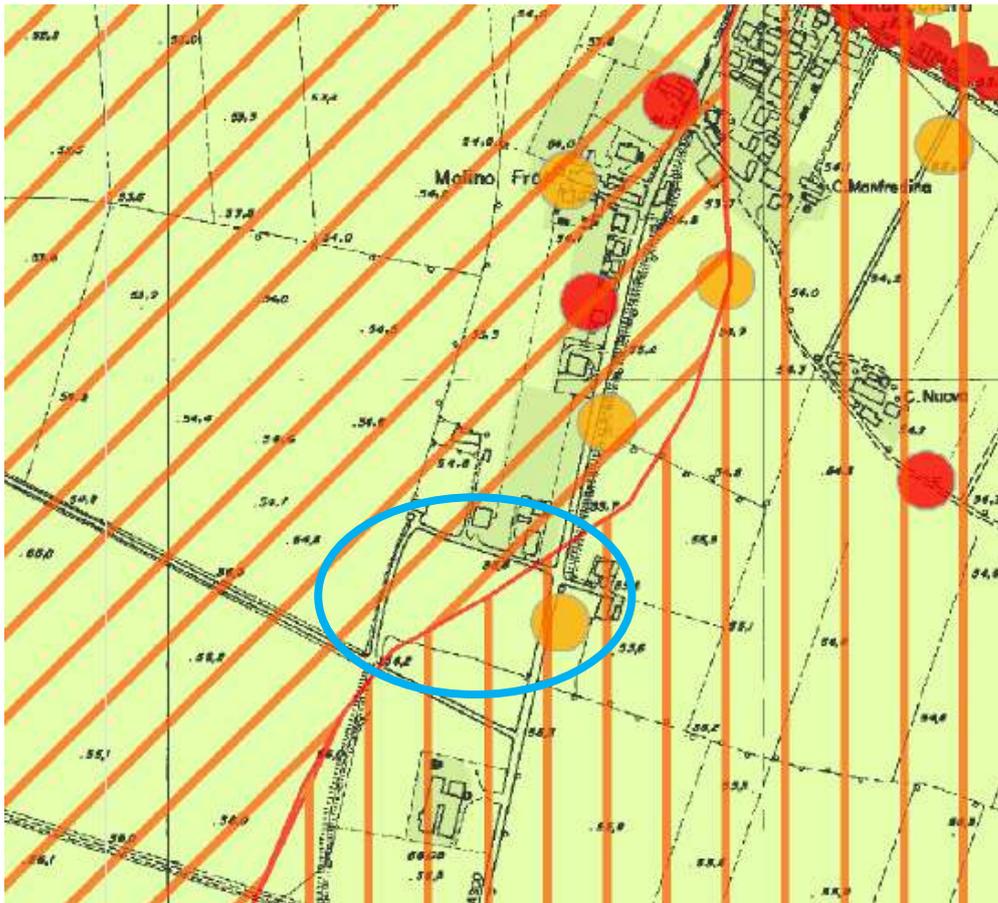
Morfologicamente, l'area in studio si trova in un settore di pianura con pendenze impercettibili orientate verso nord-nord-est. La quota s.l.m. è di circa 55.5 metri, mentre gli unici caratteri morfologici di rilievo in questo settore di pianura, sono associati ai sistemi arginali del Fiume Po e Fiume Trebbia.



Inquadramento territoriale - C.T.R. Sezione 161123.

4.0 – IDRO (GEO) LOGIA

L'idrografia superficiale (regime idrologico) è regimata dalla pendenza del terreno e le principali acque sono raccolte principalmente dal Fiume Trebbia presente ad est e Fiume Po a nord; localmente, rii minori presenti nell'area ed anche canalizzazioni artificiali, che talora ripercorrono vecchi alvei di corsi d'acqua naturali, benché abbiano subito poi nel tempo diversi interventi d'arginatura, correzioni del tracciato e riconfigurazioni degli alvei per opera dell'uomo assumono un ruolo importante nel deflusso superficiale dell'acqua.



Depositi quaternari continentali

- Deposito alluvionale in evoluzione: Ghiaie, talora embriicate, sabbie e limi argillosi di origine fluviale, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale; detrito generalmente incoerente e caotico, costituito da clasti eterometrici ed eterogenei, talora arrotondati, in matrice sabbiosa, allo sbocco di impluvi e valli secondarie. Sono talora fissati da vegetazione.

Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano

- Subsistema di Ravenna: Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi: depositi intravallivi terrazzati e di conoide ghiaiosa. Limi e limi sabbiosi: depositi di interconoide. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 metri. Pleistocene sup. - Olocene; post circa 18.000 anni B.P..
- Unità di Modena: Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua: depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, e di conoide. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm). Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri. Olocene

Litologia di superficie

- TERRENI TIPO 1: sedimenti prevalentemente di natura ghiaiosa e/o sabbiosa
- TERRENI TIPO 2: sedimenti prevalentemente di natura ghiaiosa con copertura limoso sabbiosa di spessore inferiore a 2m
- TERRENI TIPO 3: sedimenti prevalentemente di natura ghiaiosa con copertura limoso sabbiosa di spessore compresa fra 2 e 5m
- TERRENI TIPO 4: sedimenti prevalentemente di natura ghiaiosa con copertura limoso sabbiosa di spessore superiore a 5m

Estratto tavola N1 PSC "Carta litologica di superficie e morfologica".

Sotto il profilo idrogeologico (falde sotterranee), nell'area in esame il sistema acquifero si configura compartimentato con falde confinate, livelli freatici sospesi, discontinui e limitati dai terreni a grana fine coesivi (argille e limi) a permeabilità bassissima. Solamente in corrispondenza degli arricchimenti sabbiosi e maggiormente in quelli ghiaiosi permeabili, si attesta la prima vera e propria falda.

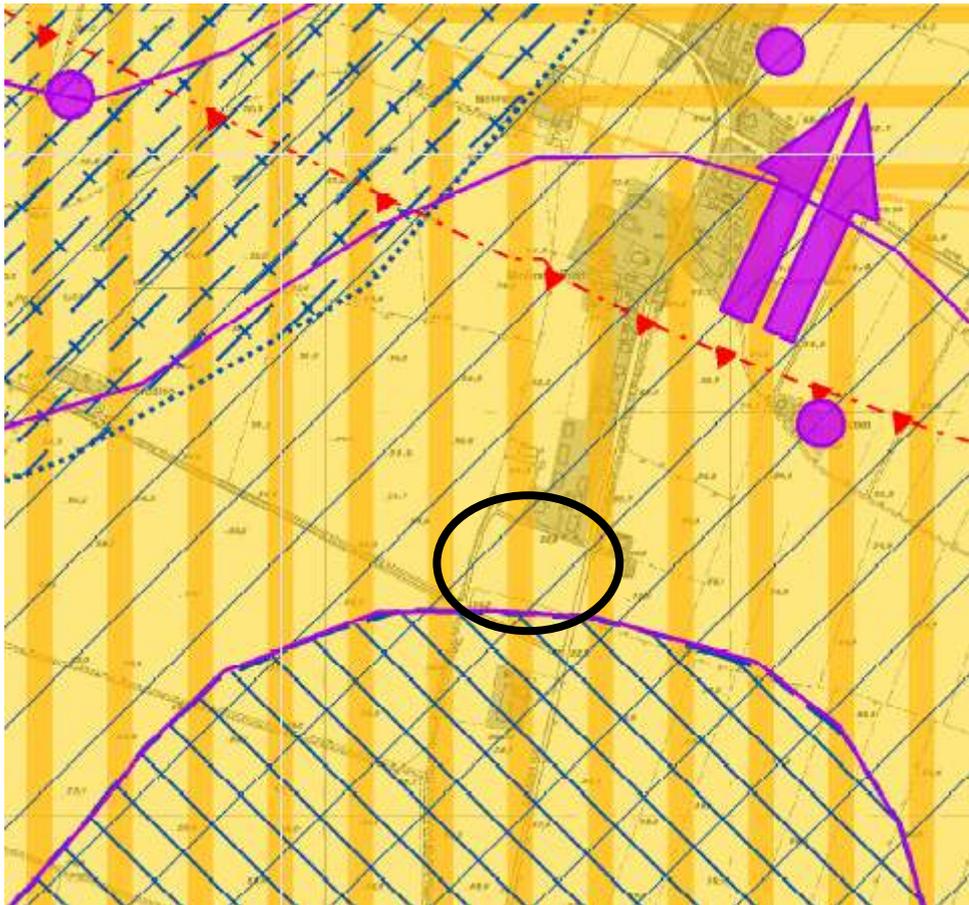
Localmente, si hanno livelli freatici lenticolari a carattere discontinuo, stagionale, sospesi rispetto all'acquifero principale, attestati nelle intercalazioni più grossolane dei depositi argillosi limosi superficiali. Le oscillazioni che li caratterizzano, sono associate allo stato idrometrico della rete idrografica superficiale, ed alle infiltrazioni efficaci delle acque meteoriche dal piano campagna.

Variazioni del livello delle falde superficiali, possono essere indotte anche dal regime pluviometrico incidente direttamente sul terreno, che porta ad un'escursione media annua che può oscillare di qualche metro entro le litologie ghiaiose sabbiose permeabili rispetto alla formazione argillosa limosa superficiale. Anche il carico idraulico dei corsi d'acqua può portare ad oscillazione del livello freatico superficiale.

L'antropizzazione dell'area ha portato un apporto regolatore sia ai deflussi idrici superficiali, che a quelli sotterranei.

Dalla Tavola N2 estratta dal Quadro Conoscitivo del PSC comunale adottato "Idrogeologica", l'area oggetto dell'intervento è associato alla linea isopiezometrica dei 53.0 metri s.l.m., pertanto, tenendo conto della quota del piano campagna di circa 55.5 metri s.l.m. si ha una profondità del primo acquifero di circa 2.5 metri entro le litologie maggiormente sabbiose e ghiaiose permeabili. Tuttavia sono possibili presenze di falde pensili e/o risalite del livello freatico naturale a profondità prossime il p.c. La classe di soggiacenza della prima falda è tra 2 e 5 metri.

Dalle prove penetrometriche eseguite è emerso un livello freatico a profondità che raggiungono i 1.50 metri dal p.c.



Soggiacenza delle falda

-  < di 2 metri
-  da 2 a 5 metri
-  > di 5 metri

Estratto tavola N2 PSC "Idrogeologia e vulnerabilità degli acquiferi"

5.0 - VERIFICA IDRAULICA DI ESONDABILITA'

Il terreno oggetto del presente studio geologico è posto ad una quota di circa 55.5 s.l.m. ed è separato dai corsi d'acqua principale: ad est il Fiume Trebbia a circa 2.400 metri ed a nord-est il Fiume Po a circa 2.000 metri, intramezzato dai sistemi arginali primari dello stesso, costituendo un fattore di sicurezza nei confronti di eventuali esondazioni.

Nella cartografia del **Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale** (PTCP 2007) - Tavola A1-2 e B1-f, l'area si trova esternamente a qualunque fascia di tutela fluviale, assetto confermato anche

dall'inquadramento del Piano Assetto Idrogeologico (PAI), sezione 161-2.

E' stato approvato lo studio del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni PGRA (La Direttiva Europea 2007/60/CE, recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010, ha dato avvio ad una nuova fase della politica nazionale per la gestione del rischio di alluvioni, che il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) deve attuare. Scopo principale del PGRA è la riduzione delle potenziali conseguenze negative su: • salute umana; • attività economiche; • ambiente; • patrimonio culturale. A tal fine il PGRA, introdotto dalla Direttiva per ogni distretto idrografico, orienta la sua azione sulle aree a rischio più significativo, organizzate e gerarchizzate rispetto all'insieme di tutte le aree a rischio e definisce gli obiettivi di sicurezza e le priorità di intervento a scala distrettuale, in modo concertato fra tutte le Amministrazioni e gli Enti gestori, con la partecipazione dei portatori di interesse e il coinvolgimento del pubblico in generale. In considerazione della data di ultimazione e pubblicazione del PGRA fissata dalla Direttiva europea 2007/60 per il 22 dicembre 2015, sono state sviluppate – coerentemente all'ordinamento nazionale (art. 66, comma 7, D.Lgs.152/06) – le diverse fasi della procedura di adozione e approvazione del PGRA), **con approvazione del 03 marzo 2016 con delibera n.02/2016 Autorità di Bacino del Fiume Po.**

Lo stesso piano definisce, in linea generale per l'intero bacino del fiume Po, la strategia per la riduzione del rischio di alluvioni, la tutela della vita umana e del patrimonio economico, culturale ed ambientale esposto a tale rischio incardinandola su 5 obiettivi operativi, fra i quali sono compresi il miglioramento delle conoscenze riguardanti la pericolosità ed il rischio di alluvioni e la riduzione dell'esposizione al rischio che si dovrà raggiungere anche con azioni volte ad assicurare maggior spazio ai fiumi.

L'areale in oggetto è ricompreso nella classe di Rischio R1 (moderato o nullo) per quanto concerne il reticolo secondario di pianura, mentre la mappa della pericolosità idraulica, associa a tale settore una classe P2-M (alluvioni poco frequenti, tempi di ritorno da 100 a 200 anni, media probabilità). Per quanto riguarda il reticolo principale, l'areale non risulta associato a nessuna classificazione idraulica di rischio e pericolosità.

Anche dalla Tavola I01 "Carta delle pericolosità idrauliche" estratta dal PSC Comunale, questo settore è associato alla classe P2-M con alluvioni poco frequenti, con riferimento al reticolo secondario di pianura.

Dalla Tavola I02 "arta delle criticità idrauliche", emerge una classe C1 lieve.

6.0 - INDAGINI SVOLTE

Al fine d'ottenere un inquadramento geologico-geotecnico dei terreni che interessano questo settore, sono state eseguite due prove penetrometriche statiche in sito, a confermare le numerose

indicazioni litogeotecniche emerse da differenti prove penetrometriche e pozzi idrici eseguite in lotti limitrofi: fonte dati Banca dati indagini geognostiche Regione Emilia-Romagna e indagini eseguite dallo scrivente.

Dal punto di vista sismico, è stato eseguito uno stendimento sismico con tecnica passiva tomografica, per la delineazione delle Vs30eq di sito. Segue una relazione sismica interpretativa.

7.0 - CARATTERISTICHE DEI TERRENI ATTRAVERSATI

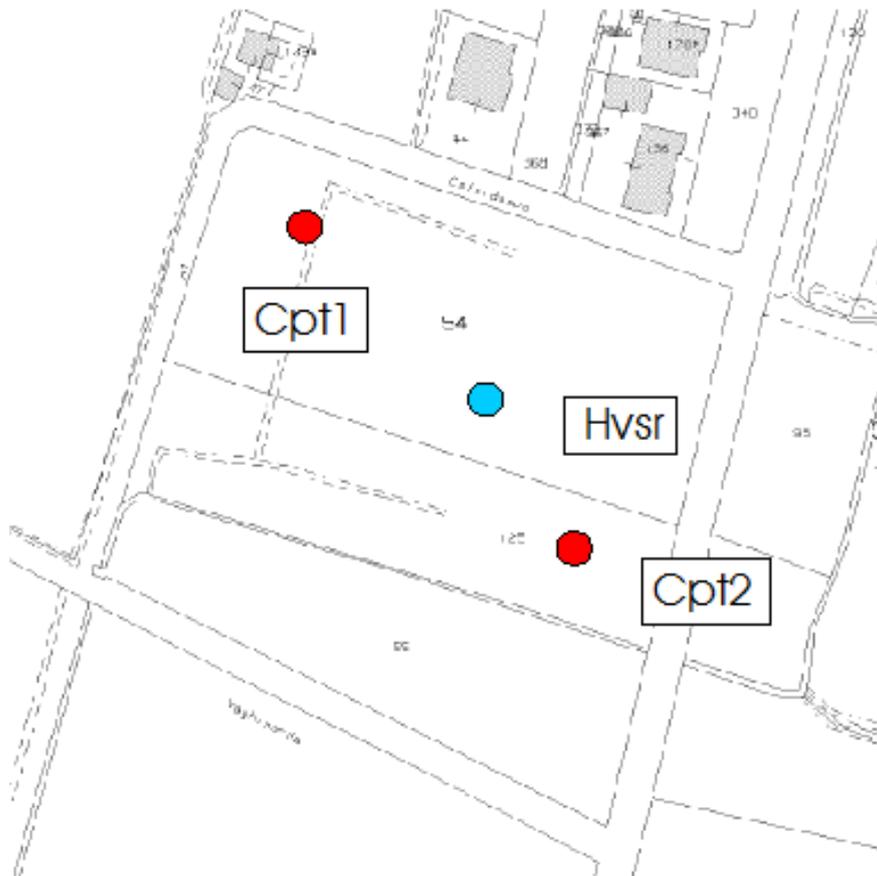
Di seguito sono definiti i parametri geotecnici significativi medi degli orizzonti litologici.

Dall'analisi dei risultati è stato possibile risalire con una certa approssimazione alla natura litologica dei terreni attraversati, utilizzando come discriminante il metodo suggerito da Schmertmann (1978); quest'ultimo considera come indicativo della litologia il rapporto fra la resistenza alla punta R_p ed il rapporto F_r (figura seguente).

Tuttavia, si rammenta che, sebbene l'indagine penetrometrica tipo CPT fornisca dati geotecnici attendibili, le informazioni sulla natura litologica e granulometrica dei terreni derivano sostanzialmente da correlazioni del tipo empirico. Nell'interpretazione dei risultati, le prove penetrometriche sono state assimilate a prove rapide in condizioni di drenaggio impedito (condizioni non drenate) e, nella definizione del comportamento geotecnico, è stata adottata una distinzione fondamentale fra terreni incoerenti (resistenza al taglio caratterizzata dal solo angolo di attrito) e terreni fini (resistenza al taglio caratterizzata soprattutto dall'esistenza di legami coesivi).

Per quanto concerne la definizione dei parametri geotecnici, utilizzando le più note e diffuse correlazioni basate sui dati SCPT, si è proceduto al calcolo di:

- Peso di volume specifico (γ), coesione non drenata (C_u) e modulo edometrico (E_d) per i terreni coesivi.
- Peso di volume specifico (γ), angolo di attrito interno di picco (ϕ_p), densità relativa (D_r) e modulo di deformazione elastico (Young)/edometrico (E_d) per i terreni incoerenti.



Ubicazione sondaggi geognostici: Cpt: prove penetrometriche statiche; Hvsr: indagine sismica passiva

COESIONE NON DRENATA - c_u .

E' stato utilizzato il metodo empirico proposto da Lunne e Eide:

Coazione Non Drenata

Coazione non drenata (Lunne & Eide)

$$c_u \text{ (kg/cm}^2\text{)} = (R_p - \sigma'_{v0}) / (20.7 - 0.18 \text{ IP})$$

dove IP è l'indice di plasticità media dello strato

MODULO EDOMETRICO - Ed

Modulo Edometrico-Confinato

Mitchell - Gardner (1975) Mo (E_{ed}) per limi e argille.

$$E_{ed} \text{ (kg/cm}^2\text{)} = \alpha_m q_c$$

dove α_m è funzione di argille di bassa plasticità (CL) e limi di bassa plasticità (ML)

Metodo generale del modulo edometrico.

$$E_{ed} \text{ (kg/cm}^2\text{)} = R_p (- 2.3 R_p + 6.61)$$

Buisman correlazione valida per **limi e argille di media plasticità – Alluvioni attuali argille plastiche – suoli organici (W 90-130)**

Buisman e Sanglerat valida per litotipi **argille compatte**

PESO DI VOLUME NATURALE - γ_n .

Peso di Volume Gamma

Peso di volume terreni coesivi (t/m^3) (Meyerhof)

$$\gamma = 1.6 + 0.168 \log (c_u) + 0.373$$

Peso di volume saturo terreni coesivi (t/m^3) (Meyerhof)

$$\gamma_s = \gamma + 0.08$$

ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO - φ

Per stimare questo parametro sono stati utilizzati differenti metodi in cui l'angolo di attrito è calcolato in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace, successivamente confrontati fra loro; in particolare:

Metodo di CAQUOT: $\varphi = 9.8 + 4.96 \cdot \ln(qc/\sigma'v)$

Metodo di KOPPEJAN: $\varphi = 5.8 + 5.21 \cdot \ln(qc/\sigma'v)$

Metodo di DE BEER: $\varphi = 5.9 + 4.76 \cdot \ln(qc/\sigma'v)$

DENSITÀ RELATIVA - DR

Definisce il grado di addensamento dei terreni attraversati; sono stati utilizzati i seguenti metodi:

HARMAN: questa correlazione è valida per tutti i tipi di sabbia e prevede di valutare la densità relativa in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace.

$$Dr = 34.36 \cdot \ln(qc/12.3 \cdot \sigma'v^{0.7})$$

In cui:

$\sigma'v$: tensione verticale efficace

qc : resistenza alla punta (correlata)

Lancellotta (1983): $Dr = 1.292 + 0.268 \times \ln(qc/\sigma v^{0.5})$

MODULO DI DEFORMAZIONE - E

Definisce il valore del modulo di Young elastico utilizzando la seguente correlazione empirica di Schmertmann:

$$E \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 2,5 * R_p$$

Una ulteriore formula di calcolo che viene utilizzata per il calcolo del modulo edometrico (assimilando un confinamento laterale impedito anche per terreni granulari, con alta densità relativa e qc):

$$E_d \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 0.03 \times q_c + 11.7 \times \sigma + 0.79 \times D_r$$

7.1 - MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DI RIFERIMENTO

Dalle prove penetrometriche eseguite emerge una successione lito-stratigrafica costituita da una litologia di copertura pedogenizzata con spessori di circa 0.60-0.80 metri dall'attuale p.c. (**Orizzonte O**), seguito da una litologia limosa argillosa (**Orizzonte A**) fino a profondità di circa 3.80 metri nel settore nord-ovest (Cpt1) e di 2.80 metri nel settore sud-est (Cpt2), oltre la quale si ha un orizzonte limoso con ghiaietto (**Orizzonte B**). A partire da una profondità di 4.60 metri si è rinvenuta ghiaia in matrice limosa-sabbiosa (**Orizzonte C**) fino alle massime profondità indagate, oltre le quali, difficoltà di infissione delle aste penetrometriche non hanno permesso il proseguimento della prova stessa.

L'Orizzonte A argilloso limoso delineato nel settore sud-est, presenta caratteristiche geotecniche migliori rispetto alla medesima litologia del settore nord-ovest. Questa condizione viene confermata anche dall'inquadramento delle PSC Comunale (vedi tavola di Fattibilità geologica alle trasformazioni e tavola litologica di superficie e morfologica).

Per la caratterizzazione geotecnica del terreno, segue uno schema, in cui sono riassunti i principali parametri geotecnici nominali derivati direttamente dalla prova penetrometrica alle varie profondità.

Orizzonte O: copertura pedogenizzata

Profondità: dal p.c. a 0.60-0.80 metri circa
(Coesione non drenata) $C_u = 1.00$ [Kg/cm²]
(Peso di Volume) $\gamma = 1.90$ [Ton/m³]
(Modulo Edometrico) $E = 65$ [Kg/cm²]

Orizzonte A: limo argilloso

Profondità: da 0.60-0.80 fino a 3.80 metri nel settore nord-ovest (Cpt1)

(Coesione non drenata) $C_u = 1.30$ [Kg/cm²]

(Peso di Volume) $\gamma = 2.00$ [Ton/m³]

(Modulo Edometrico) $E = 85$ [Kg/cm²]

Orizzonte A: limo argilloso

Profondità: da 0.60-0.80 fino a 2.80 metri nel settore sud-est (Cpt2)

(Coesione non drenata) $C_u = 1.70$ [Kg/cm²]

(Peso di Volume) $\gamma = 2.00$ [Ton/m³]

(Modulo Edometrico) $E = 100$ [Kg/cm²]

Orizzonte B: limo e ghiaietto

Profondità: da 2.80/3.80 fino a 4.60 metri

(Angolo di attrito di picco) $\phi = 38^\circ$

(Densità relativa) $D_r = 80\%$

(Peso di Volume) $\gamma = 2.00$ [Ton/m³]

(Modulo di Young Elastico) $E' = 320$ [Kg/cm²]

Orizzonte C: ghiaia con sabbia limosa

Profondità: da 4.60 fino alle massime profondità

(Angolo di attrito di picco) $\phi = 40^\circ$

(Densità relativa) $D_r = 90\%$

(Peso di Volume) $\gamma = 2.10$ [Ton/m³]

(Modulo di Young Elastico) $E' = 555$ [Kg/cm²]

8.0 - PORTANZA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Per la determinazione dei carichi ammissibili dei terreni in rapporto al tipologia di struttura fondazionale e dei sovraccarichi strutturali, è stata seguita la metodologia progettuale, alla luce delle normative attualmente vigenti in materia (NTC '08 - D.M. 14.01.2008 e successivo D.M. 2018).

Le NTC '18 hanno introdotto un sisma di progetto non per ogni comune come da NTC05, ma per ogni punto del territorio, (punti di ancoraggio nodali di un reticolo di 4 Km di lato). Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. I caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale a campo aperto sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le

forme spettrali per la generica Pvr probabilità di superamento nel periodo di riferimento Tr:

ag = accelerazione massima al sito di riferimento;

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

TC* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

La determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, che si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

I caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale, sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle grandezze fondamentali, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica Pvr probabilità di superamento nel periodo di riferimento in riferimento ai vari stati limite.

Seguono le caratteristiche del sito in esame in funzione delle coordinate geografiche di riferimento baricentriche, ed i relativi parametri sismici, ipotizzati sulla struttura e del sito in oggetto: categoria litologica e topografica. E' stata ipotizzata una classe lito-sismica di tipo B alla luce delle $V_{s30eq} = 425$ m/s emersa dall'indagine sismica passiva eseguita in sito, e classe topografica di tipo T1 per le modeste pendenze che caratterizzano questo settore di pianura. Si rimane a disposizione di qualunque variazione che il tecnico progettista ritenesse utile.

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1
Operatività (SLO):	
Probabilità di superamento:	81 %
Tr:	30 [anni]
ag:	0,030 g
Fo:	2,528
Tc*:	0,202 [s]
Danno (SLD):	
Probabilità di superamento:	63 %
Tr:	50 [anni]
ag:	0,037 g
Fo:	2,569
Tc*:	0,220 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):
Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,090 g
Fo: 2,501
Tc*: 0,286 [s]
Prevenzione dal collasso (SLC):
Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,117 g
Fo: 2,480
Tc*: 0,293 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:
Ss: 1,200
Cc: 1,510
St: 1,000
Kh: 0,007
Kv: 0,004
Amax: 0,357
Beta: 0,200
SLD:
Ss: 1,200
Cc: 1,490
St: 1,000
Kh: 0,009
Kv: 0,004
Amax: 0,436
Beta: 0,200
SLV:
Ss: 1,200
Cc: 1,410
St: 1,000
Kh: 0,022
Kv: 0,011
Amax: 1,055
Beta: 0,200
SLC:
Ss: 1,200
Cc: 1,410
St: 1,000
Kh: 0,034
Kv: 0,017
Amax: 1,377
Beta: 0,240

8.1 - STATO LIMITE ULTIMO - SLV

Per il calcolo dello stato limite ultimo (SLU), viene preso in considerazione lo Stato limite di Salvaguardia della Vita (SLV) con i relativi parametri sismici caratteristici.

Un ulteriore step di calcolo intermedio, è la determinazione dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto del volume di terreno significativo al di sotto del piano fondazionale, funzione della tipologia di fondazione stessa e della successione litostratigrafica con eventuali presenze di disomogeneità, sia verticali, che areali, a partire dai valori nominali dei parametri geotecnica di riferimento del terreno in sito.

Considerando la profondità significativa, ai fini delle definizioni della superficie di rottura al di sotto della fondazione di progetto, sono stati ricavati i relativi parametri geotecnici caratteristici e di progetto entro il terreno per la soluzione fondazionale, in aggiunta alla profondità di incasso della fondazione dal p.c. (in accordo con la profondità cuneo di rottura pari a $1-2xB$ fondazione a seconda di fondazioni e del bulbo di pressione per la determinazione dei cedimenti assoluti), in riferimento alla coesione non drenata ed angolo di attrito derivato dalle prove penetrometriche statiche realizzate, considerando il breve termine, per il volume di terreno significativo per la fondazione di progetto. Inoltre, nell'elaborazione statistica dei dati geotecnici, ai fini della definizione del volume significativo, una fondazione continua è assimilata ad una piccola superficie e risente maggiormente delle variazioni dei valori geotecnici stessi, assimilando il valore di progetto al valore minimo della serie, mentre per grandi superfici (fondazioni a platea), si può avere compensazione dei valori geotecnici, pertanto il valore caratteristico della serie, si avvicina maggiormente al valore medio della serie stessa.

Di seguito vengono calcolati i relativi valori geotecnici caratteristici, a cui occorre applicare i relativi parametri correttivi secondo i differenti possibili approcci di progetto, per ricavare i parametri di progetto. I parametri geotecnici sono differenti in caso di compensazione o meno entro il volume significativo, associato a fondazione superficiale continua (valore tendente al valore minimo nella serie di riferimento) od a platea (valore tendente al valore medio della serie di riferimento, maggiore del primo).

Orizzonte O: copertura pedogenizzata

Profondità: dal p.c. a 0.60-0.80 metri circa
(Coesione non drenata) $C_{uk} = 0.70-0.88$ [Kg/cm²]
(Peso di Volume) $\gamma = 1.90$ [Ton/m³]
(Modulo Edometrico) $E_k = 50-58$ [Kg/cm²]

Orizzonte A: limo argilloso

Profondità: da 0.60-0.80 fino a 3.80 metri nel settore nord-ovest (Cpt1)
(Coesione non drenata) $C_{uk} = 1.00-1.15$ [Kg/cm²]

(Peso di Volume) $\gamma = 2.00$ [Ton/m³]
(Modulo Edometrico) $E_k = 70-78$ [Kg/cm²]

Orizzonte A: limo argilloso

Profondità: da 0.60-0.80 fino a 2.80 metri nel settore sud-est (Cpt2)

(Coesione non drenata) $C_{uk} = 1.15-1.38$ [Kg/cm²]

(Peso di Volume) $\gamma = 2.00$ [Ton/m³]

(Modulo Edometrico) $E_k = 78-88$ [Kg/cm²]

Orizzonte B: limo e ghiaietto

Profondità: da 2.80/3.80 fino a 4.60 metri

(Angolo di attrito di picco) $\phi_k = 34^\circ-36^\circ$

(Densità relativa) $D_r = 80\%$

(Peso di Volume) $\gamma = 2.00$ [Ton/m³]

(Modulo di Young Elastico) $E'_k = 225-280$ [Kg/cm²]

Orizzonte C: ghiaia con sabbia limosa

Profondità: da 4.60 fino alle massime profondità

(Angolo di attrito di picco) $\phi_k = 35^\circ-38^\circ$

(Densità relativa) $D_r = 90\%$

(Peso di Volume) $\gamma = 2.10$ [Ton/m³]

(Modulo di Young Elastico) $E'_k = 385-470$ [Kg/cm²]

9.0 - COMPATIBILITA' SISMICA

Per la verifica della compatibilità sismica dell'area all'intervento in progetto è stato realizzato un rilievo sismico passivo con Tromografo sul sito, che conferma i dati derivanti da sondaggi penetrometrici, pozzi idrici presenti in questo settore spinti a profondità ben superiori i 30.0 metri dal p.c. (fonte dati Regione Emilia-Romagna banca dati geognostici e pozzi idrici), e dello studio geologico sismico annesso al Quadro Conoscitivo del P.S.C. adottato del Comune di Calendasco. Segue al stratigrafia di pozzi censito nei settori limitrofi.

Pozzo P647 posto a sud

0.0-2.0: limo e argilla

2.0-40.0: ghiaia, limo argilla e sabbia

Pozzo P605 posto a nord-est

0.0-1.5: argilla

1.5-29.0: ghiaia

CARATTERI LITOLOGICI AREA D'INTERVENTO

Il primo orizzonte litologico, è di natura argillosa limosa, seguito da arricchimenti ghiaiosi in matrice limosa. In profondità si ha ghiaia e limo e argilla fino ad oltre i 30.0 metri di profondità. Queste alluvioni non sono caratterizzate da arricchimenti sabbiosi saturi, che andrebbero ad amplificare l'eventuale processo di liquefazione dello scheletro granulare dei terreni stessi, in caso di scotimento sismico.

A tale situazione stratigrafica corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo B "depositi di sabbie o ghiaie molto addensate, o argille molto consistenti con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 e 800 m/s". L'indagine sismica eseguita dallo scrivente ha delineato una Vs30 = 425 m/s in accordo con quanto espresso.

REQUISITI PER LA SCELTA DEL PIANO DI POSA FONDAZIONALE

Il sito di fondazione deve essere scelto in modo che, in caso d'evento sismico, sia minimo il pericolo di collasso, instabilità, liquefazione, nonché d'eccessivo addensamento terreno.

L'area in oggetto non si trova in corrispondenza di faglie tettoniche attive (condizioni tettoniche), le condizioni morfologiche in sito sono considerate nei confronti dei differenti parametri di amplificazione morfologica (St) che possono amplificare i pericoli derivanti da un eventuale evento sismico "per condizioni morfologiche".

Per terreni sub-pianeggianti o con pendii con angoli fino a 15°, si ha un parametro di correzione topografica St pari a 1.00 (T1), ne risulta, pertanto modificata l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito.

$$a_{max} = S_s * S_t * a_g$$

Il moto sismico in superficie nel sito, è definito dall'amax attesa e da una forma spettrale ancorata ad essa.

Dalle indagini geognostiche eseguite sul sito e dalla campagna di rilievi sismici effettuati in sito, a confermare indagini eseguite in aree limitrofe e stratigrafie emerse da pozzi idrici, l'area è inquadrata con un terreno appartenente alla categoria sismica di tipo "B", a tale categoria viene associato un parametro litologico Ss = 1.20.

Ne deriva che l'accelerazione massima al sito = 1.20 * 1.00 * ag

dove a_g = accelerazione massima orizzontale su sito di riferimento (suolo rigido con terreno di tipo A, pianeggiante T1 e free field cioè campo aperto privo di strutture).

La correzione eseguita per la determinazione dell' a_{max} sul sito permette di considerare le condizioni litologiche e morfologiche che possono alterare l'arrivo dell'onda sismica in sito, sempre in riferimento allo stato limite di riferimento.

LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Dall'analisi delle mappe interattive di pericolosità sismica estratte dal sito dell'INGV si estrae per l'area in oggetto una Magnitudo M_w massimale pari a 6.14 per la zona sismogenetica di appartenenza.

La suscettibilità alla liquefazione dei sedimenti alluvionali che caratterizzano il sito in oggetto rappresenta un parametro molto importante da valutare nelle analisi di pericolosità sismica soprattutto a scala locale.

Per liquefazione si intende l'annullamento di resistenza al taglio di terreni granulari saturi sotto sollecitazioni di taglio cicliche ed in conseguenza delle quali il sedimento raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso. Il meccanismo di liquefazione è governato da molti fattori e tra questi i principali sono:

- caratteristiche dell'impulso sismico; (magnitudo $M > 5,0$);
- densità relativi ν_a ($DR < 50 \div 60\%$);
- pressioni di confinamento (non sono riportati casi in letteratura di liquefazione in strati granulari profondi oltre 15-20 metri);
- fuso granulometrico;
- falda superficiale.

In condizioni di sisma vi possono anche essere effetti di "riordino" dei sedimenti, con possibilità di cedimenti significativi che possono coinvolgere sia i depositi granulari poco addensati e recenti (olocenici), sia i sedimenti fini poco coesivi.

Nell'ultimo decennio sono state elaborate procedure di stima delle potenziali deformazioni post-sisma anche nei sedimenti fini (limi e argille a comportamento "non drenato") provocate da perdite di resistenza. Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine "cyclic softening" (Idriss & Boulanger, 2004-2007).

Per quanto detto, per le stime preliminari di progetti caratterizzati da un maggior impegno prestazionale, le verifiche della suscettibilità alla liquefazione e dei cedimenti potenziali indotti da sisma possono

essere valutati utilizzando correlazioni empiriche basate sui risultati delle prove CPT (es. P.K Robertson 1990; 1998; 2009-2010). Il vantaggio dell'uso delle penetrometrie statiche è da ricercarsi nella maggiore accuratezza e ripetibilità della CPT/CPTe rispetto ad altre prove, nella sua relativa economicità e soprattutto nella possibilità di avere profili continui con la profondità e che forniscono informazioni dettagliate anche sulla stratigrafia. I dati ricavati dalle prove CPTe/U sono stati elaborati secondo le procedure semplificate di verifica della liquefacibilità e stima dei cedimenti sismici attualmente più accreditate per le prove CPT, basate sulle esperienze di Seed e Idriss (1971) e di Robertson & Wride (1998), recentemente aggiornate dallo stesso P.K. Robertson (2009-2010). Le analisi espletate seguono, inoltre, le note procedure di riferimento dettate dall'NCEER. Questo approccio valuta la propensione alla liquefazione e stima i cedimenti post sisma sia nei sedimenti granulari saturi e insaturi, sia nei sedimenti fini, poco coesivi. Si è quindi riproceduto al calcolo automatico della liquefacibilità e dei cedimenti post sisma con il software "Cliq", sviluppato dalla GeoLogismiki Geotechnical Engineers in collaborazione con lo stesso P.K. Robertson, utilizzando i dati di input: magnitudo media del terremoto $M = 6.14$ (INGV); ag_{max} al suolo pari a $0,09g \times 1,5$ (classe C) = $0,135g$. A ulteriore cautela la simulazione ha tenuto di una quota piezometrica indotta da sisma fino a 1.00 m. Il metodo di calcolo è quello di Idriss & Boulanger (2008).

La figura sottostante riporta i diagrammi di verifica della liquefacibilità con i relativi indice del fattore di sicurezza F_s (CCR/CSR) e dell'ILP indice di potenziale liquefazione.

I metodi si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione.

$FS = CCR / CSR$ dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

Il potenziale di liquefazione PL di uno strato esprime con un numero compreso tra 0 e 1, la pericolosità di liquefazione dello strato nei confronti dell'evento sismico atteso.

$LP = F(z) \times w(z)$ dove: $F(z)$ = funzione che esprime il potenziale di liquefazione di ogni strato in rapporto al FS calcolato $w(z)$ = funzione che tiene conto della profondità dello strato,
con $F = 0$ per $FS = 1$ $F = 0,1 - FS$ per $FS < 1$ $w(z) = 10^{-0,5z}$ per tenere conto del fatto che in superficie si risente dell'effetto cumulativo della liquefacibilità degli strati sottostanti, Iwasaki et al. (1978) introducono l'indice di liquefazione potenziale LPI:

$$LPI = \int_{z_{crit}=20}^0 F(z) \times w(z) \times dz$$

Le classi di pericolosità di liquefazione sono:

LPI	Pericolosità di liquefazione
0	Nulla
0 ÷ 2	Bassa
2 ÷ 5	Moderata
5 ÷ 15	Alta
> 15	Molto alta

Le verifiche, eseguite sulla prova penetrometrica non hanno evidenziato una possibilità di liquefazione dei sedimenti saturi.

Le condizioni che portano ad una maggiore propensione alla potenziale liquefazione sono indotte sia dal fuso granulometrico del terreno (sabbioso) e principalmente dalla sua densità relativa ($D_r\%$), oltrechè alla presenza del livello freatico.e

Dalle prove penetrometriche CPT eseguite in sito si possono ricavare tali parametri indirettamente da formule, mentre una analisi diretta dei terreni tramite sondaggi diretti potrebbe portare a delinearne direttamente il fuso granulometrico e verificare la reale percentuale di fine presente (maggiore è la percentuale di fine e minore è la probabilità alla potenziale liquefazione dei terreni).

Seguono i report grafici delle verifiche alla potenziale liquefazione dei sedimenti, adottando il software di calcolo sopra descritto:



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

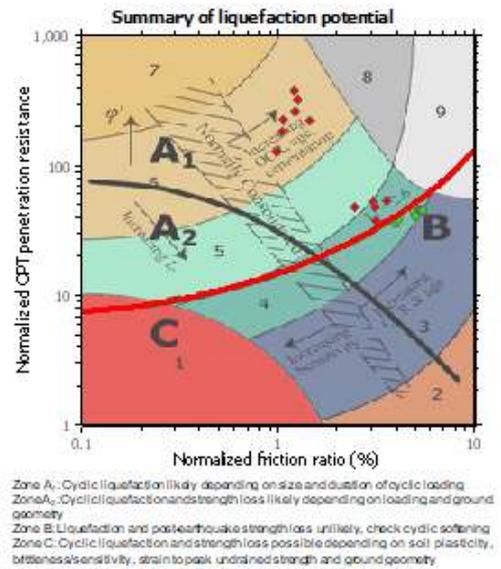
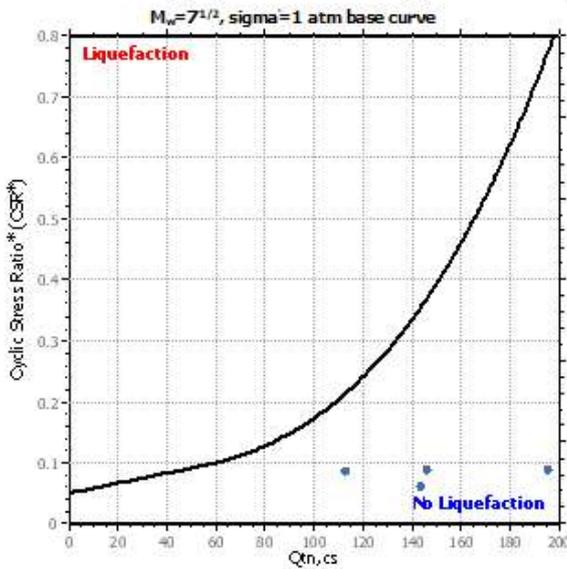
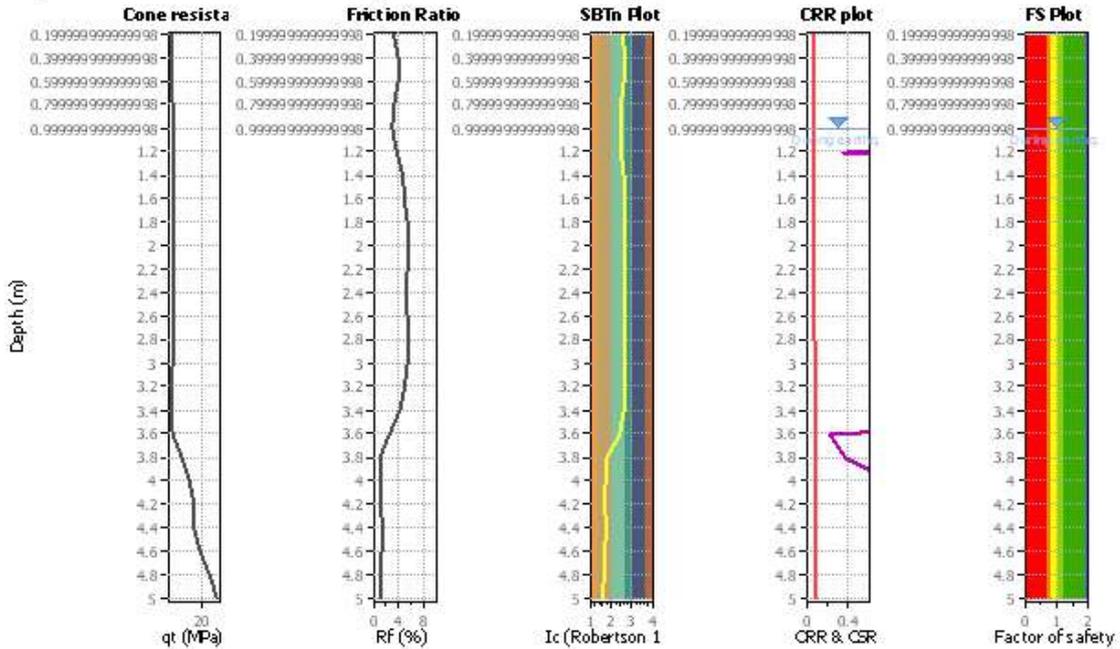
Project title:

Location:

CPT file : Foglio1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



10.0 – MICROZONAZIONE SISMICA AREALE

Dalla Tavola N3 "Pericolosità Sismica Locale" estratta dal PSC si evince che il settore in oggetto è caratterizzato da depositi prevalentemente limosi e sabbiosi, per i quali si attende una possibile amplificazione sismica per effetti litologici, e che necessitano di un II livello di approfondimento in base alla Del.RER n.112, assetto confermato dalla tavola A4-2 del PTCP vigente.

10.1 – SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Le condizioni che si hanno in sito possono portare a modificazioni dell'azione sismica di riferimento, che è definita dall'accelerazione massima attesa in sito (a_{max}) e dalle relative forme spettrali di riferimento, che definiscono i parametri F_0 , T_c^* , A_{gmax} .

Scenari di pericolosità sismica locale possono essere dati da faglie, instabilità gravitative, liquefazione sabbie sature, amplificazioni sismiche, addensamento terreni a grana grossa, subsidenza terreni molli a grana fina.

Nel sito di riferimento non si hanno condizioni topografiche e/o strutturali tettoniche, solamente dal punto di vista litologico si possono avere effetti che portano ad una amplificazione dell'azione sismica.

Dalle coordinate geografiche di riferimento e dalla caratterizzazione litosismica e topografica del sito si ricavano i relativi spettri elastici di risposta sismica del sito cui il progettista applicherà il coefficiente di struttura in funzione della dilatanza della struttura stessa ricavando i relativi spettri di risposta inelastici sito-struttura.

Lo spettro elastico fornisce le forze sismiche necessarie per garantire un comportamento elastico, mentre lo spettro di progetto fornisce le forze sismiche di progetto ridotte corrispondenti ad un livello di plasticizzazione compatibile con la sopravvivenza della struttura.

In accordo con la Delibera Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n.112 del 02-05-2007, e dal successivo D.G.R. n.2193/2015 e DGR 476 e 564/2021, sono stati illustrati i Criteri per la individuazione delle aree soggette ad effetti locali e per la Microzonazione sismica del territorio.

Scopo del presente atto di indirizzo e coordinamento è quello di fornire i criteri per l'individuazione delle aree soggette ad effetti locali e la microzonazione sismica del territorio in modo da orientare le

scelte della pianificazione verso aree caratterizzate da minore pericolosità sismica.

Gli studi della pericolosità sismica di base e della pericolosità locale hanno come obiettivo:

- l'individuazione delle aree dove in occasione di terremoti possono verificarsi effetti locali;
- la stima quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti nell'area di indagine;
- la suddivisione del territorio in sottozone a diversa pericolosità sismica locale (micro zonazione sismica).

Dalla tavola A4-2 estratta dal P.T.C.P. emerge che questo settore è associato a depositi alluvionali con effetti di sito attesi per amplificazioni litologiche, che necessitano di un II livello di approfondimento in base alla Del.RER n.112.

La microzonazione sismica è la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e ai possibili effetti indotti dallo scuotimento (risposta sismica locale). Gli studi di risposta sismica locale e microzonazione sismica vanno condotti a diversi livelli di approfondimento in funzione delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale.

Per la microzonazione sismica si identificano due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento.

La prima fase è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno).

L'individuazione delle aree soggette ad effetti locali si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolti a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati. Tale analisi viene svolta soprattutto mediante elaborazione dei dati disponibili in sede di elaborazione del PTCP e del PSC e concorre alla definizione delle scelte di piano, fornendo prime indicazioni sui limiti e le condizioni per la pianificazione nelle suddette aree.

La seconda fase ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato.

Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano due diversi livelli di approfondimento:

a) nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili, compresi quelli con coperture di spessore circa costante e acclività $\leq 15^\circ$, vale a dire in tutte le zone non interessate da instabilità nelle quali il modello stratigrafico può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale, si ritiene sufficiente **un'analisi semplificata** (secondo livello di approfondimento), cioè l'analisi della pericolosità locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche e prove geotecniche in sito di tipo standard e l'amplificazione del moto sismico può essere stimata attraverso abachi e formule. Il numero delle verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione litostratigrafica e geofisica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio;

b) un'**analisi più approfondita** (terzo livello di approfondimento) è invece richiesta per la definizione di indici di rischio nei seguenti casi (vedere Allegato A1):

- aree soggette a liquefazione e densificazione;
- aree instabili e potenzialmente instabili;
- aree con rapida variazione della profondità del substrato rigido, come ad esempio le valli strette e profondamente incise, il cui modello stratigrafico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale; in questo caso sono raccomandate analisi bidimensionali.

La prima fase, o primo livello di approfondimento (individuazione delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali), viene attuata già nell'ambito della pianificazione a scala di area vasta (es. provinciale), relativamente all'intero territorio, ed è recepita e integrata, ad una scala di maggior dettaglio, nella pianificazione urbanistica comunale, limitatamente alle zone da indagare di cui al par. 2.1 del DGR 2193/2015.

La seconda fase (analisi della risposta sismica locale e microzonazione sismica del territorio) è richiesta per la predisposizione e approvazione degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale e deve interessare le aree già urbanizzate e quelle indicate come suscettibili di urbanizzazione, i corridoi infrastrutturali e gli agglomerati posti in territorio rurale che possano considerarsi significativi, per dimensione e/o interesse insediativo, in rapporto alla realtà territoriale locale, ricadenti nelle aree potenzialmente soggette ad effetti locali individuate nella prima fase.

10.1.1 - PRIMA FASE - INDIVIDUAZIONE DELLE AREE SOGGETTE AD EFFETTI LOCALI

Primo livello di approfondimento

Il primo livello di approfondimento ha le seguenti finalità:

- individuare le aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica;
- definire il tipo di effetti attesi;
- indicare, per ogni area, il livello di approfondimento necessario;
- descrivere le caratteristiche delle unità geologiche del sottosuolo, in termini di litologia, stratigrafia, tettonica e geometria per definire il modello geologico di base per la microzonazione sismica.

Per lo studio in oggetto sono stati predisposte le seguenti cartografie:

- 1) Carta delle indagini;
- 2) Carta geologico-tecnica
- 3) Carta delle frequenze naturali dei terreni, derivata da indagini svedite di sismica passiva (HVSr sulle vibrazioni ambientali)
- 4) Carta delle aree suscettibili di effetti locali.

Per l'areale in oggetto si ipotizzano zone suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico per effetto dell'assetto litostratigrafico, in cui si ritiene sufficiente un approfondimento di secondo livello (analisi semplificata con seconda fase). L'areale in oggetto è caratterizzato da depositi alluvionali terrazzati.

Per la caratterizzazione del sito sono state eseguite 2 prove penetrometriche all'interno dell'area, ed una indagine sismica per la delineazione, sia delle V_{s30eq} di sito, che della frequenza fondamentale del sottosuolo.

Non si hanno elementi geomorfologici caratteristici, ne tantomeno, con differenze all'interno dell'area di studio, che presenta un andamento sub pianeggiante, con assenza di rilievi, scarpate, ecc.

L'areale in oggetto presenta una potenziale amplificazione del moto sismico, indotta esclusivamente dalla condizione litologica di sito – amplificazione sismica o effetto sismico di sito per effetti litologici, come confermato dall'attuale cartografia sismica del PSC approvato.

Anche dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (edizione 2017), si evince che il settore in oggetto non è interessato da lineamenti tettonici critici.

Dall'analisi sismica eseguita in sito, emerge il valore della V_{seq} (30) pari a circa 425 m/s. La cartografia viene considerata superflua, sia per il carattere estremamente locale dell'area, che per l'omogeneità del parametro. La frequenza caratteristica, al livello con arricchimenti ghiaiosi a circa 3.0-4.0 metri, risulta pari a 16,65 [Hz].

Anche la carta degli effetti sismici locali per l'areale (carattere estremamente locale) risulta associata alla amplificazione litologica omogenea per tutto il settore in oggetto. La cartografia viene considerata superflua, sia per il carattere estremamente locale dell'area, che per l'omogeneità del parametro.

10.1.2 - SECONDA FASE - ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO

La seconda fase ha come obiettivo la valutazione della risposta sismica locale e la micro zonazione sismica del territorio indagato.

Secondo livello di approfondimento – analisi semplificata

Per la definizione dell'amplificazione ove è ritenuta sufficiente l'analisi semplificata si utilizzeranno gli abachi, le formule e le procedure indicate nell'Allegato A2.

Per tale fase di approfondimento sono state elaborate:

- 1) Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s).
- 2) Carte dei fattori di amplificazione.

La stima dell'amplificazione tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi e formule) è possibile laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

L'amplificazione sarà quantificata in termini di parametri FAPGA, $FA_{0,1-0,5s}$, $FA_{0,5-1s}$, $FA_{0,5-1,5s}$ che esprimono l'amplificazione per motivi stratigrafici, eventualmente incrementati con il fattore di amplificazione per cause topografiche ST. Tali coefficienti di amplificazione vengono stimati impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (punti A2.1 e A2.2)

I FA rappresentano il rapporto fra lo scuotimento sismico, espresso con i parametri sotto indicati, valutato per la condizione geo-litologica specifica e il corrispondente scuotimento relativo alla categoria di sottosuolo A. Quest'ultimo è definito nella tabella 3.2.II delle Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC (2008), come segue: *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30}*

superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

I FA sono relativi a due parametri rappresentativi dello scuotimento sismico.

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

E' stato considerato uno smorzamento $\xi = 5\%$ e tre intervalli di periodo proprio T_0 ottenendo tre valori di intensità spettrale:

SI1 : $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$

SI2 : $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$

SI3 : $0.5s \leq T_0 \leq 1.5s$

Come si evince dalla seguente figura:

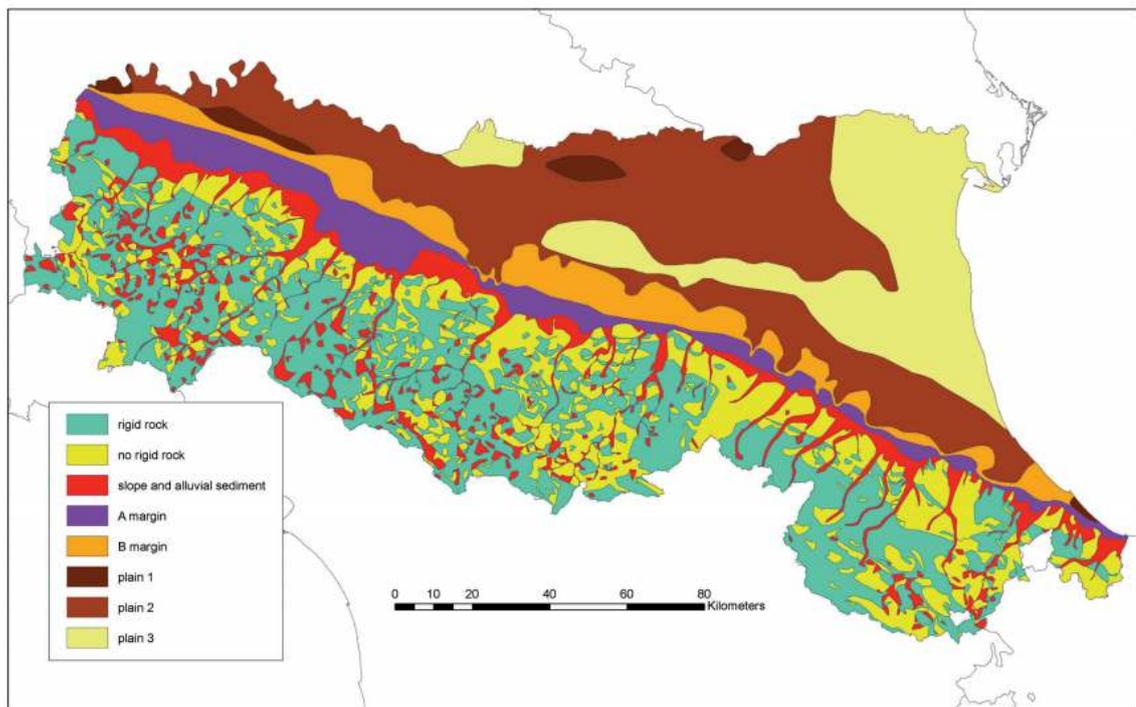


Fig. 11 - Emilia-Romagna map of the geologic macrozones for seismic studies.

per l'areale in oggetto, si considera il seguente scenario:

PIANURA 2

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

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5

Fattore di Amplificazione PGA

Considerando l'analisi sismica di sito effettuata, emerge una $V_{s30eq} = 425$ m/s, pertanto ne deriva un valore di F.A. PGA = 1.5.

La medesima considerazione (approccio) verrà eseguita sui Fattori di Amplificazione SA1, SA2, SA3, SA4, SI1, SI2, SI3.

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8
SA3	3,3	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
SA4	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9

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

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

La cartografia, sia per le velocità delle onde sismiche, che per i fattori di amplificazione viene considerata superflua, sia per il carattere estremamente locale dell'area, che per l'omogeneità del parametro.

10.2 - ACCELERAZIONE MASSIMA ORIZZONTALE DI PICCO AL SUOLO

Dal sito dell'INGV si ricava la seguente caratterizzazione per il sito in oggetto: con classe di accelerazione orizzontale massima al suolo: classe 0.075-0.100

Calcolo magnitudo e distanza epicentrale.

Dalla Carta dei Meccanismi Focali della nuova classificazione della Regione Emilia-Romagna si evidenzia la seguente griglia di punti delle accelerazioni massime attese al suolo (arefg con 10% di probabilità di superamento in 50 anni corrispondente al periodo di ritorno di 475 anni).

Evidenziando l'areale in oggetto, si ha un punto della griglia prossimo a Calendasco, con relativo valore di $A_{ref}(g)$. I dati sono relativi ai punti di una griglia con passo 0.05 gradi, ed i valori sono stati elaborati da INGV2.

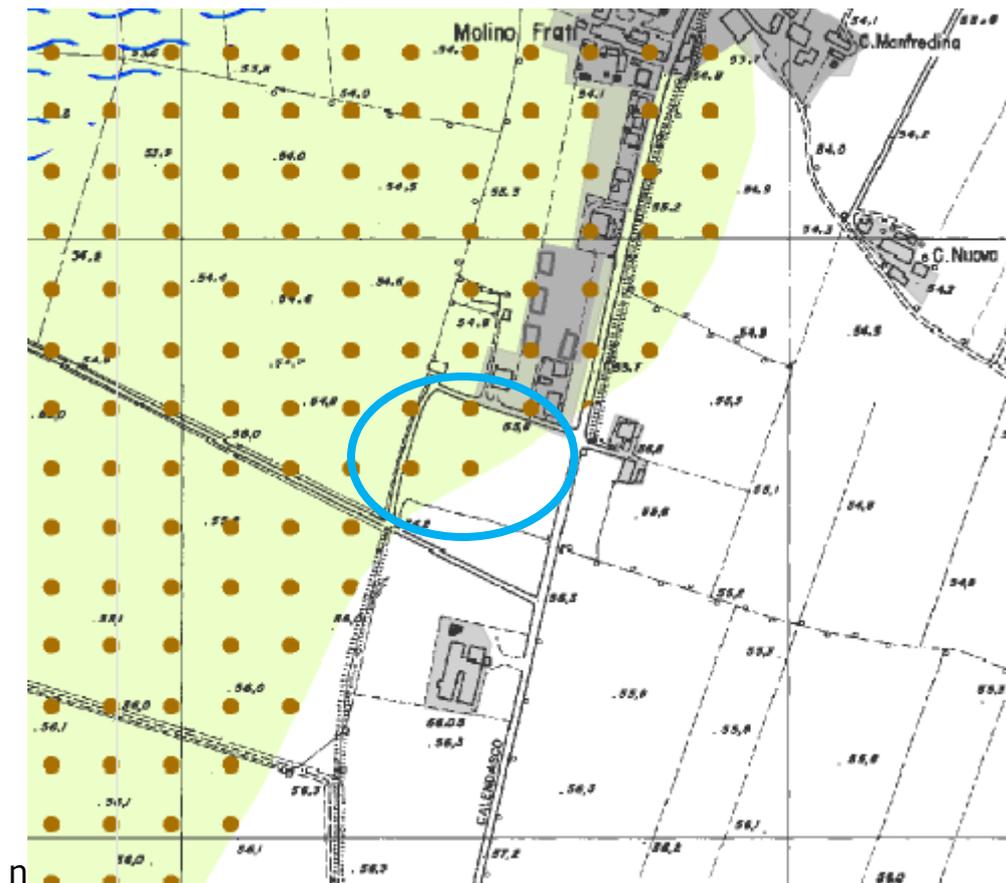
$$A_{ref}(g) = 0.0914$$

Dalla Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della R.E.R. del 2 maggio 2007 n.112 inerente i nuovi indirizzi di micro zonazione sismica in Emilia Romagna, vengono definiti per ciascun Comune della Regione i valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo (All. A della Del. 112/2007) espressa in funzione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), ed al Comune di Calendasco si ha un valore di 0.09g.

11.0 - CONCLUSIONI

Dalla Tavola PSC04 "Assetto geologico-sismico, fattibilità delle trasformazioni" estratta dal PSC Comunale, si evince che il settore in oggetto risulta diviso in due classi di fattibilità:
nel settore nord-ovest si ha la classe con edificabilità con modeste limitazioni per terreni di scarsa consistenza, mentre il settore sud-est risulta associato a edificabilità senza particolari limitazioni.

Dalle prove penetrometriche generali eseguite all'interno dell'area di lottizzazione, emerge un maggiore spessore di terreno argilloso limoso superficiale nel settore nord-ovest, con caratteristiche meccaniche leggermente inferiori, a conferma di quanto emerso dalla carta di fattibilità geologica e dalla carta della litologia di superficie, sempre estratta dal PSC Comunale.



Classe di edificabilità

-  Edificabilità preclusa
-  Edificabilità con consistenti limitazioni
-  Edificabilità con modeste limitazioni
-  Terreni di scarsa consistenza
-  Falda freatica subaffiorante
-  Edificabilità senza particolari limitazioni

Estratto tavola PSC04 PSC "Fattibilità alle trasformazioni"

Dall'allegato al PSC Comunale – Approfondimenti Geologico-Sismici, moduli di analisi edificatoria con valutazioni sismiche, viene inquadrato il lotto in oggetto: "Incrociata area D", territorio urbanizzabile. Segue un estratto della scheda di tale settore.

Stabilità L'area non si trova in corrispondenza di aree instabili

Limitazioni d'uso In generale non sussistono particolari limitazioni d'uso del territorio in esame, come pure non ci sono vincoli ostativi alla realizzazione di nuove edificazioni, tuttavia sulla porzione più settentrionale dell'area insiste una pericolosità geotecnica: terreni di scarsa consistenza per la quale le fondazioni dirette sono possibili per basse condizioni di carico, per condizioni di carico importanti sono possibili fondazioni indirette o metodi di trattamento dei terreni, tenendo presente che gli strati ghiaiosi inferiori sono situati ad pochi metri di profondità. *Il POC verifica le condizioni geologico - geotecniche, indicando i rischi geologici e di subsidenza, l'assetto idrogeologico, le tipologie fondazionali consigliate, le limitazioni connesse alla capacità portante del complesso fondazioni-terreno, i cedimenti prevedibili, le modalità di trattamento delle acque reflue.*

Rischio idraulico nessuno

Velocità delle onde di taglio I valori delle velocità delle onde entro i primi trenta metri di profondità (Vs30) sono risultati compresi fra Vs30 400 m/sec e Vs30 500 m/sec ed al di sotto di 400 m/sec

Amplificazione stratigrafica L'area risulta essere soggetta ad amplificazione di tipo stratigrafico del segnale sismico, derivante dalla presenza di depositi alluvionali con velocità delle onde di taglio inferiore a 800 m/s. Il sottosuolo di fondazione, sulla base delle indagini geofisiche eseguite può essere considerato appartenente alla categoria B.

Amplificazione topografica La morfologia subpianeggiante dell'area, permette di escludere fenomeni di amplificazione di tipo topografico.

Fenomeni di liquefazione La possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione può essere esclusa, in quanto dai dati acquisiti è stata accertata l'assenza di tale pericoli (vedi stima della vulnerabilità alla liquefazione) .

Fenomeni di cedimento postsismico In generale non sussistono particolari limitazioni d'uso del territorio in esame, come pure non ci sono vincoli ostativi alla realizzazione di nuove edificazioni. Nell'area non sono state riscontrate condizioni di limitazione d'uso geomorfologica, idraulica e geotecnica, l'assenza e/o la rilevanza di questi elementi di criticità dovranno comunque essere adeguatamente verificati ed esplicitamente dichiarati negli studi geologici e geotecnici

Microzonizzazione sismica

Macrozona II: "suolo di fondazione" classificabile "B"; Vs30 da 400 a 500 m/sec
coefficiente di amplificazione stratigrafica FA PGA = 1,3
fattori di intensità spettrale per periodi $0,1 < T_0 > 0,5$ sec FA=1,3
fattori di intensità spettrale per periodi $0,5 < T_0 > 1,0$ sec FA=1,7

per la porzione più meridionale dell'area :

Macrozona III: "suolo di fondazione" classificabile "B"; Vs30 < 400 m/sec;
coefficiente di amplificazione stratigrafica FA PGA = 1,4
fattori di intensità spettrale per periodi $0,1 < T_0 > 0,5$ sec FA=1,7
fattori di intensità spettrale per periodi $0,5 < T_0 > 1,0$ sec FA=2,0

In coerenza con l'assetto territoriale l'area risulta contrassegnata da due microzone sismiche. In funzione del valore di FA PGA sopra indicato e dei valori di accelerazione massima orizzontale di picco, riferiti al substrato o suolo A, riportati nella tabella 2 della DAL 112/2007, si ottiene un valore di accelerazione di picco in superficie equivalente alle:

Macrozona II \Rightarrow $pga = 0,090 \cdot 1,3 = 0,117g$
Macrozona III \Rightarrow $pga = 0,090 \cdot 1,4 = 0,126g$

In fase di prima analisi si ritiene compatibile, ai fini sismici, l'area di espansione urbanistica prevista.

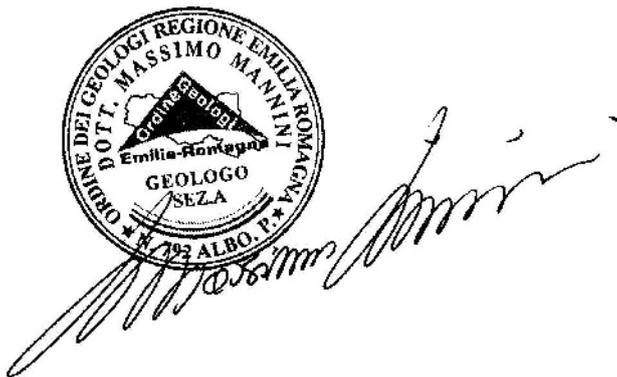
Dal punto di vista geologico e sismico non si hanno elementi ostativi alla realizzazione di un piano di lottizzazione. Il carattere di cui prestare particolare attenzione è il livello della prima falda, che si può attestare a profondità prossime il p.c., soprattutto in particolari periodi particolarmente piovosi. La classe di soggiacenza della prima falda, risulta tra 1.0 e 2.0 metri, come da inquadramento del PSC Comunale.

Inoltre, dalle prove penetrometriche eseguite all'interno dell'areale in oggetto, emerge una successione litostratigrafica con un orizzonte ad arricchimenti ghiaiosi a profondità superiori ai 2.80 metri dal p.c. circa nel settore sud-est, mentre nel settore nord-ovest si ha maggiore approfondimento di tale orizzonte ghiaioso, sino a circa 3.80 metri dal p.c. Inoltre, in questo settore si hanno parametri geotecnici inferiori rispetto al settore meridionale.

La presente indagine geologica-sismica ha carattere generale per inquadrare l'areale in oggetto. Si raccomanda di effettuare indagini geotecniche di dettaglio sui singoli lotti all'interno della lottizzazione in progetto, soprattutto alla luce della differenza di rinvenimento dell'orizzonte a componente ghiaiosa e della disomogeneità della parametrizzazione geotecnica dei terreni di fondazione.

Seguono alcuni accorgimenti generali:

- Esiste la possibilità della presenza di un livello acquifero, anche sotto forma di "sacca acquifera", sino a profondità prossime il p.c. Pertanto si raccomanda di impermeabilizzare tutte le pareti e drenarle. Inoltre si sconsiglia la realizzazione di piani interrati.
- La litologia argillosa presente ha la caratteristica di poter variare di volume in funzione del contenuto d'acqua naturale stagionale, pertanto sono possibili inneschi di cedimenti ulteriori di "polmonamento" dell'argilla.



Nel dichiararmi a disposizione per eventuali chiarimenti, colgo l'occasione per porgere i più distinti saluti.

*Fiorenzuola d'Arda
14 dicembre 2021
Massimo dott. Mannini geologo*

--

C.FISC: P.IVA:	Via: - Tel: - Fax: Email: Web:
---------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

	Data: dicembre 2021
	Il committente
	IL Tecnico
	Il Progettista
Indagine geofisica tramite tecnica HVSR	

Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{seq} .

Dati generali

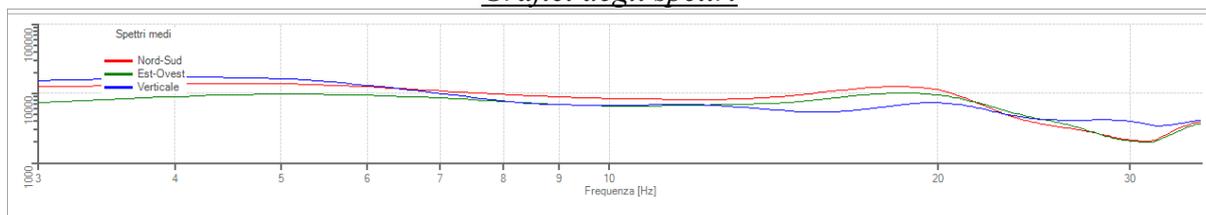
Nome progetto:
Committente:
Cantiere:
Località: Calendasco - Pc
Operatore: Bezzi
Responsabile: Mannini
Data: 13/12/2021 00:00:00
Zona: III
Latitudine:
Longitudine:

Tracce in input

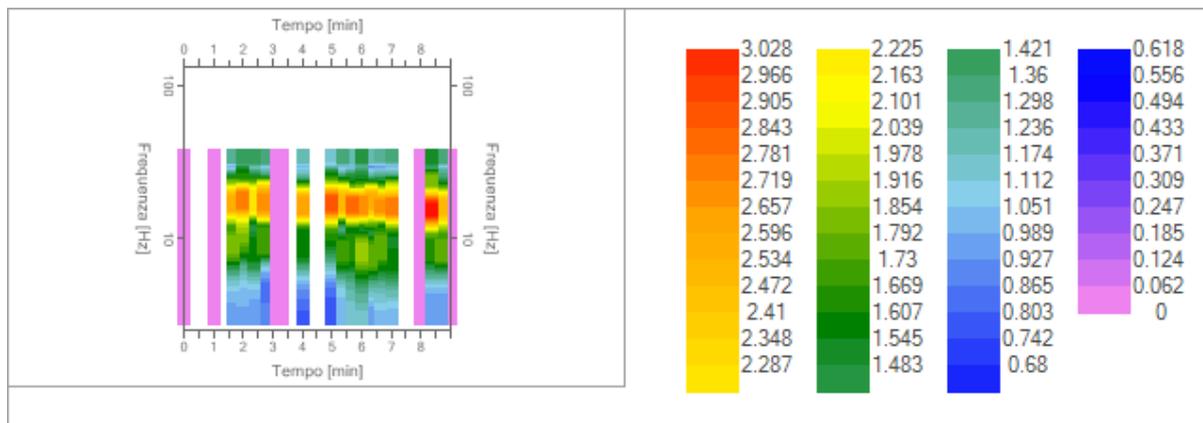
Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 600 s
Frequenza di campionamento: 155.00 Hz
Numero campioni: 93000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

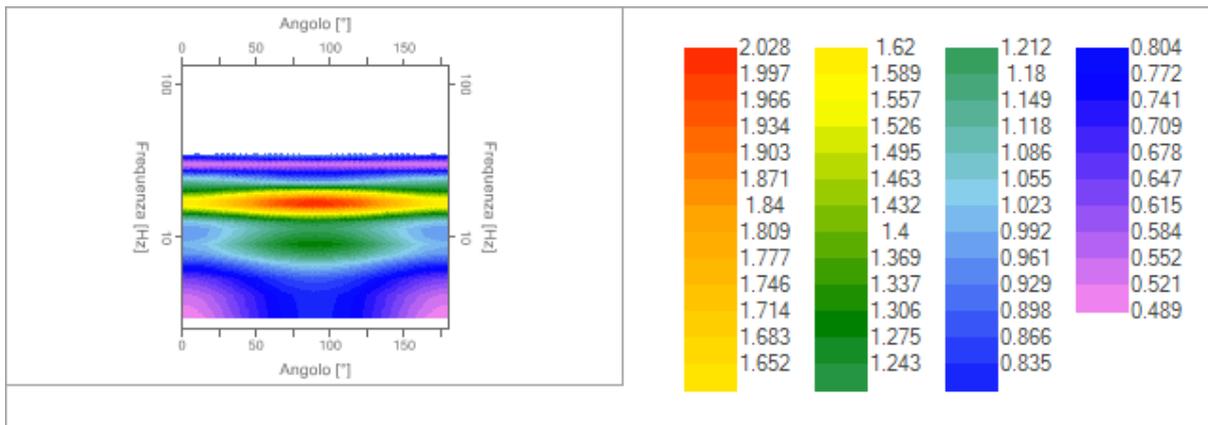
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mapa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

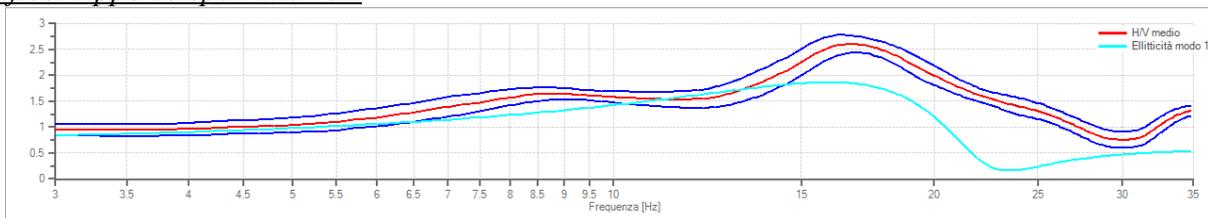
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 35.00 Hz
 Frequenza minima: 3.00 Hz
 Passo frequenze: 0.15 Hz
 Tipo lisciamento: Triangolare costante
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 16.65 Hz ± 0.07 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok

$$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$$

$$\sigma_f < \varepsilon(f)$$

$$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$$

Ok

Ok

Ok

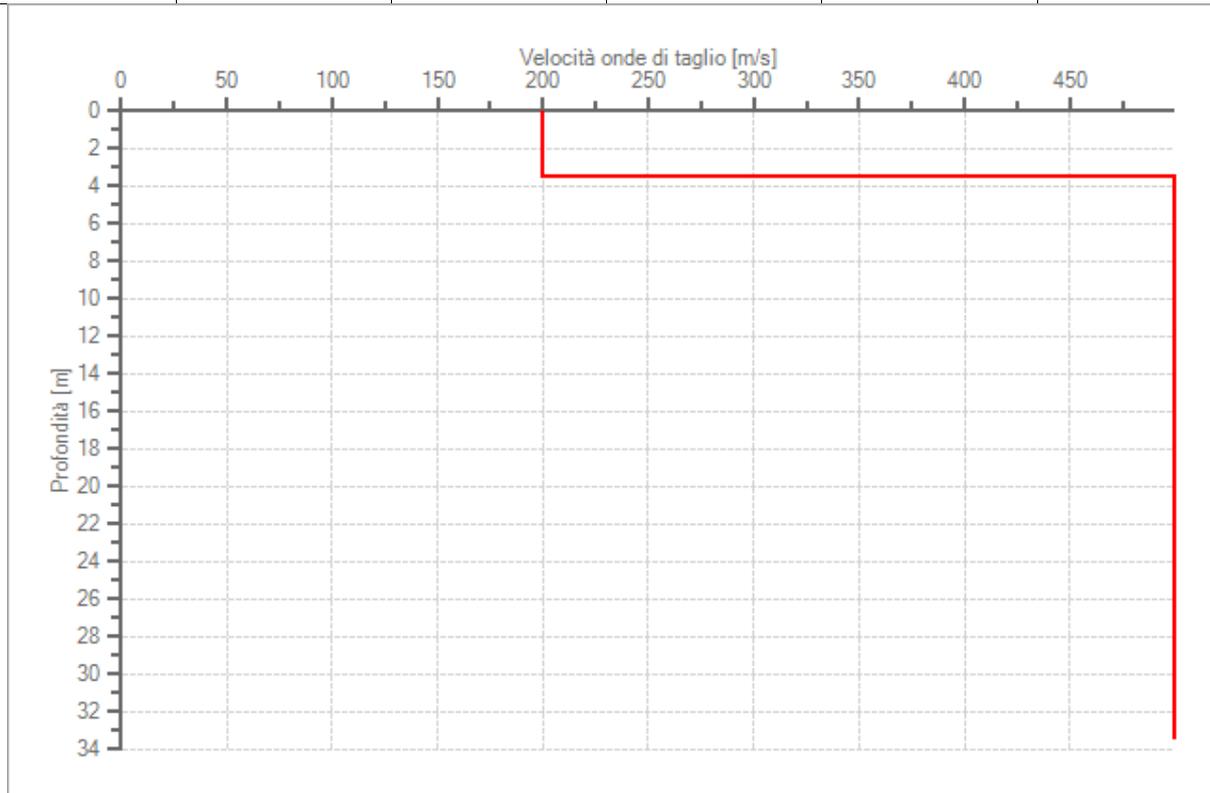
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 2
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 15.90 Hz
 Valore di disadattamento: 0.39
 Valore Vseq: 425.16 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	3.5	19	0.4	200
2	3.5	30	21	0.3	499



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: Cantiere: Località:	
----------------------------------------	--

Caratteristiche Strumentali PAGANI 100 kN

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

PROVA ... Nr.1

Committente:
 Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN
 Prova eseguita in data: 13/12/2021
 Profondità prova: 5,00 mt
 Località:

Profondità (m)	Letture punta (Kg/cm ²)	Letture laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	22,00	38,0	22,0	1,066667	20,625	4,8
0,40	22,00	38,0	22,0	1,733333	12,692	7,9
0,60	19,00	45,0	19,0	1,266667	15,0	6,7
0,80	28,00	47,0	28,0	1,066667	26,25	3,8
1,00	38,00	54,0	38,0	2,133333	17,813	5,6
1,20	30,00	62,0	30,0	1,933333	15,517	6,4
1,40	26,00	55,0	26,0	2,0	13,0	7,7
1,60	28,00	58,0	28,0	2,066667	13,548	7,4
1,80	25,00	56,0	25,0	2,266667	11,029	9,1
2,00	25,00	59,0	25,0	2,066667	12,097	8,3
2,20	27,00	58,0	27,0	2,133333	12,656	7,9
2,40	26,00	58,0	26,0	2,2	11,818	8,5
2,60	28,00	61,0	28,0	2,333333	12,0	8,3
2,80	27,00	62,0	27,0	2,266667	11,912	8,4
3,00	27,00	61,0	27,0	1,8	15,0	6,7
3,20	25,00	52,0	25,0	1,466667	17,045	5,9
3,40	21,00	43,0	21,0	1,0	21,0	4,8
3,60	23,00	38,0	23,0	1,266667	18,158	5,5
3,80	43,00	62,0	43,0	3,266667	13,163	7,6

4,00	181,00	230,0	181,0	5,2	34,808	2,9
4,20	146,00	224,0	146,0		4,133333	2,8
4,40	141,00	203,0	141,0		7,333333	5,2
4,60	170,00	280,0	170,0		6,066667	3,6
4,80	255,00	346,0	255,0	10,0	25,5	3,9
5,00	300,00	450,0	300,0	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,60	21,0	1,355556	2,1	Coesivo	Copertura pedogenizzata
3,80	27,9375	1,954167	2,0	Incoerente-Coesivo	Argilla limosa
4,60	159,5	5,683333	2,3	Incoerente-Coesivo	Limo e ghiaia
5,00	277,5	5,0	2,2	Incoerente	Ghiaia e limo

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI Nr.1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimentale	Lunne T.- Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi	
Strato 1	0,60	21,0	1,355556	1,01	1,38	1,40	1,23	1,10	1,05
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	1,33	1,70	1,83	1,62	1,45	1,40
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	7,68	4,42	10,58	9,33	8,35	7,98

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buismann	Buismann Sanglerat	
Strato 1	0,60	21,0	1,355556	52,50	42,00	63,00	63,00
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	69,84	55,87	83,81	83,81
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	398,75	318,99	478,50	239,25

Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²)

Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (30)	
Strato 1	0,60	21,0	1,355556	785,14	31,50
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	1033,56	42,00
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	5959,20	239,40

Modulo di deformazione a taglio

Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
Strato 1	0,60	21,0	Imai & Tomauchi	179,90
Strato 2	3,80	27,9375	Imai & Tomauchi	214,18
Strato 3	4,60	159,5	Imai & Tomauchi	620,93

Grado di sovraconsolidazione

Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Stress-History	
Strato 1	0,60	21,0	1,355556	7,75
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	1,73
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	6,31

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	0,60	21,0	1,355556	Meyerhof	1,98
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	Meyerhof	2,03
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	Meyerhof	2,32

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0,60	21,0	1,355556	Meyerhof	2,06
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	Meyerhof	2,11
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	Meyerhof	2,40

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa (%)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Baldi 1978 - Schmertma nn 1976	Schmertma nn	Harman	Lancellotta 1983	Jamiolkows ki 1985
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	43,55	50,39	51,71	44,19	53,87
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	86,71	100	100	87,71	85,05
Strato 4	5,00	277,5	5,0	100	100	100	100	96,71

Angolo di resistenza al taglio (°)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Durguno uglu-Mitchell 1973	Caquot	Koppeja n	De Beer	Schmertmann	Roberts on & Campanella 1983	Hermine r	Meyerhof 1951
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	34,79	31,17	28,25	26,41	35,05	39,1	26,11	29,54
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	41,14	37,59	34,99	32,57	42	45	36,6	45
Strato 4	5,00	277,5	5,0	43,25	39,74	37,24	34,63	42	45	41,05	45

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Schmertmann	Robertson & Campanella (1983)	ISOPT-1 1988 Ey(50)
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	69,84	55,88	278,07
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	398,75	319,00	638,00
Strato 4	5,00	277,5	5,0	693,75	555,00	1110,00

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Robertson & Campanella da Schmertma nn	Lunne-Christoffers en 1983 - Robertson and Powell 1997	Kulhawy-Mayne 1990	Mitchell & Gardner 1975	Buisman - Sanglerat
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	45,05	109,59	217,02	55,88	139,69
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	90,66	332,83	1296,76	239,25	239,25
Strato 4	5,00	277,5	5,0	95,09	564,27	2268,82	416,25	416,25

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	Imai & Tomauchi	214,18
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	Imai & Tomauchi	620,93
Strato 4	5,00	277,5	5,0	Imai & Tomauchi	870,95

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato	qc	fs	Stress-	Piacentini	Larsson 1991	Ladd e Foot
--	--------------	----	----	---------	------------	--------------	-------------

	(m)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	History	Righi 1978	S.G.I.	1977
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	1,73	>9	1,66	>9
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	6,31	>9	0,65	>9
Strato 4	5,00	277,5	5,0	>9	>9	<0.5	>9

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Ko
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	Kulhawy & Mayne (1990)	0,50
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	Kulhawy & Mayne (1990)	1,16
Strato 4	5,00	277,5	5,0	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	C	Crm
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	0,11461	0,0149
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	0,0971	0,01262
Strato 4	5,00	277,5	5,0	0,02429	0,00316

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	Meyerhof	1,80
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	Meyerhof	1,80
Strato 4	5,00	277,5	5,0	Meyerhof	1,80

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	Meyerhof	2,10
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	Meyerhof	2,10
Strato 4	5,00	277,5	5,0	Meyerhof	2,10

Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	Robertson & Wride 1997	28,77
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	Robertson & Wride 1997	94,994
Strato 4	5,00	277,5	5,0	Robertson & Wride 1997	154,186

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Permeabilità (cm/s)
Strato 1	0,60	21,0	1,355556	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	Piacentini-Righi 1988	8,736336E-09
Strato 4	5,00	277,5	5,0	Piacentini-Righi 1988	4,768731E-04

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
--	---------------------	-----------------------------	-----------------------------	--------------	-----------------------------------------------------------

Strato 1	0,60	21,0	1,355556	Piacentini-Righi 1988	6,3E-07
Strato 2	3,80	27,9375	1,954167	Piacentini-Righi 1988	8,38125E-07
Strato 3	4,60	159,5	5,683333	Piacentini-Righi 1988	4,180337E-03
Strato 4	5,00	277,5	5,0	Piacentini-Righi 1988	0

PROVA ... Nr.2

Committente:

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 13/12/2021

Profondità prova: 3,40 mt

Località:

Profondità (m)	Letture punta (Kg/cm ²)	Letture laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	22,00	35,0	22,0		0,866667	25,385
0,40	22,00	35,0	22,0	1,4		15,714
0,60	23,00	44,0	23,0		2,0	11,5
0,80	19,00	49,0	19,0		1,666667	11,4
1,00	51,00	76,0	51,0		2,0	25,5
1,20	56,00	86,0	56,0		2,066667	27,097
1,40	58,00	89,0	58,0		3,133333	18,511
1,60	60,00	107,0	60,0		2,933333	20,455
1,80	55,00	99,0	55,0		3,133333	17,553
2,00	41,00	88,0	41,0		3,133333	13,085
2,20	46,00	93,0	46,0	3,4		13,529
2,40	45,00	96,0	45,0		3,333333	13,5
2,60	38,00	88,0	38,0		3,266667	11,633
2,80	35,00	84,0	35,0		7,533333	4,646
3,00	126,00	239,0	126,0		7,333333	17,182
3,20	280,00	390,0	280,0		10,0	28,0
3,40	300,00	450,0	300,0		0,0	0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,80	21,5	1,483333	2,0	Coesivo	Copertua argillosa
2,80	48,5	3,393333	2,1	Incoerente- Coesivo	Argillalimosa
3,40	235,3333	5,777777	2,2	Incoerente- Coesivo	Ghiaia e limo

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI Nr.2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimentale	Lunne T.- Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi	
Strato 1	0,80	21,5	1,483333	1,03	1,41	1,43	1,26	1,13	1,08
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	2,33	2,50	3,21	2,83	2,53	2,42

Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	11,34	4,96	15,65	13,81	12,35	11,77
----------	------	----------	----------	-------	------	-------	-------	-------	-------

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buisman	Buisman Sanglerat
Strato 1	0,80	21,5	1,483333	53,75	43,00	64,50	64,50
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	121,25	97,00	145,50	72,75
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	588,33	470,66	706,00	353,00

Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (30)
Strato 1	0,80	21,5	1,483333	803,25	32,40
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	1805,63	72,60
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	8806,40	353,10

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
Strato 1	0,80	21,5	1,483333	Imai & Tomauchi	182,51
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	Imai & Tomauchi	300,02
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	Imai & Tomauchi	787,51

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Stress-History
Strato 1	0,80	21,5	1,483333	6,25
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	3,22
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	>9

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	0,80	21,5	1,483333	Meyerhof	1,98
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	Meyerhof	2,12
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	Meyerhof	2,39

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0,80	21,5	1,483333	Meyerhof	2,06
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	Meyerhof	2,20
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	Meyerhof	2,47

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa (%)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	Schmertmann	Harman	Lancellotta 1983	Jamiolkowski 1985
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	60,24	72,51	72,39	61,02	75,04
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	100	100	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio (°)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Durguno ugli-Mitchell 1973	Caquot	Koppeja n	De Beer	Schmertmann	Roberts on & Campanella 1983	Hermineer	Meyerhof 1951
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	37,76	34,26	31,49	29,37	38,15	42,39	30,1	38,78

Strato 3	3,40	235,333	5,77777	43,77	40,36	37,9	35,23	42	45	41,99	45
		3	7								
Modulo di Young (Kg/cm²)											
	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Schmertmann	Robertson & Campanella (1983)	ISOPT-1 1988 Ey(50)					
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	121,25	97,00	353,99					
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	588,33	470,67	941,33					
Modulo Edometrico (Kg/cm²)											
	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Robertson & Campanella da Schmertmann	Lunne- Christoffers en 1983 - Robertson and Powell 1997	Kulhawy- Mayne 1990	Mitchell & Gardner 1975	Buisman - Sanglerat			
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	62,83	190,25	388,35	97,00	72,75			
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	91,86	481,57	1925,43	353,00	353,00			
Modulo di deformazione a taglio											
	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione		G (Kg/cm ²)					
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	Imai & Tomauchi		300,02					
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	Imai & Tomauchi		787,51					
Grado di sovraconsolidazione											
	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Stress- History	Piacentini Righi 1978	Larsson 1991 S.G.I.	Ladd e Foot 1977				
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	3,22	>9	1,06	>9				
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	>9	>9	<0.5	>9				
Modulo di reazione Ko											
	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione		Ko					
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	Kulhawy & Mayne (1990)		0,75					
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	Kulhawy & Mayne (1990)		0,00					
Fattori di compressibilità C Crm											
	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	C		Crn					
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	0,10645		0,01384					
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	0,28824		0,03747					
Peso unità di volume											
	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione		Peso unità di volume (t/m ³)					
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	Meyerhof		1,80					
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	Meyerhof		1,80					
Peso unità di volume saturo											
	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione		Peso unità di volume saturo (t/m ³)					
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	Meyerhof		2,10					
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	Meyerhof		2,10					
Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15											
	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione		Fattore di sicurezza a liquefazione					
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	Robertson & Wride 1997		66,738					

Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	Robertson & Wride 1997	150,62
----------	------	----------	----------	------------------------	--------

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Permeabilità (cm/s)
Strato 1	0,80	21,5	1,483333	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	Piacentini-Righi 1988	1,190933E-05

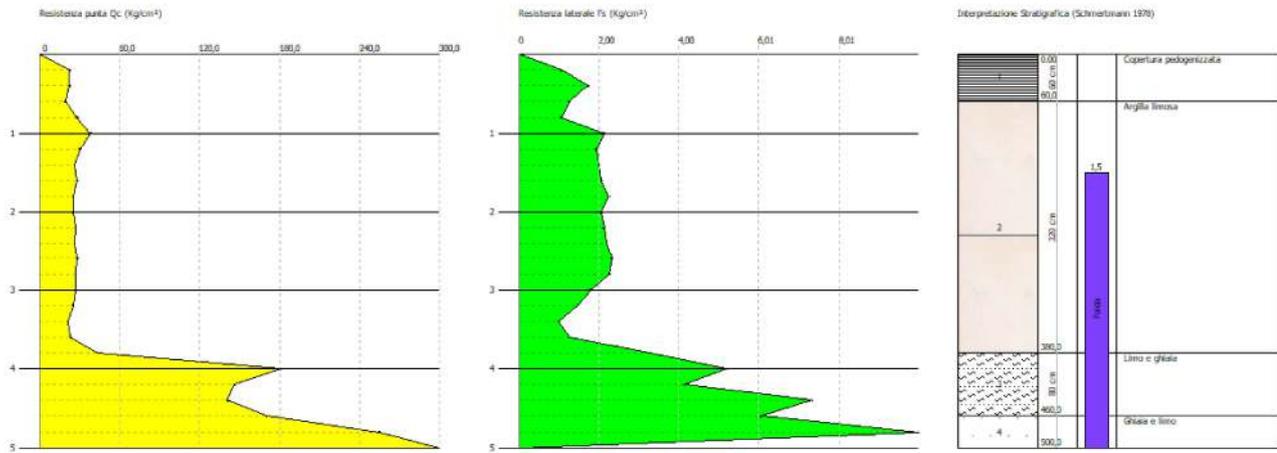
Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	0,80	21,5	1,483333	Piacentini-Righi 1988	6,45E-07
Strato 2	2,80	48,5	3,393333	Piacentini-Righi 1988	1,455E-06
Strato 3	3,40	235,3333	5,777777	Piacentini-Righi 1988	8,407987

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
 Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:
 Cantiere:
 Località:

Data: 13/12/2021



Probe CPT - Cone Penetration Nr.2
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:
Cantiere:
Località:

Data: 13/12/2021

