

PROVINCIA DI MODENA

Area Lavori Pubblici

Direttore Ing. Alessandro Manni

Servizio Lavori speciali Opere Pubbliche

telefono 059 209 623 fax 059 343 706

via J.Barozzi 340, 41124 Modena c.f. e p.i. 01375710363

centralino 059 209 111 www.provincia.modena.it provinciadimodena@cert.provincia.modena.it

Servizio Certificato UNI EN ISO 9001:2008 - Registrazione N. 3256 -A-

I.S.T.A.S. LAZZARO SPALLANZANI DI CASTELFRANCO EMILIA (MO) POSIZIONAMENTO MODULI PREFABBRICATI AD USO LABORATORI

PROGETTO ESECUTIVO

RIFERIMENTO ELABORATO

PE016

RELAZIONE GEOLOGICA SULLE INDAGINI

CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

PROT. n°

SCALA

DATA **DICEMBRE 2016**

CL.

revisione

data

descrizione

redatto

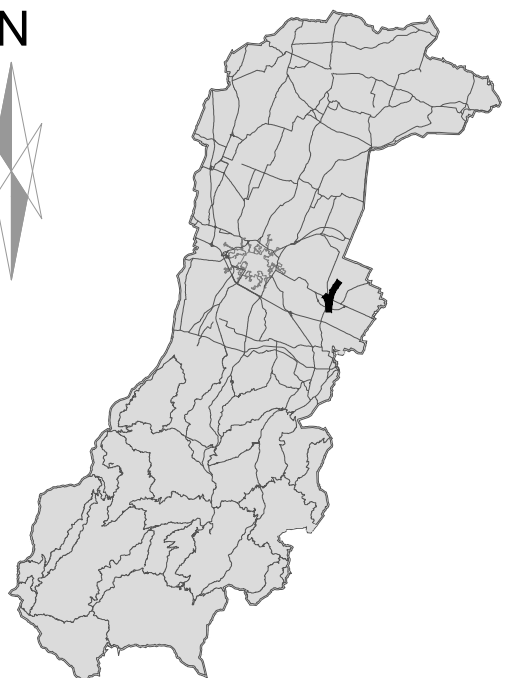
controllato

approvato

DEL

FASC.

SUB



ubicazione intervento

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Alessandro Manni

PROGETTISTA GENERALE

Ing. Daniele Gaudio

PROGETTISTA STRUTTURALE DELLE FONDAZIONI

Ing. Vincenzo Chianese

CONSULENTE GEOLOGICO

Dott. geol. Luca Rossi

VISTO IL DIRETTORE DEI LAVORI

PROVINCIA DI MODENA

COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA

**AMPLIAMENTO
POLO SCOLASTICO
"GUIDO GUINIZZELLI"**

**RELAZIONE GEOLOGICA
E SISMICA**

A cura di:
DOTT. GEOL. Valeriano Franchi
V.le Caduti in Guerra 1, 41121 Modena
TEL. 059-226540
e-mail: valerianofranchi@tin.it

SETTEMBRE 2015

Dott. Geol. Valeriano Franchi
V.le Caduti in Guerra, 1 – 41121 Modena
Tel: 059-226540
e-mail: valerianofranchi@tin.it

Modena, 24/09/2015

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

INDICE CONTENUTI

Premessa	2
1. Inquadramento geografico-fisico	3
1.1. Descrizione di massima del progetto.....	5
2. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico	6
3. Indagini geognostiche e modello geologico-geotecnico	12
4. Indagine sismica	15
5. Definizione dell'azione sismica di base.....	17
5.1. Definizione dell'azione sismica di base per l'area di studio	18
5.2. Scelta della strategia di progettazione	19
6. Azione sismica di progetto	21
7. Effetti di sito	22
7.1. Amplificazione stratigrafica.....	22
7.2. Amplificazione topografica.....	24
7.3. Accelerazione massima orizzontale al suolo	24
7.4. Suscettibilità alla liquefazione	25
8. Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni.....	27

ALLEGATI

PREMESSA

Nella presente relazione vengono trattati gli aspetti geologici e sismici inerenti l'area su cui è prevista la realizzazione dell'ampliamento del Polo Scolastico "Guido Guinizzelli". L'area è ubicata nel settore sud-orientale del Capoluogo di Castelfranco Emilia (MO). Di estensione complessiva pari a circa 500 m², è ubicata circa 50 m ad ovest di via Risorgimento, 80 m a nord dell'incrocio tra quest'ultima e via Canaletto.

Lo studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti in materia, DM 11.03.1988, con riferimento specifico agli aspetti sismici come da DM 14.01.2008.

Per l'adempimento delle specifiche normative, è stato effettuato un sopralluogo sull'area in data 7/09/2015 al fine di verificarne l'idoneità geologica e geomorfologica.

Per la caratterizzazione litostratigrafia e geotecnica dei terreni di sottofondazione, in data 10/09/2015, sono state effettuate 2 prove penetrometriche statiche, spinte alle profondità di 7 e 8 m.

Per la classificazione sismica del terreno di sottofondazione sono stati utilizzati i dati ricavati da uno stendimento sismico eseguito, sempre in data 10/09/2015, nell'area verde antistante l'attuale anfiteatro esterno, parallelamente a quello che diverrà il lato sud-orientale del complesso scolastico. Lo stendimento, composto da 24 geofoni, con spaziatura tra essi di 2,0 metri per una lunghezza complessiva della linea sismica di 46 metri, ha fornito i dati necessari per individuare, tramite la metodologia d'analisi MASW, la sismostratigrafia nei primi 30 m dal piano di posa delle fondazioni ed il parametro di normativa V_{s30} .

La relazione si articola nel seguente modo:

- Inquadramento geografico - fisico
- Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico
- Indagini geognostiche e modello geologico-geotecnico
- Indagine sismica
- Definizione dell'azione sismica di base
- Effetti di sito
- Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni

ALLEGATI

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-FISICO

L'area esaminata, sulla quale verrà realizzato il progetto di ampliamento del Polo Scolastico "Guido Guinizzelli", è ubicata nel settore sud-orientale del Capoluogo di Castelfranco Emilia (MO), circa 100 m ad ovest di via Risorgimento.

Dal punto di vista topografico si trova in corrispondenza di un'ampia area pianeggiante, di alta pianura, sub-orizzontale, con una debole pendenza verso NE, e con quote che, in corrispondenza dell'area, sono prossime a 41 m s.l.m.

Gli elementi idrografici più prossimi, all'interno di un'area che vede la presenza di fontanili, sono rappresentati esclusivamente da aste di ordine minore del reticolo superficiale, ovvero dal Canale di Castelfranco e dallo Scolo Muzza: il primo scorre circa 200 m ad ovest, con direzione SO-NE; il secondo scorre circa 300 m a SO, con direzione SE-NO.

Il clima è caratterizzato, nel periodo 1991-2008, da precipitazioni totali annue, in media, di 711 mm e temperature medie annue di 14,5°C¹, pari, rispettivamente, ad una variazione di +15 mm e +1,3°C rispetto al periodo 1961-1990.

Nella cartografia regionale, l'area è compresa nella Tavola alla scala 1:25.000 nr. 220NO denominata "Castelfranco Emilia" (Figura 1), nella Sezione alla scala 1:10.000 nr. 220010 denominata "Castelfranco Emilia" e nell'Elemento alla scala 1:5.000 nr. 220011 denominato "Castelfranco" (Figura 2).

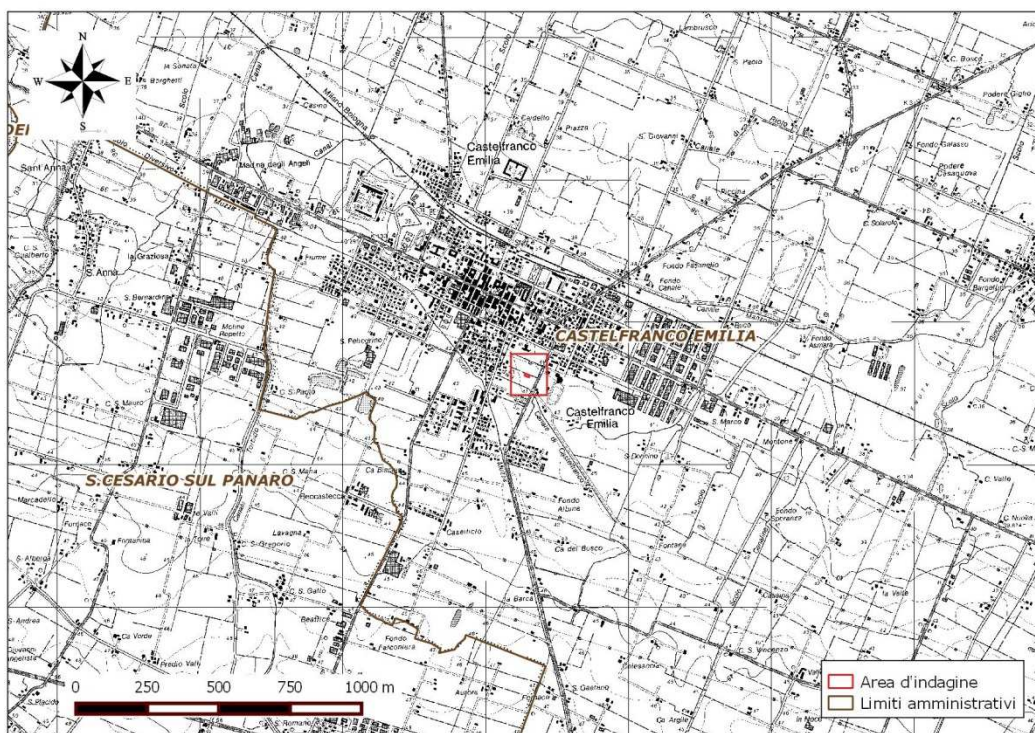


Figura 1 - Inquadramento geografico su C.T.R. con dettaglio topografico a scala 1:25.000 – Tavola nr. 220NO denominata "Castelfranco Emilia".

¹ Atlante Idroclimatico dell'Emilia-Romagna - <http://www.arpa.emr.it/sim/?clima>

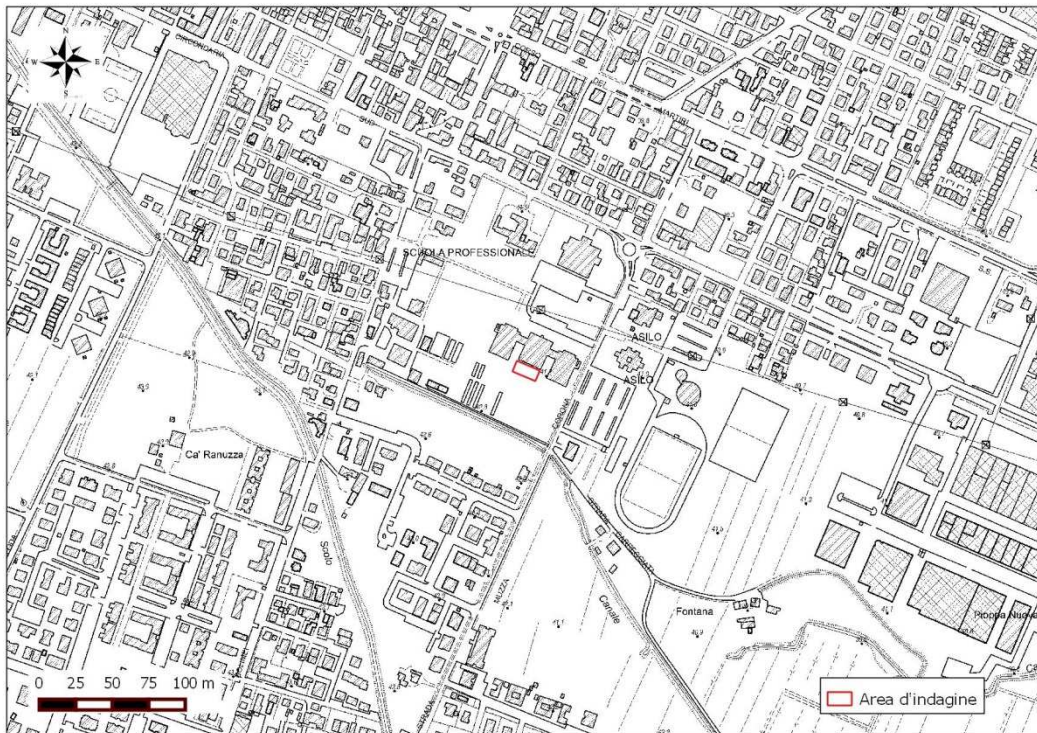


Figura 2 - Ubicazione dell'area d'indagine su C.T.R. con dettaglio topografico a scala 1:5.000 - Elemento nr. 220011 denominato "Castel Franco".



Figura 3 - Ubicazione dell'area d'indagine su ortofoto satellitare (fonte: Ortofoto multifunzione EMILIA-ROMAGNA - AGEA 2011 - RGB).

1.1. Descrizione di massima del progetto

La realizzazione dell'Ampliamento del Polo Scolastico G. Guinizelli 1° Stralcio – Piano Terra, si pone come obiettivo, quello di ampliare il numero di aule in dotazione al Polo al fine di unificare i cicli scolastici della Scuola Secondaria Inferiore, attualmente suddivisi in due plessi: lo stesso Polo Scolastico e la Scuola Messieri di via Magenta.

La realizzazione dell'Ampliamento è prevista ove è attualmente ubicato l'anfiteatro esterno. Lo stesso risulta non utilizzato dalla Scuola, né per attività didattiche, né per attività ludiche; verrà pertanto demolito ed al suo posto si realizzerà un nuovo blocco aule, collegato ad uno dei due blocchi aule esistenti.

L'ampliamento aggiungerà alle attuali aule del Polo Scolastico ulteriori n.9 Aule con capienza pari a 26 Alunni, n. 1 Aule con capienza pari a 18 Alunni, e n. 1 Archivio didattico da 70,00 mq, con servizi igienici, un locale tecnico e un deposito per prodotti di pulizia Figura 4.



Figura 4 – Tavola con la planimetria di massima del progetto di ampliamento del polo: il rettangolo arancione individua l'estensione occupata dall'ampliamento in relazione con gli edifici esistenti.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Per quanto riguarda la litologia superficiale, l'esame della Tavola 1.S "Aree suscettibili di effetti locali" del QC del PSC di Castelfranco Emilia (Figura 5) mostra come l'area in esame si trovi in una zona caratterizzata dalla presenza, in superficie, di terreni a componente prevalentemente limosa. Per trovare, in superficie, terreni incoerenti, prevalentemente sabbiosi, occorre spostarsi verso ovest e nord-ovest, in prossimità della periferia orientale del Capoluogo.

Sostanziale accordo con il quadro delle litologie superficiali del PSC si può trovare anche nella Tavola 2a.2 del PTCP della Provincia di Modena (Figura 6) in cui, per l'area in esame, rimane appunto confermata la presenza di litotipi a prevalente componente granulometrica fine (limi e argille), di ambiente deposizionale di piana alluvionale. La differenza principale tra le due cartografie è rappresentata dall'interpretazione morfologica delle forme legate alla paleo-dinamica fluviale: il PTCP tende a sottostimare la presenza di dossi fluviali rispetto al PSC (si veda il confronto fra Figura 6 e Figura 10), non identificando, ad esempio, il principale dosso che interseca, in direzione S-N, il settore centro-occidentale del Capoluogo, molto prossimo all'area di indagine.

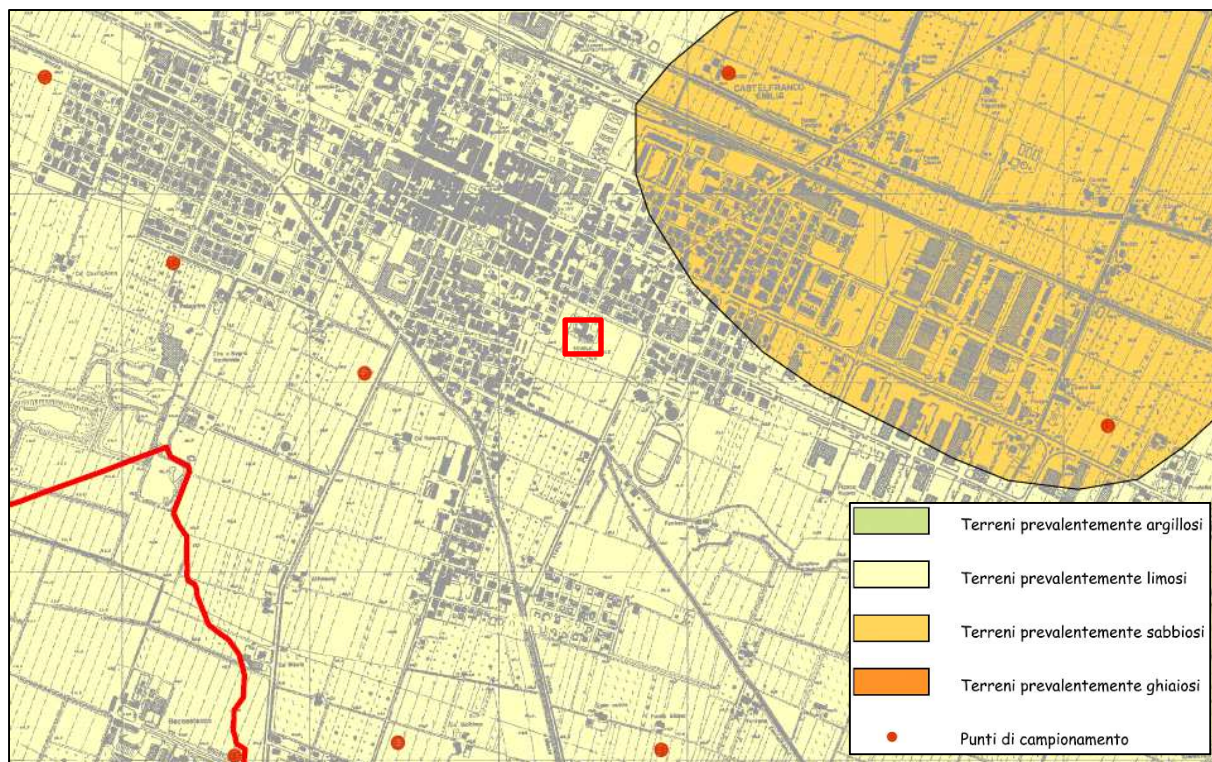


Figura 5 – Stralcio della Tavola 1.1 "Litologia di superficie" del PSC di Castelfranco Emilia. Il quadrato rosso individua l'area di studio.

E' pertanto ragionevole attendersi, per l'area, un ambiente deposizionale caratterizzato da ritmiche divagazioni dei corsi d'acqua minori (o, più probabilmente, del Fiume Panaro – si veda Figura 9), il cui risultato può essere una stratigrafia piuttosto variabile, sia nello spazio che verticalmente, con alternanze di livelli fini e a comportamento geomeccanico plastico e di livelli

incoerenti, sabbiosi, fino ad un tetto delle ghiaie che si può supporre abbastanza prossimo alla superficie topografica.

A tal proposito, per quanto riguarda la stratigrafia oltre il primo metro più superficiale, questa può essere ricavata, con buona approssimazione, dalla stratigrafia di un pozzo per acqua con codice identificativo 220010P639, reperibile dal database geognostico della Regione Emilia-Romagna (Figura 7) e distante dall'area d'indagine circa 500 m.

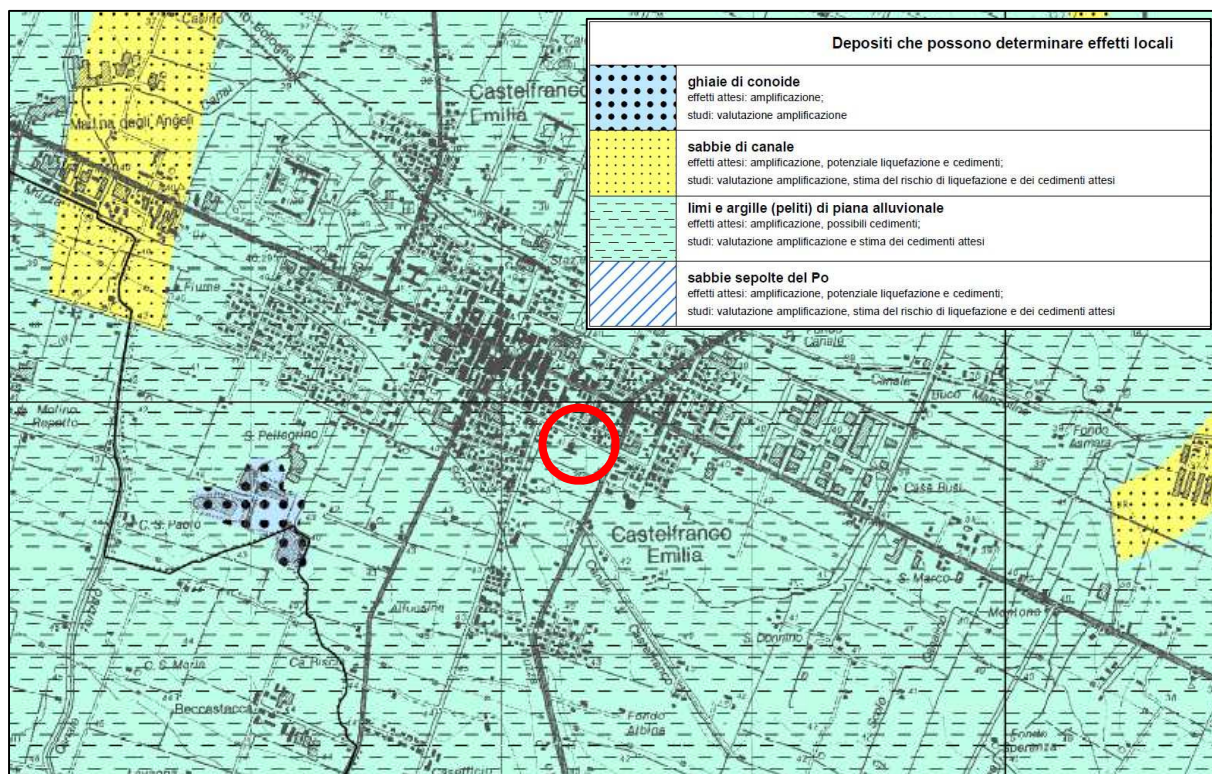


Figura 6 – Stralcio della Tavola 2a.2 "Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali" del QC del PTCP della Provincia di Modena (2009). Il cerchio rosso individua l'area di studio.

La stratigrafia del pozzo 220010P639, riportata in Allegato 1, indica la presenza di argilla da piano campagna fino alla profondità di -9 m, seguita da ghiaia fino a -14 m. La stratigrafia continua con un secondo strato di argilla fino a -22 m, seguito da un secondo strato di ghiaia fino a -40 m. Si alternano ancora un terzo livello di argilla ed un terzo livello di ghiaia, rispettivamente da -40 a -44 m e da -44 a -70 m.

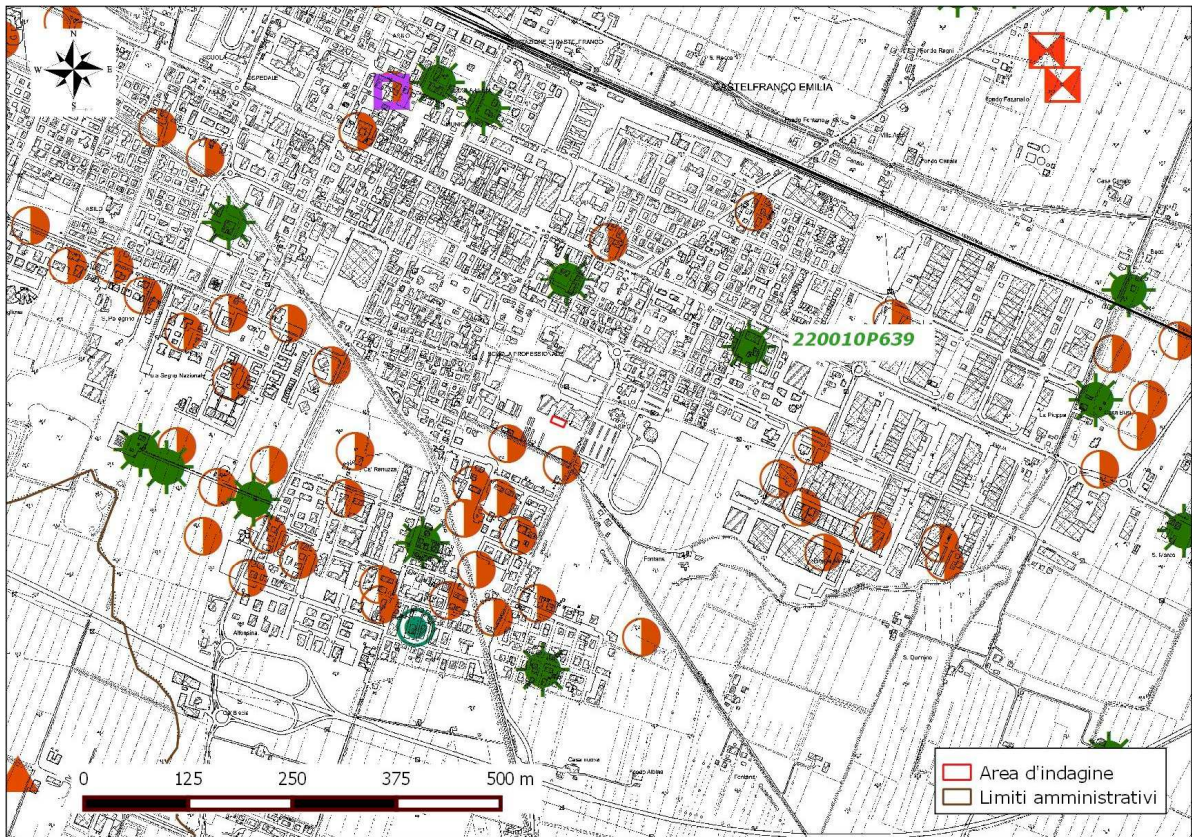


Figura 7 – Ubicazione del pozzo per acqua (simbolo verde con identificativo 220010P639) più prossimo all'area d'indagine, contenuto nel geo-database della Regione Emilia-Romagna, di cui si dispone di stratigrafia. Il rettangolo rosso individua l'area di studio.

Infine, il PTCP della Provincia di Modena, nella Tavola 3.2 di QC - "Depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico in superficie" - individua una profondità del tetto del substrato marino a circa -300 m s.l.m., ovvero - 341 m rispetto al piano campagna dell'area di studio), ed una profondità del tetto del ciclo alluvionale inferiore prossima a -150 m s.l.m. (ovvero - 191 m rispetto al piano campagna dell'area di studio) (Figura 8).

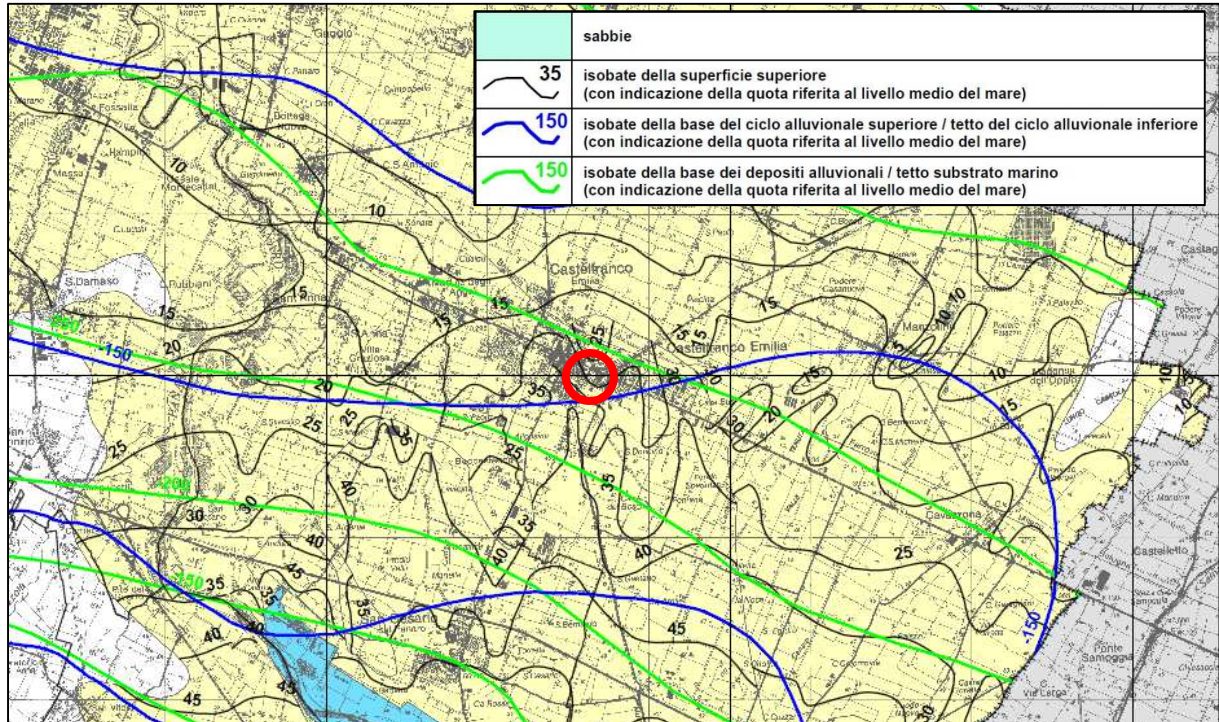


Figura 8 – Stralcio della Tavola 3.2 di QC del PTCV della Provincia di Modena – “Depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico in superficie”. Il cerchio rosso circonda l’area di studio.

Dal punto di vista geomorfologico, l’area in studio si sviluppa in un contesto caratterizzato dalla presenza di forme superficiali legate alla paleo-dinamica fluviale (Figura 10).

In particolare, l’area è ubicata in una zona di transizione, come visibile in Figura 9², tra due paleoalvei del Fiume Panaro: quello più orientale, che attraversa S. Giovanni in Persiceto, abbandonato nell’età del Bronzo, e quello più occidentale, che passa di poco ad ovest di Castelfranco Emilia, abbandonato in età Romana. Pertanto, considerata anche la presenza, a circa 9 m dal piano campagna, di un primo livello ghiaioso rilevante, è ragionevole ipotizzare una forte impronta del Fiume Panaro nella costruzione della sequenza stratigrafica più superficiale della zona, non escludendo la presenza di livelli ghiaiosi, di potenza minore, anche a profondità sub-superficiali.

² PANIZZA, M., CASTALDINI, D., PELLEGRINI, M., GIUSTI, C. & PIACENTINI, D. (2004) – *Matrici geo-ambientali e sviluppo insediativo: un’ipotesi di ricerca* – in Mazzeri, C. (a cura di): *Per un Atlante Storico Ambientale Urbano*, Edizioni APM, 31-51 pp.

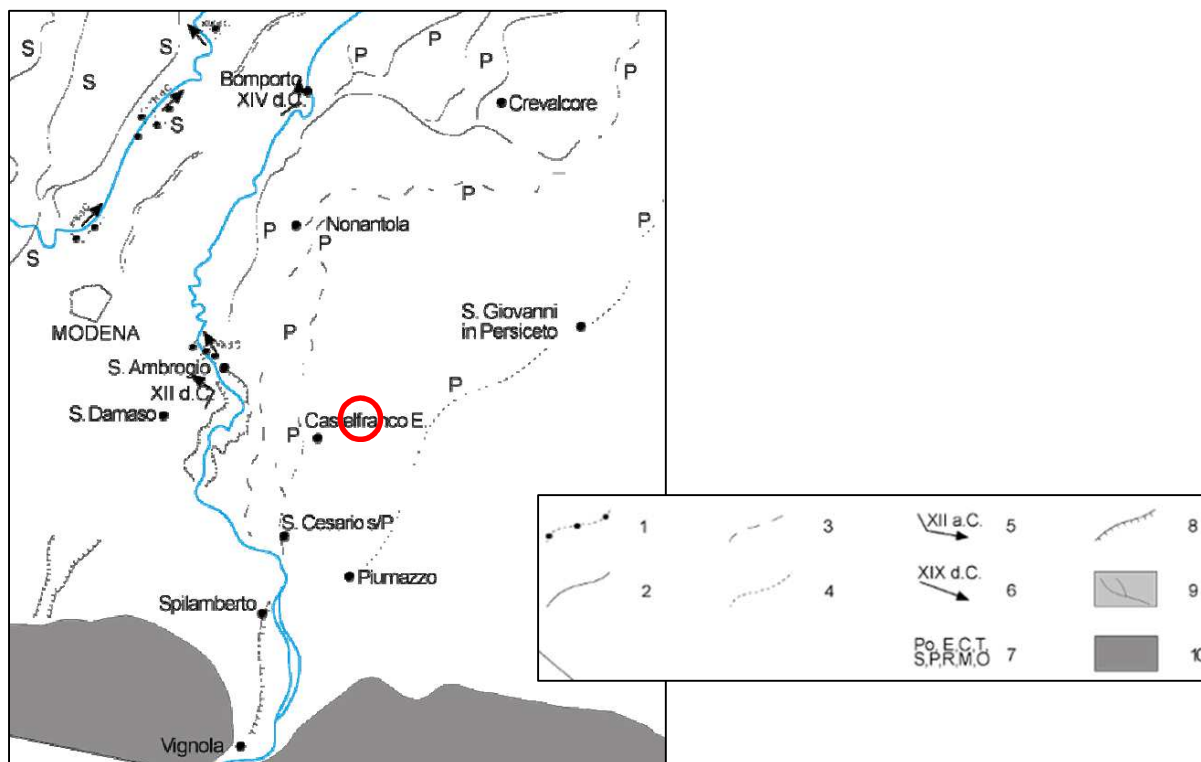


Figura 9 - *Evoluzione della rete fluviale tra Mantova e Modena* - Legenda: 1) idrografia abbandonata di età moderna, 2) idrografia abbandonata di età medioevale, 3) idrografia abbandonata di età romana, 4) idrografia abbandonata di età del Bronzo, 5) principale deviazione fluviale e indicazione della sua età, 6) principale taglio di meandro e indicazione della sua età, 7) indicazione di dominio fluviale: Po = Po, E = Enza, C = Crostolo, T = Tresinaro, S = Secchia, P = Panaro, M = Mincio, O = Oglio, 8) principale scarpata fluviale, 9) depositi fluvio-glaciali e fluviali tardo pleistocenici con tracce di paleoalvei, 10) formazioni pre-quaternerie del margine appenninico. Il cerchio rosso identifica l'area di studio.

La carta geomorfologica del QC del PSC di Castelfranco Emilia evidenzia molto bene l'evoluzione geomorfologica legata alla dinamica fluviale, identificando numerosi dossi fluviali di notevole estensione lineare. Uno di questi passa circa 200 m ad ovest dell'area d'indagine, in collegamento morfologico con il conoide alluvionale di Spilamberto, e attraversa pressoché l'intera estensione del territorio comunale. Una sua possibile diramazione è rappresentata dal tronco di dosso presente a nord-est dell'area di studio.

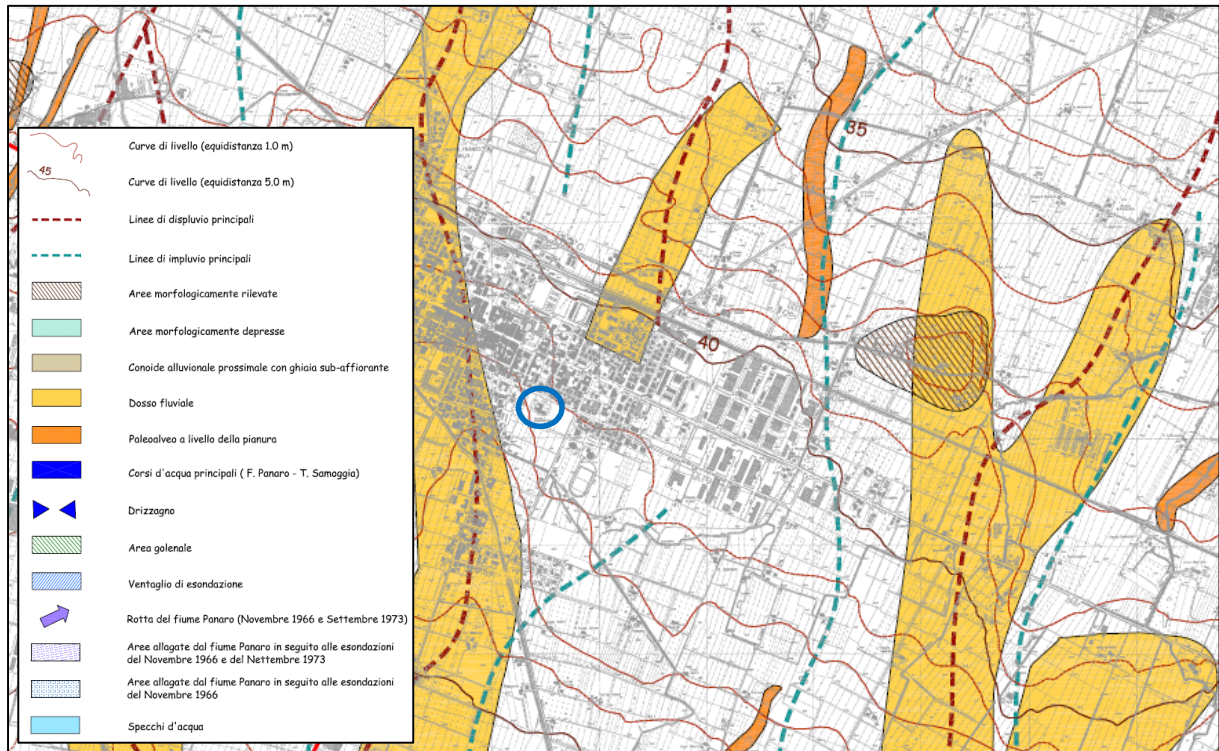


Figura 10 – Estratto della Tavola 1.2 "Geomorfologia" del QC del PSC di Castel Franco Emilia. Il cerchio blu identifica l'area di studio.

In merito all'idrografia, gli elementi idrografici più prossimi, all'interno di un'area che vede la presenza di fontanili, sono rappresentati esclusivamente da aste di ordine minore del reticolo superficiale, ovvero dal Canale di Castel Franco e dallo Scolo Muzza: il primo scorre circa 200 m ad ovest, con direzione SO-NE; il secondo scorre circa 300 m a SO, con direzione SE-NO.

Per quanto riguarda le acque sotterranee, l'elaborazione della piezometria della falda superficiale, rappresentata nel QC del PSC comunale, evidenzia la presenza di una direzione di flusso all'incirca verso nord-est, con valori che, in prossimità dell'area d'indagine, sono pari a 33 m s.l.m., per una soggiacenza pari a circa 8 m dal piano campagna (Figura 11).

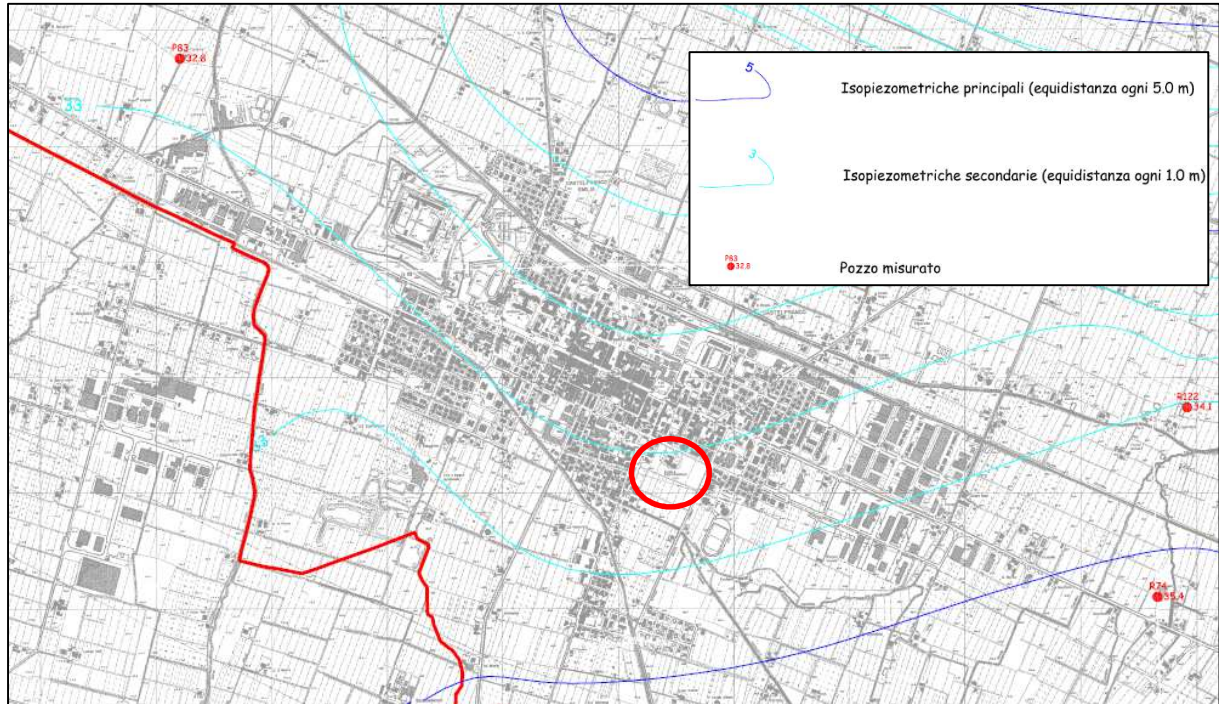


Figura 11 – Estratto della Tavola 1.6a "Piezometria – dati aggiornati primavera 2002". Il cerchio rosso identifica l'area di studio.

In occasione dell'esecuzione delle due prove penetrometriche statiche in corrispondenza dell'area di studio, la falda è stata sempre intercettata a -4,6 m dal piano campagna.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

In data 10/09/2015 è stata eseguita un'indagine geognostica nell'area in oggetto al fine di analizzare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni che saranno interessati dall'intervento in progetto.

L'indagine è stata condotta mediante l'esecuzione di 2 prove penetrometriche statiche a punta meccanica (CPT). L'ubicazione delle prove eseguite è mostrata nella planimetria riportata in Figura 12, mentre i diagrammi penetrometrici, unitamente ai tabulati di campagna, sono riportati in Allegato 2.

Le prove, che hanno raggiunto profondità di 7 e 8 m dal piano di campagna, sono state eseguite utilizzando un penetrometro statico Gouda 100kN, con le seguenti caratteristiche tecniche:

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

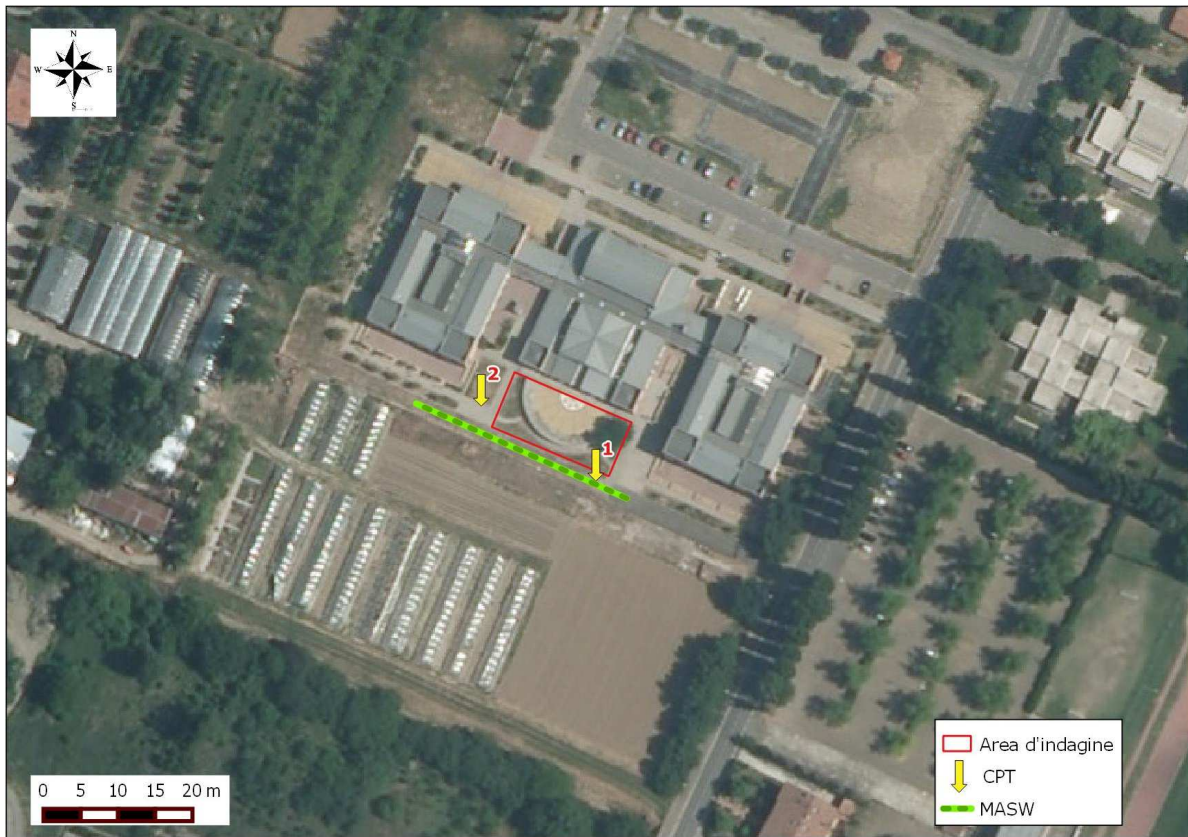


Figura 12 – Ubicazione dei sondaggi penetrometrici e dello stendimento MASW.

Dal punto di vista litostratigrafico, oltre il primo livello superficiale di suolo, le prove (Tabella 1 e Tabella 2) hanno evidenziato la presenza di uno spessore di terreni a comportamento meccanico plastico (prevalentemente argille, con livelli limo-sabbiosi) fino a profondità variabile da 1,2 a 2 m, molto compatto. A tale spessore segue un secondo strato composto da terreni argillosi, relativamente meno compatto rispetto al primo, fino a circa - 5 m.

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
1	0,60											
2	1,20	C	1,9	1385,1	74,0	254,3	>9	2,1	2,2	--	--	--
3	3,20	C	0,8	618,1	47,4	157,0	>9	1,9	2,0	--	--	--
4	5,20	C	0,6	397,7	45,9	123,2	8,7	1,9	1,9	--	--	--
5	7,00	I	--	--	320,7	742,6	0,8	1,9	2,2	96,4	45,0	534,4

Tabella 1 – Modello geotecnico in corrispondenza della CPT1.

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
1	0,80	I	--	--	0,8	7,0	<0,5	1,8	2,1	5,0	17,1	0,3
2	1,80	CI	2,5	1829,4	98,0	301,9	0,8	2,1	2,2	84,2	39,0	122,5
3	3,20	C	0,6	459,7	47,6	132,4	>9	1,9	2,0	--	--	--
4	4,80	C	0,4	244,4	36,1	93,9	7,9	1,8	1,9	--	--	--
5	6,40	I	--	--	403,5	854,5	0,7	1,9	2,2	100,0	45,0	672,5
6	7,20	CI	2,9	2117,2	115,5	333,8	<0,5	2,1	2,2	47,0	42,9	144,4
7	8,00	CI	9,9	7351,3	395,0	707,5	1,1	2,4	2,4	86,2	45,0	493,8

Tabella 2 – Modello geotecnico in corrispondenza della CPT2.

Nr: Numero progressivo strato
Prof: Profondità strato (m)

Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm ²)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)

Oltre tale profondità, si incontra un livello sabbioso, estremamente addensato che precede il tetto delle ghiaie; nella CPT2, tra il livello sabbioso e le ghiaie è presente un interstrato composto da limi sabbiosi e sabbie argillose.

Dal punto di vista geotecnico, le due prove effettuate hanno evidenziato la presenza di un primo livello superficiale, a comportamento meccanico plastico, caratterizzato da valori di coesione non drenata molto alti: in media pari a circa 200 kPa. Il secondo strato argilloso, compreso tra -2 e -5 m, vede un decadimento dei valori di coesione non drenata, in media pari a 58 kPa.

Considerando la resistenza alla punta media, le CPT mostrano un andamento alquanto simile con la profondità, almeno nei primi 5 m, con valori di Rp in media buoni, ma che nella CPT2, in corrispondenza dello spessore compreso tra -3,4 e -4,8 m, scendono fino a 6-9 kg/cm². La CPT2 intercetta un livello intermedio di terreni misti, tra le sabbie e il tetto delle ghiaie, che abbassano momentaneamente i valori di Rp, mantenendosi comunque ancora su livelli buoni (Figura 12).

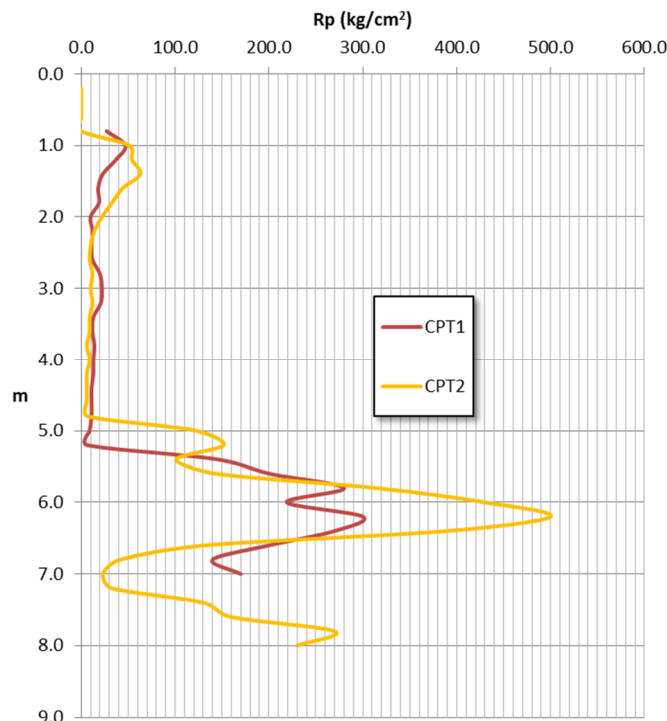
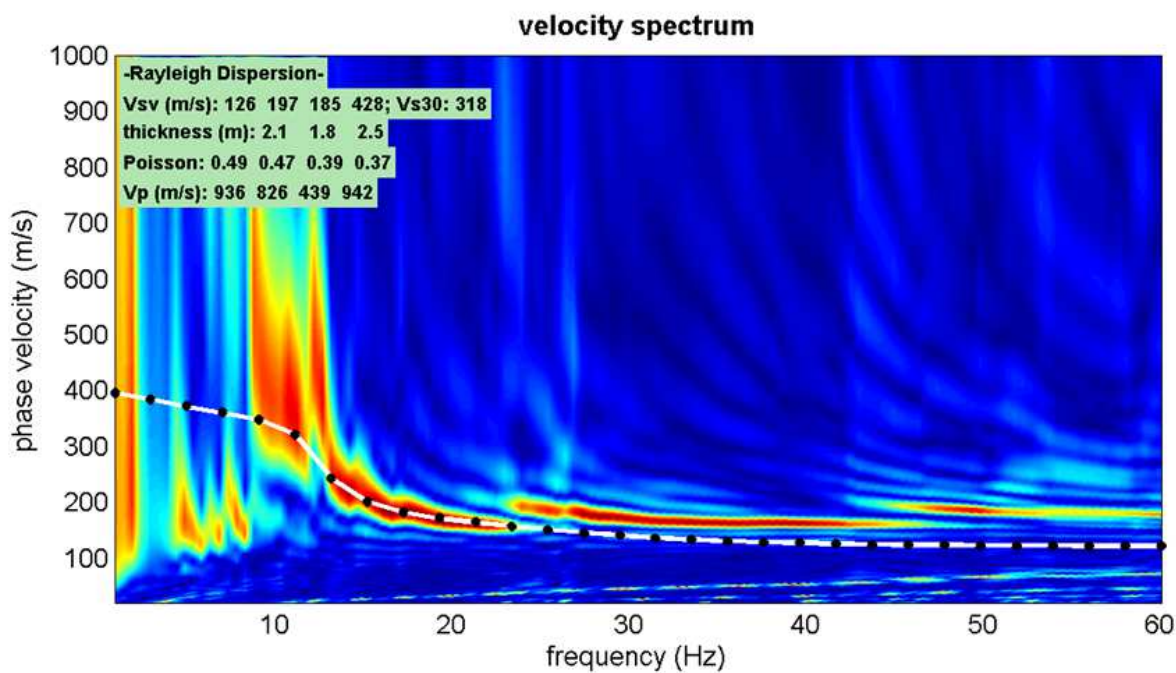


Figura 13 – Diagramma dei valori di Rp con la profondità.

4. INDAGINE SISMICA

Per la classificazione sismica dei terreni è stato eseguito, sempre in data 10/09/2015, uno stendimento sismico composto da 24 geofoni; mediante la metodologia d'analisi attiva MASW del segnale registrato dai geofoni, è stato possibile individuare la frequenza, l'ampiezza, la lunghezza d'onda e la velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente e calcolare il parametro di normativa V_{s30} .

L'indagine sismica è stata eseguita su terreno "naturale", in prossimità del lato sud-occidentale del nuovo ampliamento e ad esso parallela (Figura 12). Essa ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, permettendo di calcolare un valore di V_{s30} pari a **318** m/sec, che inserisce il terreno di fondazione all'interno della classe **C** - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del 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).*



Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
2.1	2.1	126
3.9	1.8	197
6.4	2.5	185
30.0	23.6	428

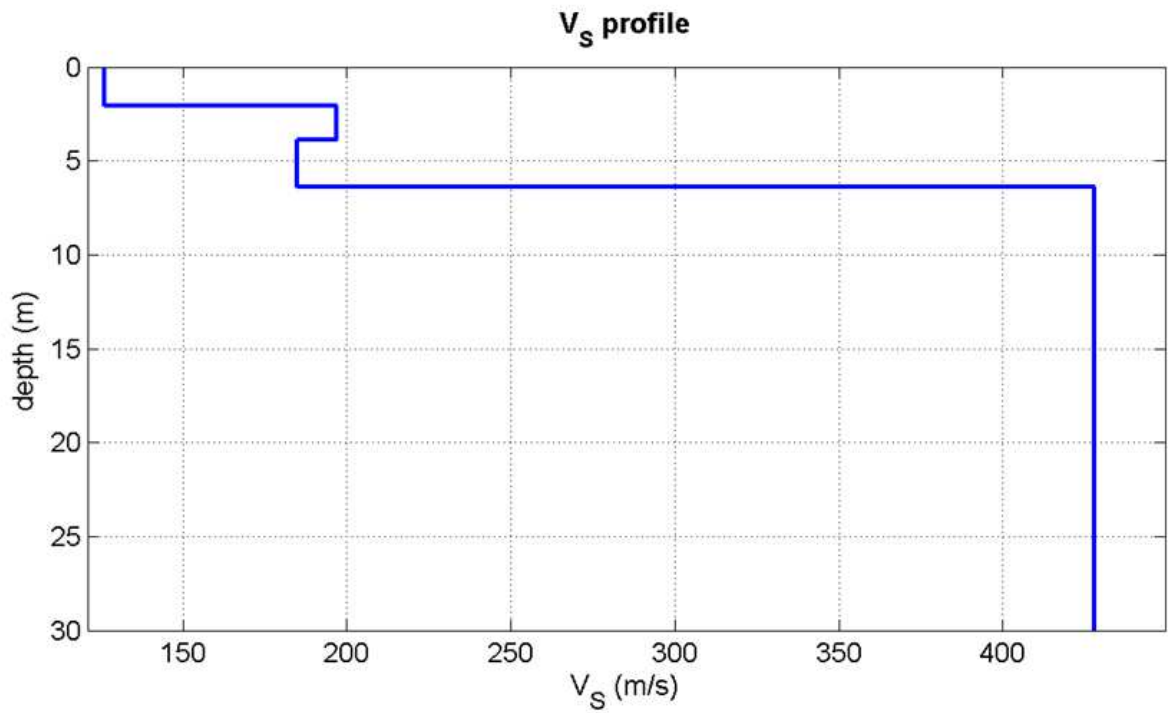
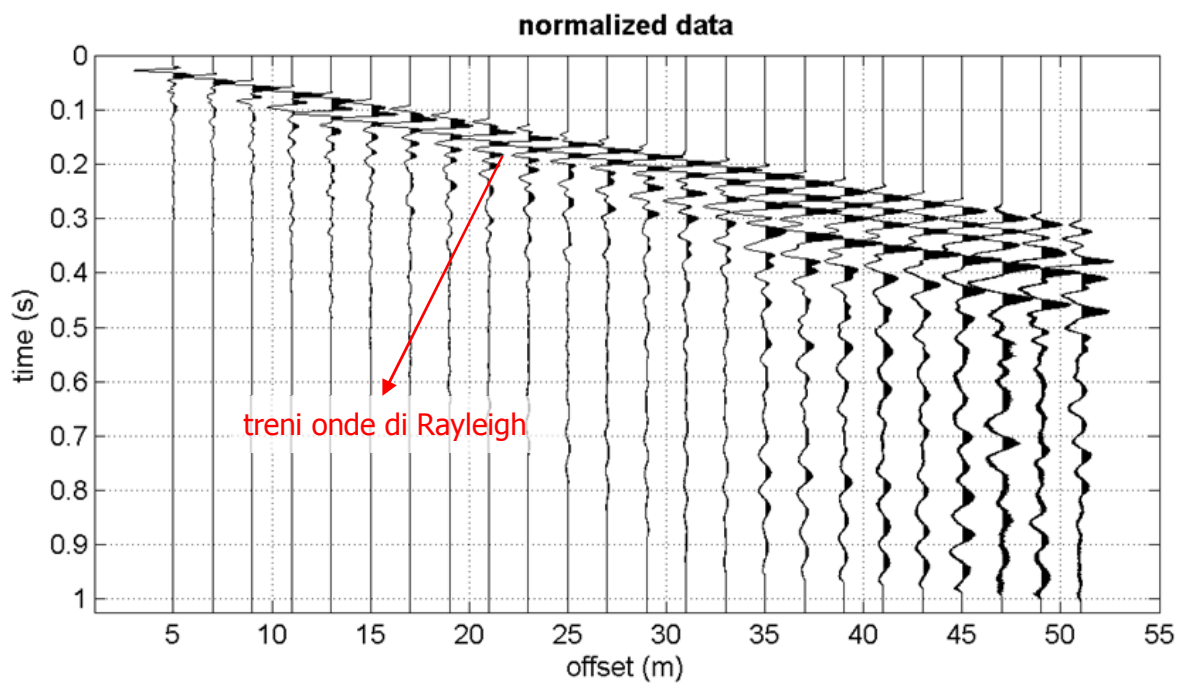


Diagramma velocità V_S /profondità



sismogramma

5. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base è quella componente di pericolosità dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area. Essa fornisce, in termini probabilistici, per una certa regione e per un determinato periodo di tempo, i valori, corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza, dei parametri che descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto. Si riferisce a condizioni ideali di suolo roccioso affiorante e privo di irregolarità morfologiche e fornisce le caratteristiche del terremoto di riferimento atteso al sito.

Tali caratteristiche sono definite³ quando sono noti l'accelerazione di picco orizzontale ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, entrambi riferiti a condizioni di suolo rigido e superficie topografica orizzontale.

La possibilità di descrivere l'azione sismica in forma di accelerogrammi è ammessa solo a condizione che essi siano compatibili con le predette caratteristiche del moto sismico.

La pericolosità sismica di base è definita secondo una procedura basata sui risultati dello studio dell'INGV, disponibili sul sito web⁴ nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica". In tali mappe, la pericolosità si sgancia dalle divisioni amministrative e viene distribuita sui 10751 nodi, a distanza reciproca non superiore a 10 km, di un reticolo geografico regolare. Ogni nodo è caratterizzato da specifiche curve di pericolosità che definiscono la frequenza media annua di occorrenza di una serie di terremoti caratterizzati da diversi livelli di severità, espressa, ad esempio, in termini di a_g .

Anche la definizione di spettro elastico (attraverso 3 parametri di controllo) varia da punto a punto del reticolo e in funzione del periodo di ritorno dell'azione sismica.

Dal punto di vista temporale, la pericolosità non è più definita con riferimento ad un singolo valore del *periodo di ritorno*, $T_R = 475$ anni⁵, ma in corrispondenza di 9 valori, ovvero $T_R = 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975$ e 2475 anni. Questo coerentemente con un *approccio prestazionale alla progettazione*, basato sull'assunzione che, a fronte di un'azione sismica di intensità variabile e pertanto caratterizzata da un periodo di ritorno variabile, si richiedano alle strutture livelli di prestazione diversi.

I 3 parametri che definiscono la pericolosità sismica di base, in condizioni ideali di sito di riferimento, sono a_g , F_0 e T^*_c , rispettivamente definiti come: *accelerazione orizzontale massima del terreno, valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale*.

Essi sono necessari per la definizione dello spettro di risposta elastico rispetto ad uno specifico periodo di ritorno. Per ogni nodo del reticolo INGV sono forniti i grafici relativi alle curve di pericolosità e gli spettri di risposta a pericolosità uniforme (isoprobabili), corrispondenti alle diverse probabilità di eccedenza in 50 anni.

³ Per una prefissata P_{VR} .

⁴ <http://esse1.mi.ingv.it/>

⁵ Considerato internazionalmente come il livello di pericolosità di riferimento per la progettazione di edifici ordinari allo stato limite ultimo.

Si fa notare che, qualora il periodo di ritorno calcolato nell'approccio prestazionale fosse inferiore al valore minimo nello studio di pericolosità sismica dell'INGV (30 anni) o superiore al valore massimo considerato (2475 anni), si porrà pari a 30 anni nel primo caso e pari a 2475 anni nel secondo caso.

5.1. Definizione dell'azione sismica di base per l'area di studio

I parametri di pericolosità sismica possono essere automaticamente ricavati, come espresso nella Circolare NTC08, dal software "Azioni sismiche – Spettri di risposta" scaricabile dal sito web⁶ del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che effettua le operazioni di interpolazione sia geografica, sia temporale richieste per la valutazione dell'azione sismica. Come risultato, il software restituisce i 9 spettri di risposta elastici delle NTC08 (su roccia) e i 9 spettri a pericolosità uniforme dai quali sono stati derivati, per il sito in questione⁷ e per i 9 periodi di ritorno considerati. Si riportano, di seguito, i valori dei parametri di riferimento che definiscono gli spettri di risposta elastici caratteristici del sito in esame per i 9 periodi di ritorno di riferimento (Tabella 3).

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
30	0.050	2.483	0.256
50	0.061	2.511	0.270
72	0.072	2.483	0.276
101	0.083	2.480	0.280
140	0.098	2.443	0.283
201	0.116	2.404	0.285
475	0.163	2.414	0.294
975	0.213	2.427	0.297
2475	0.292	2.410	0.306

Tabella 3 - Valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento.

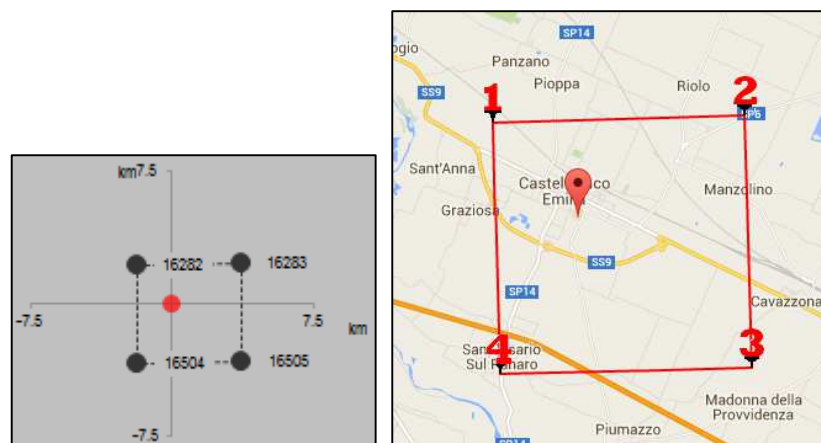


Figura 14 - Coordinate geografiche dei 4 punti della griglia INGV entro i quali ricade il sito in esame e distanza, in km, del sito da essi.

⁶ <http://www.cslp.it/>

⁷ Coordinate geografiche del sito: (LAT: 44,590640; LONG: 11,057102)

5.2. Scelta della strategia di progettazione

L'associazione tra i livelli prestazionale definiti per una data struttura e la severità dello scuotimento sismico dipende dall'importanza dell'opera considerata.

In particolare, le NTC08 prevedono che l'azione sismica sia associata ad un *periodo di riferimento* (V_R) dell'opera e ad una prefissata probabilità di eccedenza, cui è abbinato un periodo di ritorno T_R . V_R definisce il periodo di osservazione per l'accadimento di terremoti di severità prefissata in base a T_R , mentre *allo stato limite è associata la probabilità di eccedenza*, durante tale periodo, dell'azione sismica da considerare.

Per ogni tipo di costruzione, V_R è ottenuto come prodotto della *vita nominale dell'opera* (V_N) per il *coefficiente della classe d'uso* (C_u) della stessa e non può essere inferiore a 35 anni.

La V_N è indicata espressamente negli elaborati di progetto e, per il caso in esame risulta essere pari a **$V_N = 50$ anni**⁸. Essa definisce la durata della vita di progetto della struttura.

Le diverse strutture sono suddivise in *classi d'uso*, sulla base del livello di affollamento tipicamente presente nell'opera e delle possibili conseguenze, in termini sia di vittime, sia di rischi per l'ambiente, derivabili da un eventuale collasso o, comunque, da un'interruzione d'uso. A ciascuna classe d'uso è associato un valore del *coefficiente d'uso* C_u .

Nel caso in esame, la classe d'uso è la **III**⁹, corrispondente ad un coefficiente d'uso C_u pari a **1,5**.

Da qui deriva, per la struttura in esame, un V_R pari a **75**.

Da un punto di vista prestazionale, la filosofia che sta alla base della definizione degli stati limite prevede che la struttura rimanga operativa, o comunque subisca danni tali da non comprometterne significativamente la resistenza, nel caso di terremoti meno severi e pertanto con una più elevata probabilità di verificarsi nel periodo di riferimento della struttura (superiore al 63%). Per contro, si accettano danni più significativi, sempre però garantendo la salvaguardia della vita degli occupanti, nel caso si verifichi un terremoto più severo, cui è associata una probabilità di occorrenza significativamente più bassa (5-10%) durante il periodo di riferimento dell'opera.

Per questo, ad ogni SL è associata una *probabilità di eccedenza* P_{VR} che rappresenta la probabilità di accadimento, nel periodo di riferimento V_R , di almeno un sisma avente periodo di ritorno T_R :

Stato Limite di Operatività	(SLO) - 81%
Stato Limite di Danno	(SLD) - 63%
Stato Limite di salvaguardia della Vita	(SLV) - 10%
Stato Limite di prevenzione del Collasso	(SLC) - 5%

⁸ Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.

⁹ Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. $C_u = 1,5$.

Identificati V_R e P_{VR} , il periodo di ritorno dell'azione sismica, da considerare per l'opera in esame e per i diversi SL, può essere calcolato sulla base della relazione biunivoca riportata di seguito:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})}$$

Dall'equazione di cui sopra si ottengono le relazioni tra il periodo di ritorno e il periodo di riferimento per i 4 SL e i rispettivi parametri d'azione.

Per il sito in esame si riportano di seguito la tabella dei parametri d'azione e gli spettri elastici per i 4 periodi di ritorno e per i 4 SL:

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	45	0.059	2.505	0.267
SLD	75	0.074	2.483	0.277
SLV	712	0.190	2.421	0.296
SLC	1462	0.245	2.419	0.301

Tabella 4 - Valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento associati a ciascun SL.

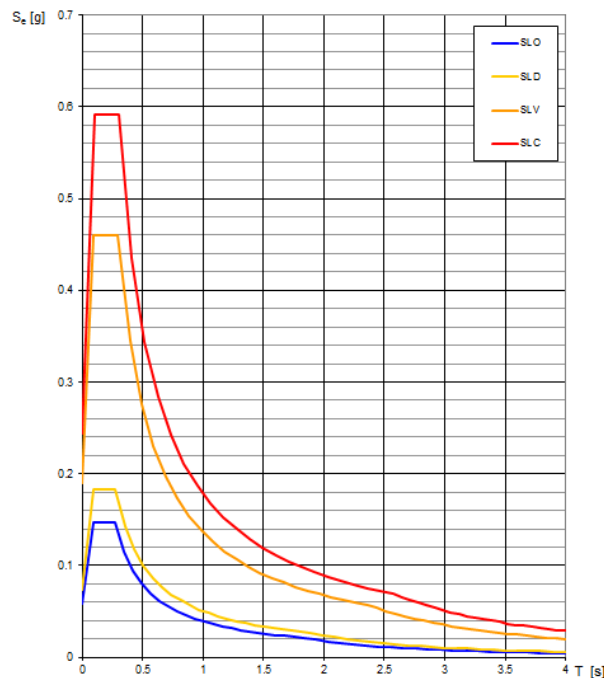


Figura 15 – Spettri di risposta elastici per i 4 Stati Limite

6. AZIONE SISMICA DI PROGETTO

L'utilizzo degli spettri di risposta elastici precedentemente descritti corrisponde ad esigere che, durante un terremoto di prefissata severità, la struttura in progetto (o esistente) mantenga un comportamento elastico lineare, evitando in tal modo qualsiasi alterazione della sua integrità. Questa filosofia, evidentemente molto gravosa dal punto di vista economico, viene di fatto utilizzata soltanto nel caso di strutture particolari, il cui danneggiamento anche lieve può provocare conseguenze molto gravi alla società. A parte questi casi di strutture particolari, tipicamente si ammette che, sotto l'azione del terremoto, la struttura possa uscire dal campo elastico e sia in grado di sfruttare le proprie risorse in campo inelastico. In altre parole, è consentito progettare una struttura per un livello di azione sismica più moderata rispetto a quella corrispondente ad un comportamento puramente elastico, ammettendo che, oltre il limite elastico, la struttura abbia un comportamento duttile e dissipativo.

Per *duttilità* si intende la capacità di una struttura di deformarsi anche dopo la plasticizzazione del primo elemento, senza raggiungere la rottura in modo fragile. A parità di duttilità, le strutture possono tuttavia rispondere in modo diverso, in relazione alla loro capacità di dissipare l'energia di deformazione accumulata nei cicli di carico e scarico indotti dal terremoto.

La filosofia delle normative più recenti, incluse le NTC08, è di mirare alla realizzazione di strutture con un prefissato livello di duttilità e con un'opportuna capacità dissipativa, grazie alla quale la struttura sia in grado di esibire riserve di resistenza oltre il limite di plasticizzazione del primo elemento, prima che si formi un meccanismo di collasso controllato, in accordo al criterio di gerarchia delle resistenze. Poiché dunque tali strutture, se correttamente progettate, possono attingere a risorse ulteriori una volta raggiunta la resistenza massima, per le strutture con adeguato comportamento dissipativo, le forze corrispondenti ad una risposta puramente elastica (risultati perciò dall'applicazione dello spettro di risposta elastico) possono essere ridotte.

In particolare, si dividono le ordinate dello spettro di risposta elastico per un coefficiente, detto *fattore di struttura* (q), il cui valore dipende dal materiale, dal tipo di sistema strutturale adottato e dal suo grado di iperplasticità.

Nella definizione degli spettri di risposta di progetto, le NTC08 adottano questa filosofia¹⁰.

Gli spettri di risposta di progetto in accelerazione per le componenti orizzontali, da utilizzare per la verifica degli stati limite ultimi, possono essere pertanto definiti solo qualora il progettista abbia calcolato il *fattore di struttura* (q), definito nel capitolo 7 delle NTC08 (punto 7.3.1), per le strutture dissipative.

Per la componente verticale dell'azione sismica, a meno di adeguate analisi giustificative, le NTC08 stabiliscono di utilizzare sempre un fattore di struttura $q = 1.5$, per qualunque tipologia strutturale e di materiale. Fanno eccezione i ponti, per i quali si richiede di adottare $q = 1$.

¹⁰ Le righe di questo capitolo, fino alla presente nota, sono in gran parte state trascritte, integralmente, dalla seguente pubblicazione: C.G. Lai, S. Foti e M. Rota (2009) – Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione. IUSS Press, 312 p.

Per gli stati limite di esercizio, le NTC08 stabiliscono di utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per quelle verticali, gli spettri di progetto elastici riferiti al periodo di ritorno corrispondente a ciascun stato limite. Secondo le NTC08 questo avviene indipendentemente dal fatto che le strutture siano dissipative o non dissipative. Pertanto, nel caso degli stati limite di esercizio la risposta sismica della struttura è affidata esclusivamente alle sue caratteristiche di rigidezza e resistenza.

7. EFFETTI DI SITO

7.1. Amplificazione stratigrafica

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata in prima approssimazione con riferimento alle categorie di sottosuolo di cui al paragrafo § 3.2.2. delle NTC08. Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore di a_{max} può essere ricavato dalla relazione $a_{max} = S_s \cdot a_g$ dove a_g è l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido ed S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Per categorie speciali di sottosuolo (Tab. 3.2.III - § 3.2.2. delle NTC08), per determinati sistemi geotecnici o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante specifiche analisi di risposta sismica locale. Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove.

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 5 - Tab. 3.2.III - § 3.2.2. delle NTC08.

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_s e C_c valgono 1. Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T^*_c relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V (§3.2.3.2. delle NTC08), nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 6 - Tab. 3.2.V - § 3.2.3.2. delle NTC08.

Di seguito si riportano i valori del fattore di amplificazione stratigrafica S_s per il sito in esame, per la categoria di suolo "C" e per ogni Stato Limite, calcolati con l'approccio semplificato consentito dalle NTC08.

COMPONENTE ORIZZONTALE	
Parametri indipendenti	
Stato limite - SLO	
a_g	0,059 g
F_0	2,505
T_C^*	0,267 s
S_s	1,5
C_c	1,623
S_T	1

COMPONENTE ORIZZONTALE	
Parametri indipendenti	
Stato limite - SLD	
a_g	0,074 g
F_0	2,483
T_C^*	0,277 s
S_s	1,5
C_c	1,604
S_T	1

COMPONENTE ORIZZONTALE	
Parametri indipendenti	
Stato limite - SLV	
a_g	0,19 g
F_0	2,421
T_C^*	0,296 s
S_s	1,424
C_c	1,57
S_T	1

COMPONENTE ORIZZONTALE	
Parametri indipendenti	
Stato limite - SLC	
a_g	0,245 g
F_0	2,419
T_C^*	0,301 s
S_s	1,345
C_c	1,56
S_T	1

7.2. Amplificazione topografica

Considerando le condizioni topografiche e morfologiche dell'area di studio (pianura, superficie topografica sub-orizzontale), il coefficiente di amplificazione topografica S_T può essere assunto pari ad 1, sulla base delle categorie individuate dalle NTC08 (Tabella 7).

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

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 7 – Tabelle 3.2.IV e 3.2.VI – NTC08.

7.3. Accelerazione massima orizzontale al suolo

La determinazione dell'**accelerazione massima orizzontale al sito**, per i 4 stati limite, sarà data dalla formula:

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \cdot 9,81$$

e sarà rispettivamente pari a:

SLO: 0,87 m/sec²

SLD: 1,09 m/sec²

SLV: 2,65 m/sec²

SLC: 3,23 m/sec²

I **coefficienti sismici orizzontale e verticale**, per il sito in esame, sono dati rispettivamente dalle seguenti formule:

$$k_h = \frac{\beta_s \cdot a_{\max}}{g}$$

dove: β_s è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ricavabile dalla sottostante tabella:

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0.30	0.28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0.27	0.24
$a_g (g) \leq 0,1$	0.20	0.20

$$K_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Pertanto, i coefficienti sismici orizzontali e verticali per i 4 stati limite saranno:

Stato limite	k_h	k_v
SLO	0,018	$\pm 0,009$
SLD	0,022	$\pm 0,011$
SLV	0,065	$\pm 0,032$
SLC	0,092	$\pm 0,046$

7.4. Suscettibilità alla liquefazione

Data la presenza di alcuni livelli sabbiosi sotto falda, nonostante siano caratterizzati da un grado di addensamento molto alto, si è verificata la suscettibilità alla liquefazione in corrispondenza della CPT2, dove tali livelli sono più ricorrenti. L'analisi è stata effettuata utilizzando l'algoritmo di calcolo sviluppato da Robertson & Wride (1998)¹¹, nelle sue più recenti modifiche introdotte da Youd et al. (2001)¹² e da Robertson (2009)¹³.

L'accelerazione massima al suolo è stata scelta pari a 0,271g, mentre per il valore della magnitudo attesa è stato scelto quello relativo al sisma che, tra gli eventi che in epoca storica hanno determinato effetti macrosismici al sito superiori al 4 grado della Scala Mercalli, ha registrato la magnitudo più alta, ovvero quello del sisma del 15/07/1971, con epicentro nel parmense, pari a 5.64.

Senza calcolare, ovviamente, l'Indice di Potenziale Liquefazione, poiché per definizione definibile lungo i primi 20 m dal piano campagna, l'analisi effettuata ha mostrato come il fattore di sicurezza relativo al fenomeno della liquefazione sia sempre superiore ad 1 e, nella fattispecie, superiore a 2,7 (Allegato 3).

¹¹ Robertson, P.K. & Wride, C.E. (1998) – Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 35(3): 442-459.

¹² Youd T.L., Idriss I.M., Andrus R.D., Arango A., Castro G., Christian J.T., Dobry R., Finn W.D.L., Harder L.F., Hynes M.E., Ishihara K., Koester J.P., Liao S.S.C., Marcuson W.F., Martin G.R., Mitchell J.K., Moriwaki Y., Power M.S., Robertson P.K., Seed R.B., Stoke K.H. (2001) - "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, October 2001, pp. 817-833.

¹² Robertson, P.K. and Wride, C.E. (1998) - Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, 35(3): 442-459.

¹³ Robertson, P.K. (2009) – Interpretation of cone penetration tests – a unified approach. Canadian Geotechnical Journal, 46: 1337-1355.

Utile comparazione tra FSL e grado di addensamento delle sabbie è il parametro ψ così come definito da Robertson (2012)¹⁴:

$$\psi = 0,56 - 0,33 \log(Q_{tn})_{cs}$$

dove $(Q_{tn})_{cs}$ è la resistenza alla punta corretta per ottenere un valore equivalente per sabbia pulita. Valori negativi del parametro indicano sabbie addensate; valori positivi indicano sabbie sciolte.

Dal grafico di Figura 16 risulta evidente l'alto grado di addensamento dei terreni incoerenti presenti, soprattutto nei livelli sotto falda.

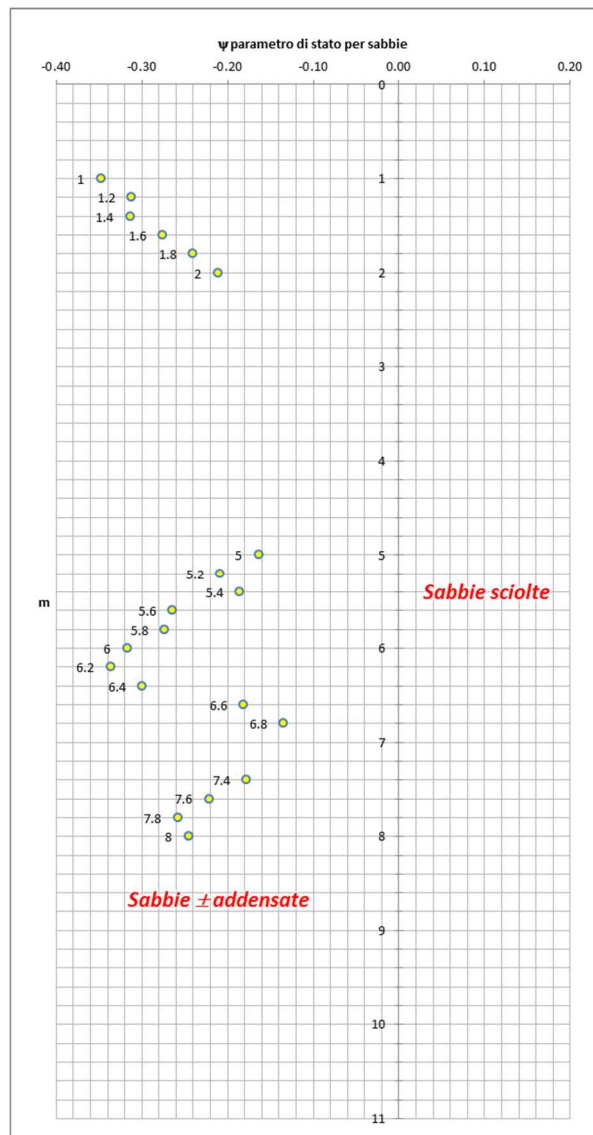


Figura 16 – Andamento con la profondità del parametro di stato per le sabbie, indicativo del grado di addensamento dei livelli incoerenti.

¹⁴ Robertson, P.K. (2012) – Interpretation of in-situ tests – some insight. Mitchell Lecture – ISC'4 Brazil, sept. 2012.

8. SINTESI DELL'ANALISI DEI DATI RACCOLTI E CONCLUSIONI

Dall'analisi integrata dei dati scientifici disponibili in bibliografia, delle osservazioni di campagna effettuate durante il sopralluogo e dei dati acquisiti ed elaborati grazie ai sondaggi geognostici eseguiti, è stato possibile caratterizzare il terreno in esame dai punti di vista litostratigrafico, geotecnico e sismico e dare un giudizio sulla fattibilità dell'intervento in progetto.

Giudizio che è risultato essere positivo e che ha permesso di dichiarare la **fattibilità del progetto di ampliamento del polo scolastico**.

Dallo studio eseguito emerge come l'area si collochi in una zona a debolissima inclinazione topografica, che permette uno sviluppo edilizio senza particolari problemi, con presenza, nei primi 2 m dal piano campagna, di terreni principalmente a comportamento meccanico plastico (argille), molto compatti, seguiti da un esiguo strato di terreni sempre argillosi, ma relativamente meno compatto rispetto al primo, fino a circa - 5 m. Oltre tale profondità, si incontra un livello sabbioso, estremamente addensato, che precede il tetto delle ghiaie; nella CPT2, tra il livello sabbioso e le ghiaie è presente un interstrato composto da limi sabbiosi e sabbie argillose.

Considerando la resistenza alla punta media, le CPT mostrano un andamento alquanto simile con la profondità, almeno nei primi 5 m, con valori di R_p in media buoni, ma che nella CPT2, in corrispondenza dello spessore compreso tra -3,4 e -4,8 m, scendono fino a 6-9 kg/cm². La CPT2 intercetta un livello intermedio di terreni misti, tra le sabbie e il tetto delle ghiaie, che abbassano momentaneamente i valori di R_p , mantenendosi comunque ancora su livelli buoni

La soggiacenza della falda più superficiale, sulla scorta dei dati elaborati dal QC del PSC di Castelfranco Emilia, dovrebbe attestarsi intorno a -8 m dal p.d.c.; in occasione dell'esecuzione delle prove penetrometriche, il livello di falda è stato rilevato a -4,6 m dal p.d.c.

Per la caratterizzazione sismica del terreno sono stati utilizzati i dati ricavati da uno stendimento sismico realizzato in data 10/09/2015 in corrispondenza dell'area d'indagine, che ha restituito un valore di V_{S30} pari a **318** m/s, permettendo di assegnare al terreno in esame la categoria di suolo **C** "Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del 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)".

Sono stati, inoltre, determinati i parametri di pericolosità sismica di base del sito specifico e i parametri d'azione e gli spettri elastici relativi ai quattro stati limite. Infine, sempre per i quattro stati limite, si sono calcolate, attraverso l'approccio semplificato consentito dalle NTC08 (§ 3.2.2), l'amplificazione litostratigrafica e l'accelerazione massima orizzontale attesa al sito ed i rispettivi coefficienti sismici orizzontale e verticale.

In generale, la configurazione litostratigrafia, geotecnica e sismica, in relazione alle caratteristiche costruttive (*qualitative*) degli edifici in progetto, rende possibile ipotizzare l'adozione di fondazioni dirette superficiali, il cui dimensionamento strutturale dovrà tener conto dei parametri geotecnici e sismici in questa sede indicati, in relazione alle reali strutture fondali ed ai relativi carichi trasmessi al terreno.

L'analisi di suscettività alla liquefazione, eseguita negli 8 m indagati dalla CPT2, ha mostrato come il fattore di sicurezza sia sempre superiore ad 1 e, nella fattispecie, superiore a 2,7, permettendo di escludere la manifestazione in superficie degli effetti legati al fenomeno della liquefazione in caso di sisma.

Modena, 24/09/2015

Il Tecnico incaricato

Dott. Geol. Valeriano Franchi

A circular professional stamp in blue ink. The outer ring contains the text "ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA" at the top and "MODENA" at the bottom. Inside the ring, it says "VALERIANO FRANCHI" and "GEOLOGO". Below the name, it reads "N. 559 ALBO. P. V.". A handwritten signature in blue ink is written over the stamp.

Allegato 1

Indagini geognostiche Archivio dati geognostici della Regione Emilia-Romagna

POZZO AD USO DOMESTICO

scheda di denuncia

P639

COMPENSORIO 14 COMUNE 406 NUMERO PROGRESSIVO 2226

-Ditta titolare del pozzo: LA.C.L.ED. -> BERSELLI LATTICINI (SAS)
residente a CASTELFRANCO Emilia in Via EMILIA EST n. 52

-Pozzo in Frazione: CAPOLVICO, Località _____, Mapp. No 413 / Fg. 68/5

-Data perforazione: 19 70; -Ditta perforatrice: FERRI ITALO

Parte riservata alla Ditta

-Caratteristiche del pozzo:
avanpozzo (si o no): si
Ø dei tubi: mm. 159
profondità mt. 70

Usi cui è destinata l'acqua

- familiare
- abbeveraggio bestiame
- inaffiamento orto
- inaffiamento giardino

-Portata: lt./sec. _____
-Consumo giornaliero: 1 mc. / 1 ql.

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera:

data: 13-2-78
firma: [Signature]

Parte riservata all'Ufficio Tecnico Com.le

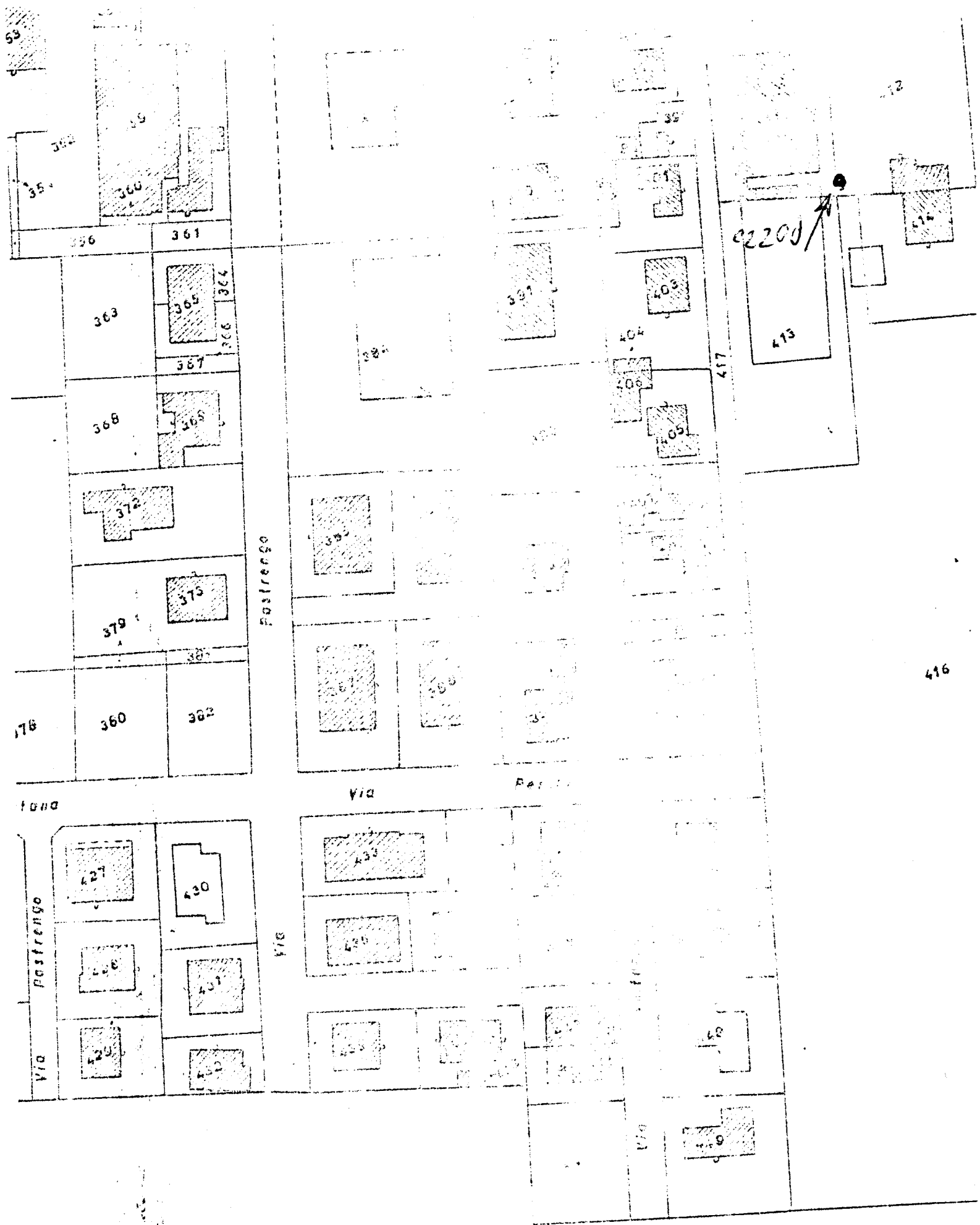
Localizzazione del pozzo													
Longit.						Latit.			Ha.				
Quota piano campagna: m.s.l.m.													

STRATIGRAFIA DEL TERRENO	
Natura dei terreni e indicazione delle falde acquifere attraversate (fenestrate)	
-da mt. <u>0</u> a mt. <u>9</u>	<u>ARGILLA</u>
-da mt. <u>9</u> a mt. <u>14</u>	<u>GHIAIA</u>
-da mt. <u>14</u> a mt. <u>22</u>	<u>ARGILLA</u>
-da mt. <u>22</u> a mt. <u>40</u>	<u>GHIAIA</u>
-da mt. <u>40</u> a mt. <u>44</u>	<u>ARGILLA</u>
-da mt. <u>44</u> a mt. <u>70</u>	<u>GHIAIA</u>

Livello statico : mt. 6

Il Tecnico Comunale

N.B. : Qualora la Ditta sia in possesso di referti di analisi dell'acqua del pozzo, rilasciati da Laboratori o Gabinetti, è invitata ad allegarne copia.



Foglio 68

ALL

Allegato 2

Indagini geognostiche eseguite per questo studio

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: Dott. Geol. Valeriano Franchi Cantiere: Via Muzza Corona Località: Castelfranco E. - Mo	
--	--

Caratteristiche Strumentali PAGANI 100 kN

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

PROVA ... Nr.1

Committente: Dott. Geol. Valeriano Franchi

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 10/09/2015

Profondità prova: 7,00 mt

Località: Castelfranco E. - Mo

Profondità Falda: -4,6 m

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,0	0,0		
0,40	0,00	0,0	0,0	0,0		
0,60	0,00	0,0	0,0	1,933	0,0	
0,80	27,00	56,0	27,0	1,2	22,5	4,4
1,00	47,00	65,0	47,0	2,533	18,555	5,4
1,20	37,00	75,0	37,0	2,6	14,231	7,0
1,40	23,00	62,0	23,0	1,067	21,556	4,6
1,60	18,00	34,0	18,0	1,267	14,207	7,0
1,80	19,00	38,0	19,0	0,867	21,915	4,6
2,00	10,00	23,0	10,0	0,6	16,667	6,0
2,20	12,00	21,0	12,0	0,6	20,0	5,0
2,40	11,00	20,0	11,0	0,867	12,687	7,9
2,60	12,00	25,0	12,0	0,667	17,991	5,6
2,80	20,00	30,0	20,0	0,667	29,985	3,3
3,00	22,00	32,0	22,0	0,467	47,109	2,1
3,20	21,00	28,0	21,0	0,4	52,5	1,9
3,40	13,00	19,0	13,0	0,533	24,39	4,1
3,60	12,00	20,0	12,0	0,733	16,371	6,1
3,80	14,00	25,0	14,0	0,467	29,979	3,3
4,00	13,00	20,0	13,0	0,533	24,39	4,1
4,20	13,00	21,0	13,0	0,467	27,837	3,6
4,40	11,00	18,0	11,0	0,867	12,687	7,9
4,60	11,00	24,0	11,0	0,467	23,555	4,2
4,80	11,00	18,0	11,0	0,2	55,0	1,8
5,00	9,00	12,0	9,0	0,4	22,5	4,4
5,20	6,00	12,0	6,0	3,8	1,579	63,3
5,40	145,00	202,0	145,0	3,933	36,868	2,7
5,60	200,00	259,0	200,0	6,0	33,333	3,0
5,80	280,00	370,0	280,0	0,867	322,953	0,3
6,00	219,00	232,0	219,0	3,0	73,0	1,4
6,20	300,00	345,0	300,0	1,467	204,499	0,5
6,40	270,00	292,0	270,0	2,533	106,593	0,9
6,60	200,00	238,0	200,0	1,733	115,407	0,9
6,80	140,00	166,0	140,0	3,733	37,503	2,7
7,00	170,00	226,0	170,0	3,0	56,667	1,8

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,60	0,0	0,644	0,0		Stima non eseguibile
1,20	37,0	2,111	2,1	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
3,20	16,8	0,747	1,9	Coesivo	Argilla inorganica compatta
5,20	11,3	0,847	1,9	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
7,00	213,778	2,918	2,1	Incoerente	Sabbie addensate o cementate

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr: Numero progressivo strato
 Prof: Profondità strato (m)
 Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
 Cu: Coesione non drenata (Kg/cm²)
 Eu: Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm²)

Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm²)
 G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
 OCR: Grado di sovraconsolidazione
 Puv: Peso unità di volume (t/m³)
 PuvS: Peso unità di volume saturo (t/m³)
 Dr: Densità relativa (%)
 Fi: Angolo di resistenza al taglio (°)
 Ey: Modulo di Young (Kg/cm²)
 Vs: Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0,60												
2	1,20	C	1,9	1385,1	74,0	254,3	>9	2,1	2,2	--	--	--	177,37
3	3,20	C	0,8	618,1	47,4	157,0	>9	1,9	2,0	--	--	--	198,85
4	5,20	C	0,6	397,7	45,9	123,2	8,7	1,9	1,9	--	--	--	209,91
5	7,00	I	--	--	320,7	742,6	0,8	1,9	2,2	96,4	45,0	534,4	474,7 6

PROVA ... Nr.2

Committente: Dott. Geol. Valeriano Franchi

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 10/09/2015

Profondità prova: 8,00 mt

Località: Castelfranco E. - Mo

Profondità Falda: -4,6 m

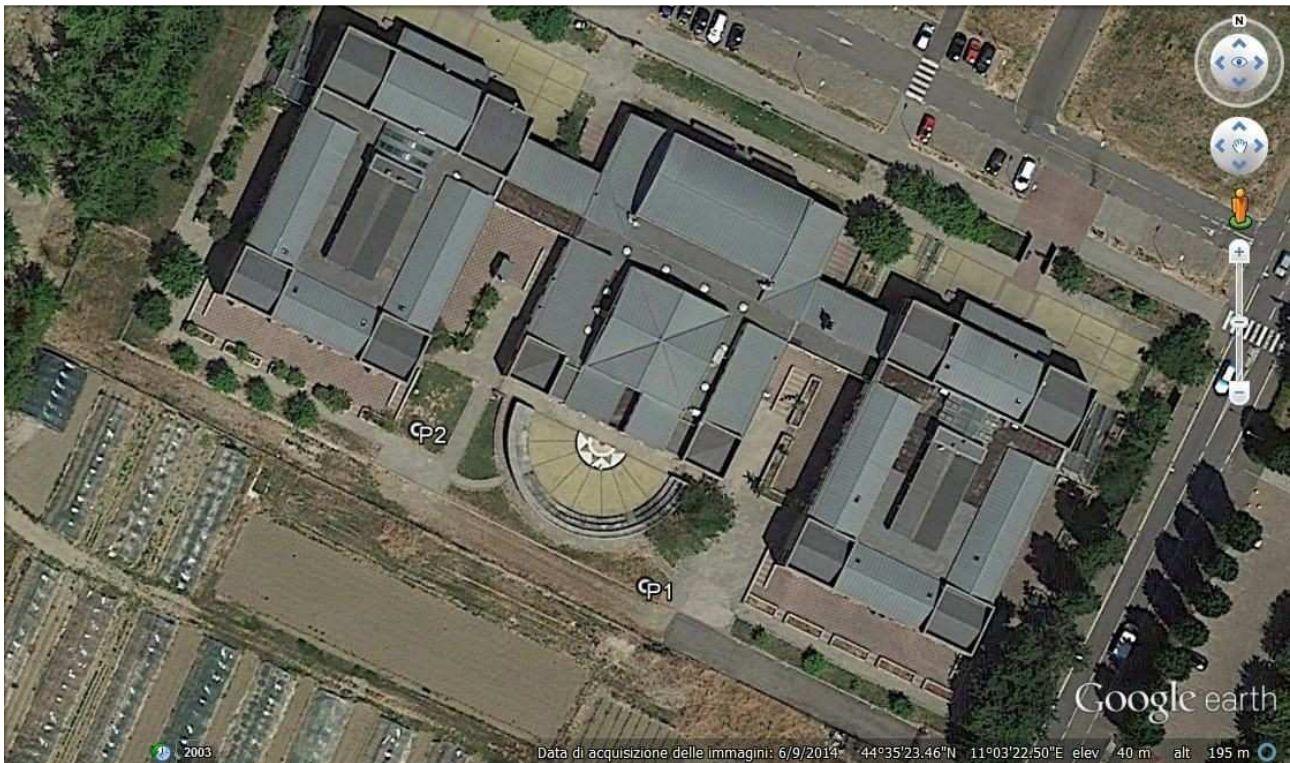
Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,138	0,0		0,0
0,40	0,00	0,0	0,138	0,0		0,0
0,60	0,00	0,0	0,138	-3,4	-0,041	-2463,8
0,80	0,00	0,0	0,0	3,2	0,0	
1,00	51,00	99,0	51,0	2,4	21,25	4,7
1,20	54,00	90,0	54,0	2,533	21,319	4,7
1,40	63,00	101,0	63,0	3,333	18,902	5,3
1,60	44,00	94,0	44,0	2,467	17,835	5,6
1,80	33,00	70,0	33,0	1,8	18,333	5,5
2,00	22,00	49,0	22,0	1,267	17,364	5,8
2,20	14,00	33,0	14,0	0,6	23,333	4,3
2,40	10,00	19,0	10,0	0,733	13,643	7,3
2,60	9,00	20,0	9,0	0,533	16,886	5,9
2,80	12,00	20,0	12,0	0,733	16,371	6,1
3,00	10,00	21,0	10,0	0,6	16,667	6,0
3,20	12,00	21,0	12,0	0,6	20,0	5,0
3,40	9,00	18,0	9,0	0,467	19,272	5,2
3,60	9,00	16,0	9,0	0,4	22,5	4,4
3,80	6,00	12,0	6,0	0,6	10,0	10,0
4,00	9,00	18,0	9,0	0,533	16,886	5,9
4,20	6,00	14,0	6,0	0,4	15,0	6,7
4,40	6,00	12,0	6,0	0,333	18,018	5,6
4,60	6,00	11,0	6,0	0,533	11,257	8,9
4,80	7,00	15,0	7,0	3,2	2,188	45,7
5,00	122,00	170,0	122,0	1,2	101,667	1,0
5,20	152,00	170,0	152,0	2,8	54,286	1,8
5,40	101,00	143,0	101,0	2,6	38,846	2,6
5,60	143,00	182,0	143,0	7,067	20,235	4,9
5,80	314,00	420,0	314,0	2,667	117,735	0,8
6,00	430,00	470,0	430,0	2,667	161,23	0,6
6,20	500,00	540,0	500,0	1,333	375,094	0,3
6,40	390,00	410,0	390,0	0,467	835,118	0,1
6,60	133,00	140,0	133,0	2,4	55,417	1,8
6,80	42,00	78,0	42,0	1,4	30,0	3,3
7,00	23,00	44,0	23,0	1,133	20,3	4,9
7,20	33,00	50,0	33,0	2,8	11,786	8,5
7,40	130,00	172,0	130,0	2,6	50,0	2,0
7,60	160,00	199,0	160,0	4,933	32,435	3,1
7,80	270,00	344,0	270,0	6,0	45,0	2,2
8,00	230,00	320,0	230,0	6,0	38,333	2,6

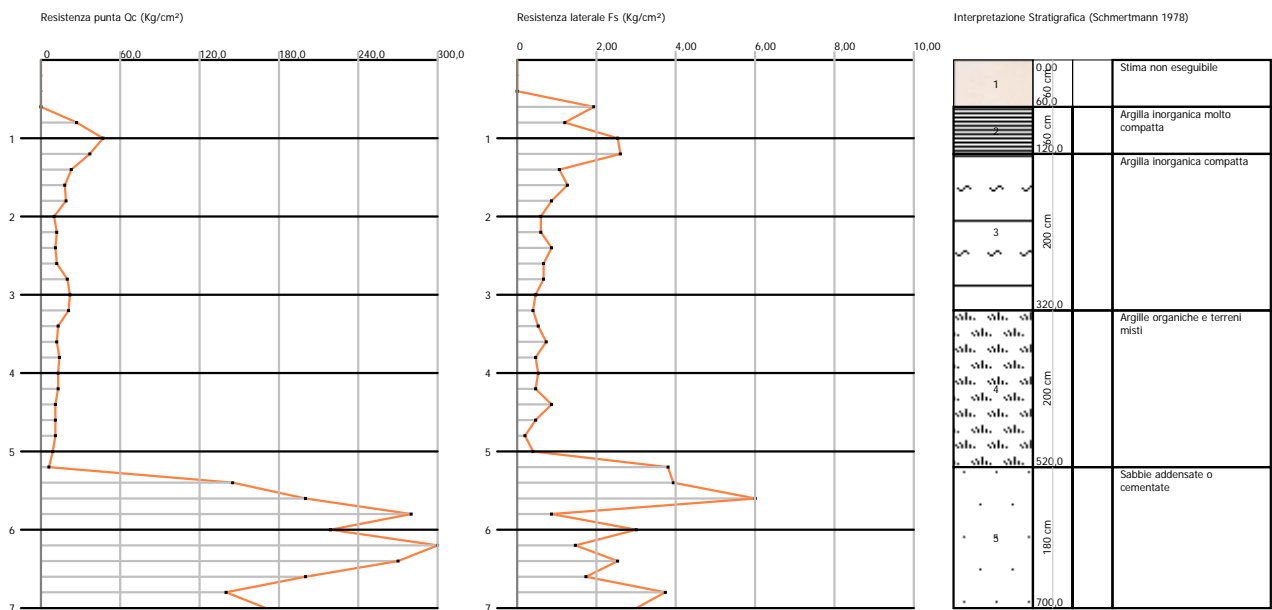
Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,80	0,104	-0,05	1,4	Incoerente	Sabbie Sciolte
1,80	49,0	2,507	2,1	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
3,20	12,714	0,724	1,9	Coesivo	Argilla inorganica compatta
4,80	7,25	0,808	1,8	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
6,40	269,0	2,6	2,1	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
7,20	57,75	1,933	2,0	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
8,00	197,5	4,883	2,3	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi

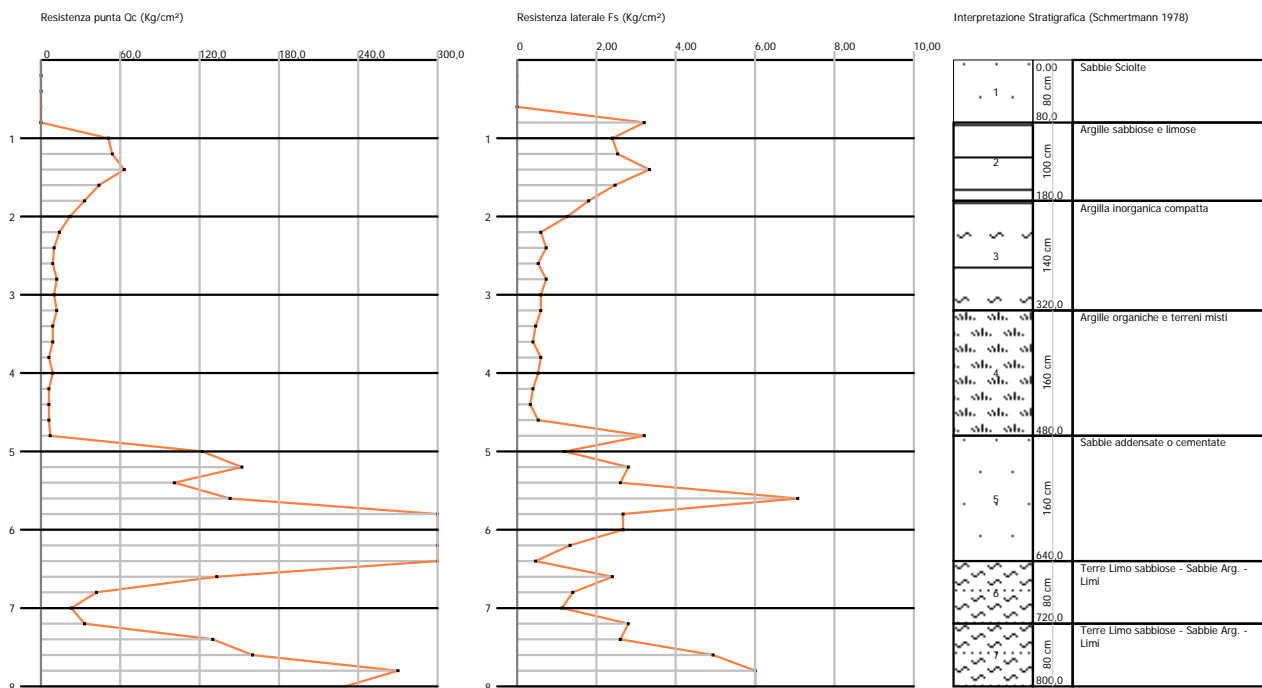
STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm ²)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0,80	I	--	--	0,8	7,0	<0,5	1,8	2,1	5,0	17,1	0,3	48,44
2	1,80	CI	2,5	1829,4	98,0	301,9	0,8	2,1	2,2	84,2	39,0	122,5	268,76
3	3,20	C	0,6	459,7	47,6	132,4	>9	1,9	2,0	--	--	--	200,38
4	4,80	C	0,4	244,4	36,1	93,9	7,9	1,8	1,9	--	--	--	195,27
5	6,40	I	--	--	403,5	854,5	0,7	1,9	2,2	100,0	45,0	672,5	501,11
6	7,20	CI	2,9	2117,2	115,5	333,8	<0,5	2,1	2,2	47,0	42,9	144,4	349,74
7	8,00	CI	9,9	7351,3	395,0	707,5	1,1	2,4	2,4	86,2	45,0	493,8	483,66







Allegato 3

Verifica liquefazione tabulati e grafici di calcolo

Strato	Prof. da p.d.c.	σ'_{v0}	σ'_{v0}	q_c	f_s	q_c/f_s	P_d	I_c	SBT	Tipologia di terreno	FC	q_{c1N}	K_c	$(q_{c1N})_{CS}$	$CRR_{7.5}$	CRR_{Mg}	K_{σ}	r_d	τ_c	CSR	FSL	LPI	P_L	Probabilità inizio liquefazione	LPbl
nr.	m	KPa	KPa	KPa	KPa	...	KPa	...	...	...	%	...	...	...	...	...	...	...	KPa	...	...	(0+1)	...	%	
21	5	80.14	74.26	11964.11	117.68	101.67	101.32	1.80	6	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	8	140.84	1.10	155.40	0.43	0.91	1.000	0.96175	13.57746	0.18284	4.96	0.000	0.005	Non liqef. quasi certa	0.008
30	6.8	118.04	94.50	4118.79	137.29	30.00	101.32	2.55	5	Miscete sabbiose - da sabbie limose a limi sabbiosi	33	42.02	3.02	127.00	0.27	0.57	1.000	0.94798	19.71105	0.208592	2.74	0.000	0.035	Non liqef. quasi certa	0.046

Calcolo dell'FSL negli 8 m indagati dalla CPT2 (Scenario: Mw5.64 – PGA 0,271)

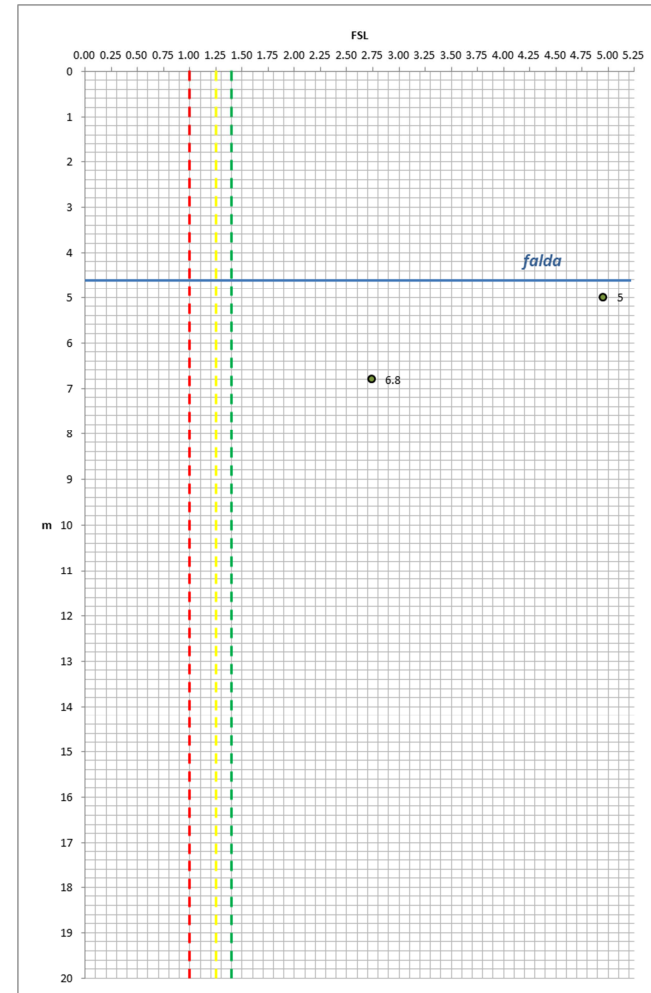
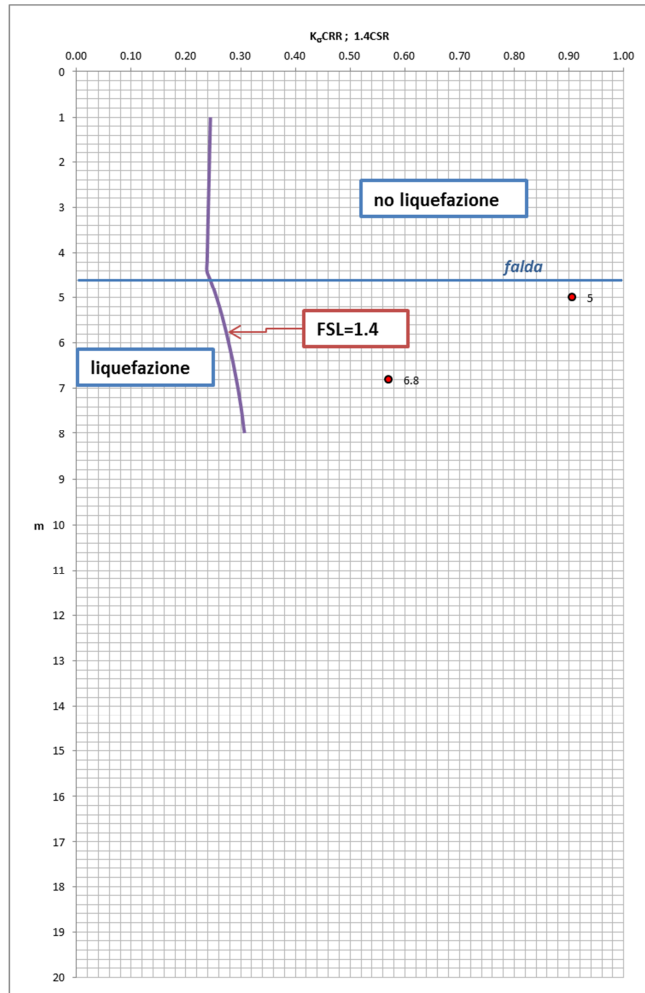


Grafico 1 : profilo del rapporto CRR/CSR in relazione ad un valore soglia dell'FSL pari ad 1,4; grafico 2: profilo dei valori di FSL in rapporto alle soglie di 1, 1,25 e 1,4.

COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA

AMPLIAMENTO POLO SCOLASTICO "GUIDO GUINIZZELLI"

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

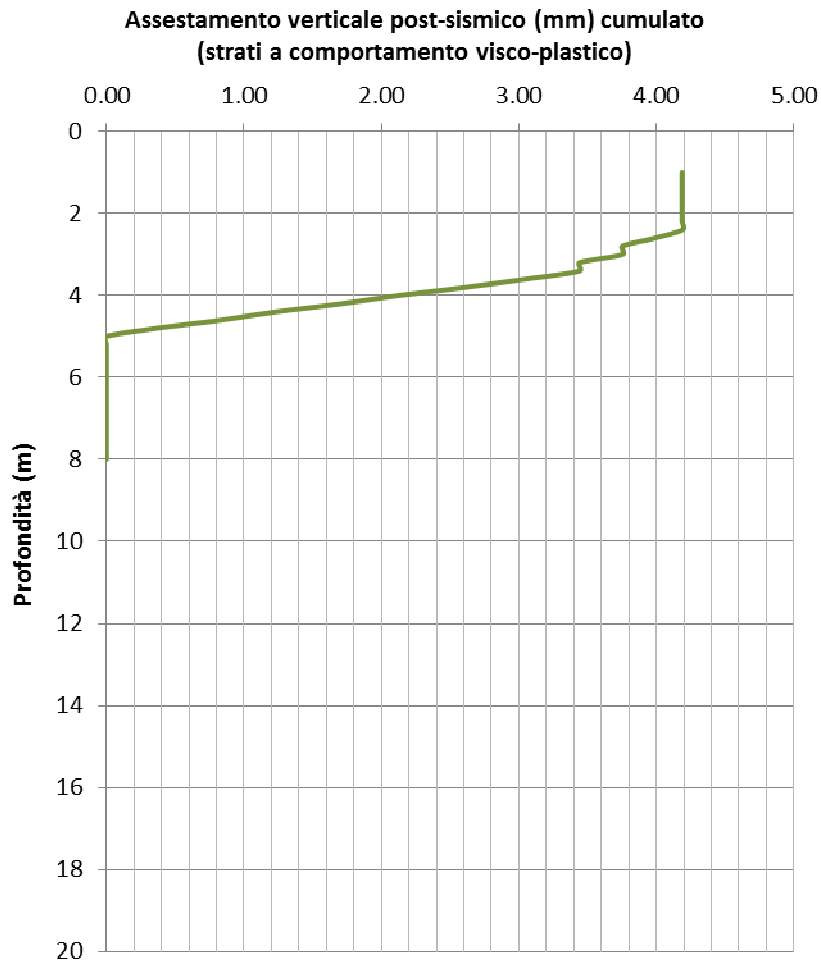
Integrazioni e chiarimenti a seguito della richiesta di S.T.B. DEGLI AFFLUENTI DEL PO sede di Modena

Con riferimento alla richiesta di integrazione avanzata da STB degli affluenti del Po sede di Modena sulla Pratica Sismica ° 737, prot. n. PG.2015.0805704 del 02/11/2015, ed in particolare alla richiesta di cui al punto 5. *"Relazione Geologica-Geotecnica: come da indicazioni del PSC, si richiede di approfondire la stima dei cedimenti post sismici in presenza di terreni con scadenti caratteristiche meccaniche e una verifica di accettabilità degli stessi in relazione alle funzioni previste nelle unità strutturali. Inoltre, si chiede di esplicitare univocamente il fattore di sicurezza minimo nei confronti della suscettività alla liquefazione;"* si precisa quanto segue:

- Nella Relazione Geologica e sismica prodotta non sono stati riportati i cedimenti attesi in quanto non erano presenti terreni con scadenti caratteristiche meccaniche e già a circa 5 m di profondità comparivano le ghiaie. Per completezza di informazione in coda alla presente si riporta il calcolo comunque eseguito sulla quantificazione dei cedimenti post sismici, da cui si desume un valore complessivo di 4 mm.
- Circa la verifica dell'accettabilità di tale valore di cedimenti in relazione alle funzioni previste per le unità strutturali, si evidenzia che tale verifica non rientra tra le competenze proprie del Geologo, anche se, da esperienze personali, è possibile affermare come il valore di 4 mm è ampiamente sopportabile e quindi accettabile dalle strutture progettate.
- Come forse non risultava sufficientemente chiaro nella integrazione volontaria del 17/11/2015, l'FSL viene calcolato per ogni singolo straterello (20 cm) di avanzamento della punta del penetrometro ed esprime il grado di sicurezza nei confronti della possibile liquefazione. Ovvero: più l'FSL si discosta, in senso positivo, dal valore 1, maggiore è la probabilità che lo strato in esame NON sia liquefacibile, per contro, più l'FSL si discosta in senso negativo dal valore 1, maggiore è la probabilità che lo strato in esame SIA liquefacibile. Nel nostro caso i valori di FSL minimi sono largamente superiori ad 1, ovvero 4,94 e 2,74, quindi ampiamente sopra i limiti di sicurezza.
Per tale motivo l'Indice di Potenziale Liquefazione (che si calcola sull'interna colonna stratigrafica e volendo potrebbe essere visto come l'inverso del FSL) è pari a 0, ovvero i terreni presenti nel sito in caso di sisma **NON SONO LIQUEFACIBILI**.

Calcolo dei cedimenti post sismici

Prof. da p.d.c.	q_{c1N}	I_c	$CRR_{M=7.5}$	MSF	FS	ε_{vol}	$S_{cum.}$	c_u
m	...	...	...	...	...	%	mm	kPa
1	393.42	2.09		1.10			4.19	
1.2	282.93	2.15		1.10			4.19	
1.4	262.50	2.21		1.10			4.19	
1.6	164.13	2.34		1.10			4.19	
1.8	110.45	2.42		1.10			4.19	
2	69.29	2.57		1.10			4.19	
2.2	40.19	2.64		1.10			4.19	89.72
2.4	28.75	2.91	1.52	1.10	9.73	-1.93E-04	4.19	56.95
2.6	23.18	2.91	1.23	1.10	7.86	-1.88E-04	3.99	52.82
2.8	27.80	2.86	1.47	1.10	9.44	-1.89E-04	3.75	70.62
3	21.58	2.94	1.14	1.10	7.34	-1.95E-04	3.75	58.29
3.2	23.45	2.86	1.24	1.10	7.98	-1.88E-04	3.44	72.83
3.4	16.63	2.98	0.88	1.10	5.67	-2.37E-04	3.44	53.06
3.6	15.41	2.97	0.82	1.10	5.26	-2.54E-04	3.05	54.42
3.8	5.24	3.38	0.28	1.10	1.79	3.38E-04	2.62	29.79
4	13.77	3.09	0.73	1.10	4.72	-2.82E-04	2.13	50.93
4.2	5.17	3.31	0.27	1.10	1.77	3.83E-04	1.71	31.49
4.4	7.98	3.27	0.42	1.10	2.74	-3.51E-04	1.23	32.33
4.6	5.10	3.42	0.27	1.10	1.71	5.23E-04	0.83	29.45
4.8	6.02	3.88	0.32	1.10	1.97	3.11E-05	0.36	27.15
5	140.84	1.80		1.10			0.00	
5.2	175.02	1.93		1.10			0.00	
5.4	116.24	2.16		1.10			0.00	
5.6	163.08	2.29		1.10			0.00	
5.8	335.52	1.49		1.10			0.00	
6	453.46	1.30		1.10			0.00	
6.2	520.78	0.99		1.10			0.00	
6.4	401.57	0.92		1.10			0.00	
6.6	136.11	1.99		1.10			0.00	
6.8	42.02	2.55		1.10			0.00	
7	22.12	2.88	1.17	1.10	6.14	-1.63E-04	0.00	137.50
7.2	31.53	2.93	1.67	1.10	8.67	-1.94E-04	0.00	181.65
7.4	125.39	2.05		1.10			0.00	
7.6	151.89	2.14		1.10			0.00	
7.8	254.08	1.90		1.10			0.00	
8	212.34	2.00		1.10			0.00	



Calcolo dei cedimenti post-sismici negli strati a comportamento visco-plastico e a bassa consistenza

Il calcolo dei cedimenti post-sismici, relativamente agli strati a comportamento meccanico plastico ed a bassa consistenza, viene effettuato attraverso la procedura di calcolo proposta da Robertson (2009)¹.

La deformazione volumetrica viene calcolata con:

$$\varepsilon_{vol} = [0.8 - 2.66 \log (FS)] / [0.33 A (Q_m)^3]$$

dove FS è il fattore di sicurezza rispetto al rammollimento ciclico (3% deformazione di taglio), a sua volta esprimibile con:

$$F_{S,\gamma=3\%} = \frac{CRR_{\gamma=3\%,M=7.5}}{CSR} \cdot MSF$$

¹ Robertson, P.K. (2009) – Performance based earthquake design using the CPT. Keynote Lecture at International Conference on Performance-based design in Earthquake Geotechnical Engineering, IS Tokyo, Tsukuba, Japan.

Boulanger & Idriss (2007) hanno dimostrato che l'MSF per le argille è diverso da quello per le sabbie, ovvero:

$$MSF = 1.12 \cdot \exp\left(\frac{-M}{4}\right) + 0.828$$
$$MSF \leq 1.13$$

Per il calcolo del $CRR_{7.5}$, Robertson raccomanda un approccio che contempili non solo i terreni puramente argillosi, ma anche quelli di transizione tra le argille e le sabbie. Se $I_c > 2.7$, il terreno è argilloso e:

$$CRR_{7.5} = 0.053 Q_{tn} K_{\alpha}$$

dove Q_{tn} è la resistenza alla punta normalizzata e K_{α} è il fattore correttivo della resistenza alla liquefazione (CRR) per valori elevati della tensione geostatica (si veda sopra).

Se $2.5 < I_c < 2.7$, ovvero si è nella zona di transizione, si dovrà usare il valore della resistenza normalizzata alla punta, sabbie-equivalente:

$$Q_{tn,cs} = K_c Q_{tn}$$

dove

$$K_c = 6 \times 10^{-7} (I_c)^{16.76}$$

Il parametro A è funzione di Q_{tn} , a sua volta funzione dell'OCR secondo le seguenti:

$$A = 10 - 9 \log(\text{OCR})$$

$$A = 10 - 9 \log(0.33 Q_{tn})$$

Robertson, infine, suggerisce di limitare $\epsilon_{vol} \leq 1\%$ quando $FS \leq 0.84$.

Modena, 04 dicembre 2015

Dott. Geol. Valeriano Franchi

