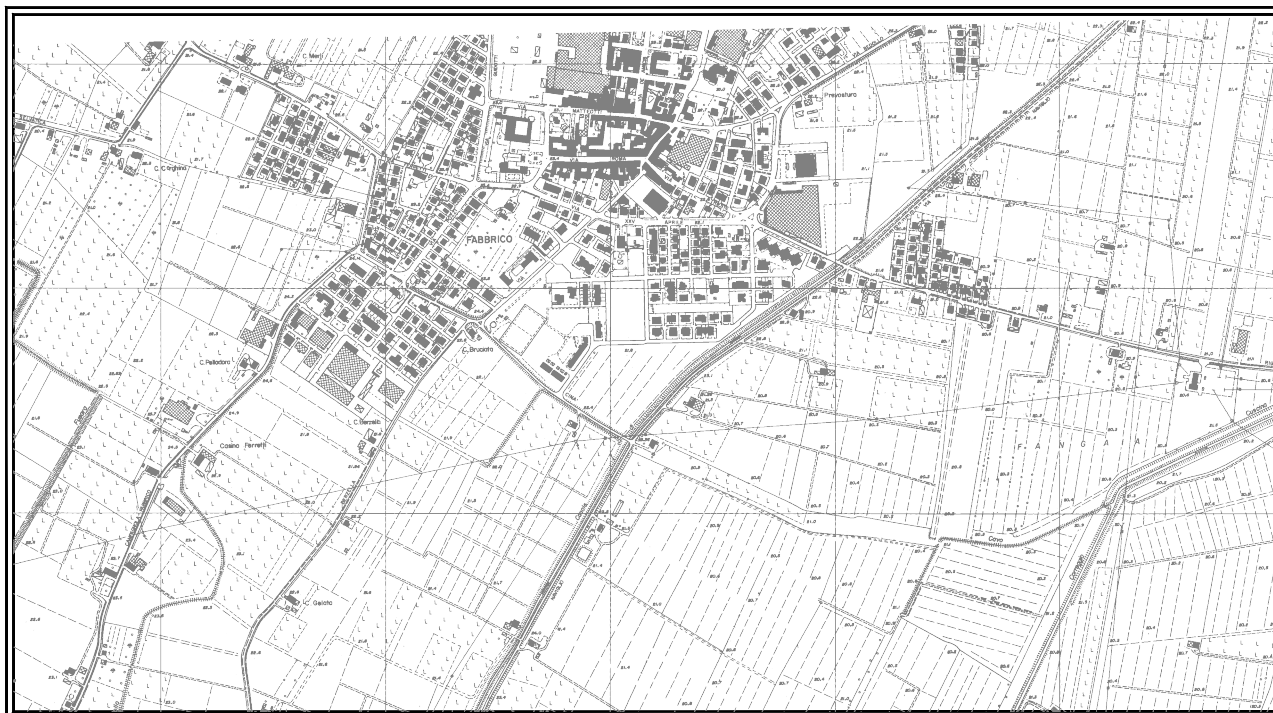


R. Emilia Romagna

Provincia di Reggio Emilia

Comune di FABBRICO

**REALIZZAZIONE STRUTTURE SCOLASTICHE PROVVISORIE
NELL'AREA DEL PARCO URBANO ETTORE BIGI**

Amministrazione comunale di Fabbrico

**CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE
GEOLOGICO - SISMICA E GEOTECNICA**

Dr. Geol. GIAN PIETRO MAZZETTI



REL.N°	REV.	DATA	NOTE	Verificato	Approvato
1879/12	0	Giugno 2012		S.Gilli	G.P.Mazzetti

STUDIO GEOLOGICO CENTROGEO

42015 CORREGGIO (RE) - PIAZZA S. QUIRINO, 6 - TEL 0522 641001 - FAX 0522 632162

COMUNE DI FABBRICO**REALIZZAZIONE STRUTTURE SCOLASTICHE PROVVISORIE NELL'AREA
PARCO URBANO ETTORE BIGI****Amministrazione Comunale di Fabbrico**

INDICE	
INTRODUZIONE	1
INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO	1
CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA	1
INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	3
Carta degli effetti attesi e dei livelli di approfondimento PTCP RE	5
MODELLAZIONE SISMICA – PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	5
Inquadramento topografico	5
CARATTERI SISMOTETTONICI DEL TERRITORIO	6
CLASSIFICAZIONE SISMICA – PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	7
AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	10
PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA REMI	11
Identificazione categoria suolo di fondazione	12
Fattore di amplificazione sismico locale	13
<i>ANALISI DEI MICROTREMORI CON LA TECNICA HVSR</i>	16
ANALISI SUSCETTIVITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	17
CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	19
Considerazioni sulla litostratigrafia geomeccanica	20
PORTANZA DEI TERRENI	23
Tensioni ammissibili	23
STATO LIMITE ULTIMO DEI TERRENI DI FONDAZIONE	24
STATO LIMITE ULTIMO DEI TERRENI DI FONDAZIONE IN CONDIZIONI STATICHE	25
Resistenza del terreno di fondazione - Utilizzo dei coefficienti M1	25
Resistenza del terreno di fondazione - Utilizzo dei coefficienti M2	25
Verifica portanza terreni allo stato limite ultimo	26
STATO LIMITE ULTIMO DEI TERRENI DI FONDAZIONE IN CONDIZIONI DINAMICHE	27
Resistenza del terreno di fondazione - Utilizzo dei coefficienti M1	27
Resistenza del terreno di fondazione - Utilizzo dei coefficienti M2	28
Verifica portanza terreni allo stato limite ultimo in condizioni sismiche	28
STATO LIMITE DI ESERCIZIO - CEDIMENTI	29
Distorsione angolare	30
CEDIMENTI PERMANENTI POST SISMICI (STATO LIMITE DI ESERCIZIO IN CONDIZIONI DINAMICHE)	31
MODULO DI REAZIONE	31
CONCLUSIONI E SUGGERIMENTI	33

ALLEGATI	
<i>UBICAZIONE AREA STUDIATA</i>	<i>TAV. 1</i>
<i>CARTA GEOMORFOLOGICA</i>	<i>TAV. 2</i>
<i>CARTA ISOPIEZE DELLA FALDA FREATICA</i>	<i>TAV. 3</i>
<i>CARTA EFFETTI ATTESI</i>	<i>TAV. 4</i>
<i>PLANIMETRIA UBICAZIONE PUNTI D'INDAGINE</i>	<i>TAV. 5</i>

SCHEDE:

DIAGRAMMI PENETROMETRICI
INDAGINE RE.MI. 1
INDAGINE HVSR 1

INTRODUZIONE

Nell'ambito progettuale per realizzazione di Strutture Scolastiche Provvisorie nel parco urbano Ettore Bigi, a Fabbrico (RE), ubicato nel settore sud occidentale del capoluogo, è stata effettuata l'indagine ed analisi sismica ed elaborazione di modellazione geotecnica oggetto della presente relazione.

La disamina delle caratteristiche del sottosuolo nell'area di intervento e del territorio ad essa circostante, eseguito su commissione dell'**AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI FABBRICO**, – Reggio Emilia, si è redatta in ottemperanza ai dettati del D.M. 11/03/88, circ. LL.PP. 24/09/88 N° 30483 ed in riferimento al D.M. 14-01-2008, Delibera Assemblea Legislativa R.E.R. n° 112 del 02-05-2007, LR.ER. n°19/2008; PTCP.RE, 2010.

Le analisi effettuate hanno evidenziato condizioni geomorfologiche, idrogeologiche, parametri geotecnici, caratteristiche della pericolosità sismica di base e della risposta sismica locale, che denotano idonee caratteristiche del sito per la destinazione d'uso prevista.

INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

I terreni esaminati ricadono in prossimità della zona centro settentrionale dell'elemento *FABBRICO N° 183102* delle basi C.T.R. E.R. in scala 1:5.000, appartenente, per quanto riguarda la cartografia I.G.M., alla tavoletta NOVELLARA I° SW del F° REGGIO NELL'EMILIA N° 74, quadrato PQ zona 32 T.

I vertici delle coordinate *Gauss-Boaga*, riferiti circa agli spigoli dell'area di intervento, sono:

- 1642728 – 4970121;
- 1642777 – 4970091;
- 1642740 – 4970032;
- 1642690 – 4970067;

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), 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. Tali unità geologiche sovrastano le formazioni pre quaternarie che nel sottosuolo di Fabbrico - Correggio sono caratterizzate dalla fascia sud occidentale della

Dorsale Ferrarese; quest'ultima successivamente, in direttrice sud ovest, si esaurisce in prossimità di Reggio Emilia, dove è presente l'omonima sinclinale.

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). Tali fasce di dislocazione non risulta abbiano determinato fenomeni di frattura/ spostamento nelle coperture quaternarie continentali, che si siano ripercossi e manifestati in superficie, nel territorio al quale appartiene l'area di intervento.

Quanto esposto sarebbe confermato anche dalle passate migrazioni fluviali verso ovest dei fiumi appenninici e verso nord del Po (Veggiani, 1974) e dalle forme superficiali che indicano attività neotettonica nelle zone sud occidentali del reggiano: Bibbiano, Quattro Castella, (Cremaschi e Papani, 1975) ed analogamente nei settori orientali del territorio in narrativa e nel modenese (Ist. Geol MO, 1978).

I depositi alluvionali che formano i primi 300 - 350 m del sottosuolo della zona centro settentrionale dell' area comunale di Fabbrico sono costituiti da alternanze di spessi orizzonti argilloso limosi e sabbiosi attribuiti all'unità idrogeologica del Po. Procedendo in direzione meridionale, verso Rio Saliceto – Correggio, tali successioni sono gradualmente sostituite da ripetitive sequenze di livelli sostanzialmente argilloso limosi ai quali si intercalano lenti sabbiose di modesto spessore contraddistinte da una spiccata lenticolarità ed una sensibile discontinuità laterale; 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 in funzione dei mutamenti climatici e movimenti tettonici che hanno interessato il Bacino Padano.

Di questi ultimi quello più superficiale AES8a è costituito da successioni prevalentemente argilloso limose con intercalazioni o con sostituzione laterale di corpi sabbiosi ad assetto lentiforme, che costituiscono i primi 15 ÷ 25 m del sottosuolo (dall'attuale a ÷ 12000 ÷ 14000 anni b.p.), nei quali prevalgono le influenze dei cambiamenti climatici avvenuti nel bacino padano negli ultimi 12 ÷ 14000 anni.

Successivamente si riscontrano sequenze prevalentemente argilloso limose, con intercalati in subordinate strati sabbiosi, che giungono sino a -90 ÷ -110 m pc correlabili al sintema AES7 (12000 ÷ 125000 anni b.p.) che denotano significative deformazioni correlabili a movimenti tettonici.

A queste seguono alternanze prevalentemente argillose, che presentano intercalazioni sabbiose in percentuale leggermente maggiore rispetto all'unità ad esse

sovrastanti, nelle quali si evidenzia una sensibile influenza dei movimenti tettonici che hanno coinvolto l'area in esame; tali sequenze giungono a $-200 \div -220 / -240 \div -260$ m dal piano campagna e sono attribuite al sintema AES ($125.000 \div 400.000$ anni b.p.).

A dette successioni litostratigrafiche soggiacciono alternanze di orizzonti argilloso limosi e sabbiosi che denotano una pronunciata influenza dei movimenti tettonici che hanno interessato il bacino padano da 400.000 ad $800.000 \div 900.000$ anni b.p.; tali unità raggiungono profondità corrispondenti a $-350 \div -450$ m dal piano campagna, e sono attribuibile al sistema AEI.

Superati detti depositi si rilevano orizzonti argilloso sabbiosi - sabbioso argillosi, contenenti macrofossili e livelli torbosi, dalle quote di $-350 \div -400$ m dal piano campagna, profondità alla quale compaiono le acque salmastre.

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio in esame appartiene alla fascia di transizione tra la Media Pianura Padana Appenninica e la Bassa Pianura, costituitasi tra i coni alluvionali pedeappenninici ed il settore francamente dominato dal Po.

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

L'attuale assetto geomorfologico territoriale consegue alle passate vicende fluviali dei torrenti Crostolo, Tresinaro, e Fiume Po. Questi, sommatamente all'azione dell'uomo: bonifiche, canalizzazioni, urbanizzazioni, ecc, hanno portato ad una conformazione pianeggiante. Localmente la zona è caratterizzata dalla presenza di un dosso a direttrice sud ovest – nord est, estendentesi da Campagnola a FabbriCo e successivamente orientato ovest est, in direzione Rolo – Novi. Tale struttura geomorfologica, sulla quale è ubicata l'area del capoluogo, è attribuibile ad un paleoalveo del Crostolo.

Nel settore in esame le pendenze oscillano mediamente tra $2,5 \div 4$ ‰ e declinano in direttrice SW-NE.

In corrispondenza del sito in analisi, l'assetto altimetrico del dosso morfologico tende localmente a declinare in verso est est nord ed al fianco del medesimo, zona sede del parco, in direzione nord ovest; le quote medie dei piani stradali all'intorno dell'area in analisi, sono comprese tra 23 e $23,8$ m s.l.m.

La carta geomorfologica (Tav. 2) indica la presenza di due paleoalvei, il principale allungato secondo la SP Campagnola E. – FabbriCo ed uno secondario, meno recente,

orientato in senso ovest ovest nord – est est sud. Tale corpo fluviale estinto interseca quello precedente nel settore immediatamente a sud del centro storico di Fabbrico.

Il paleoalveo principale, prima descritto, ubicato in corrispondenza del sito di intervento, risulta essere quello che ha maggiormente contribuito alla formazione dei primi 10 m del sottosuolo.

Oltre a detta emergenza morfopaesaggistica, 500 ÷ 600 m a sud est del capoluogo sono rilevabili estese aree vallive, caratterizzate da sedimentazione lenta con prevalenza di litotipi argillosi.

La struttura geomorfologica descritta (paleoalveo) fa riscontro alla successione litostratigrafia rilevata dai sondaggi geognostici eseguiti ed a altri effettuati nel contesto dello studio di PSC 2002 del Comune di Fabbrico. Questi evidenziano, nei primi 9 m del sottosuolo, la presenza di alternanze di strati sabbiosi sabbioso fini limosi e limoso sabbioso fini con subordinate sottili intercalazioni lentiformi argillose, limoso argillose; detta sequenza è seguita da un orizzonte essenzialmente argilloso – argilloso limoso da -9 a -16 ÷ -17/-18 m p.c. e tende ad arricchirsi in componenti sabbioso limose in direzione sud.

La successione litostratigrafia riscontrata nel sito di intervento, tipicamente ascrivibile ai corpi di canale fluviale negli ambiti di pianura, concorda con le caratteristiche geomorfologiche territoriali sopra descritte.

L'agente geomorfologico che ha più influenzato il territorio all'intorno del capoluogo è l'uomo, come evidenzia l'intensa urbanizzazione dell'area.

Il livello della falda freatica al momento delle prove, Giugno 2012, misurato nei fori delle prove penetrometriche, corrisponde a -2,0 ÷ -2,2 m dal piano campagna; al periodo delle rilevazioni effettuate nel contesto del PSC 2002 la soggiacenza nel settore di territorio in narrativa corrispondeva a -2 m pc e pertanto equivalente a quella del giugno 2010.

Per quanto riguarda l'interazione delle opere fondali con le falde idriche sotterranee non si avranno sensibili modificazioni rispetto alle condizioni in essere, in rapporto alla profondità della falda freatica e del previsto piano di posa delle fondazioni.

Analogamente, per quanto concerne le interazioni con il primo acquifero artesianico, mediamente rinvenibile a -15 /-20 ÷ -25 m p.c., nelle zone centro meridionali del territorio di Fabbrico, non si verificheranno fenomeni di interferenza.

Nel contesto di quanto esposto si evidenzia che dovrebbero essere limitate le perforazioni di pozzi per approvvigionamento idrico nei primi 10÷15 m del sottosuolo. Questo poiché i litotipi presenti potrebbero risultare soggetti a fenomeni di subsidenza differenziale localizzata a causa dell'abbattimento delle pressioni neutre nei terreni.

Ne consegue che eventuali utilizzi di acque sotterranee, per pozzi captanti l'acquifero freatico, dovrebbero essere rigidamente regolamentati e le portate utilizzabili determinate mediante prove in pozzo al fine di stabilire i quantitativi prelevabili in litri/secondo conformemente alle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero.

Carta degli effetti attesi e dei livelli di approfondimento PTCP RE

L'elaborato di PTCP che definisce le condizioni di pericolosità sismica locale ed individua gli effetti attesi in occasione di sollecitazione sismica Tav. P9a – 183S0, indica gli effetti che devono essere analizzati per la riduzione del rischio sismico. I livelli di approfondimento che competono a questi ultimi, da svilupparsi nel contesto delle disamine per le fasi attuative degli interventi nel territorio, sono visualizzati nell'elaborato di PTCP Tav. P9b – 183S0.

In funzione delle caratteristiche delle forme e processi, tipologia dei depositi, del tipo di alternanze litologiche che costituiscono i primi 100 ÷ 150 m del sottosuolo, nel settore di territorio interessato dall'intervento in oggetto, sono previsti approfondimenti di III° livello (tav.P9b – 183S0) per la valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafica e della suscettività alla liquefazione. A tale scopo sono state acquisite le velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio nei primi 40 m del sottosuolo e definiti i valori dei fattori di amplificazione FA.PGA ed FA.IS in riferimento alle tabelle dell'allegato A2.1.2 della DAL 112/2007; detti tabulati forniscono i sopra citati parametri in funzione della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio rapportate alle caratteristiche della successione litotecnica e della profondità alla quale si riscontra il bed rock sismico.

Analisi dei fattori di amplificazione con codice di calcolo Proshake, effettuati dallo scrivente, per profili sismostratigrafici equivalenti a quelli riscontrati nel sito in oggetto, hanno fornito valori di FA.PGA ed F.A.IS praticamente equipollenti, tendenzialmente leggermente inferiori, a quelli della sopraccitata DAL 112/2007. Ne consegue che i fattori di amplificazione utilizzati nei successivi sviluppi di calcolo, in pratica corrispondono a quelli che si otterrebbero con analisi di codice di calcolo e sono a favore della sicurezza.

MODELLAZIONE SISMICA – PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Inquadramento topografico

Le coordinate geografiche (ellissoide ED50) relative circa al centro dell'area di intervento corrispondono a:

10.80733 ÷ 44.87045

(utilizzate per il calcolo dell'azione sismica – DM 14-01-08)

CARATTERI SISMOTETTONICI DEL TERRITORIO

L'areale a cui appartiene il territorio comunale di FabbriCo, RE, è costituito nei primi 250 ÷ 400 m del sottosuolo, da alternanze di orizzonti prevalentemente argillosi con intercalati, spessi, livelli sabbiosi a assetto più o meno lenticolare, che rappresentano i depositi alluvionali del *Quaternario Continentale*. Ad essi successivamente a 300 ÷ 350 m dal piano campagna, soggiacciono alternanze di orizzonti sabbiosi ed argillosi, con la tendenziale prevalenza delle unità sabbiose, correlate ai depositi sedimentari del *Quaternario Marino*.

Alle profondità del sottosuolo sottostanti 300 ÷ 330 m, si riscontra l'interfaccia acque dolci/acque salmastre.

Le sopradette sequenze proseguono sino a -1,5 ÷ -2 Km dal piano campagna, quota alla quale si riscontrano le successioni preplioceniche; queste ultime procedendo in direzione sud ovest si approfondiscono rapidamente giungendo a -2,5 ÷ -3 km pc nel territorio di Correggio.

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 monclinale 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.

Detta dorsale è stata interessata da movimenti attivi negli ultimi 0,6 ÷ 0,01 Ma¹, come evidenziano le alterne fasi di sollevamento ed abbassamento (minori entità relative dei sollevamenti) e traslazioni orizzontali identificati nella *Carta Neotettonica dell'Appennino Settentrionale* (CNR – PFG SN; 1987). Analoghe caratteristiche testimoniano le faglie e sovrascorrimenti attivi o riattivatisi, evidenziati nella *Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna* (M.Boccaletti, L.Martelli; 2004).

Le strutture sepolte attive sono rappresentate dal Fronte di Accavallamento della Successione Carbonatica Meso-Cenozoica e dalla linea di sovrascorrimento che delimita l'ala occidentale settentrionale della Dorsale Ferrarese.

Il suddetto Fronte di Accavallamento si estende in direttrice sud ovest – nord est circa da Cavriago 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 – FabbriCo - Rolo – Novi di Modena – S.Caterina di Concordia s.Secchia.

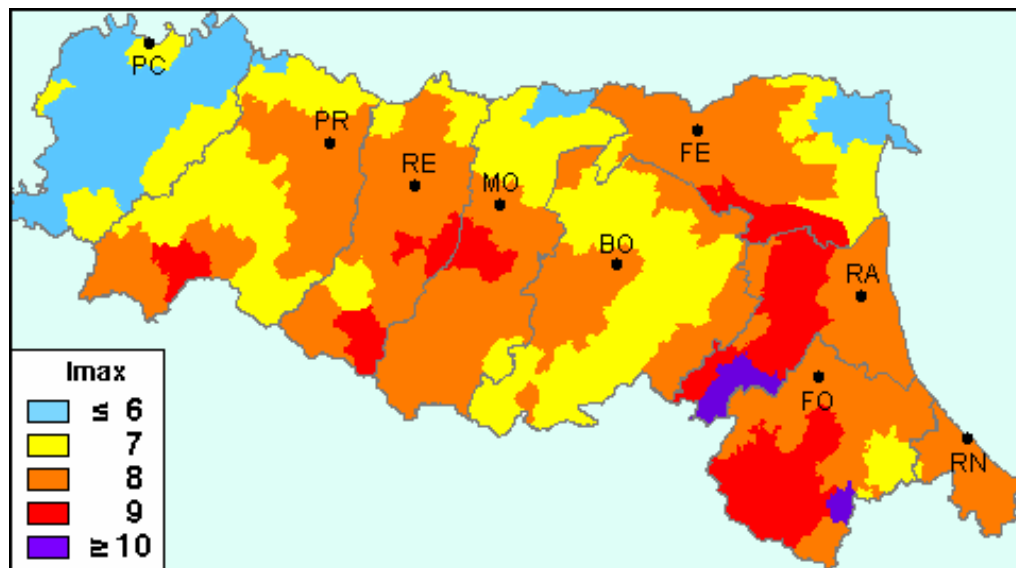
¹ Ma: milioni di anni

Nell'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/s.S. n° 468 di Correggio – Via Geminiola; da quest'ultima, assumendo una conformazione arcuata, flette in direttrice est – ovest, allungandosi circa sub parallelamente a V. Geminiola sino a Mandrio – C. Fornaciari, in seguito riassume direzione sud ovest – nord est orientandosi circa secondo C. Brunetti, Stabilimenti Goldoni, Budrione, Fossoli. Circa 2 ÷ 2,5 km a nord est di quest'ultima località, approssivamente dall'intersezione strada delle Valli e via Remesina, la sopra indicata linea di sovrascorrimento è intersecata da una faglia trascorrente, riattivatasi nel *Pliocene – Pleistocene superiore*, a direzione sud sud est – nord nord ovest, che si estende dal sopraccitato incrocio in direzione di Novi di Modena – Le Tulle. Detta faglia disloca la Dorsale Ferrarese e si associa alla zona dove l'anticlinale in narrativa flette in direzione sud ovest.

Le sopradette linee tettoniche e loro componenti secondarie, per processi distensivi nelle unità quaternarie, non hanno evidenziato palesi ripercussioni in superficie nella zona di cui fa parte l'area d'intervento ed all'intorno della stessa.

CLASSIFICAZIONE SISMICA – PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Nell'ambito in cui ricade il territorio comunale di FabbriCo (RE) il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile (*D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, 1996*) documenta eventi sismici giungenti al 7° – 8° grado della Scala *Mercalli - Cancani – Sieberg*, con intensità massima corrispondente ad $M = 5,5 \div 5,6$, come evidenziato nella seguente figura.



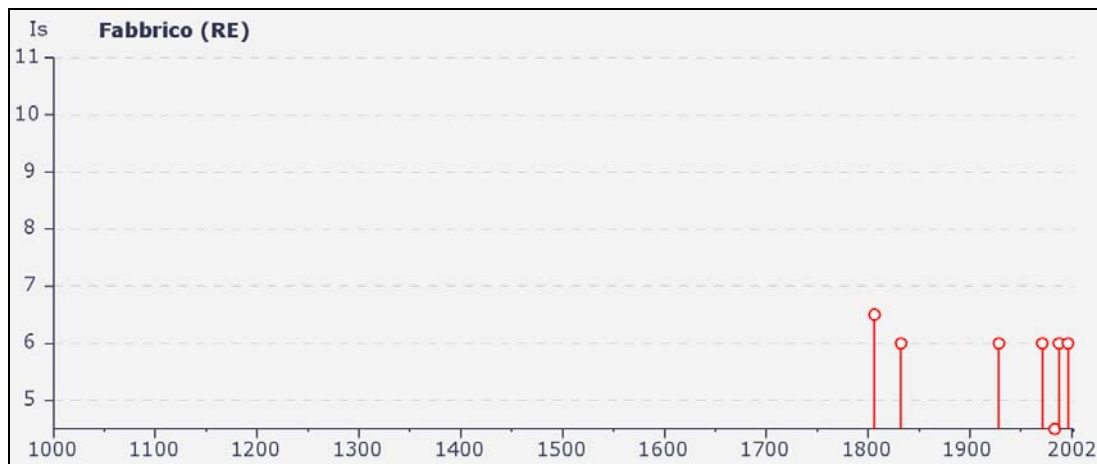
Nell'ambito a cui appartiene il territorio comunale di Fabbrico il *Database Macrosismico DBMI04*, utilizzato per la compilazione del *catalogo parametrico CPTI04* (Gruppo di lavoro CPTI, 2004 – INGV, Bologna) sono documentati gli eventi sismici di seguito riportati:

Storia sismica di Fabbrico

Numero di eventi: 9

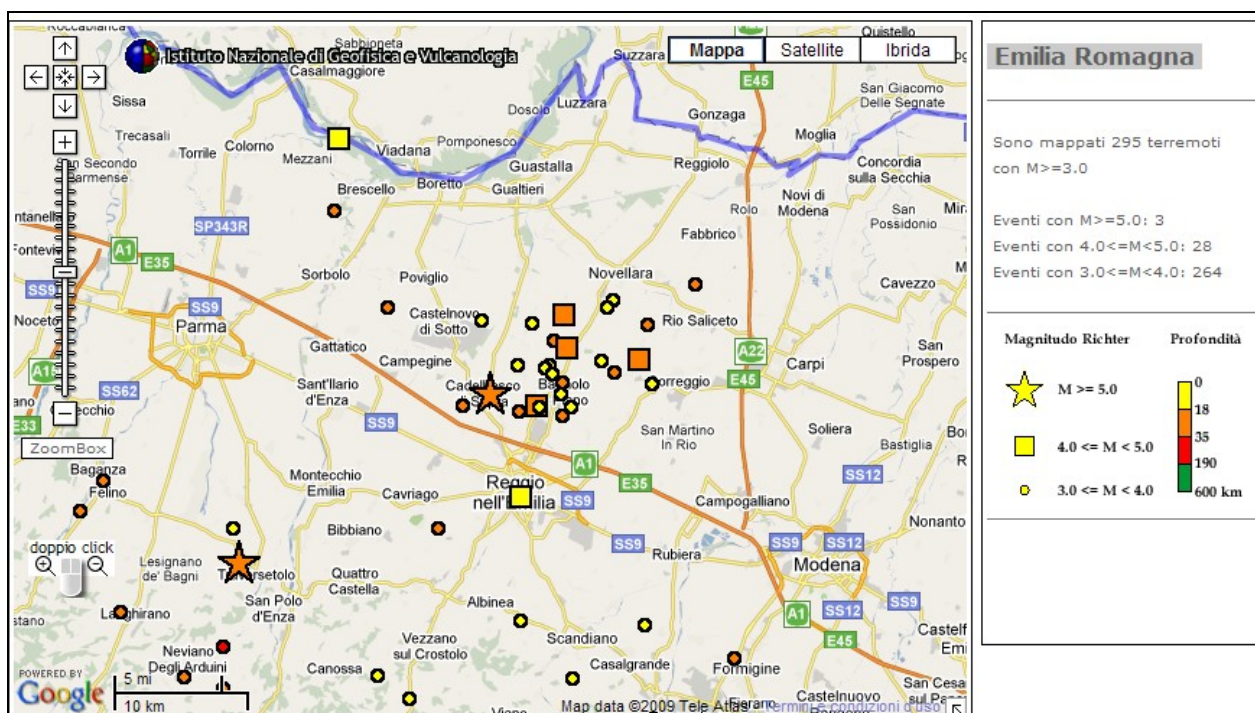
Effetti	In occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
6-7	1806	02	12			NOVELLARA	28	7	5.26
6	1832	03	13	03	30	Reggiano	93	7-8	5.59
6	1928	06	13	08		CARPI	35	7	4.85
6	1971	07	15	01	33	Parmense	228	8	5.61
4-5	1983	11	09	16	29	Parmense	835	7	5.10
NF	1984	04	29	05	02	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.68
NF	1986	12	06	17	07	BONDENO	604	6	4.56
6	1987	05	02	20	43	REGGIANO	802	6	5.05
6	1996	10	15	09	55	CORREGGIO	135	7	5.44

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



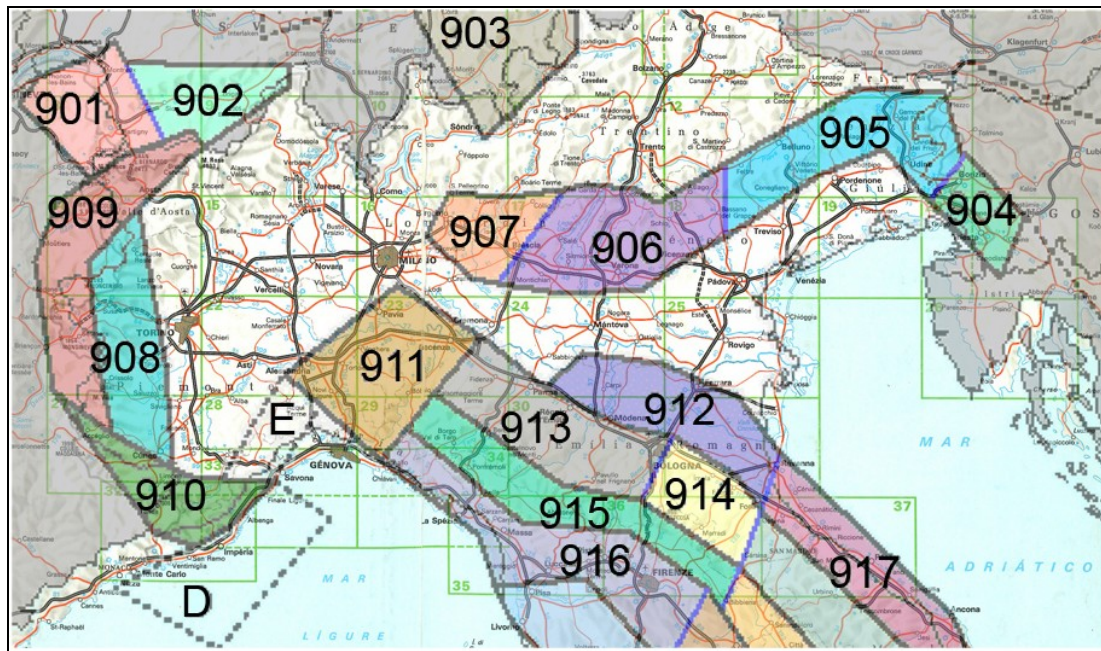
(tabella e grafico reperiti dall'archivio DBMI04, consultabile al sito internet <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>)

Gli epicentri sismici verificatisi nel territorio in analisi hanno origine, per la percentuale maggiore, nei primi 15 ÷ 25 km del sottosuolo ed evidenziano 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 Fabbrico 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 dell'NTC 14/01/2008, sono congruenti con quelli delle classificazioni sopra esposte.

AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

DM 14/01/2008

Sulla base delle indicazioni contenute delle NTC di cui al D.M. 14/01/08, per l'area in esame, considerando, strutture di classe III (vita nominale $V_n = 75$ anni, coefficiente d'uso $C_u = 1,5$; $V_r = 112,5$ 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	68	0.054	2.555	0.273
SLD	113	0.068	2.505	0.282
SLV	1068	0.187	2.528	0.278
SLC	2193	0.248	2.469	0.286

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%
 a_g = accelerazione massima di riferimento al suolo
 F_0 = fattore di amplificazione
 T_c = inizio del tratto orizzontale dello spettro di risposta

D.A.L. R.E.R. 112/2007

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 dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n°112/2007, per il comune di FabbriCo, corrisponde a

$$a_{refg} = 0,134 g$$

PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA REMI

In riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale: D.M. 14/01/2008 ed a quanto previsto negli elaborati di zonazione sismica del PTCP Reggio Emilia 2010, per determinare la categoria del suolo di fondazione, è stata eseguita una prospezione geofisica con metodo passivo Re.Mi. per la rilevazione della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.

La prospezione si è 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 2 m per una lunghezza totale di stendimento di 46 m.

Nella procedura con metodo passivo le onde superficiali sono generate dai rumori di fondo (microtremori) prodotti da sorgenti naturali (vento, fiumi, onde d'acqua, ecc) e antropiche (traffico - attività industriali) e sono registrate da uno stendimento lineare costituito ricevitori posti a varie distanze.

Il metodo passivo permette di determinare e definire una curva di dispersione nelle bande di frequenza tra 2 e 20 Hz.

Tale procedura consente di ottenere uno spettro nella banda di frequenza comprese tra i suddetti valori e permette la ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 30-100 m di profondità, in funzione della lunghezza dello stendimento.

Per l'acquisizione dei microtremori ambientali sono state effettuate venti registrazioni della durata di 30 sec 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 $1/\text{velocità di fase}$) ed ottenere una “*curva di dispersione*”.

Quest’ultima è visualizzata su un diagramma in cui appare anche la curva di dispersione calcolata a partire da un modello di V_s 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 nell’allegata scheda “*indagine Re.Mi.*”, riportante lo spettro di potenza mediato, la curva di dispersione, sia sperimentale che calcolata, ed il relativo modello interpretativo.

Identificazione categoria suolo di fondazione

I dati acquisiti dalle rilevazioni effettuate denotano che i primi 30 m del sottosuolo, soggiacenti il piano di incastro delle fondazioni, sono contraddistinti da velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , profondità e spessori, come riportato nella seguente tabella:

Stendimento sismico ReMi

Orizzonte sismostratigrafico	Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	V_s (m/sec)
1	1,0 ÷ 3,8	2,8	148
2	3,8 ÷ 9,5	5,7	290
3	9,5 ÷ 15,7	6,2	216
4	15,7 ÷ 31,0	15,3	308

Tab. a

La definizione del valore V_{s30} , velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m del sottosuolo, si è calcolata mediante la relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{v_i}}$$

dove:

h_i = spessore dello strato i-esimo, m

v_i = velocità onde di taglio strato i-esimo, m/sec

ottenendo:

$$V_{s30} = 257 \text{ m/s}$$

Dalle parametrizzazioni sopra esposte e dall'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 spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Fattore di amplificazione sismico locale

Fattore di amplificazione topografico

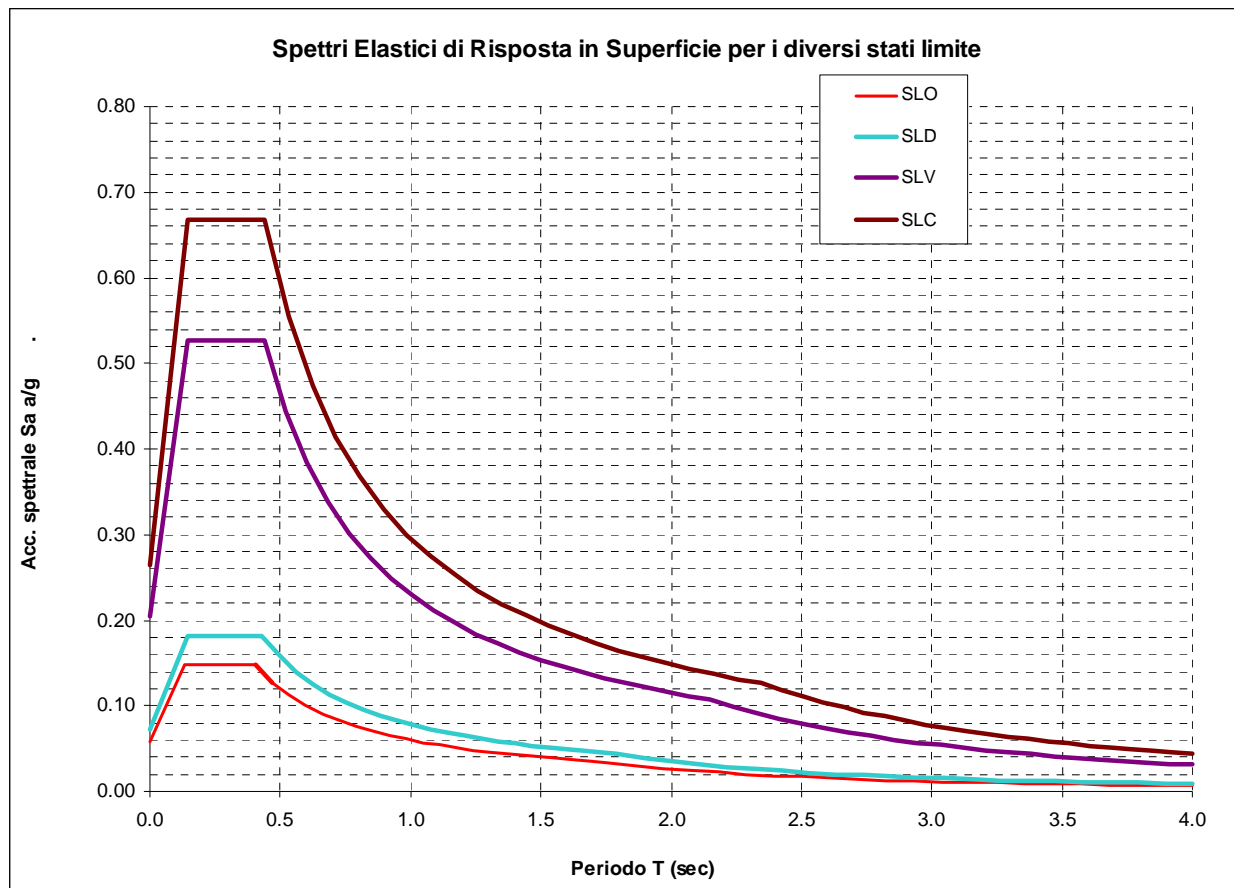
L'area si ubica in una zona pianeggiante, quindi in ottemperanza alle normative regionali e nazionali, il coefficiente di amplificazione topografico corrisponde a:

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

Fattore di amplificazione stratigrafico

Sulla base delle indicazioni contenute delle NTC di cui al D.M. 14/01/08, per l'area in esame, considerando strutture di classe III (vita nominale $V_n = 75$ anni, coefficiente d'uso $C_u = 1,5$ $V_r = 112,5$ 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	68	1,500	1,611
SLD	113	1,500	1,595
SLV	1068	1,416	1,602
SLC	2193	1,332	1,588



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 = fattore di amplificazione

C_c = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo

D.A.L. R.E.R. 112/2007

Sulla base delle indicazioni della Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n° 112 del 02/05/2007 – Allegato A2, si è determinato il coefficiente di amplificazione sismico locale mediante la relazione di *Housner*.

In riferimento allo spessore ed omogeneità dei materiali investigati, si è considerata la condizione "Pianura 2": con profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie con substrato sismico a profondità maggiore di 100 m da piano campagna.

Il valore di incremento della intensità sismica locale si è determinato mediante la relazione di *Housner*:

$$\Delta a = \int_{T_1}^{T_2} PSV dt$$

dove:

Δa = fattore di amplificazione

PSV = spettro di risposta in velocità

In occasione di sollecitazione sismica, in funzione delle caratteristiche litostratigrafiche locali, la successione sismostratigrafica può essere interessata dai seguenti fattori di amplificazione:

$$Fa_{PGA} = 1,5$$

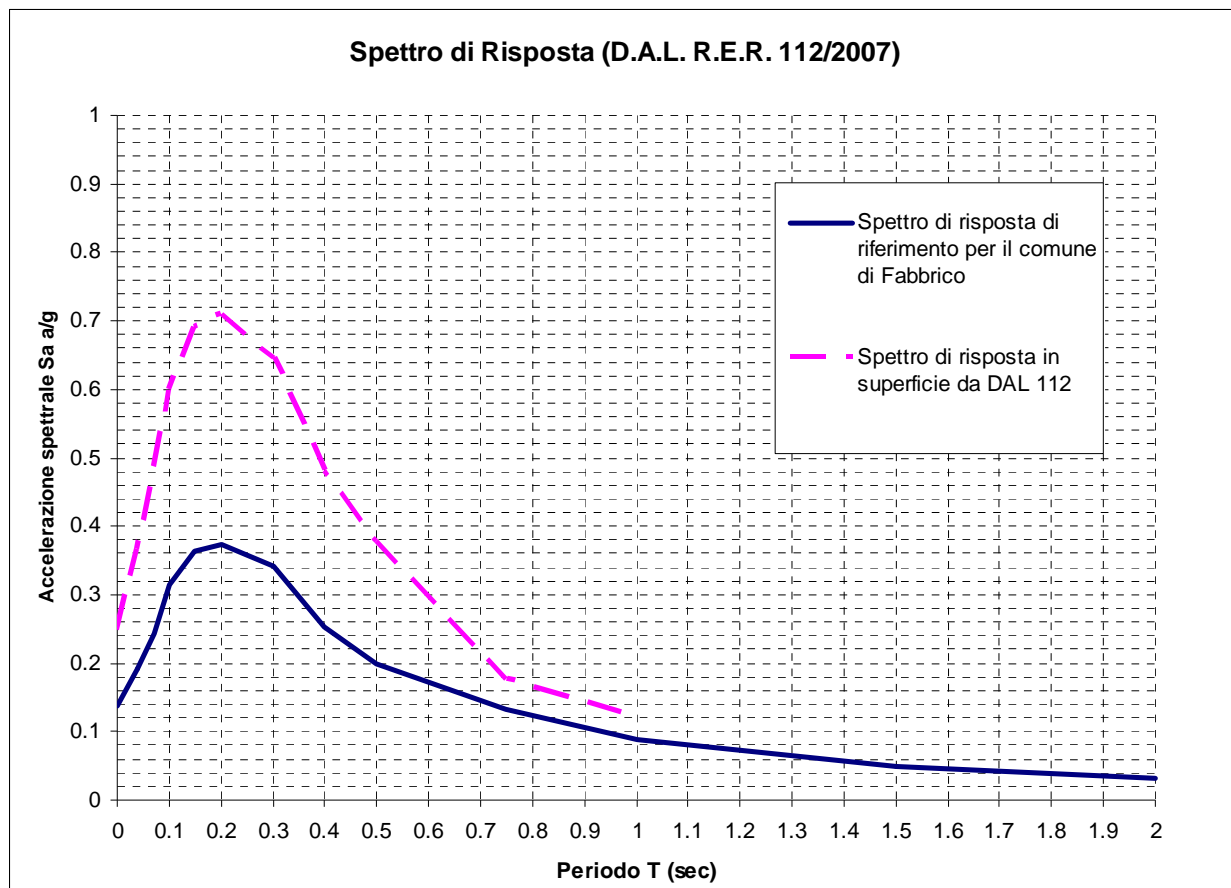
$$Fa_{IS} (0,1 < T_0 < 0,5) = 1,8$$

$$Fa_{IS} (0,5 < T_0 < 1) = 2,3$$

per un valore dell'accelerazione al suolo di riferimento (DM/2008) pari a:

$$a_g = 0,137 \text{ g}$$

Nella seguente figura sono riportati gli spettri di risposta di riferimento e gli spettri di risposta di progetto riferiti ai suddetti valori di FA IS, secondo i parametri esposti nelle tabelle dell'Allegato A2.1.2 della D.A.L. 112/2007.



ANALISI DEI MICROTREMORI CON LA TECNICA HVSR

Nel sito oggetto di indagine si è eseguita un'acquisizione di microtremori ambientali mediante un sismometro SR04MT/S3 ad elevata dinamica (24 bits) attrezzato con geofono tridirezionale da 2,0 Hz di frequenza propria.

L'acquisizione è stata effettuando campionando il segnale a 100 Hz per una durata di circa 30 minuti.

Tali dati sono stati elaborati con la tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). detta metodologia considera che i microtremori causati prevalentemente dalle onde di *Rayleigh*, nelle componenti verticali del moto non subiscono fenomeni di amplificazione in corrispondenza di marcati contrasti di impedenza sismica; d'altra parte detto processo 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 nera 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 principale equivalente a:

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

corrispondente al periodo principale:

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

Si rilevano inoltre i seguenti picchi di amplificazione secondaria:

$$f_1= 2,0 \text{ Hz}$$

$$f_2= 8,5 \text{ Hz}$$

corrispondenti a detti periodi:

$$t_1=0,50 \text{ sec}$$

$$t_2=0,12 \text{ sec}$$

Il valore di 2° ordine: $f_2 = 8,5 \text{ Hz}$, evidenzia un elevato grado di corrispondenza con gli effetti del contrasto di impedenza determinato dall'orizzonte sabbioso riscontrato a -3 ÷ -4 m dal piano campagna.

Nell'ambito degli studi relativi alla fase esecutiva, sarà opportuno accertare, considerando tali valori, che non si verifichino fenomeni di doppia risonanza terreno – struttura.

ANALISI SUSCETTIVITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

In relazione alla riclassificazione sismica del territorio nazionale: O.PCM n° 3274 del 03-2003 che attribuisce il comune di Fabbrico alla zona 3, del valore di a_g indicato delle NTC del DM 14/01/2008, a quanto richiesto dalle analisi di zonazione del PTCP.RE. 2010, in funzione della presenza di strati limoso sabbiosi e localmente sabbioso fini, saturati dalla falda idrica sotterranea, si è effettuata l'analisi di risposta dei terreni in rapporto a condizioni di sollecitazione dinamica per una magnitudo dell'evento corrispondente ad $M = 5,5$.

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 questa è la configurazione più sfavorevole per il rischio di liquefazione.

L'analisi delle condizioni di rischio per i litotipi potenzialmente liquefacibili si è eseguita mediante il metodo di *Robertson & Wride (1997b)*, utilizzando un software direttamente realizzato (*Centrogeo*, 2003), 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

$$CSR = \frac{\tau_d}{\sigma'_0} = 0,65 \frac{A}{g} \frac{\sigma_0}{\sigma'_0} (1 - 0,00765z)$$

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, equivalente a 0,265 per l'area in analisi.

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.

Gli allegati certificati -“Analisi di suscettibilità alla liquefazione”- evidenziano l'assenza di orizzonti e/o lenti suscettibili a liquefazione in corrispondenza di eventi sismici sino a magnitudo equivalente ad $M = 5,6$.

La sismicità storica dell'area in analisi evidenzia una magnitudo attesa inferiore al suddetto valore.

Nella medesima scheda è inoltre esposto il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione (I_L), definito come:

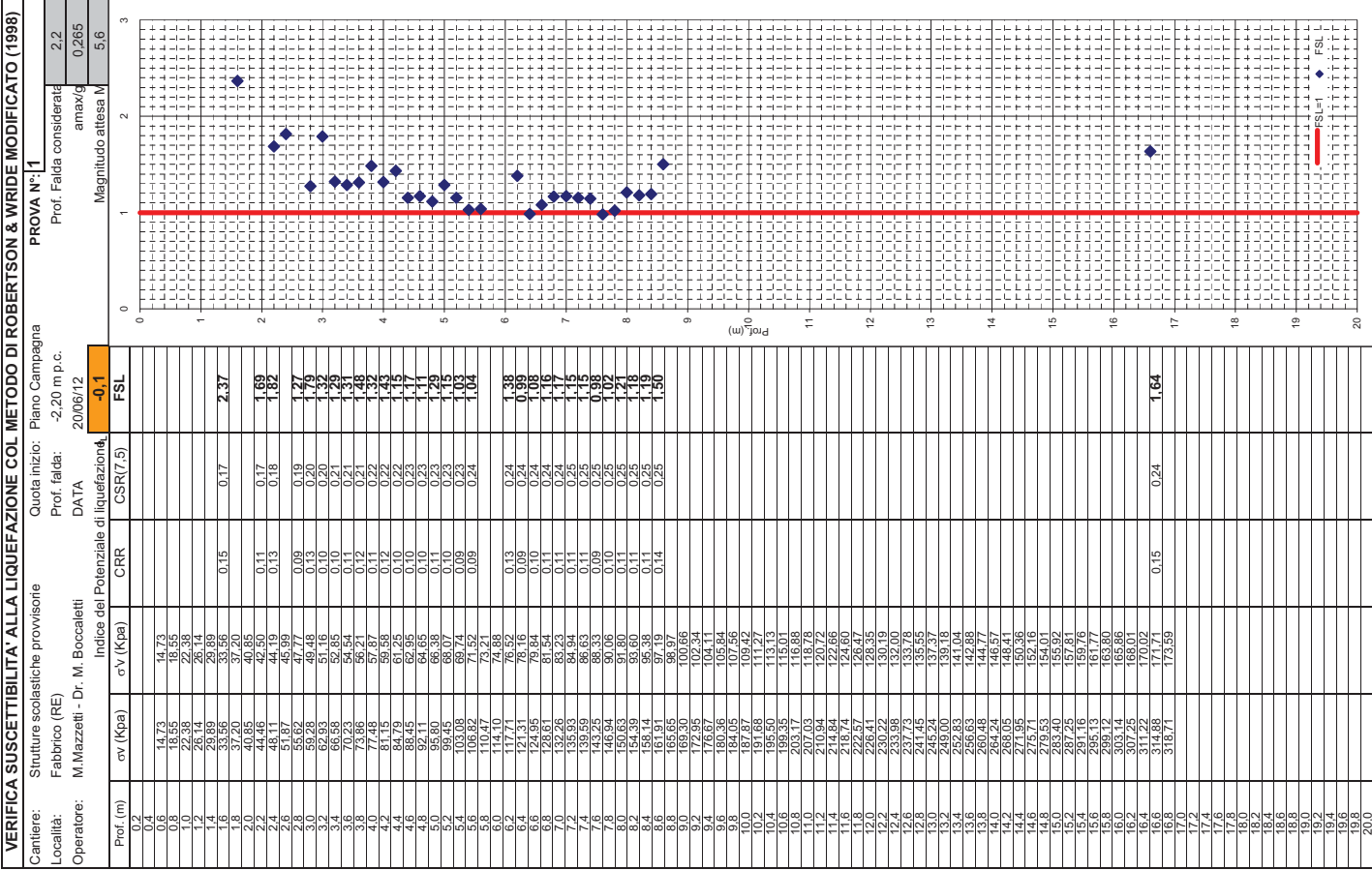
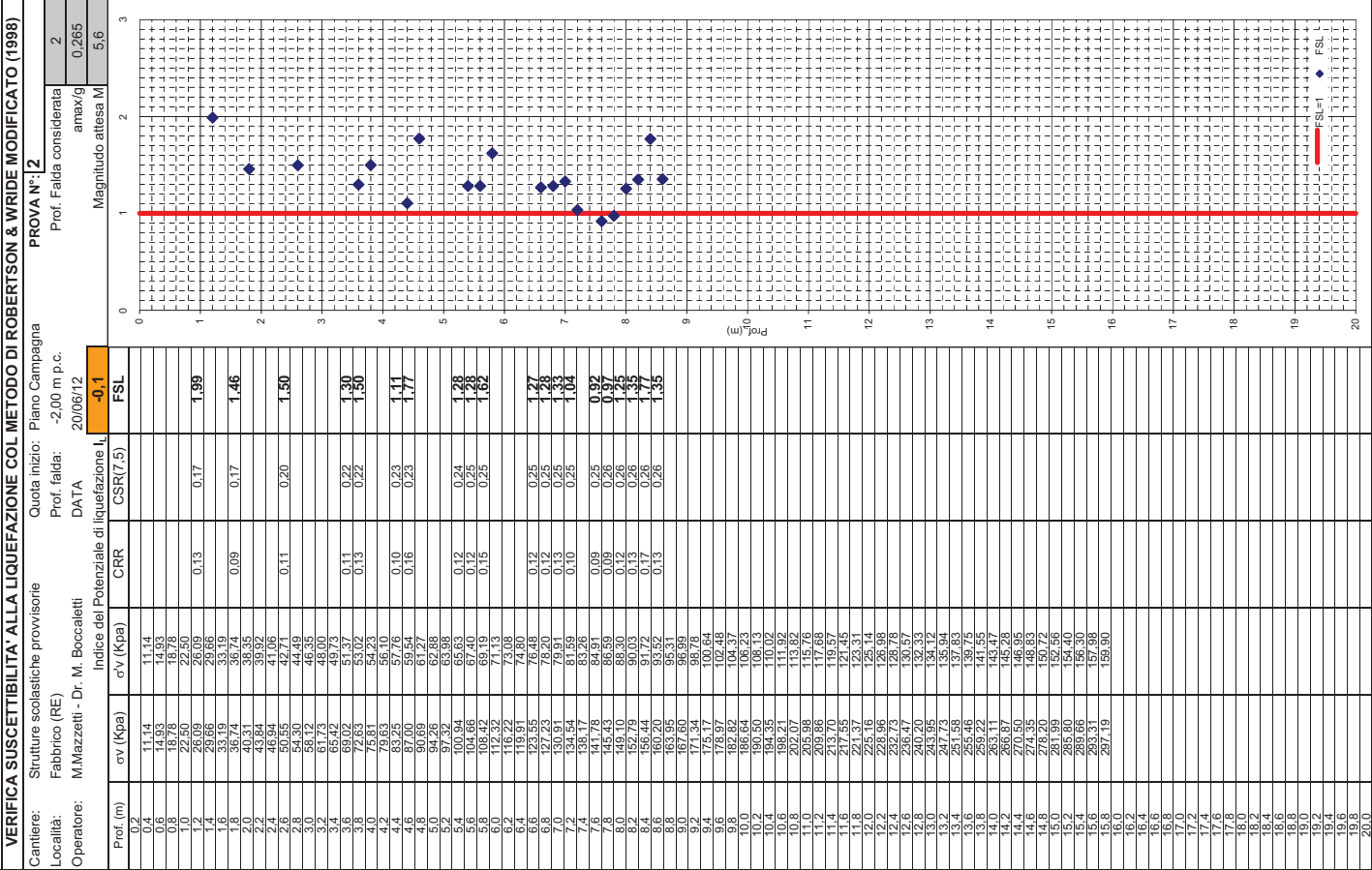
$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

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:

$$F=1-F_L \text{ se } F_L \leq 1; F=0 \text{ se } F_L > 1$$

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



Secondo la classificazione proposta da *Sonmez (2003)*, risultando l'indice del potenziale di liquefazione $I_L=0,1/0,0$, il rischio liquefazione è praticamente nullo.

CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

Per definire le caratteristiche litologico meccaniche dei terreni che formano il sottosuolo dell'area di intervento, sono state effettuate tre prove penetrometriche 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, con cella di pressione idraulica, a lettura analogica, attrezzando la prima asta con punta *Begemann (Friction Sleeve Cone)*. Dette prove hanno raggiunto profondità di 17 ÷ 18 m dal piano campagna.

I punti esaminati sono ubicati come nella planimetria (Tav. 5) ed i risultati relativi alle prove CPT appaiono visualizzati negli allegati diagrammi riportanti i seguenti parametri:

Profondità (m):

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

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 Litomeccanica
da piano campagna a -2,4 m p.c.	Superato lo strato di terreno agrario e/o di materiali di riporto, dello spessore di 0,6 ÷ 0,8 m, si riscontrano alternanze limoso sabbiose con incremento in componenti sabbioso fini limose in direttrice sud (Cpt 3). I valori di resistenza alla punta media oscillano tra $q_{cm} = 6$ e 8 kgf/cm ² , quelli di resistenza ad attrito laterale locale equivalgono ad $f_{sm} = 0,10$ ÷ $0,2$ kgf/cm ² . Fa in parte eccezione, il settore centro occidentale del sito in oggetto: Cpt 2, nel quale da -1,6 a -2,4 m pc si riscontra una lente limosa - limoso torbosa ad elevata compressibilità contraddistinta da $q_{cm} = 5$ kgf/cm ² ed $f_{sm} = 0,1$ kgf/cm ² .

Profondità	Descrizione Litomeccanica
Da -2,4 a -5 m p.c.	<p>Alternanze prevalentemente sabbiose e sabbioso limose, con locali subordinate sottili intercalazioni limoso sabbiose nella zona centrale occidentale (cpt2) dove si riscontra inoltre consistenza relativa dei terreni inferiore.</p> <p>I valori di resistenza alla punta variano mediamente tra $24 \div 34$ kgf/cm², ad eccezione di cpt 2 dove $q_c = 12 \div 16 \div 18$ kgf/cm²; la resistenza ad attrito laterale, fsm, oscilla tra 0,10 e 0,2 kgf/cm², ad eccezione le alternanze di Cpt 2, ove fsm = $0,2 \div 0,3$ kgf/cm².</p>
Da -5 a -5,5 ÷ -6 m p.c.	<p>Strato a pronunciata variabilità laterale sia delle componenti litogranulometriche che di consistenza, costituito da limi sabbiosi compressibili sostituiti in direzione sud da sabbie a medio grado di densità relativa; i valori di resistenza alla punta variano tra $q_{cm} = 5 \div 8$ kgf/cm² nella zona centrale e settentrionale (cpt 1 - 2), mentre $q_{cm} = 30 \div 40$ kgf/cm² nel settore meridionale (cpt 3); analogamente la resistenza all'attrito laterale oscilla tra fsm = $0,1 \div 0,2$ kgf/cm² in cpt 1 - 2 e tra fsm = $0,1 \div 0,3$ kgf/cm² in cpt 3.</p>
Da -5,5 ÷ -6 a -8,5 ÷ -9 m p.c.	<p>Unità a modesta differenziazione litologico granulometrica laterale, costituita da alternanze sabbiose con locali subordinate intercalazioni limoso sabbiose nella fascia centrale occidentale (Cpt 2). I valori di resistenza alla punta variano tra $q_{cm} = 28$ e $36 \div 44$ kgf/cm² la resistenza ad attrito oscilla tra fsm = $0,1 \div 0,4$ kgf/cm².</p>
Da -8,5 ÷ -9,0 a 10 m p.c.	<p>Termini essenzialmente argilloso limosi che si arricchiscono nella zona settentrionale (cpt 1) in componenti limoso sabbiose i valori di resistenza alla punta variano tra $q_{cm} = 10 \div 14$ kgf/cm²; e la resistenza ad attrito oscilla tra fsm = $0,5 \div 0,8$ kgf/cm² ad eccezione di Cpt 1, dove fsm = $0,3 \div 0,4$ kgf/cm².</p>
Da -10,0 a -12 m p.c.	<p>Litotipi essenzialmente argillosi ed argilloso limosi, a medio - medio elevato grado di consistenza con valori di q_{cm} oscillanti tra 14 e 16 kgf/cm² ed di fsm = $0,8 \div 1,0$ kgf/cm².</p>
Da -12 a -13,5 m p.c.	<p>Alternanze essenzialmente argilloso limose a medio medio basso grado di consistenza, contraddistinte da $q_{cm} = 10 \div 12$ kgf/cm², ed fsm = $0,5 \div 0,65$ kgf/cm².</p>
Da -13,5 a -14 ÷ -15 m p.c.	<p>Termini prevalentemente argillosi - argilloso limosi a medio elevato grado di consistenza caratterizzati da $q_{cm} = 19 \div 28$ kgf/cm² ed fsm = $0,9 \div 1 \div 1,3$ kgf/cm²</p>
Da -14 ÷ -15 a -18 m p.c.	<p>Unità a discreta variabilità litogranulometrica orizzontale costituita da termini prevalentemente argillosi - argilloso limosi nella zona centrale e settentrionale (cpt: 1 - 2) che sono sostituiti da alternanze di livelli limoso sabbiosi e limoso argillosi nella fascia meridionale (cpt 3); i valori di resistenza alla punta variano tra $q_{cm} = 24 \div 30 \div 40$ kgf/cm² nella zona centrale e settentrionale (cpt 1 - 2) e tra $q_{cm} = 20 \div 30 \div 34$ kgf/cm² nella parte meridionale (cpt 3); analogamente i valori della resistenza ad attrito laterale oscillano tra fsm = $1,0 \div 1,5 \div 2$ kgf/cm² in cpt 1 - 2 e tra fsm = $0,8 \div 0,9$ kgf/cm² in cpt 3.</p>

Considerazioni sulla litostratigrafia geomeccanica

Dalle correlazioni tra le indagini geognostiche eseguite, si riscontra una discreta continuità litologica laterale ed una differenziazione in senso verticale in orizzonti a caratteri granulometrici diversi.

All'assetto litostratigrafico descritto fanno riscontro i caratteri geomeccanici del sottosuolo che evidenziano alternanze di litotipi prevalentemente sabbiosi con lenti limoso sabbiose nei primi 8,5 ÷ 9 metri dal piano campagna.

Detta unità è seguita da sequenze essenzialmente argilloso limoso argillose normal consolidate sino a -14 m pc e da argille limose sovraconsolidate sino a -17 ÷ -18 m pc ad eccezione della zona meridionale del sito dove si denotano incrementi in componenti limoso sabbiose con equivalente grado di consistenza.

A tali condizioni conseguono comportamenti meccanici contraddistinti da:

- Anisotropia nei riguardi del coefficiente di permeabilità e quindi processi di consolidazione con possibili cedimenti differenziali sensibili.
- Consolidazione nel tempo sviluppantesi in modo differenziato.
- Saturazione al di sotto della falda freatica

L'analisi d'insieme della sequenza litomeccanica riscontrata, indica che i termini granulometrici formanti i primi 18 m dal piano campagna naturale, sono schematicamente discretizzabili sulla verticale, escludendo i terreni di riporto antropico, dello spessore di 0,6 m, in otto unità geotecniche, come di seguito descritto:

Successione Geotecnica – Parametri geotecnici caratteristici

Orizzonte	Descrizione litotecnica	Parametri caratteristici
Unità 1 <i>Da -0,6 m p.c. a -1,2 m p.c.</i>	Argille limose, mediamente consistenti a grado di compressibilità medio, differenziato in senso laterale.	$q_{c_k} = 11,5 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,86 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 25^\circ$ $c'_k = 0,25 \text{ kgf/cmq}$ $c_{uk} = 0,6 \text{ kgf/cmq}$ $\gamma_k = 0,0019 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 52 \text{ kgf/cmq}$
Unità 2 <i>Da -1,2 m a -2,5 m p.c.</i>	Limi argillosi e limi sabbiosi, con subordinata presenza di intercalazioni sabbioso limose, a grado di compressibilità medio elevato, a discreta variabilità laterale.	$q_{c_k} = 6,9 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,21 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 19^\circ$ $c'_k = 0,10 \text{ kgf/cmq}$ $c_{uk} = 0,25 \text{ kgf/cmq}$ $\gamma_k = 0,0018 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 35 \text{ kgf/cmq}$
Unità 3 <i>Da -2,5 m a -6,2 m p.c.</i>	Sabbie e sabbie limose, sature, a grado di densità relativa, variabile da medio a medio basso.	$q_{c_k} = 23,8 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,23 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 25^\circ$ $c'_k = 0,03 \text{ kgf/cmq}$ $c_{uk} = 0,35 \text{ kgf/cmq}$ $\gamma_k = 0,00185 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 60 \text{ kgf/cmq}$
Unità 4 <i>Da -6,2 m a -8,8 m p.c.</i>	Sabbie con intercalate subordinate lenti limoso sabbiose, sature; il grado di densità relativa è medio, discretamente continuo sia in senso laterale che verticale.	$q_{c_k} = 34,0 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,48 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 28^\circ$ $c'_k = 0,01 \text{ kgf/cmq}$ $c_{uk} = 0,30 \text{ kgf/cmq}$ $\gamma_k = 0,00185 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 85 \text{ kgf/cmq}$
Unità 5 <i>Da -8,8 m a -12,0 m p.c.</i>	Argille limose ed argille, sature; il grado di compressibilità è di tipo medio e risulta continuo lateralmente.	$q_{c_k} = 14,0 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,74 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 20^\circ$ $c'_k = 0,15 \text{ kgf/cmq}$ $c_{uk} = 0,7 \text{ kgf/cmq}$ $\gamma_k = 0,0019 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 53 \text{ kgf/cmq}$
Unità 6 <i>Da -12,0 m a -13,5 m p.c.</i>	Argille limose, sature; il grado di compressibilità, è medio – medio elevato e risulta continuo lateralmente.	$q_{c_k} = 11,7 \text{ kgf/cmq}$ $f_{s_k} = 0,63 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_k = 19^\circ$ $c'_k = 0,11 \text{ kgf/cmq}$ $c_{uk} = 0,53 \text{ kgf/cmq}$ $\gamma_k = 0,0018 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 48 \text{ kgf/cmq}$

Unità 7 <i>Da - 13,5 m a - 15,0 m p.c.</i>	Argille ed argille limose, sature; il grado di compressibilità, di tipo medio basso, è continuo in senso laterale.	$q_{c_k} = 21,6 \text{ kgf/cm}^2$ $f_{s_k} = 0,98 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_k = 20^\circ$ $c'_k = 0,18 \text{ kgf/cm}^2$ $c_{uk} = 0,75 \text{ kgf/cm}^2$ $\gamma_k = 0,0019 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 78 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 8 <i>Da - 15,0 m a - 17,0 m p.c.</i>	Argille limose, sature; il grado di compressibilità, è medio basso - basso e risulta moderatamente differenziato lateralmente.	$q_{c_k} = 31,0 \text{ kgf/cm}^2$ $f_{s_k} = 1,36 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_k = 22^\circ$ $c'_k = 0,22 \text{ kgf/cm}^2$ $c_{uk} = 1,05 \text{ kgf/cm}^2$ $\gamma_k = 0,00195 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 87 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 8 bis <i>Da - 15,0 m a - 18,0 m p.c.</i>	Limi e limi sabbiosi con subordinate lenti limoso argillose, sature; il grado di compressibilità è medio, moderatamente variabile in senso verticale.	$q_{c_k} = 26,7 \text{ kgf/cm}^2$ $f_{s_k} = 0,84 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_k = 24^\circ$ $c'_k = 0,13 \text{ kgf/cm}^2$ $c_{uk} = 0,75 \text{ kgf/cm}^2$ $\gamma_k = 0,0019 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 70 \text{ kgf/cm}^2$

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

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 devono essere comprese 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*:

$$q_a = q_c / f$$

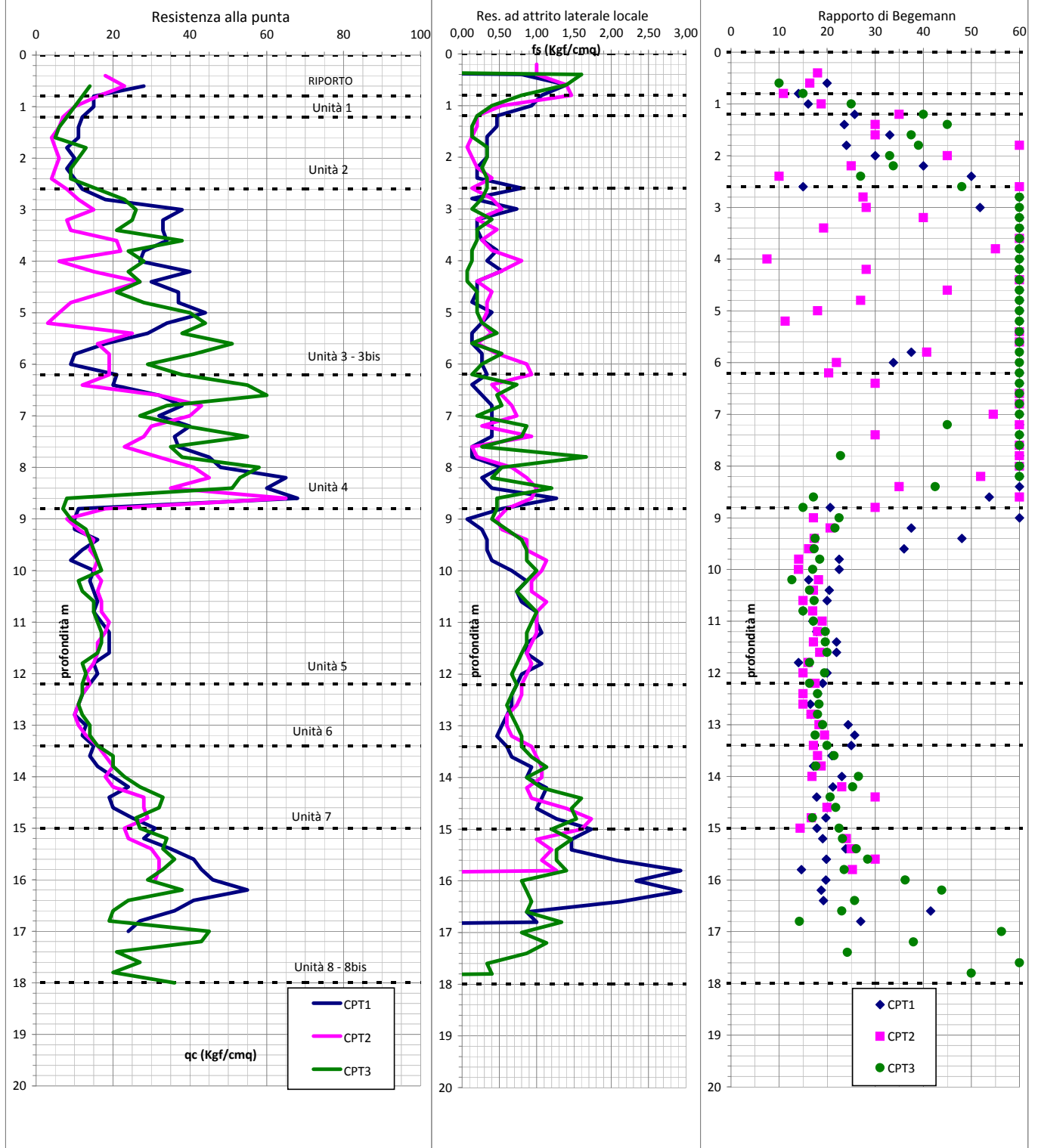
dove:

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.

Analisi statistica dati penetrometrici



	qc (kgf/cmq)													
	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 3bis	Unità 4	Unità 5	Unità 6	Unità 7	Unità 8	Unità 8bis				
campioni	13	19	19	37	39	51	18	24	15	15				
Minimo	7,00	4,00	9,00	3,00	7,00	8,00	10,00	14,00	24,00	19,00				
Massimo	28,00	16,00	44,00	51,00	68,00	19,00	16,00	33,00	55,00	45,00				
Media	14,46	8,26	28,00	22,76	38,36	14,67	12,50	23,38	35,00	30,53				
Moda	15,00	11,00	18,00	21,00	32,00	16,00	12,00	20,00	41,00	33,00				
Mediana	14,00	8,00	30,00	22,00	38,00	15,00	12,00	23,00	32,00	33,00				
Dev. Stand.	5,69	3,21	10,21	11,48	15,70	2,66	1,80	5,10	8,45	8,20				
Media tron	13,91	8,06	28,18	22,29	38,55	14,83	12,44	23,30	34,31	30,31				
t student	1,78	1,73	1,73	1,69	1,69	1,68	1,74	1,71	1,76	1,76				
qck	11,53	6,95	23,83	19,53	34,06	14,04	11,74	21,55	31,02	26,68				

	fs (kgf/cmq)													
	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 3bis	Unità 4	Unità 5	Unità 6	Unità 7	Unità 8	Unità 8bis				
campioni	13	19	19	37	39	51	18	24	15	15				
Minimo	0,40	0,07	0,13	0,07	0,13	0,07	0,47	0,60	0,87	0,33				
Massimo	1,60	0,47	0,80	0,87	1,67	1,13	0,80	1,73	2,93	1,47				
Media	1,07	0,25	0,31	0,32	0,57	0,80	0,67	1,08	1,67	1,00				
Moda	1,40	0,33	0,20	0,20	0,40	0,87	-	0,93	1,47	0,87				
Mediana	1,03	0,20	0,27	0,27	0,50	0,87	0,67	1,03	1,47	0,93				
Dev. Stand.	0,37	0,11	0,19	0,18	0,34	0,24	0,09	0,28	0,65	0,33				
Media tron	1,08	0,25	0,29	0,30	0,54	0,83	0,68	1,07	1,64	1,01				
t student	1,80	1,73	1,73	1,69	1,68	1,68	1,74	1,71	1,76	1,76				
fsk	0,86	0,21	0,23	0,27	0,48	0,74	0,63	0,98	1,36	0,84				

In rapporto a quanto sopra esposto ed in funzione dei punti di indagine effettuati, risulta utilizzabile un carico ammissibile corrispondente a:

$$q_a = 0,7 \text{ kgf/cm}^2$$

per una profondità del piano di posa corrispondente a:

$$D = -1,5 \text{ m}$$

dal piano campagna naturale al momento delle prove.

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 di tipo continuo, con comportamento poco flessibile, si è eseguito utilizzando la relazione di *Terzaghi*, integrata dai coefficienti di *Hansen*:

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

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.

$\delta_c, \delta_q, \delta_\gamma$ = 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/cm^2

γ = peso di volume del terreno in kgf/cm^3

c = coesione del terreno in kgf/cm^2

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 i valori della coesione non drenata c_u , dalla relazione di *Begemann* e l'angolo d'attrito interno, in termini di tensioni efficaci, ϕ' , da quella di *L'Herminier* e da quella di *Caquot*, il grado di consolidazione dalla relazione di *Ladd*.

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 14/01/08, 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.

Le verifiche in funzione dei tipi di terreni riscontrati nel sito esaminato, in ragione delle caratteristiche litologiche del primo sottosuolo, sono state effettuate in termini di tensioni efficaci, condizioni drenate, verifica a lungo termine.

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

Resistenza del terreno di fondazione - Utilizzo dei coefficienti M1

- Condizioni drenate

verifica a lungo termine - tensioni efficaci

$$\phi' = 19$$

$$c' = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$$

$$D = -150 \text{ cm p.c. (escludendo lo strato di terreno agrario: } D' = -100 \text{ cm)}$$

$$H_w = -200 \text{ cm p.c. (profondità falda)}$$

$$\gamma_n = 0,00185 \text{ kgf/cm}^3$$

$$R = 0,1 \cdot 10,5 + (0,00185 \cdot 100) \cdot 5,3 + \frac{1}{2} \cdot 0,001 \cdot 60 \cdot 2,5 =$$

$$R = 1,05 + 0,98 + 0,075 = \mathbf{2,105 \text{ kgf/cm}^2}$$

Resistenza del terreno di fondazione - Utilizzo dei coefficienti M2

- Condizioni drenate

verifica a lungo termine - tensioni efficaci

$$\phi' = \tan^{-1} 19^\circ / 1,25 = 15,4^\circ$$

$$c' = 0,1 / 1,25 = 0,08 \text{ kgf/cm}^2$$

$$D = -150 \text{ cm p.c. (escludendo lo strato di terreno agrario: } D' = -100 \text{ cm)}$$

$$H_w = -180 \text{ cm p.c. (profondità falda)}$$

$$\gamma_n = 0,0019 \text{ kgf/cm}^3$$

$$R = 0,08 \cdot 8,5 + (0,0019 \cdot 100) \cdot 3,8 + \frac{1}{2} \cdot 0,001 \cdot 60 \cdot 1,8 =$$

$$R = 0,680 + 0,703 + 0,054 = \mathbf{1,437 \text{ kgf/cm}^2}$$

Verifica portanza terreni allo stato limite ultimo

La verifica alla portanza allo stato limite ultimo per fondazioni superficiali (par. 6.4.2.1 – DM 14/01/2008), prevede che l'insieme opera – terreno sia verificato seguendo almeno uno dei due approcci di seguito esposti, applicando i coefficienti parziali γ_r esposti nella tabella 6.4.I. per la definizione della resistenza di progetto (R_d), dove:

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

Approccio 1:**- Combinazione 1: (A1+M1+R1)**

$$E_d \leq R_d = \frac{R}{1}$$

$$E_d \leq 2,105 \text{ kgf/cm}^2$$

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

$$E_d \leq R_d = \frac{R}{1,8}$$

$$E_d \leq \frac{1,437}{1,8}$$

$$E_d \leq 0,798 \text{ kgf/cm}^2$$

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

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

$$E_d \leq \frac{2,105}{2,3}$$

$$E_d \leq 0,915 \text{ kgf/cm}^2$$

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)

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/cmq

γ = peso di volume del terreno in kgf/cmc

c' = coesione del terreno in kgf/cmq

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.

Resistenza del terreno di fondazione - Utilizzo dei coefficienti M1

- Condizioni drenate

verifica a lungo termine - tensioni efficaci

$$\phi' = 19$$

$$c' = 0,1 \text{ kgf/cmq}$$

$$D = -150 \text{ cm p.c. (escludendo lo strato di terreno agrario: } D' = -100 \text{ cm)}$$

$$H_w = -200 \text{ cm p.c. (profondità falda)}$$

$$\gamma_n = 0,00185 \text{ kgf/cmc}$$

$$R = 0,80 \cdot 0,1 \cdot 10,5 + 0,84 \cdot (0,00185 \cdot 100) \cdot 5,3 + 0,68 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,001 \cdot 60 \cdot 2,5 =$$

$$R = 0,840 + 0,824 + 0,051 = 1,715 \text{ kgf/cm}^2$$

Resistenza del terreno di fondazione - Utilizzo dei coefficienti M2

- Condizioni drenate

verifica a lungo termine - tensioni efficaci

$$\phi' = \tan^{-1} 19^\circ / 1,25 = 15,4^\circ$$

$$c' = 0,1 / 1,25 = 0,08 \text{ kgf/cm}^2$$

D = -140 cm p.c. (escludendo lo strato di terreno agrario: D' = -100 cm)

Hw = -180. cm p.c. (profondità falda)

$$\gamma_n = 0,0019 \text{ kgf/cm}^3$$

$$R = 0,78 \cdot 0,08 \cdot 8,5 + 0,84 \cdot (0,00185 \cdot 100) \cdot 3,8 + 0,65 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,001 \cdot 60 \cdot 1,8 =$$

$$R = 0,530 + 0,591 + 0,035 = 1,156 \text{ kgf/cm}^2$$

Verifica portanza terreni allo stato limite ultimo in condizioni sismiche

La verifica alla portanza allo stato limite ultimo per fondazioni superficiali (par. 6.4.2.1 – DM 14/01/2008), prevede che l'insieme opera – terreno sia verificato seguendo almeno uno dei due approcci di seguito esposti, applicando i coefficienti parziali γ_r esposti nella tabella 6.4.I. per la definizione della resistenza di progetto (R_d), dove:

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

Come specificato al par. C7.11.5.3.1 della circolare esplicativa nella combinazione 2 dell'approccio 1 i coefficienti parziali A2 per il calcolo delle azioni di progetto possono essere posti pari all'unità.

Approccio 1:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)

$$E_d \leq R_d = \frac{R}{1}$$

$$E_d \leq 1,715 \text{ kgf/cm}^2$$

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

$$E_d \leq R_d = \frac{R}{1,8}$$

$$E_d \leq \frac{1,156}{1,8}$$

$$E_d \leq 0,642 \text{ kgf/cm}^2$$

Approccio 2:

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

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

$$E_d \leq \frac{1,715}{2,3}$$

$$E_d \leq 0,746 \text{ kgf/cm}^2$$

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)

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.

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 di tipo continuo, a comportamento rigido, soggette a carichi centrati e verticali, con piano di posa: $D = -150$ cm da p.c., carico di esercizio: $q_a = 0,70$ kgf/cm², si ottengono i seguenti cedimenti:

PROVA N°	ΔH cm	
	B = 60 cm	B = 100 cm
1	1.65	2.44
2	2.30	3.31
3	1.76	2.53

Cedimenti totali di queste entità, per fondazioni con dimensioni e soggette a tensioni equivalenti a quelle di progetto, sono usuali per terreni con proprietà geomeccaniche simili a quelle riscontrate nel sottosuolo dell'area studiata.

In base ai valori di cedimento ottenuti risultano cedimenti differenziali, $\Delta'h$, considerando il tipo di interazione tra le isobare generate dalle fondazioni in funzione della profondità ed in rapporto sia alle dimensioni delle solette ed all'interasse tra le stesse, come riportato in tab. B:

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

Distorsione angolare

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

I valori di distorsione ottenuti sono normalmente accettabili, per strutture come quelle in progetto, poiché contenuti nel limite di ammissibilità in base ai diagrammi di Bjerrum.

PROVE N°	$\Delta'h$ cm	Δ/L
1 - 2	1,60	$1,68 \cdot 10^{-3}$
1 - 3	0,75	$0,79 \cdot 10^{-3}$
2 - 3	1,51	$1,59 \cdot 10^{-3}$

tab. B: Cedimenti differenziali e distorsione angolare

In rapporto ai valori di cedimento differenziale si rileva che i valori di distorsione angolare, funzione delle distanze tra gli assi fondali di strutture equivalenti a quelle previste, rientrano nel campo dell'accettabilità.

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

In riferimento a quanto previsto dalle NTC di cui al DM 14/01/2008, DAL n° 112/2007, elaborati di zonazione sismica del PTCP.RE. 2010, in funzione della presenza di corpi sabbiosi saturi con spessore di 7 ÷ 8 m, oltre alla valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e stima del potenziale di suscettività alla liquefazione / densificazione, è richiesta la stima dei cedimenti post sismici attesi; in rapporto a quanto sopra esposto è stata sviluppata la valutazione dei cedimenti in condizioni di sollecitazioni dinamiche.

Il calcolo di questi ultimi è stato effettuato utilizzando la procedura prevista nell'allegato A3 della DAL ER 112/2007, ottenendo per le fondazioni in progetto, i seguenti cedimenti permanenti post sismici:

<i>ΔH cm</i>	
B = 60 cm	B = 100 cm
0.046	0.050

praticamente trascurabili.

L'entità dei valori dei cedimenti permanenti post sismici ottenuta rientra nel campo di accettabilità per la struttura in oggetto.

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:

$$K_s = \alpha \cdot E_{ed} (1 + \mu) \cdot (1 - 2\nu) / (1 - \nu)$$

dove:

K_s = modulo di reazione, kgf/cm²

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

E_{ed} = modulo edometrico kgf/cm²

ν = coefficiente di Poisson

[illegible][illegible]

FONDAZIONE PROVA N°				2		Comittente:		Amm. Com. Fabbrico			
CEDIMENTI				continue		Data:		Fabbrico (RE)			
Carico amm. q ₀ = 0,7 Kg/cmq						Località: <td colspan="2">Strutture scolastiche provvisorie</td> <td colspan="2"></td>		Strutture scolastiche provvisorie			
Piano di posa D = 150 cm						Carriere: <td colspan="2">2-20 m p.c.</td> <td colspan="2"></td>		2-20 m p.c.			
Larghezza fond. B = 100 cm						Fabbro: <td colspan="2">Piano Campagna</td> <td colspan="2"></td>		Piano Campagna			
Lunghezza fond. L = 600 cm						Quota: <td colspan="2">0</td> <td colspan="2"></td>		0			
Distanza calcolo dal centro della fondaz. X =											

CEDIMENTI PROVA N°				2		Comittente:		Amn. Com. Fabbrico	
FONDAZIONE				continue		Data:		Fabbrico (RE)	
Carico amm. q ₀ = 0,7 Kg/cmq						Località:		Strutture scolastiche provinciali	
Piano di posa D = 150 cm						Cantiere:		Piano Campagna	
Larghez. fond. B = 60 cm						Falda:		2,0 m p.c.	
Larghez. fond. L = 600 cm						Quota:			
Distanza calcolo del cedimento dal centro della fondaz. X =								0	
Strato	Spessore	DA	A	Z	L _i	in totale			
1	20	0	0,2	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	20	0,2	0,4	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
3	20	0,4	0,6	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
4	20	0,6	0,8	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
5	20	0,8	1,0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
6	20	1	1,2	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
7	20	1,2	1,4	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
8	20	1,4	1,6	20	0,84	0,43	0,43	0,43	
9	20	1,6	1,8	40	0,65	0,28	0,72	0,72	
10	20	1,8	2	60	0,50	0,18	0,90	0,90	
11	20	2	2,2	80	0,33	0,17	1,07	1,07	
12	20	2,2	2,4	100	0,33	0,17	1,24	1,24	
13	20	2,4	2,6	120	0,28	0,09	1,33	1,33	
14	20	2,6	2,8	140	0,24	0,05	1,38	1,38	
15	20	2,8	3	160	0,21	0,05	1,43	1,43	
16	20	3	3,2	180	0,19	0,06	1,49	1,49	
17	20	3,2	3,4	200	0,17	0,05	1,55	1,55	
18	20	3,4	3,6	220	0,16	0,04	1,60	1,60	
19	20	3,6	3,8	240	0,14	0,03	1,61	1,61	
20	20	3,8	4	260	0,13	0,05	1,65	1,65	
21	20	4	4,2	280	0,12	0,03	1,68	1,68	
22	20	4,2	4,4	300	0,12	0,02	1,70	1,70	
23	20	4,4	4,6	320	0,11	0,02	1,72	1,72	
24	20	4,6	4,8	340	0,10	0,03	1,75	1,75	
25	20	4,8	5	360	0,10	0,02	1,76	1,76	
26	20	5	5,2	380	0,09	0,06	1,85	1,85	
27	20	5,2	5,4	400	0,09	0,02	1,87	1,87	
28	20	5,4	5,6	420	0,08	0,02	1,89	1,89	
29	20	5,6	5,8	440	0,08	0,02	1,90	1,90	
30	20	5,8	6	460	0,08	0,01	1,92	1,92	
31	20	6	6,2	480	0,07	0,01	1,93	1,93	
32	20	6,2	6,4	500	0,07	0,02	1,95	1,95	
33	20	6,4	6,6	520	0,07	0,01	1,96	1,96	
34	20	6,6	6,8	540	0,06	0,01	1,97	1,97	
35	20	6,8	7	560	0,06	0,01	1,98	1,98	
36	20	7	7,2	580	0,06	0,01	1,98	1,98	
37	20	7,2	7,4	600	0,06	0,01	2,00	2,00	
38	20	7,4	7,6	620	0,05	0,01	2,01	2,01	
39	20	7,6	7,8	640	0,05	0,01	2,02	2,02	
40	20	7,8	8	660	0,05	0,01	2,03	2,03	
41	20	8	8,2	680	0,05	0,01	2,03	2,03	
42	20	8,2	8,4	700	0,05	0,01	2,04	2,04	
43	20	8,4	8,6	720	0,05	0,01	2,05	2,05	
44	20	8,6	8,8	740	0,05	0,01	2,06	2,06	
45	20	8,8	9	760	0,05	0,01	2,07	2,07	
46	20	9	9,2	780	0,04	0,01	2,08	2,08	
47	20	9,2	9,4	800	0,04	0,01	2,09	2,09	
48	20	9,4	9,6	820	0,04	0,01	2,10	2,10	
49	20	9,6	9,8	840	0,04	0,01	2,11	2,11	
50	20	9,8	10	860	0,04	0,01	2,12	2,12	
51	20	10	10,2	880	0,04	0,01	2,13	2,13	
52	20	10,2	10,4	900	0,04	0,01	2,13	2,13	
53	20	10,4	10,6	920	0,04	0,01	2,14	2,14	
54	20	10,6	10,8	940	0,04	0,01	2,15	2,15	
55	20	10,8	11	960	0,04	0,01	2,16	2,16	
56	20	11	11,2	980	0,04	0,01	2,18	2,18	
57	20	11,2	11,4	1000	0,03	0,01	2,18	2,18	
58	20	11,4	11,6	1020	0,03	0,01	2,19	2,19	
59	20	11,6	11,8	1040	0,03	0,01	2,19	2,19	
60	20	11,8	12	1060	0,03	0,01	2,19	2,19	
61	20	12	12,2	1080	0,03	0,01	2,20	2,20	
62	20	12,2	12,4	1100	0,03	0,01	2,21	2,21	
63	20	12,4	12,6	1120	0,03	0,01	2,22	2,22	
64	20	12,6	12,8	1140	0,03	0,01	2,22	2,22	
65	20	12,8	13	1160	0,03	0,01	2,23	2,23	
66	20	13	13,2	1180	0,03	0,01	2,24	2,24	
67	20	13,2	13,4	1200	0,03	0,01	2,24	2,24	
68	20	13,4	13,6	1220	0,03	0,01	2,25	2,25	
69	20	13,6	13,8	1240	0,03	0,01	2,26	2,26	
70	20	13,8	14	1260	0,03	0,01	2,27	2,27	
71	20	14	14,2	1280	0,03	0,01	2,27	2,27	
72	20	14,2	14,4	1300	0,03	0,00	2,27	2,27	
73	20	14,4	14,6	1320	0,03	0,00	2,27	2,27	
74	20	14,6	14,8	1340	0,03	0,00	2,28	2,28	
75	20	14,8	15	1360	0,03	0,00	2,28	2,28	
76	20	15	15,2	1380	0,03	0,00	2,29	2,29	
77	20	15,2	15,4	1400	0,02	0,00	2,29	2,29	
78	20	15,4	15,6	1420	0,02	0,00	2,30	2,30	
79	20	15,6	15,8	1440	0,02	0,00	2,30	2,30	
80	20	15,8	16	1460	0,02	0,00	2,30	2,30	
81	20	16	16,2	1480	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
82	20	16,2	16,4	1500	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
83	20	16,4	16,6	1520	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
84	20	16,6	16,8	1540	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
85	20	16,8	17	1560	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
86	20	17	17,2	1580	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
87	20	17,2	17,4	1600	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
88	20	17,4	17,6	1620	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
89	20	17,6	17,8	1640	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
90	20	17,8	18	1660	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
91	20	18	18,2	1680	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
92	20	18,2	18,4	1700	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
93	20	18,4	18,6	1720	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
94	20	18,6	18,8	1740	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
95	20	18,8	19	1760	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
96	20	19	19,2	1780	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
97	20	19,2	19,4	1800	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
98	20	19,4	19,6	1820	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
99	20	19,6	19,8	1840	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
100	20	19,8	20	1860	0,02	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	

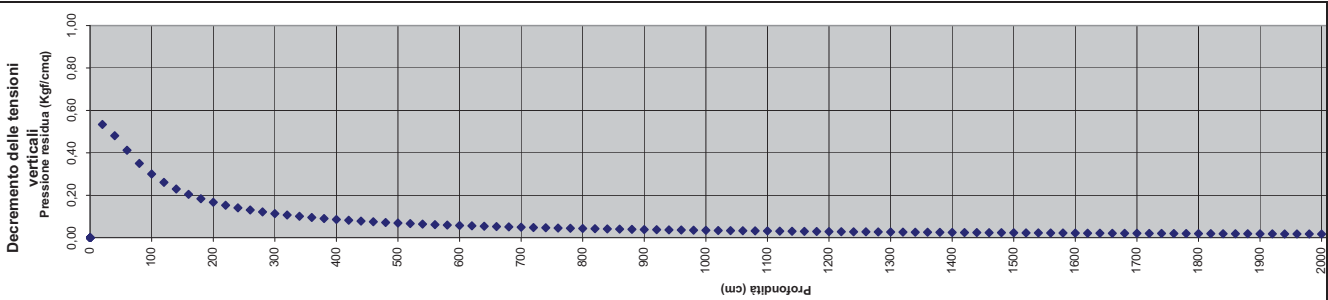
Decremento delle tensioni verticali

Pressione residua (Kg/cmq)

CEDIMENTI PROVA N°					continue		3		Comittente:		Amm. Com. Fabbrico	
FONDAZIONE									Data:		20/06/12	
									Località:		Fabbrico (RE)	
									Carriere:		Strutture scolastiche provvisorie	
									Falda:		2-10 m p.c.	
									Quota:		Piano Campagna	
Distanza calcolo dal centro della fondaz. X =											0	
Strato	Spessore	DA	A	Z	L/J	n° strato						
1	20	0	0,2	0	0,00	n° totale						
2	20	0,2	0,4	0	0,00							
3	20	0,4	0,6	0	0,00							
4	20	0,6	0,8	0	0,00							
5	20	0,8	1	0	0,00							
6	20	1	1,2	0	0,00							
7	20	1,2	1,4	0	0,00							
8	20	1,4	1,6	20	0,89	0,39	0,39					
9	20	1,6	1,8	40	0,80	0,21	0,60					
10	20	1,8	2	60	0,69	0,17	0,77					
11	20	2	2,2	80	0,60	0,15	0,84					
12	20	2,2	2,4	100	0,50	0,10	1,09					
13	20	2,4	2,6	120	0,43	0,10	1,19					
14	20	2,6	2,8	140	0,38	0,08	1,27					
15	20	2,8	3	160	0,34	0,06	1,33					
16	20	3	3,2	180	0,31	0,06	1,39					
17	20	3,2	3,4	200	0,28	0,06	1,44					
18	20	3,4	3,6	220	0,25	0,04	1,48					
19	20	3,6	3,8	240	0,23	0,05	1,53					
20	20	3,8	4	260	0,22	0,04	1,57					
21	20	4	4,2	280	0,20	0,04	1,61					
22	20	4,2	4,4	300	0,19	0,03	1,64					
23	20	4,4	4,6	320	0,18	0,04	1,68					
24	20	4,6	4,8	340	0,17	0,03	1,70					
25	20	4,8	5	360	0,16	0,02	1,73					
26	20	5	5,2	380	0,15	0,02	1,75					
27	20	5,2	5,4	400	0,14	0,02	1,77					
28	20	5,4	5,6	420	0,14	0,02	1,79					
29	20	5,6	5,8	440	0,13	0,02	1,81					
30	20	5,8	6	460	0,12	0,02	1,83					
31	20	6	6,2	480	0,12	0,01	1,85					
32	20	6,2	6,4	500	0,12	0,01	1,88					
33	20	6,4	6,6	520	0,11	0,01	1,88					
34	20	6,6	6,8	540	0,11	0,02	1,90					
35	20	6,8	7	560	0,10	0,02	1,91					
36	20	7	7,2	580	0,10	0,02	1,93					
37	20	7,2	7,4	600	0,09	0,01	1,94					
38	20	7,4	7,6	620	0,09	0,01	1,96					
39	20	7,6	7,8	640	0,09	0,01	1,97					
40	20	7,8	8	660	0,09	0,01	1,98					
41	20	8	8,2	680	0,08	0,01	1,99					
42	20	8,2	8,4	700	0,08	0,01	2,01					
43	20	8,4	8,6	720	0,08	0,02	2,03					
44	20	8,6	8,8	740	0,08	0,03	2,08					
45	20	8,8	9	760	0,08	0,02	2,08					
46	20	9	9,2	780	0,07	0,02	2,10					
47	20	9,2	9,4	800	0,07	0,02	2,11					
48	20	9,4	9,6	820	0,07	0,02	2,13					
49	20	9,6	9,8	840	0,07	0,01	2,14					
50	20	9,8	10	860	0,07	0,01	2,16					
51	20	10	10,2	880	0,07	0,01	2,17					
52	20	10,2	10,4	900	0,06	0,02	2,19					
53	20	10,4	10,6	920	0,06	0,01	2,20					
54	20	10,6	10,8	940	0,06	0,01	2,22					
55	20	10,8	11	960	0,06	0,01	2,23					
56	20	11	11,2	980	0,06	0,01	2,24					
57	20	11,2	11,4	1000	0,06	0,01	2,25					
58	20	11,4	11,6	1020	0,06	0,01	2,27					
59	20	11,6	11,8	1040	0,06	0,01	2,28					
60	20	11,8	12	1060	0,05	0,01	2,29					
61	20	12	12,2	1080	0,05	0,01	2,31					
62	20	12,2	12,4	1100	0,05	0,01	2,32					
63	20	12,4	12,6	1120	0,05	0,01	2,33					
64	20	12,6	12,8	1140	0,05	0,01	2,34					
65	20	12,8	13	1160	0,05	0,01	2,36					
66	20	13	13,2	1180	0,05	0,01	2,37					
67	20	13,2	13,4	1200	0,05	0,01	2,38					
68	20	13,4	13,6	1220	0,05	0,01	2,39					
69	20	13,6	13,8	1240	0,05	0,01	2,39					
70	20	13,8	14	1260	0,05	0,01	2,40					
71	20	14	14,2	1280	0,05	0,01	2,41					
72	20	14,2	14,4	1300	0,04	0,01	2,42					
73	20	14,4	14,6	1320	0,04	0,01	2,42					
74	20	14,6	14,8	1340	0,04	0,01	2,43					
75	20	14,8	15	1360	0,04	0,01	2,44					
76	20	15	15,2	1380	0,04	0,01	2,45					
77	20	15,2	15,4	1400	0,04	0,01	2,45					
78	20	15,4	15,6	1420	0,04	0,01	2,46					
79	20	15,6	15,8	1440	0,04	0,01	2,47					
80	20	15,8	16	1460	0,04	0,01	2,47					
81	20	16	16,2	1480	0,04	0,01	2,48					
82	20	16,2	16,4	1500	0,04	0,01	2,48					
83	20	16,4	16,6	1520	0,04	0,01	2,49					
84	20	16,6	16,8	1540	0,04	0,01	2,50					
85	20	16,8	17	1560	0,04	0,00	2,50					
86	20	17	17,2	1580	0,04	0,01	2,51					
87	20	17,2	17,4	1600	0,04	0,01	2,52					
88	20	17,4	17,6	1620	0,04	0,01	2,52					
89	20	17,6	17,8	1640	0,04	0,01	2,53					
90	20	17,8	18	1660	0,03	#DIV/0!	#DIV/0!					
91	20	18	18,2	1680	0,03	#DIV/0!	#DIV/0!					
92	20	18,2	18,4	1700	0,03	#DIV/0!	#DIV/0!					
93	20	18,4	18,6	1720	0,03	#DIV/0!	#DIV/0!					
94	20	18,6	18,8	1740	0,03	#DIV/0!	#DIV/0!					
95	20	18,8	19	1760	0,03	#DIV/0!	#DIV/0!					
96	20	19	19,2	1780	0,03	#DIV/0!	#DIV/0!					
97	20	19,2	19,4	1800	0,03	#DIV/0!	#DIV/0!					
98	20	19,4	19,6	1820	0,03	#DIV/0!	#DIV/0!					
99	20	19,6	19,8	1840	0,03	#DIV/0!	#DIV/0!					
100	20	19,8	20	1860	0,03	#DIV/0!	#DIV/0!					

Decremento delle tensioni verticali

Pressione residua (Kg/cmq)



CEDIMENTI PROVA N°					Comittente:		Amm. Com. Fabbrico			
FONDAZIONE					Data:		20/06/12			
					Località:		Fabbrico (RE)			
					Carriere:		Strutture scolastiche provvisorie			
					Falda:		12,10 m p.c.			
					Guida:		Piano Campagna			
Distanza calcolo dal centro della fondaz. X =							0			
Strato	Spessore	DA	A	Z	L/J	n° strato				
1	20	0	0,2	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	20	0,2	0,4	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3	20	0,4	0,6	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4	20	0,6	0,8	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5	20	0,8	1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
6	20	1	1,2	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
7	20	1,2	1,4	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
8	20	1,4	1,6	20	0,84	0,37	0,37	0,37	0,37	
9	20	1,6	1,8	40	0,65	0,17	0,54	0,54	0,54	
10	20	1,8	2	60	0,58	0,15	0,63	0,63	0,63	
11	20									

ottenendo:

Profondità terreni	Modulo di reazione K = kgf/cmc
Da -0,6 a -1,2 m p.c.	1.2
Da -1,2 a -2,5 m p.c.	0.95
Da -2,5 a -6,2 m p.c.	2,15
Da -6,2 a -8,8 m p.c.	3,05
Da -8,8 a -12,0 m p.c.	1,31
Da -12,0 a -13,5 m p.c.	1,10
Da -13,5 a -15,0 m p.c.	1,65
Da -15,0 a -18,0 m p.c.	(8) 1,75 / (8bis) 2,35

CONCLUSIONI E SUGGERIMENTI

Nell'ambito progettuale per realizzazione di Strutture Scolastiche Provvisorie nel parco urbano Ettore Bigi, a FabbriCO (RE), ubicato nel settore sud occidentale del capoluogo, è stata effettuata l'indagine ed analisi sismica ed elaborazione di modellazione geotecnica oggetto della presente relazione.

La disamina delle caratteristiche del sottosuolo nell'area di intervento e del territorio ad essa circostante, eseguito su commissione dell'**AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI FABBRICO**, – Reggio Emilia, si è redatta in ottemperanza ai dettati del D.M. 11/03/88, circ. LL.PP. 24/09/88 N° 30483 ed in riferimento al D.M. 14-01-2008, Delibera Assemblea Legislativa R.E.R. n° 112 del 02-05-2007, LR.ER. n°19/2008; PTCP.RE, 2010.

Le analisi effettuate hanno evidenziato condizioni geomorfologiche, idrogeologiche, parametri geotecnici, caratteristiche della pericolosità sismica di base e della risposta sismica locale, che denotano idonee caratteristiche del sito per la destinazione d'uso prevista.

Geologia – Geomorfologia

La zona studiata appartiene al bacino subsidente Pliocenico - Quaternario della Pianura Padana; l'attuale assetto geomorfologico territoriale consegue alle passate vicende fluviali dei torrenti Crostolo, Tresinaro, e Fiume Po. Questi, sommatamente all'azione dell'uomo, hanno portato ad una conformazione pianeggiante. Localmente la zona è caratterizzata dalla presenza di un dosso a direttrice sud ovest – nord est, che si estende da Campagnola a FabbriCO e successivamente orientato ovest est, in direzione Rolo – Novi Mo. Tale emergenza morfologica è attribuibile ad un paleoalveo del Crostolo.

In corrispondenza del sito in analisi, l'assetto altimetrico tende localmente a declinare in verso est est nord, la clivometria ai lati del dosso in narrativa degrada in direzione nord nord ovest al lato settentrionale, zona di appartenenza del parco, ed in senso sud sud est al bordo meridionale della medesima struttura; le quote medie dei piani stradali all'intorno dell'area in analisi, sono comprese tra 23 e 23,8 m s.l.m.

La carta geomorfologica indica la presenza di due antichi corpi di canale fluviale estinti (paleoalvei) dei quali il principale è allungato secondo la SP Campagnola E. – FabbriCO, il secondario, meno recente, è orientato in verso ovest ovest nord – est est sud, ed è intersecato dal precedente nel settore immediatamente a sud del centro storico di FabbriCO.

Oltre a detta emergenza morfopaesaggistica, 500 ÷ 600 m a sud est del capoluogo sono rilevabili estese aree vallive, caratterizzate da sedimentazione lenta con prevalenza di litotipi argillosi.

La successione litostratigrafia rilevata dai sondaggi geognostici eseguiti e da altri effettuati nel contesto dello studio di PSC 2002 del Comune di FabbriCo, evidenziano, nei primi 9 m del sottosuolo, la presenza di alternanze di strati sabbiosi, sabbioso fini, limosi e limoso sabbioso fini con subordinate sottili intercalazioni lentiformi argilloso limose.

Detta successione litostratigrafia, tipicamente ascrivibile ai corpi di crinale fluviale negli ambiti di pianura, concorda con le caratteristiche geomorfologiche territoriali sopra descritte.

Falda idrica sotterranea

Il livello della falda freatica al momento delle prove, giugno 2012, misurato nei fori delle prove penetrometriche, corrisponde a $-2,0 \div -2,2$ m dal piano campagna; tale soggiacenza è in pratica equivalente a quella rilevata nel contesto delle analisi di PSC 2002 che corrispondeva a -2 m pc.

Per quanto riguarda l'interazione delle opere fondali con le falde idriche sotterranee non si avranno sensibili modificazioni rispetto alle condizioni attuali, in rapporto alla profondità della falda freatica e del piano di posa delle fondazioni.

Analogamente, per quanto concerne le interazioni con il primo acquifero artesianico, mediamente rinvenibile a $-20 \div -25$ m p.c., nelle zone meridionali del fabbricese, non si verificheranno fenomeni di interferenza.

Modellazione sismica

Il sottosuolo dell'area a cui appartiene FabbriCo, RE, è caratterizzato dalla presenza delle formazioni che costituiscono la Dorsale Ferrarese che si rinvencono a profondità di $-1,5 \div -2/-3 \div -4$ km dal piano campagna.

Le principali strutture sismogenetiche nell'ambito territoriale tra S. Ilario d'Enza/Campagne - Guastalla - Mirandola - Finale Emilia - Cento - Campogalliano - 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 e settentrionale, da linee di sovrascorrimento classificate attive (M. Boccaletti, L. Martelli; 2004). Ciò è in accordo con l'allineamento in direzione nord ovest - sud est, da Parma a Reggio Emilia - Rubiera, contraddistinto da epicentri sismici con magnitudo $M > 5,5$ e con la fascia ad andamento sud ovest - nord est individuata dall'allineamento: Cadelbosco di Sopra - Novellara / Campagnola E. - FabbriCo, caratterizzata da epicentri classificati con $5 \leq M \leq 5,5$.

Quanto esposto indica l'area a cui appartiene FabbriCo è interessata da sismicità di grado relativo più alto rispetto ai territori 15 ÷ 20 km più a nord ed inferiore rispetto alle zone 10 ÷ 20 km ad oriente.

Caratterizzazione Sismica – microzonazione sismica semplificata.

La categoria del suolo di fondazione, in riferimento ai parametri del D.M. 14/01/2008, determinata in funzione delle velocità di onde sismiche di taglio VSH mediante l'esecuzione di uno stendimento sismico a rifrazione con metodo integrato attivo – passivo MASW - Re.Mi, che ha fornito $V_{s30} = 281$ m/sec, corrisponde a:

- **Categoria C:** Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

In riferimento ai parametri ottenuti dalle suddette prospezioni geofisiche risulta che la verticale sismostratigrafica locale può essere interessata dai seguenti fattori di amplificazione (SLU-SLV):

fattore di amplificazione litologico **$S_s = 1,488$**

fattore di amplificazione topografico **$S_T = 1,0$**

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

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

corrispondente al periodo principale:

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

Si rilevano inoltre i seguenti picchi di amplificazione secondaria:

$$f_1 = 2,0 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 8,5 \text{ Hz}$$

corrispondenti a detti periodi:

$$t_1 = 0,50 \text{ sec}$$

$$t_2 = 0,12 \text{ sec}$$

Nell'ambito degli analisi di progettazione esecutiva, sarà opportuno accertare, considerando tali valori, che non si verifichino fenomeni di doppia risonanza terreno – struttura.

L'analisi di suscettività al rischio di liquefazione degli orizzonti litologici sabbiosi, sottofalda, si è attuata con il metodo di *Robertson & Wride (1997)*.

Detta disamina ha evidenziato che gli strati, a granulometria sabbiosa presenti nei primi 9 m del sottosuolo non sono suscettibili a rischio di liquefazione per una magnitudo sino ad: $M = 5,6$.

Nella zona in esame gli eventi sismici verificatesi, storicamente documentati, risultano inferiori ad $M < 5,44$.

L'indice del potenziale di liquefazione risulta nullo.

Tensioni ammissibili

I caratteri geotecnici dei terreni, desunti da tre prove penetrometriche statiche, Cpt Rm, eseguite nel sito di intervento, in funzione del tipo di variabilità laterale del grado di compressibilità dei terreni nei primi 6 metri del sottosuolo, evidenziano possibile l'adozione di fondazioni dirette di tipo continuo a comportamento poco flessibile/rigido.

In riferimento a quanto sopra esposto, in funzione dei punti di indagine effettuati, risulta utilizzabile un carico di esercizio in termini di *tensioni ammissibili* equivalente a:

$$qa = 0,7 \text{ kgf/cm}^2$$

per una profondità del piano di posa corrispondente a:

$$D = - 1,5 \text{ m}$$

dal piano campagna naturale al momento delle prove.

Stato limite ultimo

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) adottando i parametri previsti nella tab. 6.2.II – condizioni M1 e M2 del suddetto D.M, che parzializzano i coefficienti geotecnici.

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

Stato limite ultimo dei terreni di fondazione in condizioni statiche e dinamiche

In riferimento ai dettati del DM 14/01/08, si è determinato la resistenza R del terreno di fondazione allo stato limite ultimo (SLU-SLV) adottando i parametri previsti nella tab. 6.2.II – combinazioni di coefficienti parziali M1 ed M2, che riducono i parametri geotecnici.

	<i>Condizioni statiche</i>	<i>Condizioni dinamiche</i>
CONDIZIONE M1	$R = 2,105 \text{ kgf/cm}^2$	$R = 1,715 \text{ kgf/cm}^2$
CONDIZIONE M2	$R = 1,437 \text{ kgf/cm}^2$	$R = 1,156 \text{ kgf/cm}^2$

La verifica alla portanza allo stato limite ultimo per fondazioni superficiali (par. 6.4.2.1 – DM 14/01/2008), prevede che l'insieme opera – terreno sia verificato seguendo almeno uno dei due approcci di seguito esposti, applicando i coefficienti parziali γ_r esposti nella tabella 6.4.I. per la definizione della resistenza di progetto (R_d), ottenendo:

	<i>Condizioni statiche</i>	<i>Condizioni dinamiche</i>
Approccio 1:		
- Combinazione 1: (A1+M1+R1)	$E_d \leq 2,105 \text{ kgf/cm}^2$	$E_d \leq 1,715 \text{ kgf/cm}^2$
- Combinazione 1: (A2+M2+R2)	$E_d \leq 0,798 \text{ kgf/cm}^2$	$E_d \leq 0,642 \text{ kgf/cm}^2$
Approccio 2:		
- Combinazione 1: (A1+M1+R1)	$E_d \leq 0,915 \text{ kgf/cm}^2$	$E_d \leq 0,746 \text{ kgf/cm}^2$

dove:

E_d = Valore di progetto delle azioni

Nel contesto delle fasi esecutive, come precedentemente detto, nell'eventualità si riscontrassero diverse condizioni rispetto a quelle assunte in base alle indagini effettuate, saranno da adottarsi adeguate e tecniche alternative, da definirsi in funzione delle differenti condizioni rilevate e considerate.

Cedimenti

In funzione del tipo di compressibilità che contraddistingue i terreni formanti il sottosuolo, per fondazioni dirette di tipo continuo con solette a comportamento poco flessibile/rigido, soggette a carichi verticali centrati e tensioni sul suolo come previsto, risultano valori dei cedimenti totali, differenziali e di distorsione angolare rientranti nel campo dell'accettabilità.

I valori dei cedimenti post sismici ottenuti, pari a 0,006 cm, sono di entità praticamente trascurabile per le previste strutture.

Le prove eseguite hanno evidenziato assenza locale di orizzonti formati da materiali di riporto e/o elevatamente compressibili; nonostante ciò, si dovranno seguire con attenzione gli sbancamenti accertando non siano presenti terreni torbosi e/o riporti o rimaneggiamenti.

Nell'eventualità di detti riscontri, si dovranno asportare i materiali sopra indicati sino al raggiungimento del substrato consistente e riportarsi alla quota di progetto o con *tout*

venant inumidito e vibrato, messo in opera per strati successivi spessi 30 cm o con getto di conglomerato magro; in alternativa potrà essere mantenuta la profondità del piano di posa indicato ed eseguire allungamenti dei cordoli e/o pilastri sino alla fondazione.

Modulo di reazione

In funzione dei parametri caratteristici dei terreni presenti nei primi 18 m del sottosuolo e delle caratteristiche litogranulometriche degli stessi, si sono ottenuti i valori dei moduli di reazione di seguito esposti:

Profondità terreni	Modulo di reazione K = kgf/cmc
Da -0,6 a -1,2 m p.c.	1.2
Da -1,2 a -2,5 m p.c.	0.95
Da -2,5 a -6,2 m p.c.	2,15
Da -6,2 a -8,8 m p.c.	3,05
Da -8,8 a -12,0 m p.c.	1,31
Da -12,0 a -13,5 m p.c.	1,10
Da -13,5 a -15,0 m p.c.	1,65
Da -15,0 a -18,0 m p.c.	(8) 1,75 / (8bis) 2,35

Oltre a quanto esposto è opportuno adottare i seguenti accorgimenti:

- *Accertare l'assenza di eventuali strati cedevoli e/o rimaneggiati e nell'eventualità di loro riscontro effettuare idonei risanamenti.*
- *Allontanare eventuali ristagni idrici dagli sbancamenti di fondazione al momento della posa in opera dei manufatti ed evitare permanenze d'acqua all'interno degli scavi.*
- *Accertarsi, mediante saggi con escavatore meccanico, in punti esterni all'area di impronta della costruzione, 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 ed infiltrazioni d'acqua.*
- *Regolarizzare e proteggere i piani di posa delle opere fondali con getto di conglomerato magro.*

Dr. Geol. **GIANPIETRO MAZZETTI**



The image shows a circular professional stamp of a geologist. The text around the perimeter of the stamp reads "ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA". Inside the circle, it says "DOTT. G. MAZZETTI", "Emilia-Romagna", "GEOLOGO", and "SEZA". Below the stamp, the number "N. 348 ALBO. P." is visible. A handwritten signature in blue ink, which appears to be "Gianpiero Mazzetti", is written across the stamp and extends to the right.

ALLEGATI

TAV. 1 UBICAZIONE AREA STUDIATA - scala 1:5000

FABBRICO

C. Merli

VIA DE AMICIS

VIA MAGGIO

VIA GUDOTTI

VIA MATTEOTTI

VIA ROMA

XXV APRILE

C. Bruciata

C. Berzella

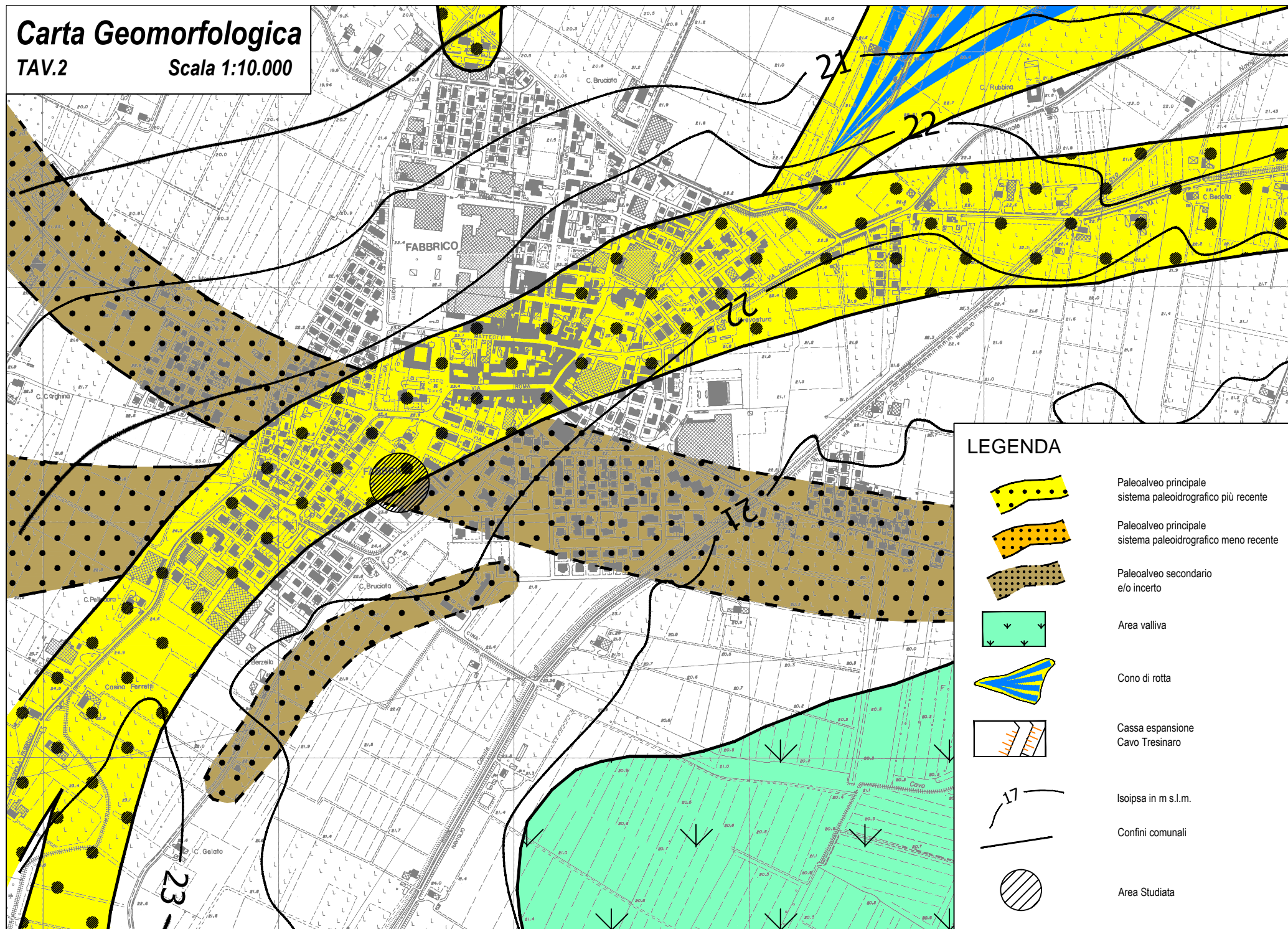
BERZELLA

LEGENDA

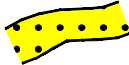
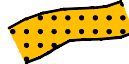

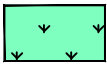


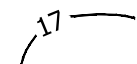


area studiata

Carta Geomorfologica

TAV.2
Scala 1:10.000



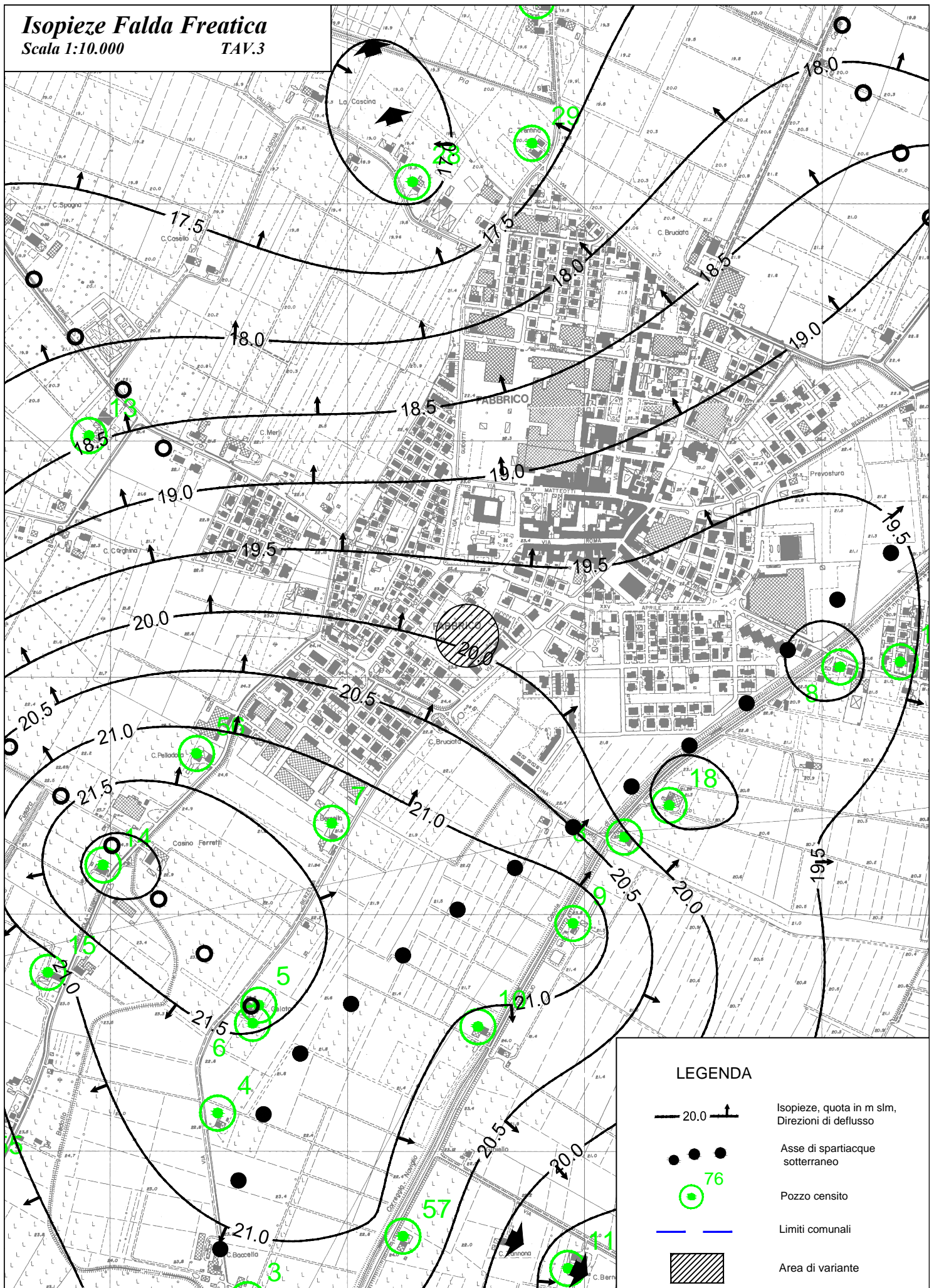
LEGENDA

-  Paleoalveo principale sistema paleoidrografico più recente
-  Paleoalveo principale sistema paleoidrografico meno recente
-  Paleoalveo secondario e/o incerto
-  Area valliva
-  Cono di rotta
-  Cassa espansione Cavo Tresinaro
-  Isoipsa in m s.l.m.
-  Confini comunali
-  Area Studiata

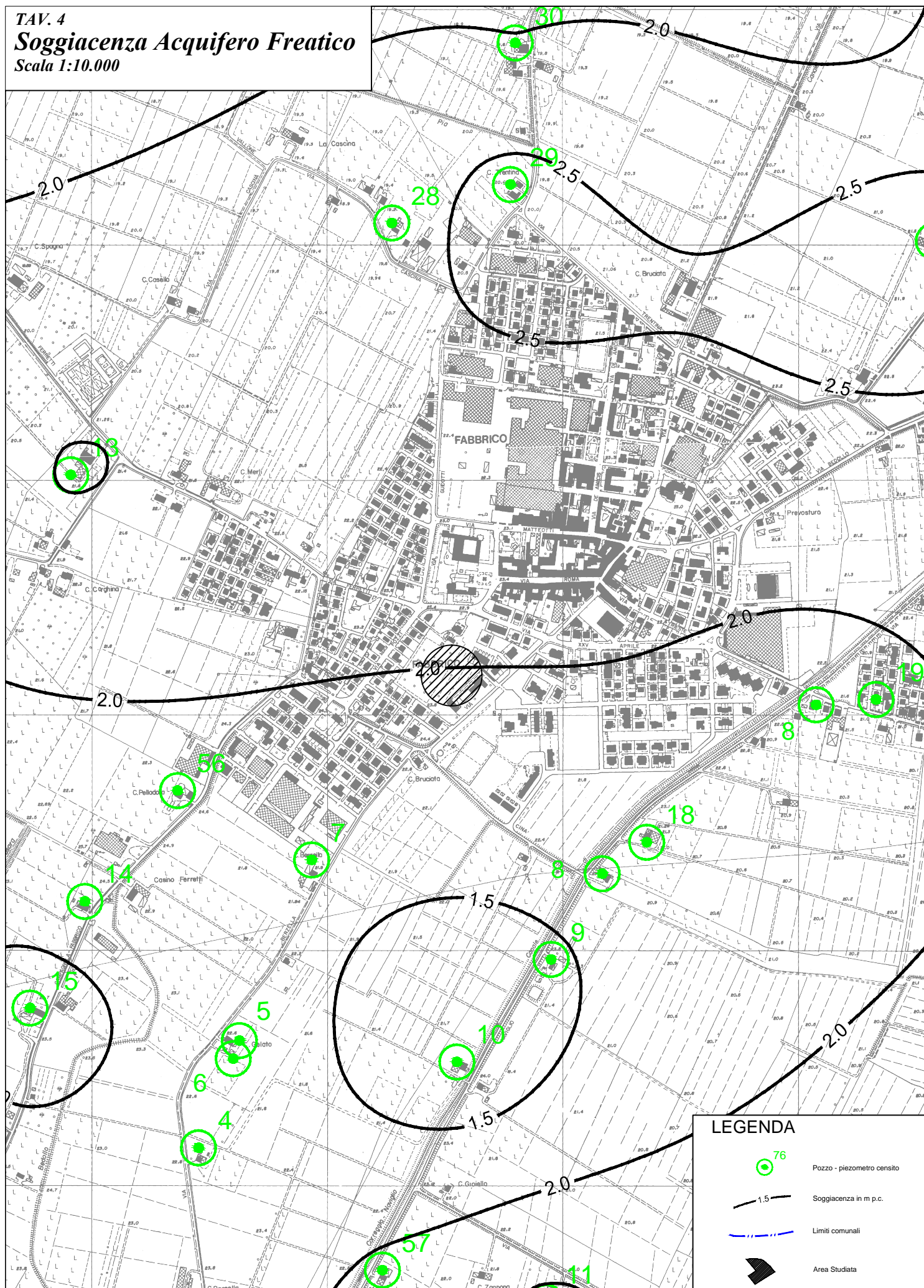
Isopieze Falda Freatica

Scala 1:10.000

TAV.3



TAV. 4
Soggiacenza Acquifero Freatico
 Scala 1:10.000



LEGENDA



Pozzo - piezometro censito



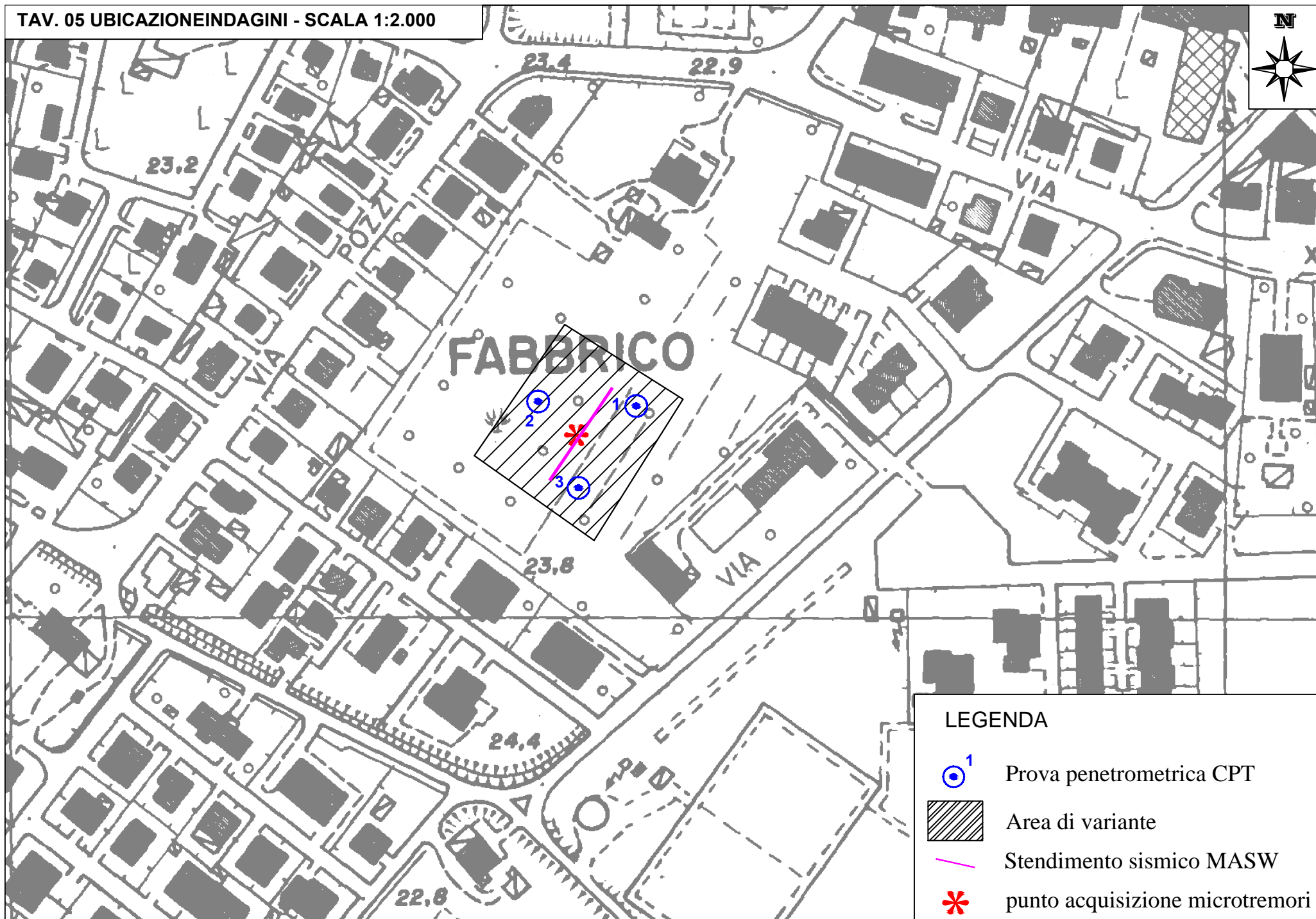
Soggiacenza in m p.c.

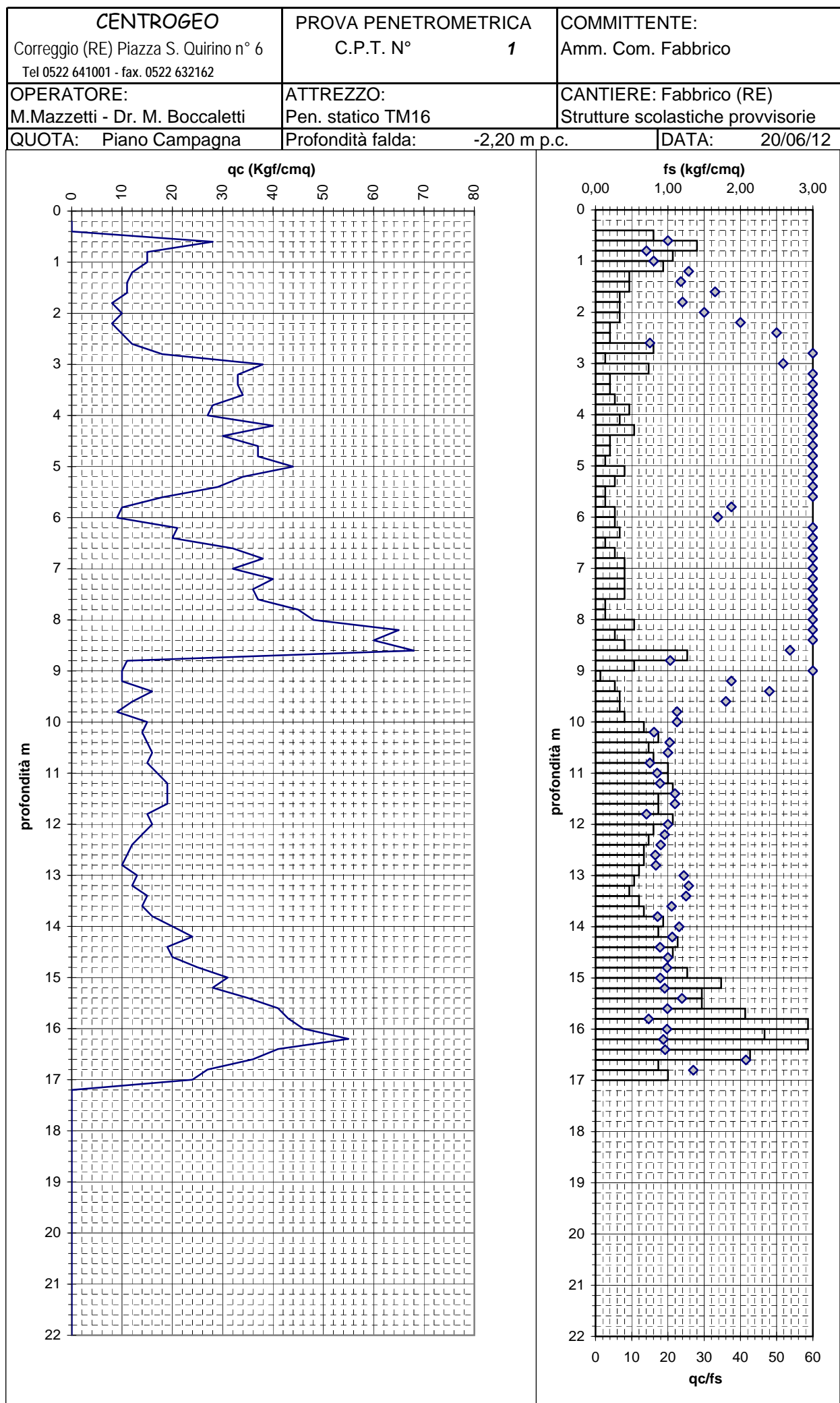


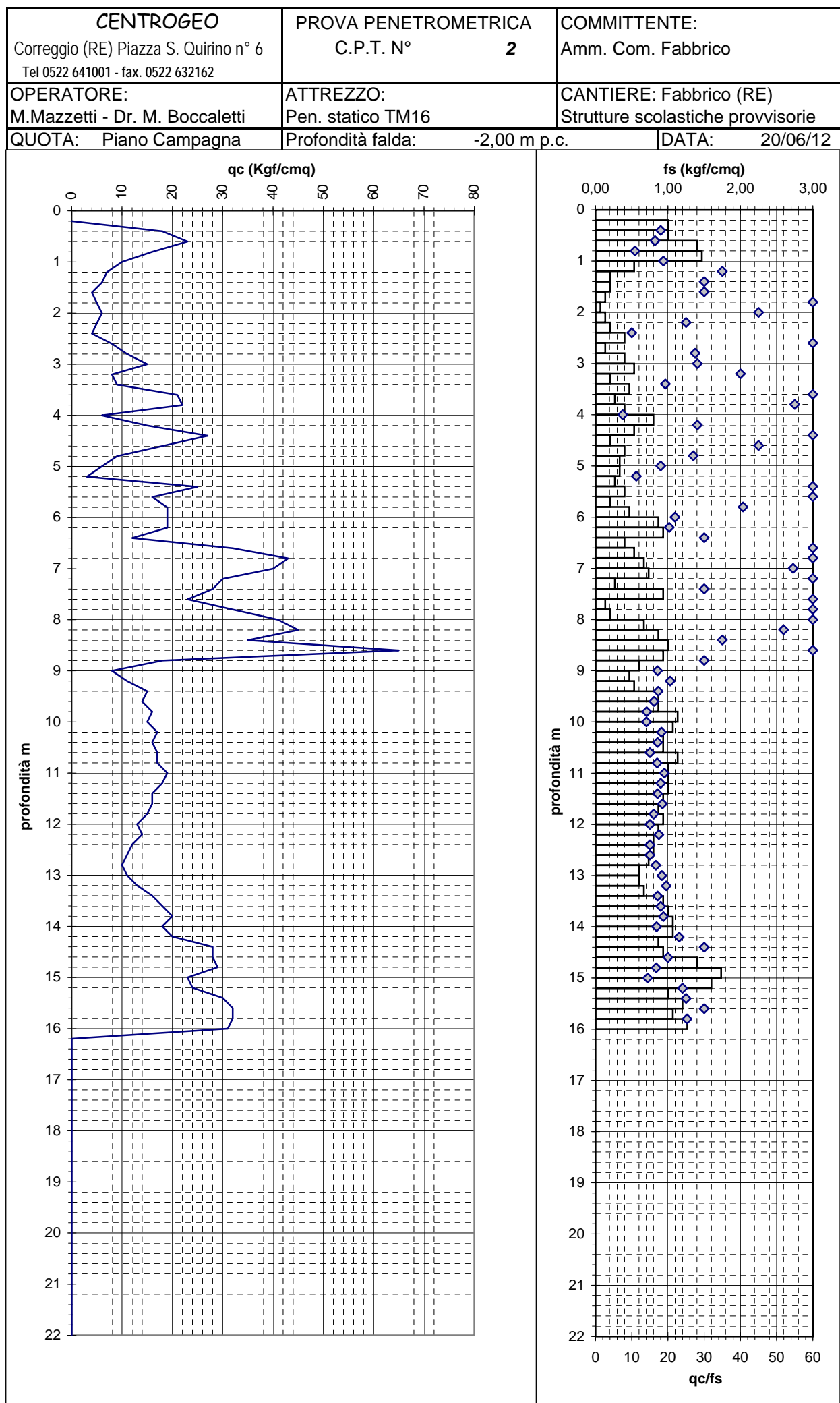
Limiti comunali

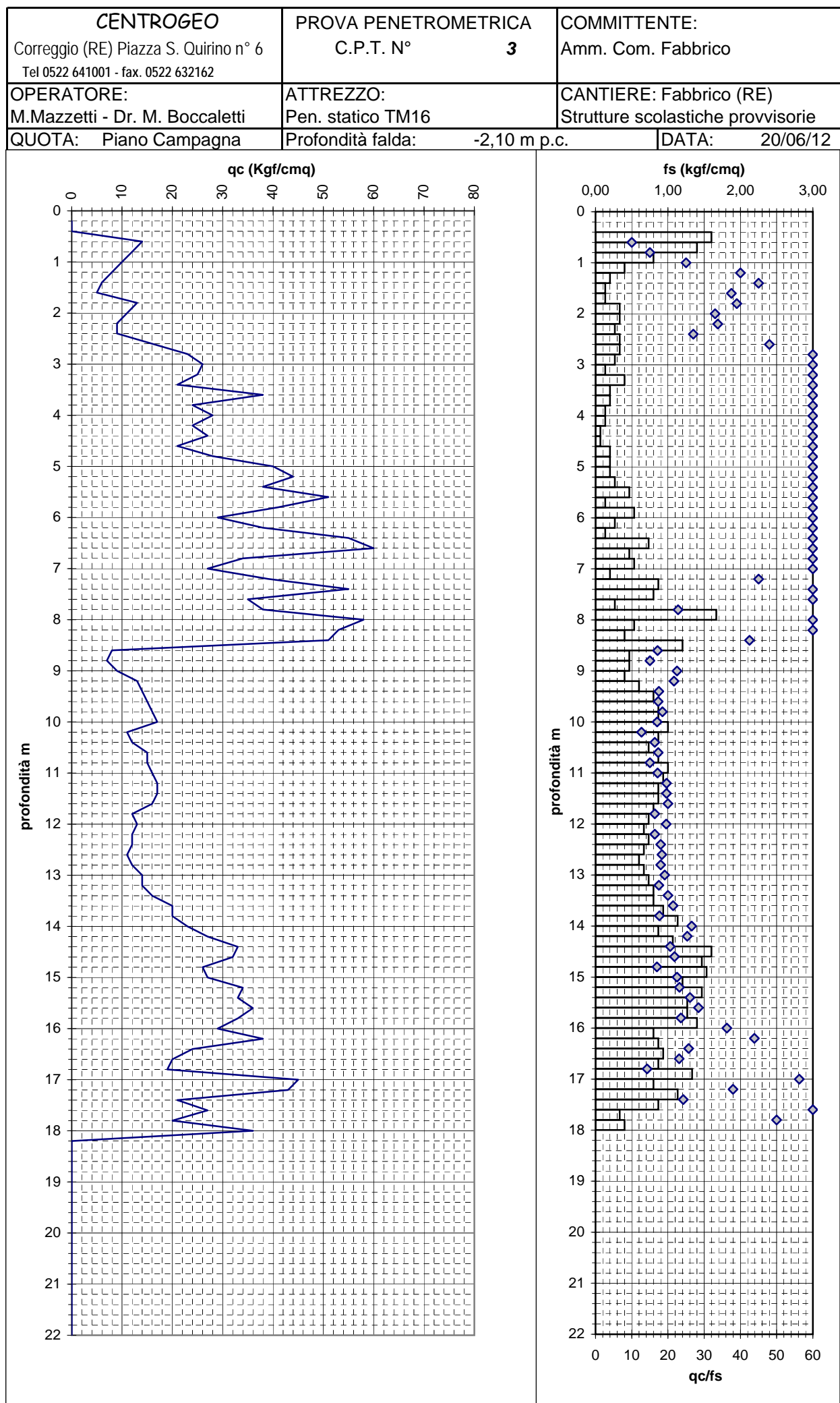


Area Studiata









INDAGINE MASW/Re.Mi.

COMMITTENTE: Ammin. Comunale Fabbrico

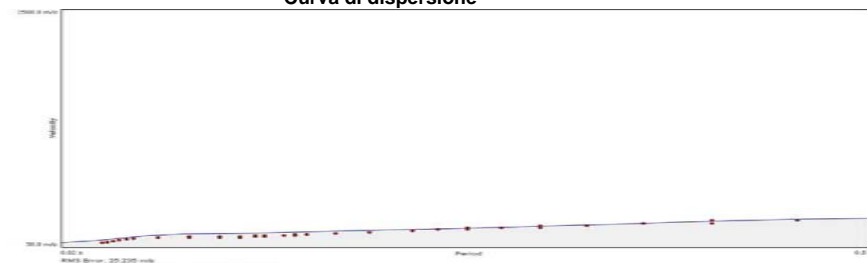
CANTIERE: Strutture scolastiche provvisorie

OPERATORI: Mazzetti M. - Boccaletti M.

Spettro di potenza



Curva di dispersione



Modello interpretativo

Strato n°	Prof. (m)		Spess. (m)	Vs (m/s)
1	0	1	1	105
2	1	3,8	2,8	148
3	3,8	9,5	5,7	290
4	9,5	15,7	6,2	216
5	15,7	44,4	28,7	308
6	44,4	INF	INF	489
7				
8				
9				
10				

The graph displays the variation of V_s (V) versus time (ms). The x-axis represents time in milliseconds (ms), ranging from 0 to 600. The y-axis represents voltage V_s in Volts (V), ranging from 0 to 50. The plot shows a step-like function where V_s remains at 0 V until approximately 50 ms, then increases to 1 V, then to 10 V, then to 15 V, then to 45 V, and finally to 50 V.

Time (ms)	V_s (V)
0	0
50	0
50	1
150	1
150	10
250	10
250	15
350	15
350	45
550	45
550	50
600	50

