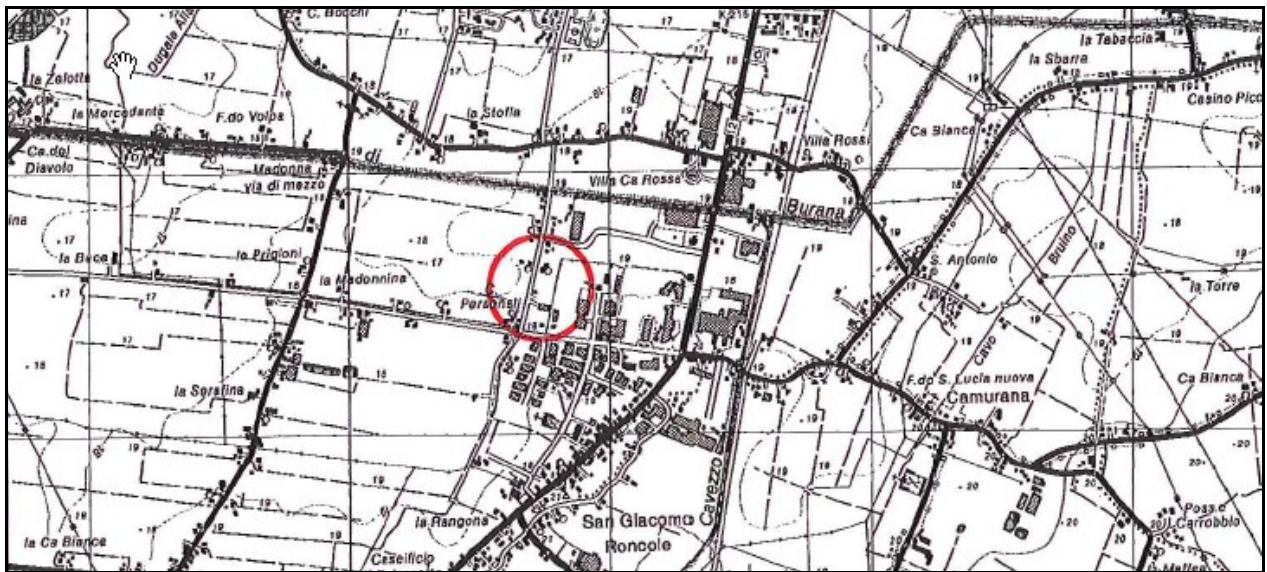


COMUNE DI MIRANDOLA
PROVINCIA DI MODENA

PROGETTO DI DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE
FABBRICATO EX SEDE DELLA CROCE BLU

COMMITTENTE: COMUNE DI MIRANDOLA

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA E SISMICA



TECNICI:

DOTT. GEOL. ALESSANDRO MACCAFERRI

DOTT. GEOL. ALESSANDRO BENEDUSI



DICEMBRE 2013

DOTT. ALESSANDRO BENEDUSI**DOTT. ALESSANDRO MACCAFERRI****- GEOLOGI -****Studio:**

V.le Caduti in Guerra 1

41100 Modena

Tel: 059-226540 - Fax: 059-4398943

Cell. 335-7053511 - E-mail: maccafe@tin.it

Modena 18/12/2013

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA
E SISMICA**PROGETTO:** Progetto di demolizione e ricostruzione fabbricato ad uso sede della Croce Blu**REGIONE:** Regione Emilia Romagna**PROVINCIA:** Modena**COMUNE:** Mirandola**UBICAZIONE:** Via Posta 57**COMMITTENTE:** Comune di Mirandola**RIFERIMENTO NORMATIVO:** D.M. 11/03/88 N. 47 - Circ. Min. Infr. 617/2009
D.M. 14/01/2008**RELAZIONE REDATTA AD USO:** Pratica edilizia

. PREMESSA

Su incarico del Comune di Mirandola e d'intesa con l'Ufficio tecnico, si è provveduto alla stesura della presente relazione geologico-geotecnica e sismica inerente il progetto di demolizione e ricostruzione di un fabbricato ex sede della Croce Blu, ubicato in via Posta 57, nel comune di Mirandola (Mo).

I lavori previsti si rendono necessari in seguito agli ingenti danni subiti dal fabbricato esistente, causa i recenti terremoti del 20 e 29 maggio, che hanno colpito tutta la zona della bassa modenese compresa l'area in esame.

Lo studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti in materia, D.M. 11.03.1988, con riferimento specifico agli aspetti sismici, introdotti dal D.M. 14.09.2005, come poi sostituito dal D.M. 14/01/2008, entrato definitivamente in vigore dal 1 luglio 2009.

Per l'adempimento delle specifiche in esso contenute è stato eseguito in data 18/12/2013 un sopralluogo sull'area al fine di verificarne l'idoneità geologica e geomorfologica.

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni di sottofondazione, durante il sopralluogo, è stata eseguita una prova penetrometrica statica spinta sino alla profondità di 30 m dal piano campagna; la prova effettuata è stata poi confrontata con altre prove eseguite in zone adiacenti al lotto in oggetto, in occasione di altri precedenti interventi edilizi, rilevando una sostanziale omogeneità della situazione geologica.

La prova spinta sino alla profondità di 30 m ha permesso inoltre di determinare la V_{s30} , cioè la velocità delle onde sismiche nei primi 30 m di profondità, sulla base della quale si è proceduto a definire la categoria di suolo da un punto di vista sismico, dei terreni presenti.

Si è proceduto a definire i fattori di pericolosità sismica di base per il sito in oggetto e, nota la categoria di suolo di fondazione, i relativi fattori di amplificazione locale, sia stratigrafica, sia topografica.

La relazione si articola nel seguente modo:

- A) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AMBIENTALE

- A1) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

- A2) INQUADRAMENTO GEOLOGICO

- B) CARATTERIZZAZIONE AREA D'INTERVENTO

- B1) DESCRIZIONE DEL PROGETTO

- B2) INDAGINE GEOGNOSTICA E MODELLO GEOLOGICO

- B3) CLASSIFICAZIONE SISMICA

- B4) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

- C) CONCLUSIONI

ALLEGATI

A) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AMBIENTALE

. A1) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area esaminata, sulla quale è ubicato il fabbricato oggetto d'intervento di ricostruzione, si colloca nella zona a sud del centro abitato del comune di Mirandola, più precisamente ubicata lungo via Posta 57; siamo nella fascia di bassa pianura modenese ad una quota media di circa 17-18 metri sul livello del mare.

Da un punto di vista cartografico l'area è compresa nella Tavola della C.T.R. alla scala 1:25.000 n. 184SO, denominata "Mirandola" (Allegato 1) e nell'elemento, sempre della C.T.R., in scala 1:5.000 n. 184092 denominato "San Giacomo Roncole" (Allegato 2).

In allegato 5 si riporta una foto aerea della zona in esame nella quale si evidenzia il fabbricato esistente oggetto d'intervento.

.A2) INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto di studio appartiene geologicamente al grande bacino subsidente Plio-Quaternario della Pianura Padana, in un settore deposizionalmente influenzato dalle alluvioni del Fiume Po, da quelle dei corsi d'acqua appenninici principali quali i fiumi Secchia e Panaro.

Tali depositi di origine continentale, qui principalmente riferibili al fiume Secchia, che scorre poco a ovest dell'area in esame, hanno una granulometria variabile, prevalentemente fine, costituita da argille e limi e relativi termini intermedi, e disposizione lenticolare, sono collocati su un substrato marino preolocenico, la cui profondità varia gradualmente dai 400 m nella zona di Cavezzo, agli 80-100 m nella zona di Mirandola, a nord.

Tale fatto concorda con la presenza di una forte subsidenza anche in tempi recenti che ha consentito l'ingressione marina e la deposizione di tali sedimenti, che ritroviamo a scarsa profondità dal substrato.

La subsidenza è testimoniata anche dall'elevato spessore dei sedimenti marini compresi sino alla base del Pliocene, variabile tra i 6000 m della zona a Sud ai 4000 m a Nord.

La copertura alluvionale, pleistocenica ed olocenica, è costituita da una sequenza monotona di argille e limi con sottili, rare e discontinue intercalazioni di sabbia medio-fine, sedi di acquiferi molto poveri, come riportato nella Carta Geologica della RER riportata in allegato 3.

Di sotto alla copertura alluvionale sono noti terreni sedimentari di origine marina, prevalentemente argillosi, subito sotto la copertura si ha un'alternanza di argille e sabbie, più sotto ancora la sequenza argillo-marnosa del Calabrian-Pliocene Superiore è ancora argille marnose del Pliocene Inferiore.

Tali sedimenti sono considerati come il basamento per la circolazione delle acque.

Da un punto di vista strutturale, la Pianura modenese, nella zona di Mirandola è caratterizzata da una vasta struttura sinclinalica sepolta nota in bibliografia come "Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia", con orientamento ENE-SSO, che trova presso Bomporto la sua massima depressione.

Tale struttura si raccorda a Nord, attraverso una ripida monoclinale, con una struttura tettonica positiva nota con il nome di "Dorsale Ferrarese" in cui depositi quaternari si riducono ad uno spessore di poche decine di metri.

Il substrato, costituito da terreni marini, forma immediatamente a nord del territorio di San Prospero una particolare struttura tettonica attiva (anticlinale) che determina un inarcamento dei terreni (per piegamento) del substrato stesso, formando pertanto una specie di "collina sepolta".

Questa struttura tettonica attiva, nota con il nome di "Dorsale Ferrarese", continua verso W a Novi e Reggiolo e verso E a Ferrara e le Valli di Comacchio, ed è la responsabile dei recenti eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012, che hanno interessato la zona della bassa modenese.

La litologia superficiale del territorio in esame è prevalentemente una litologia dominata da litotipi fini quali argille e limi con relativi termini intermedi.

In profondità, la zona in studio risulta caratterizzata da una dominante copertura di terreni fini limo argillosi, che sormontano con spessori di circa 8 m il primo strato più grossolano, rappresentato da sabbie e sabbie limose, continuo fino a circa 16, ove compare uno strato argilloso fino ai 26 m circa, per poi rilevare nuovamente terreni grossolani, sabbiosi e sabbio limosi, continui fino ai 30 m indagati, come anche confermato dalla prova penetrometrica effettuata. Vi è da notare che i terreni prevalentemente grossolani, sabbiosi-limosi, corrispondono in genere alle zone topograficamente più rilevate e rappresentano paleoalvei dei corsi d'acqua sia principali sia minori, che divagavano in epoche recenti, mentre i terreni più fini, argillosi, corrispondono alle zone vallive.

Morfologicamente l'area d'intervento si presenta pianeggiante, tale da permettere uno sviluppo edilizio dell'intervento in progetto senza particolari problemi.

La morfologia dell'area, tipica della fascia di bassa pianura modenese, è quasi perfettamente piana, con pendenze molto blande verso N-NE, nell'ordine del 1-2 per mille con quote medie del piano campagna di 17-18 metri s.l.m. Attualmente l'evoluzione geomorfologica dell'area è per lo più imputabile all'uomo, che con la propria azione ha in parte inibito i fattori morfogenetici naturali, assumendo un ruolo predominante nelle trasformazioni del paesaggio.

La zona in studio è caratterizzata da una falda freatica disposta in generale a profondità modesta dal piano di campagna, grosso modo sui 2/4 metri. Tale falda, così detta libera, è caratterizzata da bassi valori di trasmissività, da una variabilità del proprio livello in stretta relazione con gli apporti meteorici e con la rete di canalizzazione, essendo alimentata prevalentemente per infiltrazione superficiale. Trova oggi scarsa utilizzazione, viene captata con pozzi tradizionali e le sue acque vengono prevalentemente utilizzate per innaffiare orti e giardini o per rifornire modesti impianti di irrigazioni, raramente per abbeverare il bestiame, in nessun caso si fa uso idropotabile.

Nello specifico dell'area in esame si è misurata la profondità della falda nel foro della prova penetrometrica risultata pari a 1,70 m dal piano campagna; non si esclude che in periodi particolarmente piovosi tale livello possa risalire ulteriormente fino ad interagire con le fondazioni del fabbricato in progetto e quindi con i relativi scavi nella fase di cantiere.

In ogni caso, dato le caratteristiche litologiche-stratigrafiche prima descritte, si esclude che detta falda freatica possa risultare in comunicazione diretta con le sottostanti falde acquifere profonde; tale falda trova oggi, come detto, scarsa utilizzazione in relazione alla sua pessima qualità, sia dal punto di vista biologico che chimico, essendo usata più che altro per innaffiare orti e giardini e comunque in nessun caso si fa uso idropotabile.

Nell'area in esame il drenaggio superficiale è assicurato dalla presenza della rete fognaria urbana e più in generale, fuori dal centro abitato dal sistema dei fossi superficiali di campagna, che complessivamente creano buone condizioni di deflusso delle acque meteoriche.

Nello specifico dell'area in esame non si rilevano condizioni di smaltimento difficoltoso o morfologia depressa. In relazione alle quote idrometriche del fiume Secchia ed a quelle topografiche del territorio, l'area in esame è da ritenersi potenzialmente esondabile, tuttavia la probabilità del ripetersi di tali eventi alluvionali è tuttavia scongiurata dalla presenza poco a monte in località Marzaglia, delle casse di espansione sul fiume Panaro, unitamente ad interventi idraulici sul fiume, consistenti in lavori di manutenzione degli alvei e potenziamento delle arginature. Anche per quanto riguarda l'idrografia minore, non si rilevano preoccupazioni particolari per la zona specifica.

. B) CARATTERIZZAZIONE AREA D'INTERVENTO

. B1) DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'intervento in progetto consiste nella demolizione e ricostruzione di un fabbricato, ad uso ex sede della Croce Blu di Mirandola, in seguito ai danni subiti dal fabbricato esistente, dopo i recenti terremoti del 20 e 29 maggio 2012, che hanno interessato tutta la bassa modenese e quindi anche la zona in esame.

L'area in oggetto sulla quale è previsto l'intervento si ubica lungo via Posta 57, nella zona sud del comune di Mirandola.

L'area si colloca in una zona urbana già ampiamente edificata per la quale non si riscontrano problematiche particolari.

In allegato 5 è riportata una foto aerea della zona in esame con indicazione del fabbricato esistente e relativa ubicazione della prova penetrometrica eseguita.

. B2) INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO

In data 18/12/2013 si è provveduto ad eseguire un'indagine geognostica sull'area in oggetto, al fine di valutare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni che saranno interessati dall'intervento in progetto.

L'indagine è stata sviluppata mediante l'esecuzione di una prova penetrometrica, che in relazione alle presumibili caratteristiche granulometriche dei terreni del primo sottosuolo, è stata effettuata con infissione statica; i dati della prova sono stati successivamente confrontati con quelli di altre prove, eseguita in zone adiacenti a quella in esame, in occasione di altri precedenti interventi edilizi, rilevando una sostanziale omogeneità della situazione.

L'ubicazione della prova eseguita compare nella planimetria riportata in allegato 5, mentre i diagrammi penetrometrici, unitamente ai tabulati di campagna sono riportati in allegato 6.

La prova che ha raggiunto una profondità massima di 30 m dal p.d.c., è stata eseguita in sito utilizzando un penetrometro statico olandese Gouda da 10 tonnellate, automontato, impiegando per la perforazione una punta "Friction Jacket Cone" avente un'area di 10 cm² e un angolo alla punta di 60 gradi.

I dati acquisiti attraverso una cella estensimetrica di carico hanno permesso di determinare ogni 20 cm d'avanzamento della punta, i valori, calcolati mediante elaborazione automatica, della resistenza penetrometrica alla punta (R_p), espressi in Kg/cm², i valori della resistenza laterale locale (R_l), sempre espressi in Kg/cm², nonché i valori della resistenza laterale totale (punta + manicotto), sempre in Kg/cm².

Nel diagramma penetrometrico, sempre in allegato al presente studio, sono state riportate, per semplicità di lettura, mediante plotter interfacciato con l'elaboratore, solamente due curve e precisamente:

- a sinistra, la curva della resistenza penetrometrica alla punta (R_p : pressione di rottura del terreno), espressa in Kg/cm²;
- a destra, la curva del rapporto tra la resistenza alla punta e la resistenza laterale (R_l espressa in Kg/cm²).

L'elaborazione dei valori di resistenza all'infissione caratteristici dei vari livelli del sottosuolo, fornisce utili informazioni per il riconoscimento di massima della litologia dei terreni attraversati, sulla base del rapporto R_p/R_l (q_c/f_s) fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale (Rapporto di Begemann 1965 – Raccomandazioni AGI) ovvero sulla base dei valori di R_p e del rapporto $Fr=R_l/R_p\%$ (Schemertmann 1878).

Analogamente i dati geognostici raccolti sono stati elaborati suddividendo il terreno in strati omogenei per caratteristiche litologiche e geotecniche, determinando per ognuno i valori medi dei principali parametri geotecnici, ottenuti mediante ormai note correlazioni empiriche, il tutto come riportato di seguito.

Successione stratigrafica

L'elaborazione della prova penetrometrica eseguita e la correlazione della stessa con altre indagini eseguite in aree circostanti, ha permesso di ricostruire il modello geologico del primo sottosuolo dell'area in esame. In generale si rileva una copertura di terreni fini e medio-fini, argillosi e argillo limosi, con spessori sui 7/8 m, per poi rilevare terreni più grossolani, rappresentati da sabbie e sabbie limose, continui fino ai 30 m indagati. Nello specifico dell'area in esame si evidenzia la presenza delle seguenti unità litotecniche:

Unità A da 0 m a 4,80 m

La prima unità è costituita da terreni fini e medio-fini, formati da **limi argillosi e argille limose**, a bassa consistenza e compattezza.

Unità B da 4,80 m a 8,40 m

La seconda unità è costituita sempre da terreni medio-fini, formati da **argille limose e limi argillosi**, a medio-bassa consistenza e compattezza.

Unità C da 8,40 m a 15,80 m

La terza unità è costituita da terreni grossolani, formati da **sabbie e sabbie limose**, ad elevato addensamento.

Unità D da 15,80 m a 26,40 m

La quarta unità è costituita di nuovo da terreni fini, formati da **argille e argille limose**, a media consistenza e compattezza.

Unità E da 26,40 m a 30 m

La quinta unità è costituita di nuovo da terreni grossolani, formati da **sabbie e sabbie limose**, ad elevato addensamento.

Situazione idrogeologica locale

I terreni riscontrati all'interno dell'area in esame, dal punto di vista idrogeologico, sono classificabili come depositi alluvionali di origine fluviale, da poco permeabili a impermeabili. Nell'area in esame si riscontra una falda freatica superficiale, la cui profondità misurata nel foro della prova penetrometrica è risultata essere pari a 1,70 m dal piano campagna.

. B3) CLASSIFICAZIONE SISMICA

L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità che può essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS).

La porzione della bassa pianura modenese in cui ricade l'area in esame risulta caratterizzata da un'attività tettonica attiva, dovuta alla presenza nel sottosuolo di strutture geodinamiche note in bibliografia con il nome di dorsale ferrarese, caratterizzate da tutta una serie di pieghe e faglie, che hanno determinato il notevole innalzamento dei depositi marini e che interessano tutta la zona della bassa modenese, responsabili tra l'altro dei recenti terremoti del 20 e 29 maggio 2012, che hanno interessato proprio tale zona, tra cui anche quella in oggetto, tanto da danneggiare il fabbricato esistente.

Nella Provincia di Modena, vi sono poi altre zone attive dal punto di vista tettonico, basti pensare alle zone che si collocano a sud, a ridosso del margine appenninico, zone nelle quali si riconoscono faglie attive con blocchi in movimento relativo tra di loro, la catena appenninica in sollevamento e l'alta pianura in abbassamento, che hanno provocato lesioni allineate secondo l'andamento delle fratture.

Tutto ciò a dimostrare come la zona in esame sia caratterizzata da movimenti tettonici marcati, che scaricano gradualmente l'energia accumulata nel terreno, che possono originare fenomeni sismici frequenti ancorché di modesta entità.

A tale proposito l'Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", ha stabilito la nuova classificazione sismica di tutto il territorio nazionale, e disciplinato la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento e miglioramento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni.

Il sito di costruzione ed i terreni in esso presenti dovranno in generale essere esenti da rischi di instabilità di pendii e di cedimenti permanenti causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoto.

Con l'entrata in vigore, il 23 ottobre 2005, delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.09.2005, le cui norme tecniche includono tra le referenze tecniche essenziali anche l'Ordinanza n. 3274/2003 e s.m.i., è diventata obbligatoria la progettazione antisismica per tutto il territorio nazionale, facendo riferimento alle zone sismiche di cui alla OPCM 3274/2003.

Ai fini dell'applicazione di queste norme, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche, a ciascuna delle quali è assegnato un intervallo di valori dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni; in particolare, per la determinazione delle azioni sismiche, risulta assegnato un valore (a_g / g), di ancoraggio dello spettro di risposta elastico, diverso per ogni zona sismica; il Comune di Mirandola ricade nella zona 3 (Allegato 4) a sismicità bassa, a cui è associato un valore della massima accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a $a_g = 0,15g$.

I valori di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

Zona	Valore di a_g
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Secondo l'approccio "zona dipendente", adottato dalla precedenti normative nazionali in campo antisismico, l'accelerazione di base a_g , senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni, era direttamente derivante dalla Zona sismica di appartenenza del comune nel cui territorio è localizzato il sito di progetto.

Nella nuova normativa di cui al D.M. 14 gennaio 2008 la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica. Pertanto, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento, riportato nella tabella 1 nell'allegato B del D.M. del 2008.

Tale griglia è costituita da 10.751 nodi (distanziati di non più di 10 km) e copre l'intero territorio nazionale ad esclusione delle isole (tranne Sicilia, Ischia, Procida e Capri) dove, con metodologia e convenzioni analoghe vengono forniti parametri spettrali costanti per tutto il territorio (tabella 2 nell'allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Per ciascuno dei nodi della griglia vengono forniti, per 9 valori del periodo di ritorno (da 30 anni a 2.475 anni), i valori dei parametri di pericolosità sismica, utili per la progettazione e cioè i valori di a_g (accelerazione orizzontale massima del terreno espressa in $g/10$), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale adimensionale) e T^*c (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale espresso in secondi) necessari per la definizione dell'azione sismica, una volta definito per l'intervento in progetto, ai sensi sempre delle NTC2008, il tipo e la classe (ad esempio, per il fabbricato in oggetto, in quanto a funzione pubblica, tipo 2 e classe III).

Secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, è possibile il calcolo dei suddetti parametri spettrali (per uno dei tempi di ritorno forniti) tramite media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni (Tabella 1 in Allegato B) che comprendono il sito in esame, per i quattro stati limite previsti dalle norme *S.L.O.*, *S.L.D.*, *S.L.V.* e *S.L.C.*.

Inoltre allo scopo di valutare l'amplificazione lito-stratigrafica dell'azione sismica di progetto, intesa come l'azione generata dal moto non uniforme del terreno di sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche, deve essere classificato il terreno di fondazione, nelle seguenti categorie individuate dalle NTC 2008.

Il sito viene classificato sulla base di V_{s30} se disponibile, altrimenti sulla base del valore di N_{spt} , per terreni prevalentemente granulari, ovvero sulla base della c_u , per i terreni prevalentemente coesivi, nelle seguenti categorie di suolo:

A -	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s30} > 800$ m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B -	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</i> , 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 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fine).
C -	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensate, o terreni a grana fine mediamente consistenti</i> , 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 e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fine).
D -	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori ai 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s (ovvero $N_{SPT} < 15$ nei terreni a grana grossa, $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fine).
E -	<i>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali</i> , con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.

Esistono poi due categorie speciali che sono individuate con le lettere S1 e S2 per le quali le NTC2008 richiedono per la definizione dell'azione sismica il ricorso a studi specifici.

S1 -	Depositi di terreni caratterizzati da valori $V_{s30} < 100$ m/s (ovvero $10 < c_u < 70$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine 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 terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle definizioni precedenti V_{s30} è la velocità media di propagazione entro i primi 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Categoria di suolo di fondazione

Per la determinazione della velocità delle onde S negli strati di copertura è stata elaborata la prova penetrometrica eseguita sull'area, ubicata come da allegato 5, spinta sino alla profondità di 30 m dal piano campagna.

Si sono applicate le correlazioni empiriche note e diffuse in bibliografia (Otha e Goto – Ijisan), che correlano il valore della resistenza alla punta medio R_p di ogni singolo strato individuato, con il valore medio della velocità delle onde S V_s , sempre per il singolo strato.

In particolare, la prova penetrometrica spinta sino ai 30 m è stata suddivisa in strati a caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche omogenee e per ogni strato è stato determinato il valore medio del R_p , resistenza alla punta penetrometrica, dal quale, con le note correlazioni, si è ricavato il valore della velocità delle onde S.

Quindi mediante la formula sopra riportata si è calcolato il valore della V_{s30} mediato sui 30 m di profondità, come da norma, e quindi la relativa categoria di suolo di fondazione.

PROVA PENETROMETRICA P1					
Profondità da m a m		Rp med. Kg/cmq	Spessore m	Vs m/sec	hi/Vsi
0,00	4,80	9,33	4,80	128,34	0,037
4,80	8,40	19,67	3,60	170,02	0,021
8,40	15,80	133,78	7,40	350,25	0,021
15,80	26,40	24,72	10,60	185,31	0,057
26,40	30,00	212,11	3,60	416,71	0,009
					S=
					0,146

V _{s30}	206
------------------	-----

Per i terreni in oggetto, nell'area sulla quale è ubicato il fabbricato oggetto d'intervento, fino ai 30 m di profondità, tenuto conto dell'indagine effettuata, si è ottenuto un valore della V_{s30} pari a 206 m/sec, che definisce una **categoria di suolo** di fondazione di **tipo C**, riferibile a *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensate, o terreni a grana fine 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 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa).

Sulla base della categoria di suolo di appartenenza del terreno, le NTC2008 associano un coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s , da applicare alle componenti orizzontali dell'azione sismica; viene inoltre definito un coefficiente C_c che serve per il calcolo del periodo di controllo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico in accelerazione.

Poiché tale valore è riferito al bedrock, per definire il valore di a_g in superficie si calcola quindi il fattore S_s , caratteristico dell'area, che dipende dalla categoria di suolo di fondazione; essendo i terreni dell'area in esame in categoria C, avremo:

$$- S_s = 1.70 - (0.6 \times F_o \times a_g/g)$$

Viene inoltre definito un coefficiente C_c , che serve per il calcolo del periodo di controllo T_c , corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico in accelerazione; in particolare T_c è calcolato come prodotto di C_c per il periodo T^*_c , ottenuto dallo studio di pericolosità sismici del sito specifico, come riportato nella tabella precedente.

Per suoli in categoria C il coefficiente C_c risulta pari a.

$$- C_c = 1.05 \times (T^*_c)^{-0.33}$$

Le NTC 2008 di cui al DM 14/01/2008 prevedono anche un coefficiente di amplificazione topografica che tiene conto della particolare ubicazione del sito, in relazione alla sua configurazione morfologica. Vengono previste 4 categorie topografiche, a secondo della configurazione geometrica del sito, alle quali è associato un coefficiente di amplificazione S_T che varia da 1 a 1.4, come riportato nella tabella seguente.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	Fattore di amplificazione S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

Per quanto concerne la topografia del sito, siamo nella categoria T1, caratterizzata da una superficie pianeggiante con inclinazione media inferiore o uguale a 15° , alla quale è associata un valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T pari a 1.

Ciò detto, sulla base della collocazione del sito in oggetto, corrispondente al punto sul quale sono in progetto le opere previste, si ottengono i relativi parametri di pericolosità sismica, come riportato di seguito.

Sito in esame

latitudine: 44,869433
 longitudine: 11,060434
 Classe: 3
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1ID: 15172	Lat: 44,8594	Lon: 11,0231	Distanza: 3150,862
Sito 2ID: 15173	Lat: 44,8608	Lon: 11,0935	Distanza: 2774,177
Sito 3ID: 14951	Lat: 44,9108	Lon: 11,0915	Distanza: 5208,840
Sito 4ID: 14950	Lat: 44,9094	Lon: 11,0210	Distanza: 5420,428

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 75 anni
 Coefficiente c_u : 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 45 [anni]
 ag: 0,045 g
 Fo: 2,525
 Tc*: 0,265 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 75 [anni]
 ag: 0,059 g
 Fo: 2,492
 Tc*: 0,275 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 712 [anni]
 ag: 0,169 g
 Fo: 2,560
 Tc*: 0,273 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
 Tr: 1462 [anni]
 ag: 0,226 g
 Fo: 2,496
 Tc*: 0,282 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
 Cc: 1,630
 St: 1,000
 Kh: 0,014
 Kv: 0,007
 Amax: 0,669
 Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
 Cc: 1,610
 St: 1,000
 Kh: 0,018
 Kv: 0,009
 Amax: 0,867
 Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,440
 Cc: 1,610
 St: 1,000
 Kh: 0,058

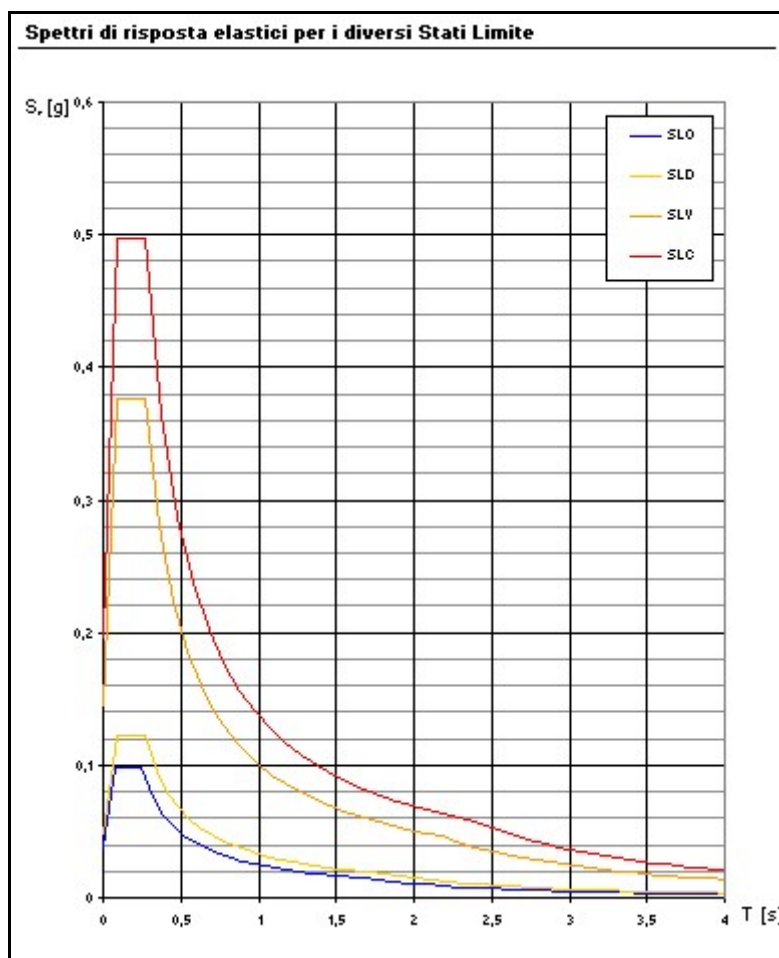
K_v : 0,029
 A_{max} : 2,388
 $Beta$: 0,240

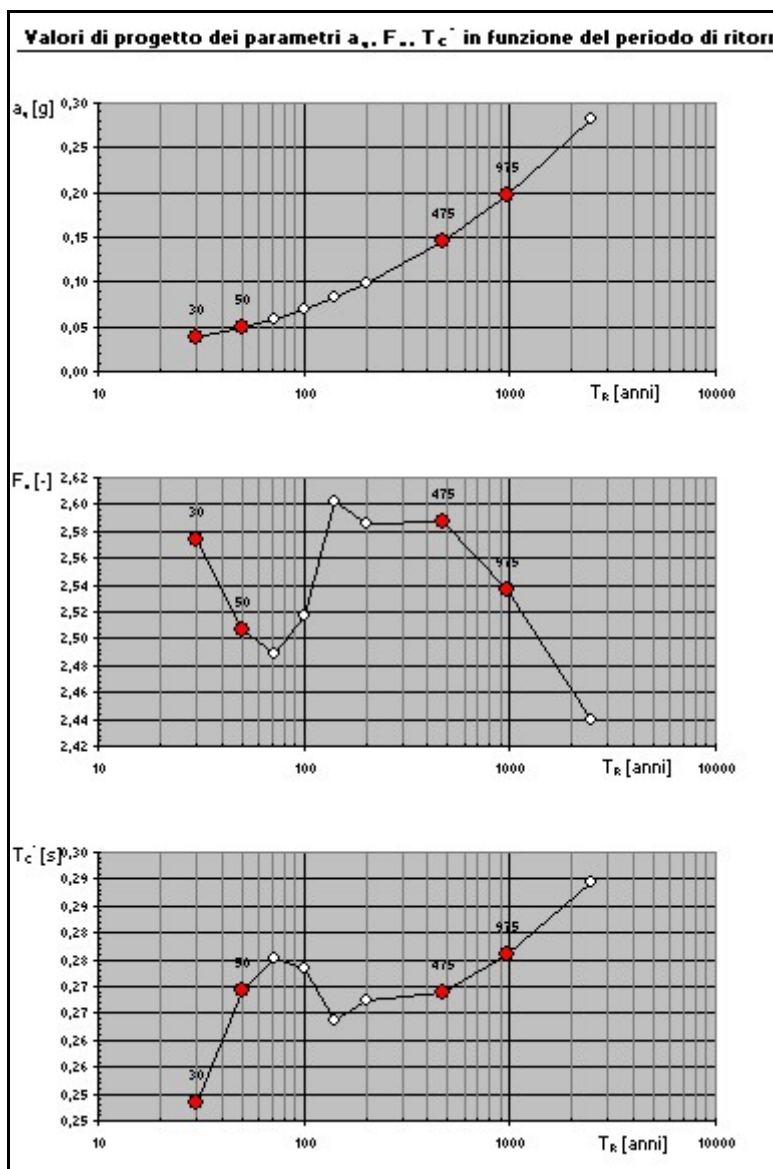
SLC:

S_s : 1,360
 C_c : 1,590
 S_t : 1,000
 K_h : 0,086
 K_v : 0,043
 A_{max} : 3,012
 $Beta$: 0,280

Dove K_h e K_v sono i coefficienti sismici, orizzontale e verticale, per il sito in esame, calcolati, nei diversi stati limite, mediante il coefficiente di riduzione sismica $Beta$ (funzione della categoria di suolo).

Noti i parametri di pericolosità sismica si possono calcolare gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche di progetto per il sito in esame.





Verifica della suscettibilità alla liquefazione e calcolo cedimenti post sismici

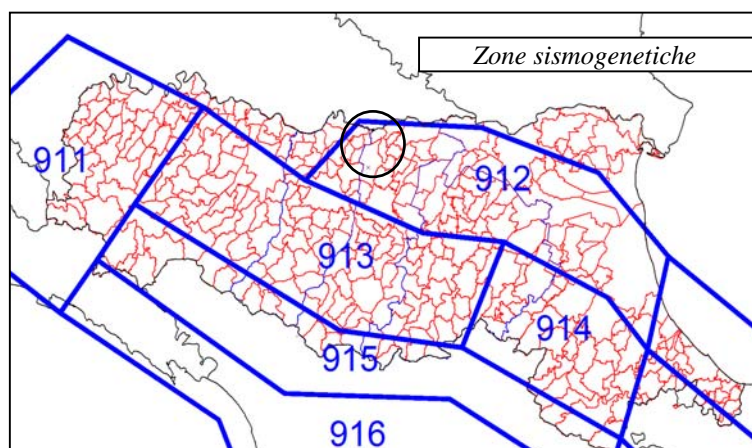
Nella nuova normativa, inerente gli aspetti sismici, di cui al D.M. 14/01/2008, è richiesto di effettuare la verifica a liquefazione nel caso in cui siano presenti, nei primi 20 m di profondità del sottosuolo indagato, terreni granulari saturi (sabbie e sabbie limose) predisposti al fenomeno della liquefazione in caso di sisma.

Per liquefazione si intende un processo di accumulazione della pressione del fluido interstiziale che causa in un terreno incoerente (sabbie e sabbie limose) saturo (sotto falda) una diminuzione della resistenza al taglio a seguito dello scuotimento sismico, potendo dar luogo a delle deformazioni permanenti significative.

Il meccanismo della liquefazione dipende sia dalle caratteristiche del sisma (magnitudo, durata, distanza epicentrale ecc.) che da quelle locali del terreno (granulometria, saturazione, densità relativa, stato tensionale, ecc).

Nello specifico dell'area in esame, tenuto conto della presenza di strati sabbiosi saturi nei primi 20 m di profondità, come rilevato nella prova eseguita, è stata valutata la suscettività alla liquefazione da prove CPT, mediante un programma di calcolo automatico che applica la correlazione di Robertson Wride (1997).

L'area in esame appartiene alla Zona Sismogenetica n° 912 denominata "Dorsale Ferrarese" che rappresenta la zona più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale, come riportato nella figura seguente.



Tale zona, come dalle rilevazioni dell'INGV (marzo 2004), almeno fino ai recenti eventi del maggio 2012, era caratterizzata da una magnitudo massima registrata di 4.6 Md, con una profondità efficace di 7 km, come riportato nella tabella seguente che evidenzia come sia elevato il numero di eventi con basse magnitudo che contribuiscono alla dissipazione delle energie tettoniche che si accumulano nelle strutture compressive della dorsale.

Zona	Numero eventi Md>2	Numero eventi Md>2.5	Numero eventi Md>3.0	Magnitudo massima Md	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
912	180	141	54	4.6	5-8	7

Tabella 1. Dettagli eventi nella zona sismogenetica 912

Il Catalogo parametrico dei terremoti italiani Edizione 2004 denominato CPTI04 registra valori massimi di magnitudo momento Mw per la zona sismogenetica n° 912 pari a 6.14.

In considerazione degli eventi sismici che hanno colpito l'area in esame nel 20 e 29 maggio 2012 e delle prime indicazioni fornite dall'INGV, per le verifiche alla liquefazione si è fatto cautelativamente riferimento ad un valore di magnitudo massima attesa pari a 6.20.

Litologicamente i terreni del primo sottosuolo in tutta l'area di interesse risultano caratterizzati da una certa omogeneità tipica di un ambiente di pianura alluvionale nel quale si alternano sia spazialmente che temporalmente ambienti deposizionali tra loro collegati.

Sostanzialmente si evidenzia una componente argillosa superficiale, che più in profondità passa a terreni grossolani, sabbiosi e sabbiosi limosi.

La verifica della suscettibilità alla liquefazione è stata eseguita pertanto considerando i risultati, sino alla profondità di 20 m dal p.d.c. dell'indagine penetrometrica eseguita.

I livelli sabbiosi e limo-sabbiosi individuati risultano essere in falda e pertanto potenzialmente liquefacibili.

La falda è stata cautelativamente considerata alla profondità di 1 m dal p.d.c.

Di conseguenza è stata effettuata un'analisi per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione attraverso un'analisi semplificata in condizioni di free-field valutando, ad ogni quota z del deposito compresa nei primi 20 m, la suscettibilità alla liquefazione

attraverso un coefficiente di sicurezza F_L dato dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione (CRR) e sollecitazione indotta dall'azione sismica (rapporto di tensione ciclica CSR) mediante i metodi riportati di seguito ed indicati dalle “Linee Guida AGI – Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”.

Per quel che concerne invece l'accelerazione massima attesa in superficie nell'area in esame, le analisi effettuate secondo quanto stabilito dalle NTC 2008 (considerando una classe d'uso 2 “costruzioni il cui uso preveda affollamenti normali” e pertanto un Coefficiente C_u pari a 1,5 e un suolo di tipo C) hanno portato ad un valore pari a 0.24 g.

Il coefficiente di sicurezza F_L è stato calcolato a partire dalla seguente formula:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} MSF$$

Il rapporto di tensione ciclica CSR, ad una determinata profondità, può essere valutato attraverso l'espressione di Seed e Idriss, 1971 riportata di seguito:

$$CSR = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} R_d$$

Dove:

a_{\max} : accelerazione di picco al piano campagna del terremoto di progetto;

g : accelerazione di gravità;

σ_{v0} : tensione totale verticale alla profondità considerata;

σ'_{v0} : tensione efficace verticale alla profondità considerata;

R_d : coefficiente riduttivo dell'azione sismica per valutare la deformabilità del sottosuolo;

Il coefficiente riduttivo dell'azione sismica R_d si può ricavare, per profondità del piano campagna inferiori a 20 m, mediante la seguente espressione (Idriss e Boulanger, 2004):

$$R_d = \exp \left[\left(-1.012 - 1.126 \sin \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right) \right) + \left(0.106 + 0.118 \sin \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right) \right) M \right]$$

Essendo z la profondità dal piano campagna espressa in metri ed M la magnitudo di momento dell'evento sismico atteso.

Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo di momento M pari a 7.5, per eventi di magnitudo diversa occorre ridurre il carico sismico a quello equivalente di un terremoto di magnitudo 7.5 ($CSR_{M=7.5}$) attraverso la seguente relazione:

$$CSR_{M=7.5} = \frac{CSR}{MSF}$$

In cui MSF è un fattore di scala per la magnitudo che si può ricavare dall'espressione riportata di seguito (Idriss e Boulanger, 2004):

$$MSF = 6.9 \exp \left(\frac{-M}{4} \right) - 0.058$$

Per quel che concerne invece la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR, la resistenza penetrometrica, q_c , ricavata dalle indagine penetrometriche statiche CPT, deve essere ricondotta ad un valore normalizzato, q_{c1N} , attraverso la seguente espressione:

$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_c}{p_a}$$

Dove p_a (pressione atmosferica pari a 100kPa) e q_c espressa nella stessa unità di misura.

Il coefficiente C_Q (fattore correttivo per tener conto dell'influenza della pressione verticale efficace) può essere ricavato per via iterativa dalla seguente espressione (Boulanger e Idriss, 2004):

$$C_Q = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{1.338 - 0.294(q_{c1N})^{0.264}}$$

Tale coefficiente non deve superare il valore di 1.7.

Dal valore di (q_{c1N}) è possibile ottenere la resistenza alla liquefazione, per eventi sismici di magnitudo di momento pari a $M=7.5$, mediante la seguente espressione valida per sabbie pulite (Idriss e Boulanger, 2004).

$$CRR = \exp \left[\frac{q_{c1N}}{540} + \left(\frac{q_{c1N}}{67} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1N}}{80} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1N}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

Per materiali con frazione fine non trascurabile invece, per ottenere la resistenza alla liquefazione CRR è stata utilizzata la seguente equazione (Robertson e Wride, 1997):

$$\begin{aligned} CRR &= 0.883 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0.05 && \text{se } (q_{c1N})_{cs} < 50 \\ CRR &= 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 && \text{se } (q_{c1N})_{cs} > 50 \end{aligned}$$

Nelle equazioni sopra riportate appare il valore $(q_{c1N})_{cs}$.

Infatti, nel caso di materiali con frazione fine non trascurabile la resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1N} deve essere ricondotta ad un valore per sabbie pulite $(q_{c1N})_{cs}$ mediante la seguente espressione (Robertson e Wride, 1998):

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c * q_{c1N}$$

Il fattore correttivo K_c è dato da:

$$K_c = 1.0 \quad \text{per } I_c \leq 1.64$$

$$K_c = -17.88 + 33.75I_c - 21.63I_c^2 + 5.581I_c^3 - 0.4031I_c^4 \quad \text{per } I_c > 1.64$$

Il parametro di comportamento del terreno I_c da inserire nelle equazioni sopra riportate è una funzione della resistenza alla punta q_c e della resistenza laterale del manicotto f_s misurate dalle prove penetrometriche CPT.

In particolare:

$$I_c = \left[(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2 \right]^{0.5}$$

con:

$$Q = \left[\left(\frac{q_c - \sigma_{v0}}{P_a} \right) \right] \left[\left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \right] \quad \text{resistenza penetrometrica normalizzata}$$

$$F = \left[\frac{f_s}{(q_c - \sigma_{vo})} \right] * 100\% \quad \text{resistenza laterale normalizzata}$$

Da quanto sopra, il 1° dato da ottenere è l'Indice I_C e relativo esponente di sforzo (n), che si ottengono procedendo per steps successivi:

- 1) se $I_C > 2,6$ ed $n=1$ allora il terreno è classificabile coesivo quindi non liquefacibile ed il calcolo è terminato;
- 2) se $I_C < 2,6$ il suolo può essere di natura granulare e si ripete il calcolo con $n=0,5$;
- 3) se dal ricalcolo del punto 2 $I_C > 2,6$ il suolo è classificabile come non coesivo ed il valore di I_C sarà utilizzato nel calcolo di q_{cIN}
- 4) se dal ricalcolo del punto 3 $I_C > 2,6$ il suolo è classificabile come limoso ed eventualmente coesivo e si dovrà ripetere il calcolo con $n=0,7$ ed il valore del nuovo IC sarà utilizzato nel calcolo di q_{cIN}
- 5) se dal ricalcolo del punto 4 $I_C > 2,6$ si utilizzerà come q_{cIN} il valore di $2q_c$.

In ottemperanza a quanto previsto dalla Del. Ass. Reg. 112/2007 della Regione Emilia Romagna (All. A3, cap. 2), ottenuti i valori di CSR e di CRR è possibile valutare il coefficiente di sicurezza F_L .

Come previsto da tale normativa se $F_L > 1$ si possono escludere fenomeni di liquefazione mentre se $F_L < 1$ è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione.

Ottenuto il parametro F_L è possibile operare una stima probabilistica della possibilità che avvenga la liquefazione, utilizzando la seguente relazione proposta dalla normativa:

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

In cui z è la profondità dal piano campagna in metri e $w(z) = 10 - 0.5z$.

Ad una data quota z il fattore $F(z)$ vale:

$$\begin{aligned} F &= 1 - F_L & \text{se } F_L \leq 1 \\ F &= 0 & \text{se } F_L > 1 \end{aligned}$$

In particolare, come previsto dalla normativa suddetta, il valore dell'indice del potenziale di liquefazione I_L valutato porta alla definizione del rischio di liquefazione che è: basso se $0 < I_L \leq 5$; elevato se $5 < I_L \leq 15$; estremamente elevato se $I_L > 15$.

Come riportato nella tabella seguente si sono ottenuti valori bassi dell'indice di potenziale di liquefazione I_L con il rischio di liquefazione che può essere considerato molto basso e quindi accettabile.

Prova	Indice di potenziale liquefazione I_L	Rischio di liquefazione
P1	0.003	molto basso

In riferimento alla Ordinanza della Regione Emilia Romagna n. 70 del 13/11/2012, poiché non sussistono le condizioni predisponenti la liquefazione, la definizione dell'azione sismica viene eseguita tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008, che si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento.

. B4) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica dei terreni del primo sottosuolo è stata eseguita mediante l'elaborazione della prova penetrometrica statica eseguita sull'area, sulla quale è previsto l'intervento in progetto, spinta sino alla profondità di 30 m dal piano campagna.

La prova è poi stata confrontata con altre prove effettuate nelle vicinanze dallo scrivente in occasione di altri interventi edilizi, rilevando una sostanziale omogeneità della situazione.

La parametrizzazione delle unità litotecniche del sottosuolo è stata redatta attraverso le correlazioni proposte in letteratura, con riferimento alle unità litostratigrafiche prima descritte.

Complessivamente l'indagine eseguita ha evidenziato la presenza di terreni con caratteristiche favorevoli alla realizzazione dell'intervento previsto.

I terreni interessati dalle strutture di fondazione in progetto, ovvero i più interessati dall'interazione struttura-terreno, sono quelli dell'unità A, sufficientemente consistenti da affrontare le normali problematiche fondazionali.

Complessivamente, da un punto di vista geotecnico, la prova effettuata ha evidenziato la presenza di terreni con discrete caratteristiche di resistenza.

Sulla base dei dati ottenuti, si ritiene idoneo per il nuovo fabbricato in progetto, l'adozione di fondazioni superficiali, il cui piano di posa dovrà essere collocato ad una profondità non inferiore a 80 cm dal p.d.c. attuale in modo tale da consentire di fatto il superamento del terreno superficiale più alterato e in parte di riporto, compreso direttamente nella zona soggetta alle variazioni di umidità e temperatura.

A titolo indicativo, sulla base della prova eseguita, si è stimata per i terreni in esame una portanza massima, in termini di tensioni ammissibili, pari a 0.9 Kg/cm²; una volta noti i carichi agenti ai sensi delle norme vigenti si dovranno eseguire le verifiche agli stati limite (NTC2008).

Nella tabella seguente è riportata per la prova eseguita la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica media, con i principali parametri utili alle successive verifiche.

Parametri geotecnici

Strato	Prof.	Rpm	Cu	C'	ϕ	Mo	γ	Dr	v	w	Tipo
1	0 – 4,80	9	0,47	0,21	/	43	1,9	--	0,45	1,5	Limi argillosi
2	4,80 – 8,40	20	0,79	0,35	/	69	1,9	--	0,44	2	Limi argillosi
3	8,40 – 15,80	134	/	/	36	354	1,8	75	0,3	12	Sabbie limose
4	15,80 – 26,40	25	0,9	0,41	/	82	1,9	--	0,44	2	Argille limose
5	26,40 – 30	212	/	/	39	520	1,8	85	0,3	12	Sabbie limose

dove:

Strato: Numero progressivo strato

Prof: Profondità base strato (m)

Rpm: Resistenza alla punta media (Kg/cm²)

Cu: Coesione non drenata (Kg/cm²)

C': Coesione efficace (Kg/cm²)

Dr: Densità relativa (%)

ϕ : Angolo di resistenza al taglio (°)

Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm²)

γ : Peso unità di volume (t/m³)

w: Coefficiente di Winkler (Kg/cm³)

v: Coefficiente di Poisson

Tipo: Litologia prevalente strato

.C) CONCLUSIONI

La presente relazione, redatta su incarico del Comune di Mirandola, tratta dei caratteri geologici, geomorfologici, sismici e geotecnici di un'area sita in via Posta 57, nel comune di Mirandola, sulla quale è in progetto la demolizione e ricostruzione di un fabbricato ex sede della Croce Blu. Sulla base delle indagini eseguite, considerazioni ed ipotesi svolte si dichiara **la fattibilità dell'intervento in progetto**.

Si è infatti verificata la mancanza di controindicazioni da un punto di vista geologico, geotecnico, idrologico, idrogeologico e sismico.

Dallo studio eseguito è emerso che l'area si colloca in una zona pianeggiante che permette uno sviluppo edilizio dell'intervento in progetto senza particolari problemi, con presenza di terreni alluvionali stabili, caratterizzati da buone caratteristiche geomeccaniche.

La caratterizzazione dei terreni di sottofondazione nell'area in esame, è stata ottenuta attraverso l'esecuzione di una prova penetrometrica statica spinta sino alla profondità massima di 30 m dal piano campagna attuale.

I dati ottenuti hanno consentito di definire il modello geologico e geotecnico del terreno del primo sottosuolo, sulla base del quale eseguire le successive verifiche.

Sulla base dei dati ottenuti, si ritiene idoneo per il nuovo fabbricato in progetto l'utilizzo di fondazioni superficiali, che dovranno attestarsi ad almeno 80 cm di profondità dall'attuale piano campagna e comunque oltrepassare lo strato di riporto più superficiale. A titolo indicativo si è stimata per i terreni in esame una portanza massima, in termini di tensioni ammissibili, pari a 0,9 Kg/cmq; una volta noti i carichi agenti ai sensi delle norme vigenti si dovranno eseguire le verifiche agli stati limite.

L'area presenta un livello di falda freatica alla profondità di circa 1,70 m dal piano campagna.

Dal punto di vista sismico si dovrà fare riferimento come zonizzazione per il comune di Mirandola, alla zona 3. Si è classificata l'area in esame definendo i parametri di pericolosità sismica di base; quindi mediante apposita indagine, spinta a 30 m di profondità, si è determinata la categoria sismica di suolo di fondazione dei terreni presenti, risultata essere la categoria C, mediante la quale si sono determinati per l'area specifica i fattori di amplificazione locale, ai sensi delle norme vigenti, sia stratigrafica sia topografica.

In ogni modo, in fase esecutiva, occorrerà durante le operazioni di cantiere, l'assistenza dello scrivente per la verifica in corso d'opera delle condizioni geotecniche assunte in questa sede (punto b3 delle N.T. del D.M. 11/03/1988).

Modena, 18/12/2013

I Tecnici

Dott. Geol. Alessandro Benedusi



Dott. Geol. Alessandro Maccaferri



ALLEGATI

Allegato 1 – Inquadramento geografico

Allegato 2 – Ubicazione area d'interesse

Allegato 3 – Carta geologica RER

Allegato 4 – Carta della zonizzazione sismica

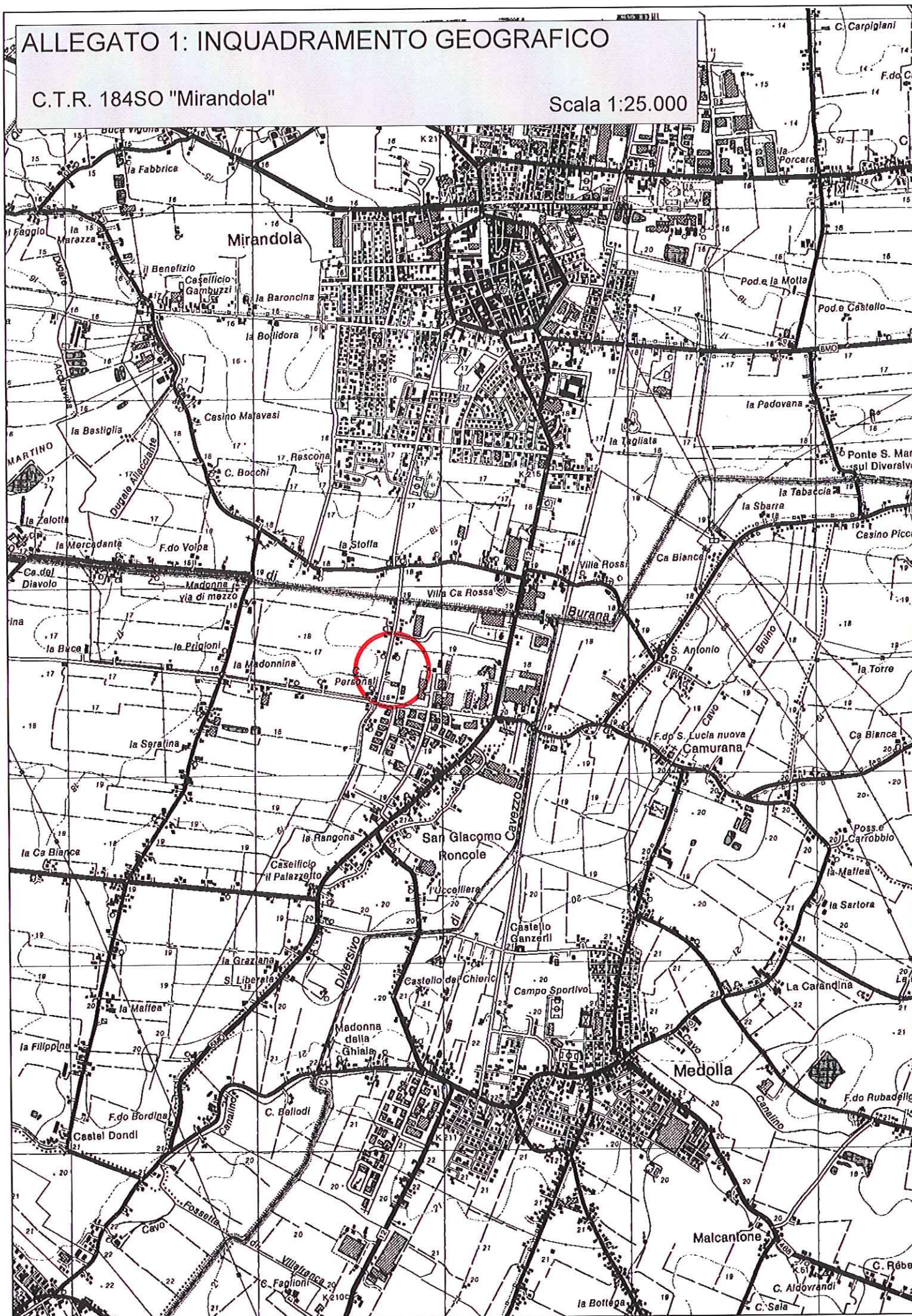
Allegato 5 – Ubicazione prova penetrometrica statica

Allegato 6 – Prova penetrometrica statica

ALLEGATO 1: INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

C.T.R. 184SO "Mirandola"

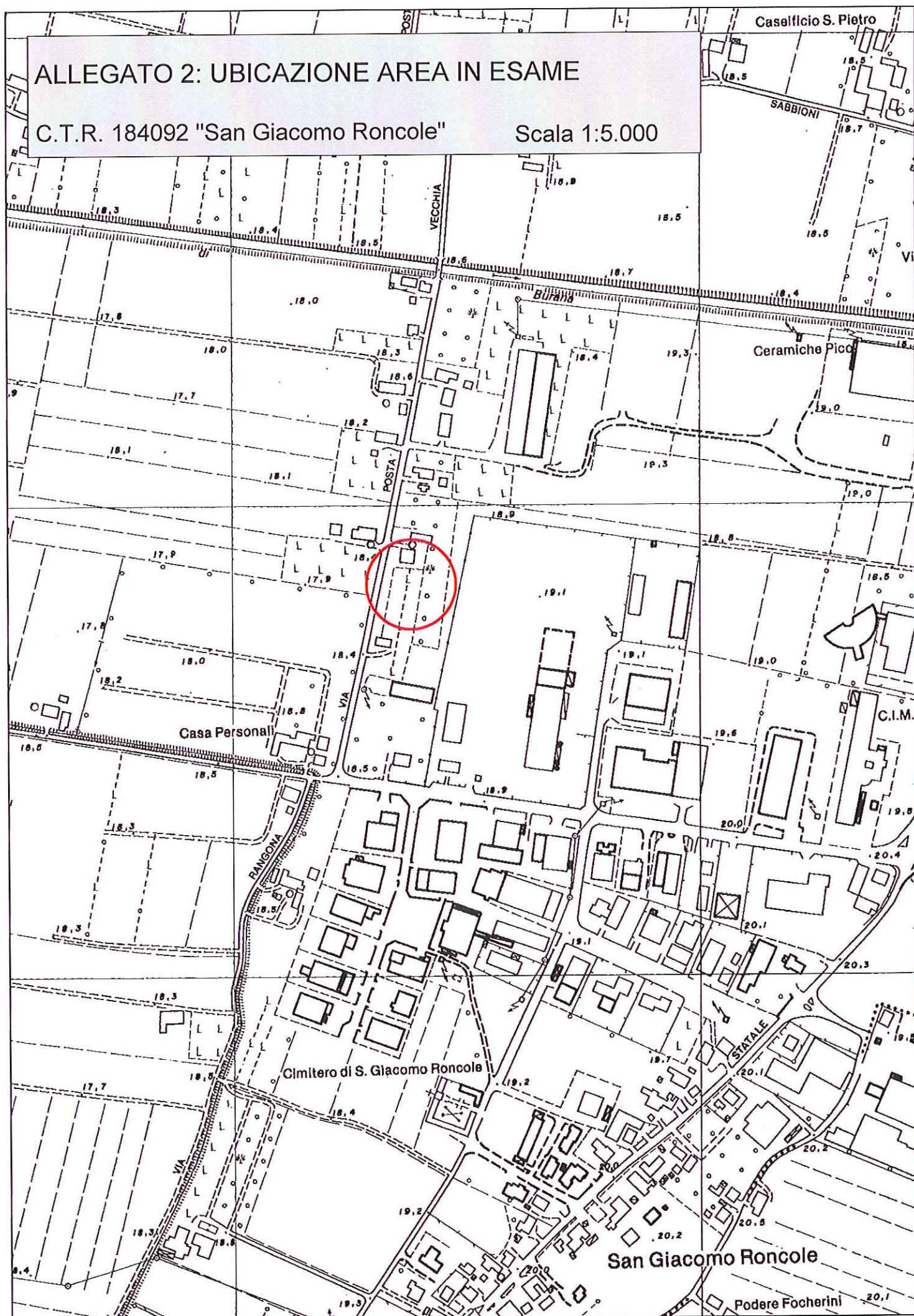
Scala 1:25.000



ALLEGATO 2: UBICAZIONE AREA IN ESAME

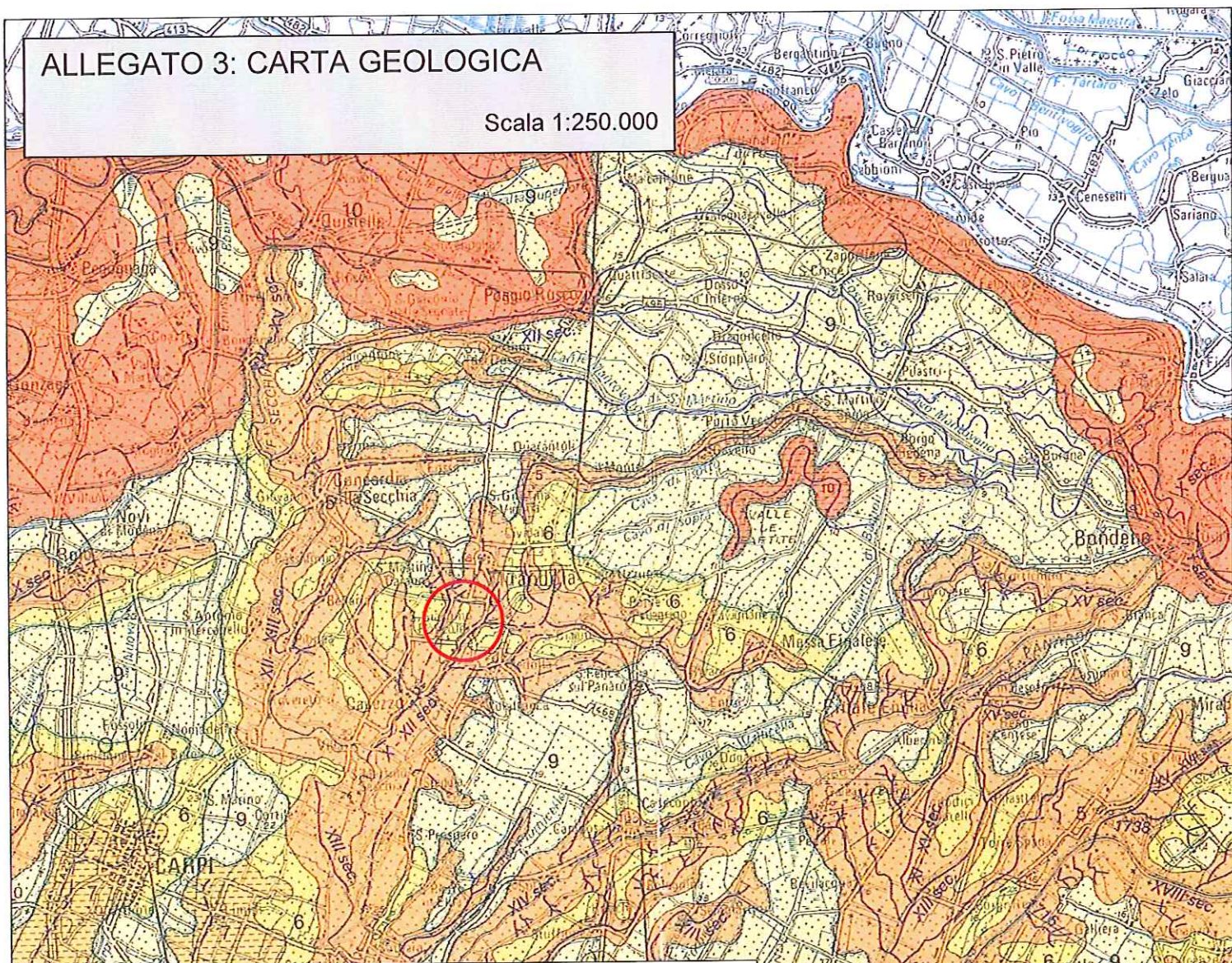
C.T.R. 184092 "San Giacomo Roncole"

Scala 1:5.000



ALLEGATO 3: CARTA GEOLOGICA

Scala 1:250.000



PIANA ALLUVIONALE ALLUVIAL PLAIN

5

Sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi argillosi; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine prossimali.
 Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
 Medium and fine sand in beds tens of centimetres thick, changing laterally and/or intercalated to fine and very fine silty sand, smaller amounts of clayey silt, locally medium and coarse sand in lenticular and ribbon shaped bodies. Channel and proximal levee deposits.
 At the top, soils with various degree of evolution.

6

Limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limose-argillose intercalate in strati di spessore decimetrico. Depositi di argine distale.
 Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
 Sandy silt, fine and very fine sand, silty clay and smaller amounts of silty clayey sand intercalated in beds tens of centimetres thick. Distal levee deposits.
 At the top, soils with various degree of evolution.

7

Sabbie medie e fini, limi e argille limose intercalati in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine indifferenziati.
 Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
 Medium and fine sand, silt and silty clay intercalated in beds tens of centimetres thick; locally medium and coarse sand in lenticular and ribbon shaped bodies. Channel and undifferentiated levee deposits.
 At the top, soils with various degree of evolution.

8

Limi argillosi e limi sabbiosi, subordinatamente sabbie fini e finissime, in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine indifferenziati.
 Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
 Clayey silt and sandy silt, smaller amounts of fine and very fine sand, in beds tens of centimetres thick, locally sand in lenticular and ribbon shaped bodies. Channel and undifferentiated levee deposits.
 At the top, soils of various degree of evolution.

9

Argille limose, argille e limi argillosi laminati, localmente concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti. Area interfluviale e depositi di palude.
 Silty clay, clay and laminated clayey silt, locally concentrations of partially decomposed organic matter. Back-swing deposits.

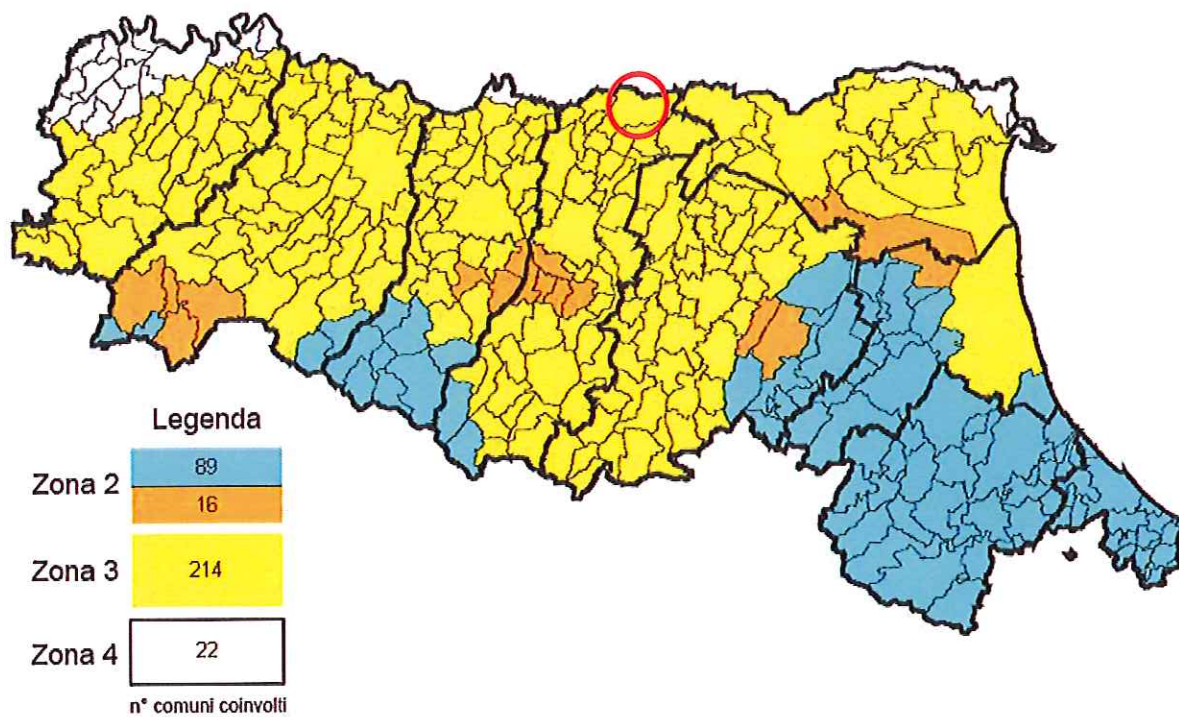
10

Sabbie medie e grossolane subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose, limi e limi sabbiosi in strati di spessore decimetrico. Depositi di piana a meandri.
 Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
 Medium and coarse sand, to a lesser extent gravel and sandy gravel, smaller amounts of silt and sandy silt in beds tens of centimetres thick. Meander belt deposits.
 At the top, soils of various degree of evolution.



ALLEGATO 4: CARTA DELLA ZONIZZAZIONE SISMICA

COMUNE DI MIRANDOLA



ALLEGATO 5: UBICAZIONE PROVA PENETROMETRICA



Google earth

pie
metri

700
200



ALLEGATO 6: PROVA PENETROMETRICA



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : 1220/13

Data emissione: 18/12/13

Committente : COMUNE DI MIRANDOLA

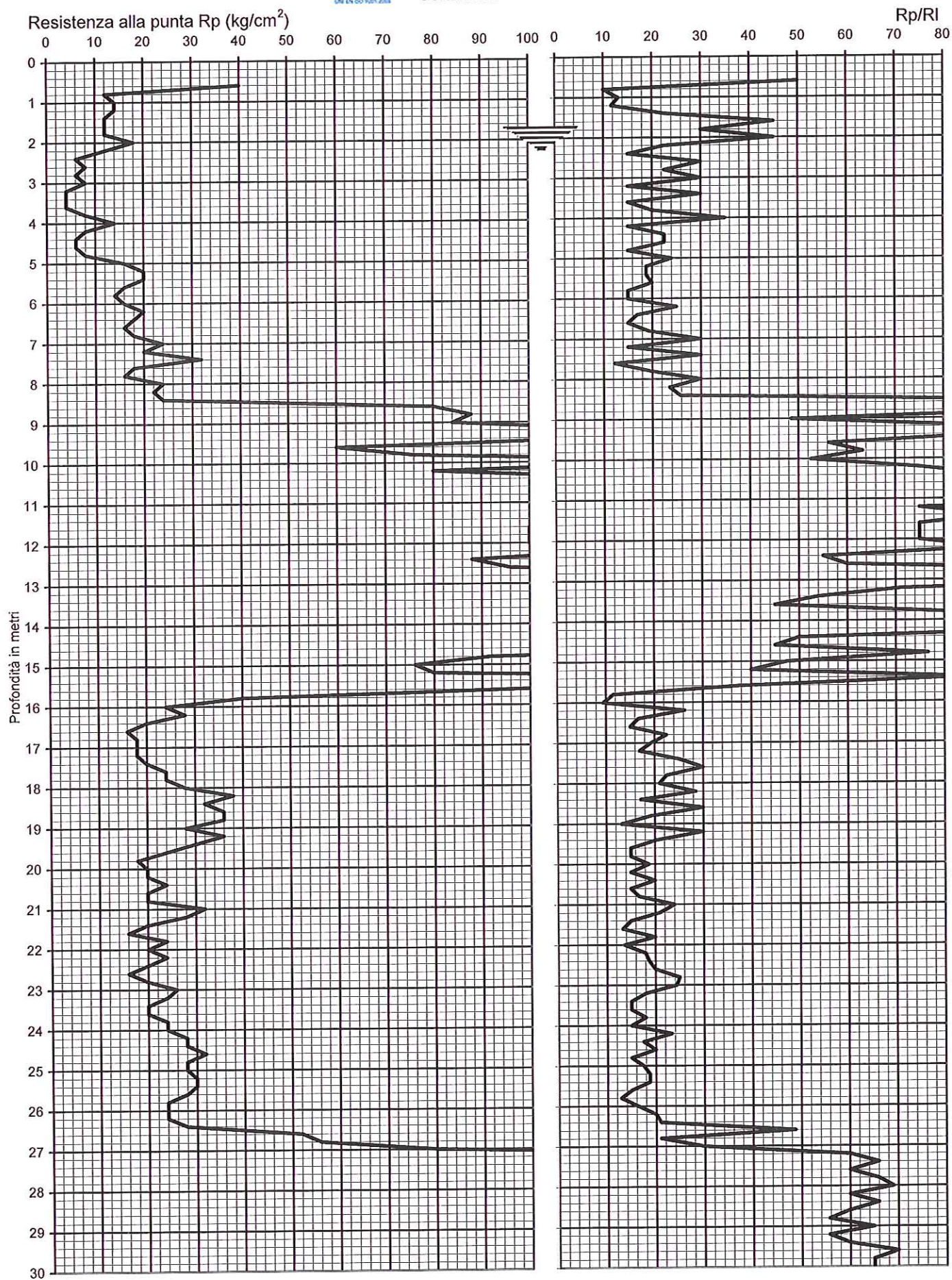
Località : VIA POSTA N. 57 MIRANDOLA

Prova numero : 1

Data : 18/12/2013

Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	40	52	40	0,80	50,00
0,80	12	30	12	1,20	10,00
1,00	14	30	14	1,07	13,13
1,20	14	32	14	1,20	11,67
1,40	12	20	12	0,53	22,50
1,60	12	16	12	0,27	45,00
1,80	12	18	12	0,40	30,00
2,00	18	24	18	0,40	45,00
2,20	12	20	12	0,53	22,50
2,40	6	12	6	0,40	15,00
2,60	8	12	8	0,27	30,00
2,80	6	10	6	0,27	22,50
3,00	8	12	8	0,27	30,00
3,20	4	8	4	0,27	15,00
3,40	4	6	4	0,13	30,00
3,60	4	8	4	0,27	15,00
3,80	8	14	8	0,40	20,00
4,00	14	20	14	0,40	35,00
4,20	8	16	8	0,53	15,00
4,40	6	10	6	0,27	22,50
4,60	6	10	6	0,27	22,50
4,80	8	16	8	0,53	15,00
5,00	16	26	16	0,67	24,00
5,20	20	36	20	1,07	18,75
5,40	20	36	20	1,07	18,75
5,60	16	28	16	0,80	20,00
5,80	14	28	14	0,93	15,00
6,00	16	32	16	1,07	15,00
6,20	20	32	20	0,80	25,00
6,40	18	34	18	1,07	16,88
6,60	16	32	16	1,07	15,00
6,80	18	32	18	0,93	19,29
7,00	24	36	24	0,80	30,00
7,20	20	40	20	1,33	15,00
7,40	32	48	32	1,07	30,00
7,60	18	40	18	1,47	12,27
7,80	16	28	16	0,80	20,00
8,00	24	36	24	0,80	30,00
8,20	22	36	22	0,93	23,57
8,40	24	38	24	0,93	25,71
8,60	80	90	80	0,67	120,00
8,80	88	100	88	0,80	110,00
9,00	84	110	84	1,73	48,46
9,20	120	140	120	1,33	90,00
9,40	120	140	120	1,33	90,00
9,60	60	76	60	1,07	56,25
9,80	76	94	76	1,20	63,33
10,00	140	180	140	2,67	52,50
10,20	80	96	80	1,07	75,00
10,40	120	140	120	1,33	90,00
10,60	190	210	190	1,33	142,50
10,80	190	220	190	2,00	95,00
11,00	180	200	180	1,33	135,00
11,20	150	180	150	2,00	75,00
11,40	120	140	120	1,33	90,00
11,60	100	120	100	1,33	75,00
11,80	100	120	100	1,33	75,00
12,00	100	120	100	1,33	75,00
12,20	120	140	120	1,33	90,00
12,40	88	112	88	1,60	55,00
12,60	96	120	96	1,60	60,00
12,80	160	180	160	1,33	120,00
13,00	200	220	200	1,33	150,00
13,20	190	230	190	2,67	71,25
13,40	180	230	180	3,33	54,00
13,60	180	240	180	4,00	45,00
13,80	220	260	220	2,67	82,50
14,00	240	280	240	2,67	90,00
14,20	240	270	240	2,00	120,00
14,40	200	260	200	4,00	50,00
14,60	180	240	180	4,00	45,00
14,80	92	110	92	1,20	76,67
15,00	76	100	76	1,60	47,50

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	80	110	80	2,00	40,00
15,40	170	200	170	2,00	85,00
15,60	100	140	100	2,67	37,50
15,80	40	92	40	3,47	11,54
16,00	24	62	24	2,53	9,47
16,20	28	44	28	1,07	26,25
16,40	20	38	20	1,20	16,67
16,60	16	32	16	1,07	15,00
16,80	18	30	18	0,80	22,50
17,00	18	32	18	0,93	19,29
17,20	18	34	18	1,07	16,88
17,40	20	32	20	0,80	25,00
17,60	24	36	24	0,80	30,00
17,80	24	40	24	1,07	22,50
18,00	28	48	28	1,33	21,00
18,20	38	58	38	1,33	28,50
18,40	32	60	32	1,87	17,14
18,60	36	54	36	1,20	30,00
18,80	36	64	36	1,87	19,29
19,00	28	60	28	2,13	13,13
19,20	36	54	36	1,20	30,00
19,40	30	52	30	1,47	20,45
19,60	24	48	24	1,60	15,00
19,80	18	36	18	1,20	15,00
20,00	20	36	20	1,07	18,75
20,20	20	40	20	1,33	15,00
20,40	24	42	24	1,20	20,00
20,60	20	40	20	1,33	15,00
20,80	20	38	20	1,20	16,67
21,00	32	52	32	1,33	24,00
21,20	28	48	28	1,33	21,00
21,40	20	40	20	1,33	15,00
21,60	16	34	16	1,20	13,33
21,80	24	42	24	1,20	20,00
22,00	20	42	20	1,47	13,64
22,20	24	44	24	1,33	18,00
22,40	20	36	20	1,07	18,75
22,60	16	28	16	0,80	20,00
22,80	20	32	20	0,80	25,00
23,00	26	42	26	1,07	24,38
23,20	24	44	24	1,33	18,00
23,40	20	40	20	1,33	15,00
23,60	20	40	20	1,33	15,00
23,80	24	44	24	1,33	18,00
24,00	24	48	24	1,60	15,00
24,20	28	46	28	1,20	23,33
24,40	28	52	28	1,60	17,50
24,60	32	56	32	1,60	20,00
24,80	28	56	28	1,87	15,00
25,00	28	52	28	1,60	17,50
25,20	30	54	30	1,60	18,75
25,40	30	54	30	1,60	18,75
25,60	28	56	28	1,87	15,00
25,80	24	52	24	1,87	12,86
26,00	24	46	24	1,47	16,36
26,20	24	42	24	1,20	20,00
26,40	28	48	28	1,33	21,00
26,60	52	68	52	1,07	48,75
26,80	56	96	56	2,67	21,00
27,00	80	120	80	2,67	30,00
27,20	160	200	160	2,67	60,00
27,40	220	270	220	3,33	66,00
27,60	240	300	240	4,00	60,00
27,80	220	270	220	3,33	66,00
28,00	230	280	230	3,33	69,00
28,20	240	300	240	4,00	60,00
28,40	220	270	220	3,33	66,00
28,60	240	300	240	4,00	60,00
28,80	260	330	260	4,67	55,71
29,00	260	320	260	4,00	65,00
29,20	260	330	260	4,67	55,71
29,40	280	350	280	4,67	60,00
29,60	280	340	280	4,00	70,00
29,80	260	320	260	4,00	65,00
30,00	260	320	260	4,00	65,00