

Raggruppamento costituito da:



centro cooperativo di progettazione sc
architettura ingegneria urbanistica

Via Lombardia n. 7, 42124 Reggio Emilia
tel 0522 920460 / fax 0522 920794
www.ccdprog.com / e-mail: info@ccdprog.com
C. f. P. Iva 00474840352



dr. Gaetano Zanolì INGEGNERE E ARCHITETTO

Via F.lli Rosselli 21 - 41012 CARPI (MO) - Tel. 059690133 - Fax. 059692734 - Part.IVA 00637310368 - E-mail: gaetanozanoli@tin.it
(MANDANTE)

titolo del progetto

— NUOVA PALESTRA AD USO SCOLASTICO A SERVIZIO DELLA SCUOLA MEDIA DEL CAPOLUOGO.
NOVI DI MODENA (MO)
PROGETTO ESECUTIVO

committente

— COMUNE DI NOVI DI MODENA Piazza 1° Maggio n.26 — 41016 Novi di Modena (MO)
RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO — RESPONSABILE SERVIZIO TECNICO MANUTENTIVO/PATRIMONIO
Geom. PAOLO MALVEZZI

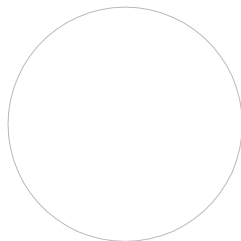
titolo della tavola

— RELAZIONE GEOLOGICA—GEOTECNICA

num. pratica	data emissione	redatto da	rapp. disegni	layout	fase operativa	file
3555	DICEMBRE 2010	ER	---	102	ESECUTIVO	3555ERGE1.dwg

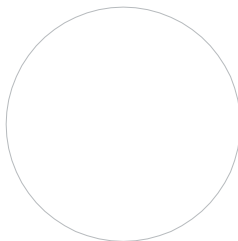
rev.	data	descrizione	redatto da
A			
B			
C			
D			
E			

il responsabile della
progettazione



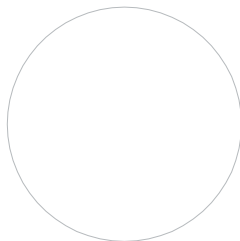
Arch. Antonio Malaguzzi

co-progettista
e responsabile della sicurezza



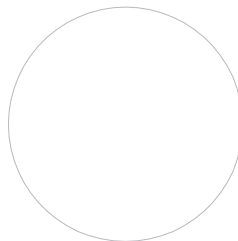
Ing. Arch. Gaetano Zanolì

il responsabile della
progettazione strutturale



Ing. Enrico Rombi

il responsabile della
progettazione impiantistica

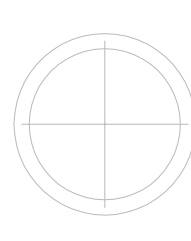


Ing. Davide Bedogni

N°. tavola



orientamento



STUDIO GEOLOGICO E AMBIENTALE
DOTT.SSA CLAUDIA BORELLI

SEDE OPERATIVA VIA F.CASALI, 18 – 41057 SPILAMBERTO (MO)

TEL E FAX +39 059 784335 CELL +39 339 8179913

e mail c.borelli@studio-borelli.it

P. IVA 02598120364 C.F. BRL CLD 73E 60A 794X



RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PER L'AMPLIAMENTO DEL POLO SCOLASTICO DI "NOVI DI MODENA"

Doc. Rif. RG838_L839.GEOT.doc

del dicembre 2008

COMMITTENTE:

UNIGRUPPO S.R.L.

VIA DOLCIBELLI 5- 41012 CARPI (MO)

P.IVA 01745090363

ING. LEONARDO GUALANDI

I TECNICI INCARICATI:

Dott.ssa Geol. Claudia Borelli

Dott.ssa Geol. Laura Fantoni



INDICE

INDICE.....	2
ELENCO ALLEGATI	3
ELENCO TAVOLE.....	3
PREMESSA.....	4
CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA.....	5
1 Inquadramento geografico	5
2 Inquadramento geologico	5
2.1. Litologia della zona in esame.....	5
3 Inquadramento Geomorfologico e Idrografico	6
3.1. Il territorio di Novi	7
4 Idrogeologia	8
4.1. Sistema idrogeologico nella zona di Novi	9
5 Classificazione Sismica.....	10
5.1. Sismicità del Territorio di Novi	12
5.2. Classificazione sismica locale	14
APPROFONDIMENTI SPECIFICI CONDOTTI SULL'AREA	15
6 Opere in progetto e descrizione del sito	15
7 Caratterizzazione sismica.....	15
7.1. Prospezioni sismiche HVSR.....	15
<i>Modalità di indagine</i>	15
<i>Sorgente del rumore</i>	15
<i>Effetti di percorso</i>	16
<i>Definizioni</i>	16
<i>Tecnica impiegata</i>	17
<i>Procedura di analisi dati</i>	18
7.2. Indagine in sismica passiva (HVSR).....	18
7.3. Modello sismico del sottosuolo – TRO1	21
<i>Calcolo delle Vs30</i>	22
7.4. Modello sismico del sottosuolo – TRO2	23
<i>Calcolo delle Vs30</i>	25
8 Caratterizzazione geotecnica.....	25
8.1. Indagini geognostiche da PRG	26
8.2. Indagini geognostiche in sito	37
<i>Analisi dei risultati e modello geotecnico</i>	38

8.3. Confronto fra le prove	41
9 Analisi suscettività alla liquefazione (Estratto da PRG)	41
10 Verifiche geotecniche al piano di fondazione.....	43
<i>Capacità portante in condizioni non drenate</i>	43
<i>Stima dei cedimenti</i>	45
SINTESI E COMMENTO DEI RISULTATI.....	45
11 Conclusioni	47

ELENCO ALLEGATI

Allegato 1	Inquadramento cartografico, estratto dalle Tavole CTR 183SE Novi di Modena	Scala 1:25.000
Allegato 2	Inquadramento topografico, estratto dall'Elemento CTR 183111 Novi di Modena	Scala 1:5.000
Allegato 3	Planimetria del progetto con ubicazione delle verticali di indagine	Scala 1:2.000
Allegato 4	Certificati delle prove penetrometriche statiche	

ELENCO TAVOLE

Tavola 1	Ubicazione delle indagini geognostiche e sezione litostratigrafica interpretativa	Scala 1:5.000
----------	---	---------------

PREMESSA

Su incarico dell'Ing. Gualandi si è provveduto alla stesura della presente relazione geologico, geotecnica e sismica per il progetto di ampliamento del polo scolastico di Novi di Modena.

L'indagine è stata finalizzata alla definizione delle caratteristiche geologiche e geotecniche del terreno interessato dagli interventi in progetto, al fine di stabilirne la fattibilità e le modalità esecutive dell'intervento.

Scopo dello studio è stato, oltre alla verifica della fattibilità dell'intervento in progetto dal punto di vista geologico, geomorfologico ed idrogeologico, l'esame delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo, in modo da fornire al progettista i dati necessari per procedere alla scelta e ad al relativo dimensionamento della tipologia di fondazione da adottare.

Lo studio è stato condotto nel rispetto del D.M. 11/03/1988 e, per l'adempimento delle specifiche in esso contenute, in data 23/09/2008 è stato eseguito un sopralluogo sull'area oggetto di intervento, al fine di verificarne l'idoneità dal punto di vista geologico e geomorfologico e sono state effettuate le indagini sismiche.

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni in data 1/10/2008 sono state effettuate n°3 prove penetrometriche statiche, delle quali una spinta sino a 30 m di profondità.

I risultati delle indagini geognostiche hanno permesso la caratterizzazione geologico-geotecnica del terreno costituente il sottosuolo che sarà interessato dall'intervento in progetto.

CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA

I INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito in esame si trova nel Comune di Novi di Modena ed è rappresentato negli elementi della cartografia della Regione Emilia Romagna riportati di seguito in tabella.

Foglio CTR a scala 1:50.000	183 Suzzara
Tavola CTR a scala 1:25.000	183 SE Novi di Modena
Sezione CTR a scala 1:10.000	183110 Novi di Modena
Elemento CTR a scala 1:5.000	1803111 Novi di Modena

Si tratta di un'area pubblica di destinazione ricreativo - sportiva; un campo da calcio situato nella porzione centro meridionale dell'abitato di Novi, fra i toponimi C. Ottaviani e Villa delle Rose.

L'assetto topografico della zona presenta una conformazione pianeggiante movimentata da ondulazioni (dossi e valli) ad ampio raggio, sia in senso S-N che E-O. Queste morfologie definiscono depositi fluviali allungati o sub ellittici contraddistinti dalla presenza di litotipi attribuibili ad ambienti con energia idrodinamica discretamente elevata e zone a sedimentazione lenta. La zona in esame è situata proprio su uno di questi micro rilievi; è quindi leggermente rialzata rispetto al territorio circostante, si trova infatti ad una quota media di 21 m s.l.m. rispetto ai 19 m s.l.m. della zona che la circonda.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il Comune di Novi di Modena appartiene al bacino subsidente Pliocenico Quaternario della Pianura Padana, ed è costituito da un'ampia depressione a stile compressivo formata da sedimenti di età Mesozoica, terziaria e Quaternaria.

La zona in esame, rientra in particolare all'interno dei terreni definiti "Alluvium Medio Recente" nella vecchia carta geologica d'Italia, che sono stati successivamente definiti sedimenti di "Piana Alluvionale" nella più recente "Carta geologica di pianura dell'Emilia Romagna".

2.1. Litologia della zona in esame

La litologia che affiora nell'area è caratterizzata da unità continentali caratterizzate da sedimenti alluvionali derivanti sia da apporti alpini che appenninici caratterizzati da sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini finissime limose,

subordinatamente a limi argillosi. Localmente sono presenti sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari nastriformi.

La sovrapposizione delle alluvioni appenniniche su quelle del Po è confermata dalle diverse caratteristiche degli orizzonti sabbiosi, relativamente più superficiali, presenti nel sottosuolo di Novi. Infatti nella zona orientale del capoluogo, nei primi 5 - 8 m dal piano campagna, si osservano sabbie medio fini nocciola, immature, che si sovrappongono a sabbie medie quarzose di colore grigio verde. Le prime presentano, macroscopicamente, una facies attribuibile ai depositi appenninici mentre le seconde ai sedimenti alpini.

La zona è inoltre caratterizzata da alluvioni argillose a lenti limose della bassa Pianura. Sono presenti anche depositi di canale ed argine prossimale derivanti da depositi alluvionali del X secolo del Torrente Crostolo, che oggi scorre in un alveo più spostato verso NO rispetto quello che caratterizza la zona di Novi di Modena.

3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E IDROGRAFICO

Il Comune di Novi di Modena appartiene alla fascia di transizione tra i depositi alluvionali della Media e Bassa Pianura Padana Appenninica, costituita dalle evoluzioni idrografiche del Po e dei suoi affluenti che hanno colmato il golfo padano delimitato dagli affioramenti appenninici a S e da quelli alpini a N. Tali corsi d'acqua, che tendevano ad esondare le aree ad essi circostanti, svolgevano un'azione sedimentante nella zona della pianura, depositando sedimenti grossolani, sabbie, sulle sponde naturali dell'alveo e le barre fluviali, mentre quelli più fini, argille e limi, venivano depositati nei punti più distanti dagli argini, nelle depressioni comprese tra un fiume e l'altro e nelle aree vallive. In tale processo i corsi d'acqua, una volta raggiunto un determinato livello sui terreni a loro circostanti, in occasione di variazioni climatiche tendevano ad uscire dal proprio alveo. Dette variazioni del loro corso determinarono il colmamento delle aree più depresse di infra alveo, che oggi tendono ad evidenziarsi ulteriormente nel paesaggio come dossi residuali (come quello su cui si trova l'abitato di Novi di Modena).

Detto modello di accrescimento generale e graduale della Pianura Padana, caratterizzato da condizioni di equilibrio dinamico, è stato fortemente influenzato dall'uomo. Quest'ultimo infatti, per cautelarsi dalle esondazioni, ha costretto i corsi d'acqua a scorrere sempre negli stessi alvei elevando gli argini di pari passo all'innalzamento dei letti fluviali. Tale irrigidimento della rete idrografica naturale ha accentuato i dislivelli tra i fiumi ed i territori che li fiancheggiano sia per un mancato apporto di materiali che per un incremento di subsidenza differenziale.

La rete idrografica superficiale della zona è costituita oggi dai cavi e canali del Consorzio di Bonificazione Parmigiana Moglia appartenenti al bacino idrografico del Secchia che, a sua volta, fa parte di quello del Po. Il reticolo idrografico consegue, oltre che alla naturale evoluzione dei fiumi Secchia e Po, da una serie di successive modificazioni antropiche del sistema scolante iniziate dagli Etruschi e continuate, con fasi alterne, dai Romani, dai Benedettini e successivamente dagli Enti e Consorzi di Bonifica. Il sommarsi di tali agenti ha portato all'attuale conformazione dell'assetto idrografico superficiale costituito da un sistema di assi drenanti orientati prevalentemente in senso SW - NE nel quale gli spartiacque superficiali più importanti sono costituiti dal F. Secchia, Cavo Lama, Collettore Acque Basse Modenesi, Fossa Raso, Collettore Acque Basse Reggiane.

3.1. Il territorio di Novi

Le caratteristiche evolutive descritte concordano con le strutture geomorfologiche osservabili nel territorio di Novi.

L'evoluzione morfopaesaggistica del territorio in esame è legata alle grandi trasformazioni idrografiche del Po ed è correlabile prevalentemente a fenomeni di sovralluvionamento degli alvei fluviali coincidenti con l'alternarsi di cicli climatici a diversa piovosità, subsidenza differenziata legata sia al diverso grado di costipamento dei terreni che a fenomeni tettonici profondi, conformazione strutturale della Dorsale Ferrarese ed ai relativi spostamenti neotettonici che l'hanno interessata (Veggiani A. 1974).

L'agente che ha influito più recentemente sulla formazione del territorio di Novi è però il Secchia. Questo infatti, sito lungo il bordo orientale del comune, sino circa al VII° IX° secolo d.C. procedeva in direttrice S-N sino all'altezza di Cavezzo - Concordia e successivamente volgeva ad E unendosi al Crostolo e sfociava al Po nei pressi di Bondeno. I suoi spostamenti, più o meno rapidi, da E verso O conseguirebbero da bruschi cambiamenti di direzione del Po, successivamente alle rotte dapprima di Brescello - Guastalla, circa dell'VIII° Secolo a.C. e poi quella di Ficarolo avvenuta tra il 1152 ed il 1192 (Ciabatti, 1966) dopo la quale il Secchia ed altri fiumi appenninici si immisero o furono immessi direttamente al Po con percorso verso N.

La zona in esame, situata nel centro dell'abitato di Novi, non è direttamente interessata da corsi d'acqua superficiali, sono però di rilevanza idraulica per la zona il Fossa Raso, il Canale Cavone ed il Canale Serraglio.

Il Fossa Raso, insieme con il Cavo Lama, convoglia le acque al Cavo Parmigiana Moglia che si riversa nel Secchia o in località Bondanello mediante paratie regolabili o alle Mondine mediante l'impianto idrovoro omonimo. I rimanenti cavi afferiscono ai collettori Acque Basse Modenesi e Acque

Basse Reggiane che a loro volta convogliano le acque al Canale Emissario il quale scarica in Secchia mediante la Chiavica Emissaria dell'Impianto Idrovoro di S.Siro.

4 IDROGEOLOGIA

La zona in esame fa parte della pianura alluvionale, in particolare all'interno del complesso idrogeologico della piana alluvionale compresa fra Modena e Reggio Emilia, un corpo avente litologie simili, una comprovata unità spaziale ed un grado di permeabilità che si mantiene in un campo di variazione piuttosto ristretto (Civita, 1973).

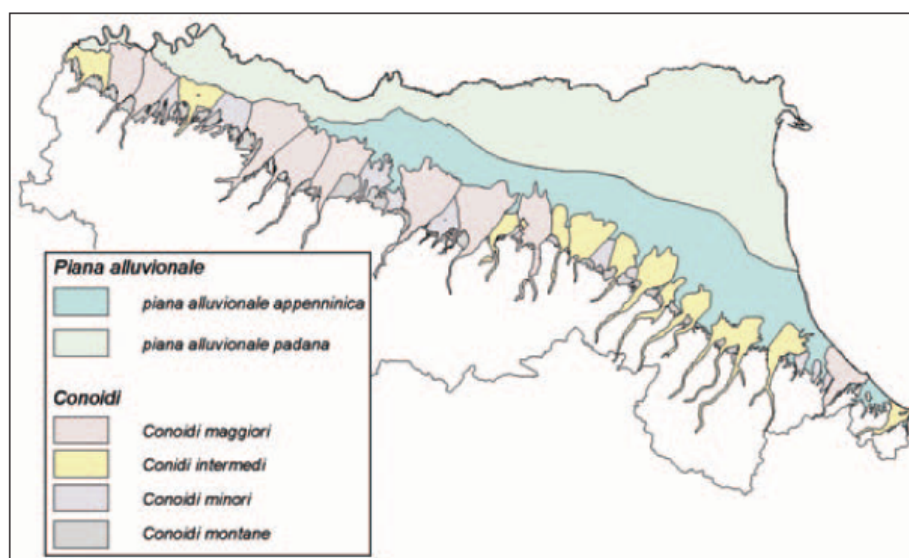


Fig. 1 - Distribuzione dei complessi idrogeologici all'interno del gruppo acquifero A

I depositi di pianura alluvionale padana si sviluppano nel settore centrale della pianura e seguono l'andamento EO dell'attuale corso del Fiume Po. Verso E fanno transizione ai sistemi del delta padano che a loro volta si estendono fino al settore della piana costiera adriatica.

La distinzione dei sistemi padani rispetto a quelli appenninici si basa sul fatto che i corpi sabbiosi di origine padana sono molto più abbondanti e più spessi di quelli appenninici ed hanno una maggiore continuità laterale, a scala delle decine di chilometri. I depositi di pianura alluvionale padana verso E, a partire dal settore reggiano fino alla pianura costiera, sono costituiti quasi esclusivamente da sabbie grossolane e medie.

Nonostante complessivamente vi sia una elevata percentuale di depositi sabbioso-grossolani, la circolazione idrica all'interno di questi depositi è complessivamente ridotta. Gli scambi fiume-falda sono possibili solamente con gli acquiferi meno profondi (A1), mentre nei sottostanti il flusso avviene in modo

francamente compartimentato in condizioni quindi confinate. I valori medi di gradiente idraulico sono quindi pari a circa lo 0.2-0.3 per mille.

4.1. Sistema idrogeologico nella zona di Novi

Il territorio di Novi di Modena appartiene al Sistema Acquifero Padano delimitato dagli affioramenti appenninici a S e da quelli alpini a N e terminante ad E circa 50 km al largo della Costa Adriatica. Detto ambito è formato da depositi clastici del Quaternario Continentale assemblati in alternanze di livelli più o meno permeabili con rapporti stratigrafici sensibilmente complessi. Le formazioni superficiali che costituiscono gli orizzonti idrogeologici del sottosuolo della zona in oggetto sono rappresentate prevalentemente da sedimenti fini (sabbie) depositi dai fiumi appenninici e dal Po.

I litotipi riconosciuti nel sottosuolo di Novi, sono inquadrabili nelle seguenti unità, in successione dall'alto in basso:

- A. Complesso a litologia variabile caratterizzato da alternanze di livelli lentiformi formati da argille, limi e sabbie medio fini in percentuali variabili. Ai cambiamenti laterali e verticali conseguono valori di permeabilità oscillanti tra 10^{-7} e 10^{-3} cm/sec. Dato l'assetto spiccatamente lenticolare non è generalmente presente una netta separazione tra il piano campagna e gli strati permeabili. Tale condizione può localmente sussistere negli ambiti vallivi planiziali dove sono presenti orizzonti essenzialmente argillosi nei primi 5-10 m del sottosuolo che determinano il confinamento della falda freatica che assume caratteristiche semiartesiane. L'insieme litologico in oggetto costituisce l'acquifero freatico inteso come unità direttamente interessata dalla ricarica per infiltrazione superficiale e fortemente suscettibile all'inquinamento. Lo spessore di terreni coinvolto è di 5-10 m nelle zone settentrionali e 10-15 m in quelle meridionali. In relazione alle aree site nella parte nord del comune va rilevato che i depositi alluvionali appenninici talvolta si sovrappongono direttamente a quelli del Po. Ne consegue che in dette condizioni si ha praticamente l'assenza di livelli impermeabili a protezione delle grosse bancate sabbiose del Po.
- B. Orizzonte sostanzialmente impermeabile formato prevalentemente da argille e limi. Presenta spessori estremamente variabili: da 0 a 10 m nelle zone nord, da 8-30 m in quelle sud, evidenziando quindi una struttura fortemente lentiforme. Si riscontra mediamente tra 5 e 10 m a nord e tra 15 e 35-50 m a sud. Questo livello separa discontinuamente l'acquifero freatico dal primo orizzonte idrogeologico confinato.

- C. Complesso Continuo formato da materiali sabbiosi in netta prevalenza. Presenta spessori variabili sia in senso laterale che verticale, compresi mediamente tra 6 e 25 30 m. Si tratta quindi di un acquifero di rilevante potenzialità.
- D. Unità impermeabile formata da litotipi prevalentemente argilloso limosi con locali intercalazioni di lenti più sabbiose; ha uno spessore di 30 60 m e compare generalmente tra -15 -50 m p.c. nelle zone settentrionali e tra -55 -65 m in quelle meridionali. Detto livello nelle aree comunali a nord non è sempre ben definibile poiché già da -15 -25 m si ha la presenza di acque salmastre che conferiscono bassa resistività anche agli orizzonti sabbiosi.
- E. Complesso formato da sabbie fini e grosse con locali intercalazioni sabbioso ciottolose; la potenza mediamente è di 10 m e lo si rileva da -50 -60 a -60 -70 m dal piano campagna nelle zone meridionali del territorio comunale.
- F. Orizzonte essenzialmente impermeabile con intercalazioni sabbiose o formazioni permeate da acque salate - salmastre. Superati i -70 m dal piano campagna nelle aree più a sud del comune sono presenti altri acquiferi artesiani generalmente di modesto spessore, 3 6 m, tra i quali i più importanti si rinvencono tra -95 -120 m; -140 -170 m; -190 -220 m p.c. Successivamente sono stati rilevati altri orizzonti idrogeologici confinati, nel Capoluogo, ma la sporadicità dei dati non permette correlazioni litostratigrafiche.

Gli acquiferi presenti nell'area comunale sono rappresentati da orizzonti essenzialmente sabbiosi a struttura lenticolare, separati da potenti sequenze sostanzialmente argillose impermeabili, inclinate in senso S-N. Detti livelli idrogeologici, a scala territoriale tendono a convergere ed a fondersi, procedendo verso N con le spesse bancate sabbiose del Po.

5 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 recente Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20-3-2003 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", disciplina 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.

L'occorrenza di tali fenomeni deve essere valutata con opportune indagini geognostiche il cui scopo è anche quello di classificare il terreno di fondazione nelle seguenti categorie individuate dall'ordinanza:

- A - *Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s30} > 800$ m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
- B - *Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti*, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa).
- C - *Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza*, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa).
- D - *Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti*, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$, $c_u < 70$ kPa).
- E - *Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali*, 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.
- S1- Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 70$ kPa).
- S2- Depositi di terreni soggetti a 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 30 m di profondità delle onde di taglio ed è 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 (*).

Ai fini dell'applicazione di queste norme, il territorio nazionale è stato suddiviso in 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.

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, il 5 marzo 2008, delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14 gennaio 2008 - che includono tra le referenze tecniche essenziali anche l'Ordinanza n. 3274/2003 e s.m.i. - è cominciato un periodo transitorio, disciplinato dall'articolo 20 della Legge 31/2008, che consente, fino al 30 giugno 2009, l'applicazione facoltativa delle seguenti norme:

- NTC di cui al DM 14-1-2008
- NTC approvate con il DM 14-9-2005
- DM 16-1-1996 (norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche)
- DM 11-3-1988 (terreni, rocce e stabilità dei pendii)

La delibera della giunta regionale dell'Emilia-Romagna n. 1677/2005 ha disposto che a decorrere dal 25 ottobre 2005 trovi attuazione la classificazione sismica dei comuni della regione, stabilita dall'OPCM n. 3274/2003, in via di prima applicazione e comunque fino alla deliberazione regionale di individuazione delle zone sismiche.

5.1. Sismicità del Territorio di Novi

La zona di Novi è ubicata tra la media e la bassa Pianura Padana Appenninica, sulla sommità della "Dorsale Ferrarese". Questa dorsale, suddivisa ulteriormente in blocchi da "faglie" trasversali, avrebbe subito movimenti, anche in tempi recenti, come suggerisce la progressiva migrazione verso N del Po (Veggiani, 1974), avvenuta negli ultimi 3.000 anni, che non appare giustificabile solamente con diversi equilibri di sedimentazione tra i fiumi appenninici e quelli alpini.

Sempre nella zona di Novi, secondo studi sui fenomeni di spostamento recenti verificatisi nella Pianura Reggiano Modenese (Ist. Geol. MO), risulterebbero dislocazioni neotettoniche come la "Faglia del Secchia".

Tuttavia queste realtà tettonico strutturali attive sepolte non sembrano interessare l'area comunale di Novi con ripercussioni superficiali palesi, quindi un'osservazione dei dati geologici e sismologici (storici e strumentali) disponibili definiscono il territorio provinciale di Novi di Modena come zona a sismicità bassa, definibile come zona 3, quindi in relazione a quanto detto sopra il valore di A/g da adottare è pari a 0.15.

La delibera dell'Assemblea legislativa della Regione Emilia-Romagna progr. n. 112 - oggetto n. 3121 del 2-5-2007: "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" assegna al comune di Novi di Modena un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo a/g = **0,139**.

da: OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 - Allegato A- CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI ITALIANI oggetto di presa d'atto da parte della Regione Emilia Romagna con D.G.R. n. 1435 del 21.07.2003

Codice ISTAT 2001	Provincia	COMUNE	Anno di			Categoria secondo la classificazione precedente (Decreti fino al 1984)	Categoria secondo la proposta del GdL del 1998	Zona ai sensi dell'OPCM n. 3274 del 20.03.2003
			Prima classific.	Declassificazione	Riclassificazione			

8036028 MO NOVI DI MODENA

2003

N.C.

III

3



Considerando però anche gli effetti in superficie del moto sismico, bisogna tenere conto anche delle condizioni geologiche e morfologiche locali oltre che dalla situazione tettonico strutturale di un'area. Alcuni depositi e forme del paesaggio possono infatti amplificarlo e favorire fenomeni di instabilità dei terreni, come cedimenti, frane o fenomeni di liquefazione.

Sulla base di queste considerazioni e della suddivisione, da PTCP, del territorio provinciale in classi con elementi geologici e morfologici che possono determinare effetti locali (in E.-R. Da DAL n. 112/2007), il territorio di Novi rientra in "Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione".

Questa tipologia di terreni caratterizza le "Aree 7" aree in cui sono presenti depositi prevalentemente sabbiosi, dati da riempimenti di canale alluvionale, aree in cui la presenza di sabbie, soprattutto se incoerenti e ben classate, nei primi 20 m dal p.c. e della falda acquifera a profondità

inferiore a 15 m dal p.c. costituiscono caratteri predisponenti al verificarsi del fenomeno della liquefazione in caso di forti scosse sismiche (magnitudo uguale o maggiore di 5).

In questa zona dovranno essere valutati, oltre all'amplificazione, anche il potenziale di liquefazione e gli eventuali cedimenti.

PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI E MORFOLOGICI CHE POSSONO DETERMINARE EFFETTI LOCALI IN E.-R. DA DAL N. 112/2007, CON MODIFICHE

Depositi che possono determinare amplificazione (spessore ≥ 5 m):

- detriti di versante (frane, detriti di falda, detriti eluvio-colluviali, detriti di versante s.l., depositi morenici, depositi da geliflusso);
- detriti di conoide alluvionale;
- depositi alluvionali terrazzati e di fondovalle;
- accumuli detritici in zona pedemontana (falde di detrito e con di deiezione);
- depositi fluvio-lacustri
- riporti antropici poco addensati;
- substrato affiorante alterato o intensamente fratturato (per uno spessore ≥ 5 m);
- litotipi del substrato con $V_s < 800$ m/sec.⁷

Elementi morfologici che possono determinare amplificazione:

- creste, cocuzzoli, dorsali allungate, versanti con acclività $> 15^\circ$ e altezza ≥ 30 m

Depositi suscettibili di amplificazione, liquefazione e cedimenti:

- depositi granulari fini con livello superiore della falda acquifera nei primi 15 m dal piano campagna, con composizione granulometrica che ricade nelle fasce critiche indicate nell'Allegato A3 (fattori predisponenti al fenomeno di liquefazione);
- depositi (spessore ≥ 5 m) di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti, caratterizzati da valori $N_{SPT} < 15$ o $c_u < 70$ kPa.

Aree soggette ad instabilità di versante:

- aree instabili: aree direttamente interessate da fenomeni franosi attivi;
- aree potenzialmente instabili: aree in cui sono possibili riattivazioni (frane quiescenti) o attivazioni di movimenti franosi (tutti gli accumuli detritici incoerenti, indipendentemente dalla genesi, con acclività $> 15^\circ$; pendii costituiti da terreni prevalentemente argillosi e/o intensamente fratturati⁸ con acclività $> 15^\circ$; versanti con giacitura degli strati a franapoggio con inclinazione minore o uguale a quella del pendio; aree prossime a zone instabili che possono essere coinvolte dalla riattivazione del movimento franoso; scarpate subverticali; accumuli detritici incoerenti prossimi all'orlo di scarpate).

Elementi che possono determinare effetti differenziali, sia amplificazione che cedimenti:

- contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico - meccaniche molto diverse;
- cavità sepolte.

5.2. Classificazione sismica locale

Nel sito in esame sono state effettuate, in corrispondenza delle CPT 1 e CPT 2, due misure del microtremore ambientale con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico, con lo scopo di definire la classe sismica in cui rientra l'area di interesse nel Comune di Novi di Modena; l'indagine sismica è riportata ai paragrafi successivi.

Il valore di V_{s30} calcolato è risultato pari a 249 m/sec e pertanto, ai fini delle azioni sismiche di progetto, il suolo appartiene all'area sismica di 3° categoria, con profilo stratigrafico C, di cui fanno parte i depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o le argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s, valori della resistenza penetrometrica $15 < N_{spt30} < 50$, e/o coesione non drenata $70 < C_{u30} < 250$ kPa.

APPROFONDIMENTI SPECIFICI CONDOTTI SULL'AREA

6 OPERE IN PROGETTO E DESCRIZIONE DEL SITO

L'area d'intervento è situata in zona urbana all'interno del centro abitato di Novi, in prossimità del polo scolastico. L'intervento prevede la demolizione dell'attuale palestra con la costruzione del nuovo edificio scolastico, che avrà dimensioni paragonabili a quelle dell'attuale palestra, anche se le due sagome non saranno completamente sovrapposte. L'edificio scolastico potrà essere in futuro ampliato (raddoppio verso est) e potrà essere costruito anche un centro civico, oltre ai parcheggi di pertinenza.

Immediatamente a sud, ed in un'area attualmente occupata dal campo sportivo, sarà realizzata la nuova palestra.

7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

7.1. Prospezioni sismiche HVSr

Modalità di indagine.

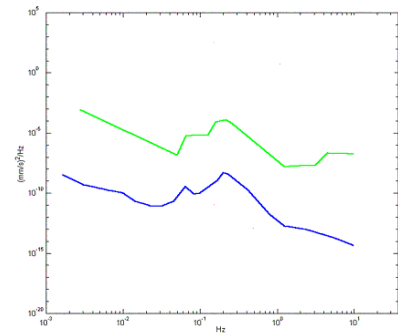
Nel sito in oggetto sono state effettuate, in corrispondenza delle CPT 1 e CPT 2, due misure del microtremore ambientale della durata di 20 minuti con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (TROMINO[®], 10 x 7 x 14 cm per 1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Sorgente del rumore

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole ($10\text{-}15 \text{ [m/s}^2\text{]}^2$ in termini di accelerazione), molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale, in assenza di vento e nel caso in cui il terreno sia roccioso e pianeggiante, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato in figura a lato, dove la curva bassa rappresenta il rumore di fondo 'minimo' di riferimento secondo il servizio geologico statunitense (USGS) mentre la curva superiore rappresenta il 'massimo' di tale



rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

Effetti di percorso

Nel tragitto dalla sorgente *s* al sito *x* le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che, se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di "ray tracing", è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa informazione è però 'sepolta' all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Una di queste è la tecnica dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR.

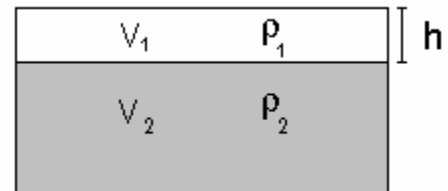
Definizioni.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Tecnica impiegata.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). Considerando il sistema in figura a lato in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato. In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a



$$f_r = V_{P1}/(4 h) [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = V_{S1}/(4 h) [2]$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati. Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per il contenuto in frequenza, la risposta strumentale e l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo. Rileviamo inoltre come i microtremoni siano solo in parte costituiti da onde di

volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994). Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. L'applicabilità pratica della semplice formula [2] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (Gallipoli et al., 2000; Mucciarelli e Gallipoli, 2001; Castellaro et al., 2005). Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (si veda Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

In questo lavoro i segnali saranno analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali HVSR ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, come in Mulargia e Castellaro (2006).

Procedura di analisi dati.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

1. le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione a TROMINO[®], secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), con parametri:
 - larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
 - lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
 - rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore ad 2,
 - rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
2. le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto 1.

Le profondità h delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula [3] in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e v la frequenza fondamentale di risonanza (Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$h = \left[\frac{V_0(1-a)}{4v} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1 \quad [3]$$

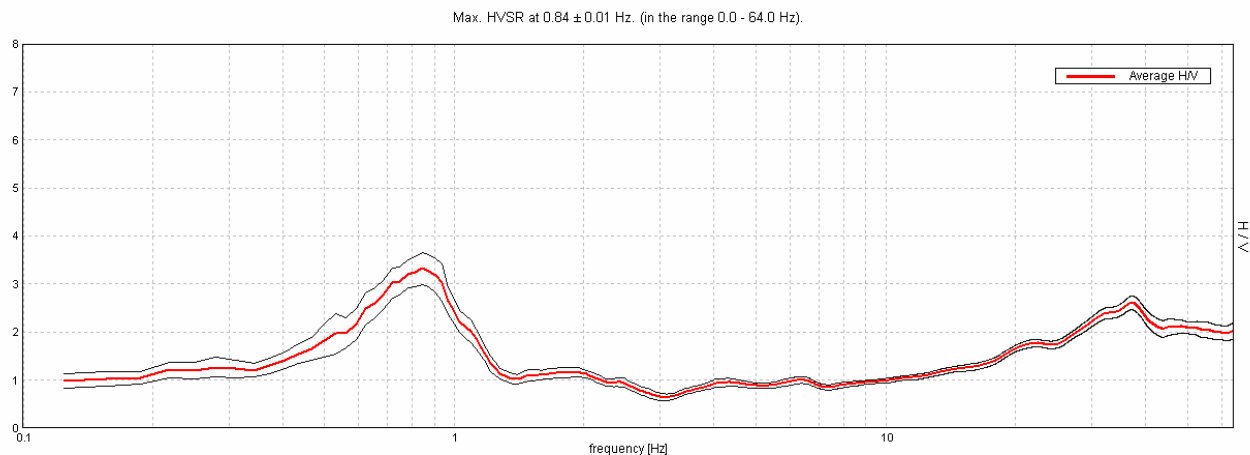
7.2. Indagine in sismica passiva (HVSR)

Nel lotto in esame sono state eseguite due stazioni di misura, per un tempo di acquisizione di 20'.

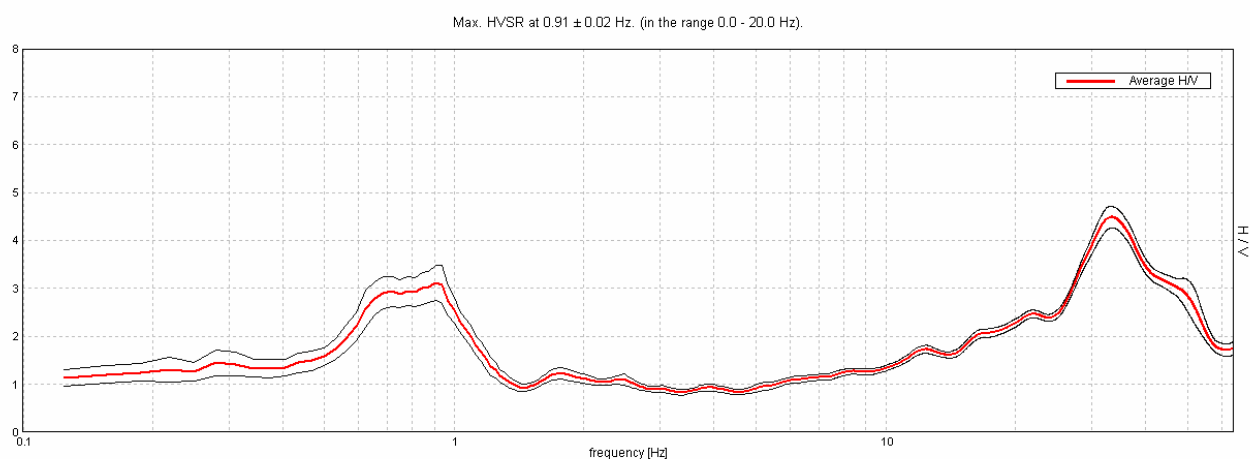
Lo strumento, in acquisizione, è stato orientato a N.

Dopo le operazioni di elaborazione dati descritte, per le prova, si è ottenuto il diagramma H/V e la curva di spettro riportate qui di seguito.

TR01

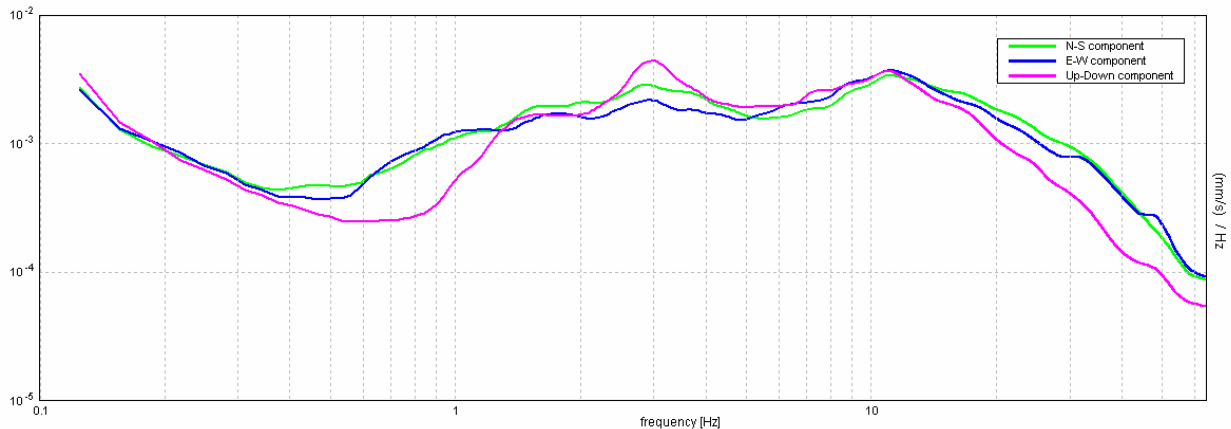


TR02

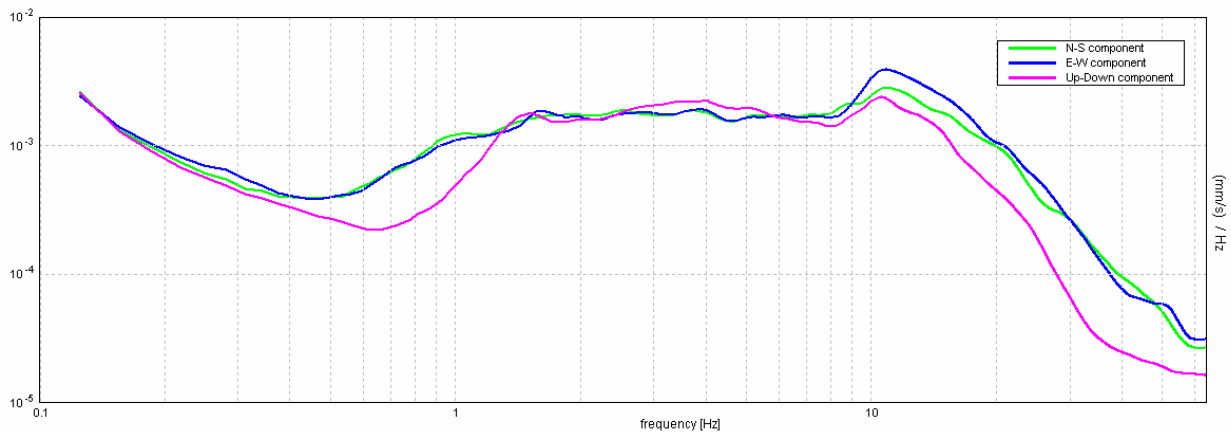


La ricerca dei picchi da interpretare è stata effettuata, congiuntamente, nel grafico H/V e in quello dello spettro delle prove; presente di seguito.

TR01



TR02



In particolare, i picchi H/V di origine stratigrafica sono quelli generati da un minimo nelle componenti verticali del moto - curve magenta negli spettri - che significa minimo delle onde di Rayleigh alla frequenza di risonanza. Oltre a questo può esistere un massimo nelle componenti orizzontali del modo.

L'esame degli elaborati porta a notare quanto segue:

- il picco di risonanza principale è alla frequenza di circa **$0,84 \pm 0,01$ Hz** per la prova Tr01 e di **$0,91 \pm 0,02$ Hz** per la prova TR02 ed è relativo ad un contrasto di impedenza profondo posto a oltre 100 m di profondità; tale livello è visibile anche nella carta sismotettonica dell'Emilia Romagna la quale pone il bedrock sismico ad una quota che va da 100 a 150 m di profondità rispetto al piano campagna
- nel grafico spettrale nota la presenza di un'inversione delle Vs minima all'altezza dei 10 Hz fino a 1,5 Hz attribuibile alla presenza di un livello profondo di terreno ove la Vs, con la profondità, diminuisce. Al di sotto vi è sempre un aumento della Vs sino a giungere al *bedrock*.
- Dal grafici sopra riportati si nota la presenza di livelli di spessore centimetrico di materiale più competente (dai 64 a 40 Hz mediamente); tali orizzonti non sono significativi dal punto di vista sismico in quanto dato il ridotto spessore, e non ultimo il fatto che si trovano in superficie, non

necessitano di essere "fittati" perchè loro basso valore influenzerebbe negativamente il calcolo della Vs 30.

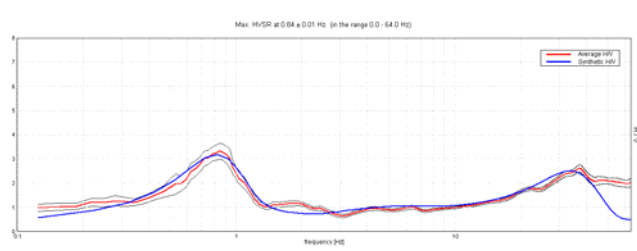
7.3. Modello sismico del sottosuolo – TR01

Nell'inversione sono state seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il solo modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love.

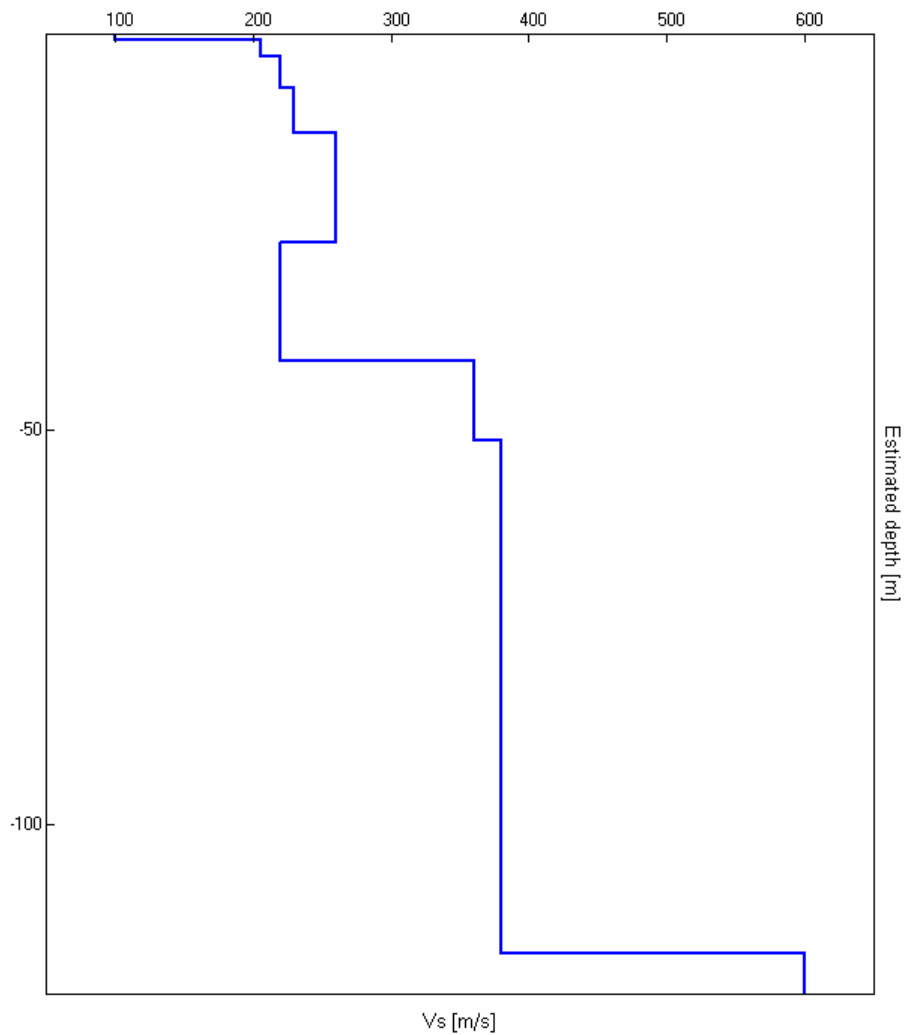
Nella tabella che segue vi sono i parametri usati nei modelli e nelle figure il confronto tra la curva H/V teorica e sperimentale e gli spettri delle singole componenti ed il modello sismico del sottosuolo sviluppato nei primi 30 m per il calcolo di Vs₃₀.

profondità [m]	spessore [m]	Vs [m/s]	
0.70	0.70	100	0.70
2.70	2.00	205	2.70
6.70	4.00	220	6.70
12.40	5.70	230	12.40
26.40	14.00	260	26.40
41.40	15.00	220	41.40
51.40	10.00	360	51.40
116.40	65.00	380	116.40
inf.	inf.	600	inf.

Parametri del modello (TR01)



Confronto tra curva H/V teorica e sperimentale (TR01)



Modello sismico del sottosuolo (TR01)

Calcolo delle Vs30

Applicando il procedimento di calcolo indicato dalla Normativa secondo la formula:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

si ricava per V_{S30} il valore di 231 m/s per la TR01

Ai sensi della OPCM 3274, si possono quindi indicare, per i terreni che costituiscono il sottosuolo, i seguenti parametri:

- area sismica 3^a categoria

- profilo stratigrafico

C¹

In allegato sono riportati i rapporti di prova relativi alle misure eseguite, nei quali vi sono anche i diagrammi relativi alla persistenza del segnale nel dominio del tempo (H/V TIME HISTORY), i diagrammi relativi alla persistenza direzionale del segnale (DIRECTIONAL H/V) che consentono di rilevare se vi siano state sorgenti "orientate" e vi sono le tabelle di conformità della misura al protocollo europeo SESAME che sanciscono l'idoneità della misura ed essere utilizzata per studi di microzonazione sismica.

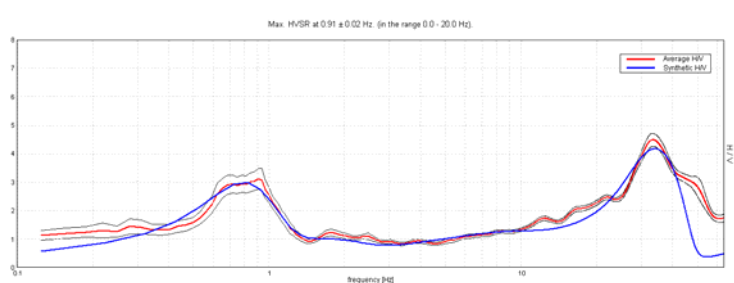
7.4. Modello sismico del sottosuolo – TR02

Nell'inversione sono state seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il solo modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love.

Nella tabella che segue vi sono i parametri usati nei modelli e nelle figure il confronto tra la curva H/V teorica e sperimentale e gli spettri delle singole componenti ed il modello sismico del sottosuolo sviluppato nei primi 30 m per il calcolo di Vs30.

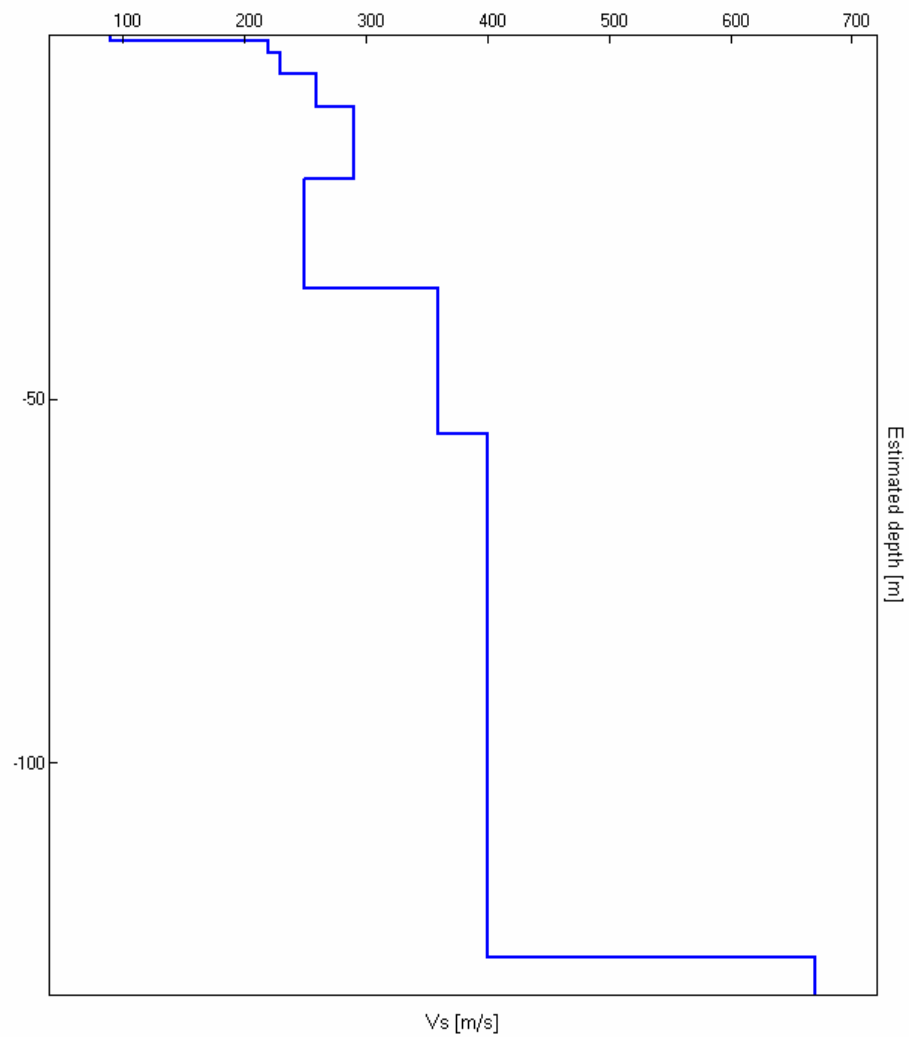
profondità [m]	spessore [m]	Vs [m/s]	
0.70	0.70	90	0.70
2.40	1.70	220	2.40
5.20	2.80	230	5.20
9.80	4.60	260	9.80
19.80	10.00	290	19.80
34.80	15.00	250	34.80
54.80	20.00	360	54.80
126.80	72.00	400	126.80
inf.	inf.	670	inf.

Parametri del modello (TR02)



¹ Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs₃₀ compresi tra 180 m/s e 360 m/s, valori della resistenza penetrometrica 15 < N_{spt30} < 50, e/o coesione non drenata 70 < Cu₃₀ < 250 kPa.

Confronto tra curva H/V teorica e sperimentale (TR02)



Modello sismico del sottosuolo (TR02)

Calcolo delle Vs30

Applicando il procedimento di calcolo indicato dalla Normativa secondo la formula:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

si ricava per V_{S30} il valore di 249 m/s per la TR01

Ai sensi della OPCM 3274, si possono quindi indicare, per i terreni che costituiscono il sottosuolo, i seguenti parametri:

- area sismica 3^a categoria
- profilo stratigrafico C^2

In allegato sono riportati i rapporti di prova relativi alle misure eseguite, nei quali vi sono anche i diagrammi relativi alla persistenza del segnale nel dominio del tempo (H/V TIME HISTORY), i diagrammi relativi alla persistenza direzionale del segnale (DIRECTIONAL H/V) che consentono di rilevare se vi siano state sorgenti "orientate" e vi sono le tabelle di conformità della misura al protocollo europeo SESAME che sanciscono l'idoneità della misura ed essere utilizzata per studi di microzonazione sismica.

8 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per l'inquadramento dei caratteri fisico meccanici che contraddistinguono il sottosuolo di Novi di Modena, in particolare della zona in cui si effettuerà l'intervento, si è svolto un confronto fra indagini geognostiche, considerando quelle effettuate nel territorio e pubblicate nel PRG del Comune (di cui si riporta di seguito uno schema riassuntivo) e le nuove indagini condotte presso il polo scolastico in cui si effettuerà l'intervento (ubicazione dei sondaggi in Allegato 4 e Tavola 1).

² *Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s, valori della resistenza penetrometrica $15 < N_{spt30} < 50$, e/o coesione non drenata $70 < C_{u30} < 250$ kPa.*

8.1. Indagini geognostiche da PRG

Area 1

CARATTERI GEOMECCANICI DEL SOTTOSUOLO

Le caratteristiche litomeccaniche del sottosuolo, sono state desunte dall'esecuzione di due prove penetrometriche CPT tipo RM: prove N° 1-2. L'analisi d'insieme della sequenza litomeccanica riscontrata, evidenzia che i terreni presenti nei primi 11 metri del sottosuolo, escludendo il primo metro di terreno agrario, sono schematicamente riassumibili in quattro unità geotecniche significative.

SUCCESSIONE GEOTECNICA

Ia Unità : Orizzonte a discreta variabilità litologica e di consistenza in senso laterale, costituito da alternanze argilloso limose sovraconsolidate per fenomeni di essiccazione superficiale, nella fascia orientale (cpt 2) e limose limoso sabbiose, nel settore occidentale: CPT 1. Il grado di compressibilità è sensibilmente variabile in senso laterale ed oscilla da valori medi a bassi; profondità da -1,0 a -2 m p.c.

IIa Unità : Alternanze ad elevata variabilità litologica in senso laterale, costituite nel settore orientale: cpt 2, da litotipi essenzialmente argilloso limosi, con inclusi alla base, dello strato lenti sabbiose a medio elevato grado di addensamento; nella fascia occidentale: cpt 1, si rilevano invece termini limoso sabbiosi e sabbioso, sabbioso limosi, saturi, con incluse locali lenti limoso argillose. Il grado di compressibilità è medio - medio basso, con valori bassi - molto bassi in corrispondenza delle lenti sabbiose, ad elevata variabilità dello stesso in senso verticale; profondità da -2 a -5 m p.c.

IIIa Unità: Orizzonte costituito da termini sabbiosi saturi, ad elevato grado di addensamento nel settore ovest: cpt 1, mentre nella fascia est del sito: cpt 2, sono presenti alternanze di litotipi prevalentemente limosi, limoso sabbiosi con intercalati livelli sabbioso limosi, a medio grado di compressibilità, che presenta elevata variabilità in senso laterale; profondità da -5 a -7 m p.c.

IVa Unità: Orizzonte costituito essenzialmente da litotipi argillosi e argilloso limosi sovraconsolidati, saturi nella fascia est, ad analoghe profondità, procedendo verso ovest, tali litotipi sono sostituiti da bancate essenzialmente sabbiose ad elevato grado di addensamento; il grado compressibilità è globalmente basso - molto basso, moderatamente variabile in senso laterale e tendenzialmente in aumento con la profondità; profondità da -7 a -11 m p.c.

PORTANZA DEI TERRENI

Le caratteristiche litomeccaniche che contraddistinguono il sottosuolo dell'area di lottizzazione n° 1, evidenziano una discreta variabilità dei valori di consistenza in senso laterale e verticale.

In funzione di quanto esposto e dell'interasse tra le prove eseguite, rapportate all'estensione del sito, necessita prevedere un adeguato numero di punti di indagine integrativi per definire i valori di pressione ammissibile sul suolo, da determinarsi in relazione alle caratteristiche delle opere in elevazione.

In linea di massima, per strutture che non impongano elevati carichi concentrati sul terreno, può essere considerato l'utilizzo di fondazioni dirette che trasmettano un carico ammissibile al sottosuolo equivalente a:

$$q_a = 0,9 \div 1,0 \text{ kgf/cm}^2$$

per un piano di posa delle opere fondali ubicato ad una quota dal piano campagna equivalente a:

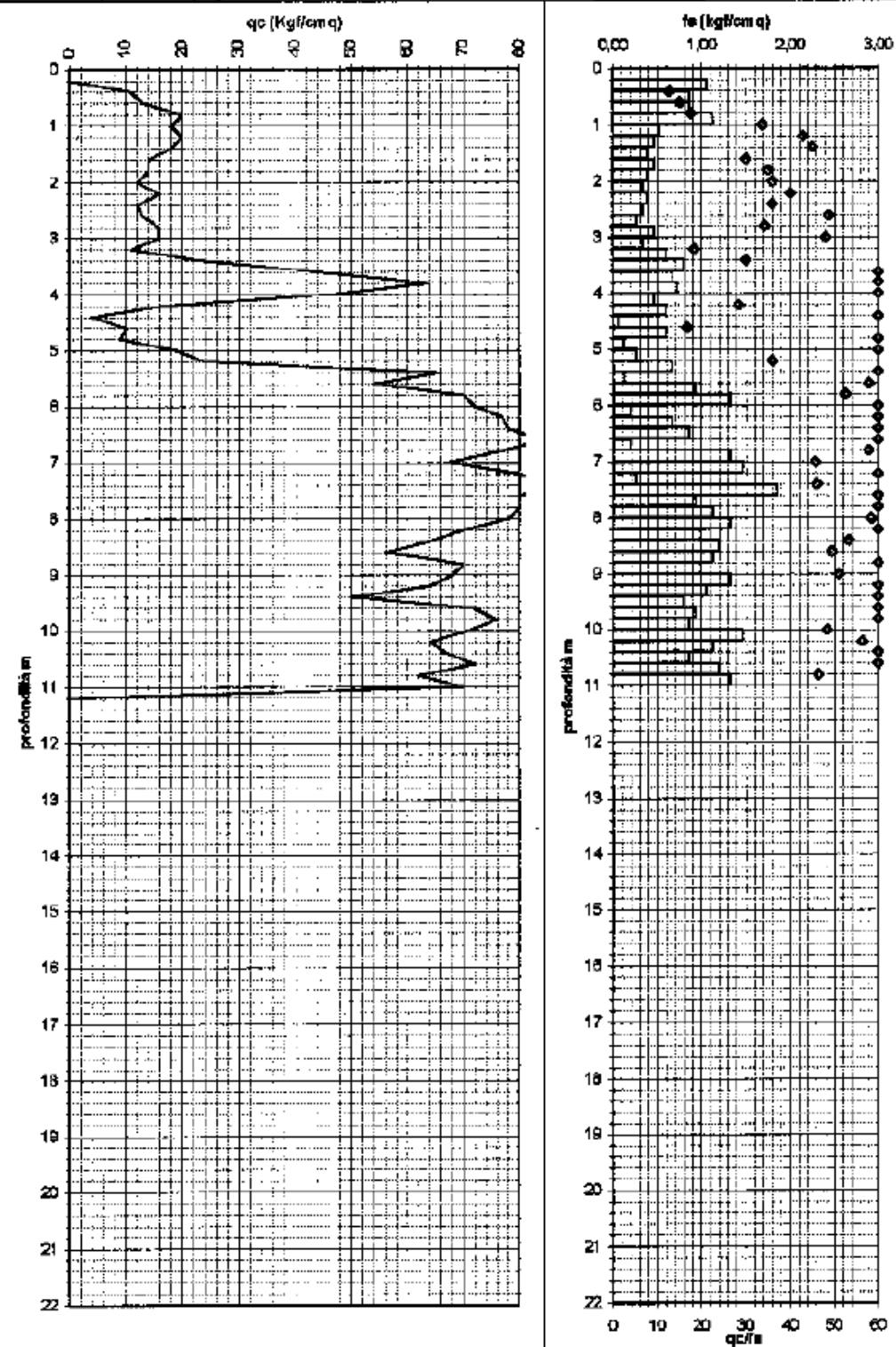
$$D = -1,2 \div -1,4 \text{ m}$$

In rapporto alle caratteristiche litologiche, all'assetto idrogeologico e della prevista quota di posa delle fondazioni, non si verificheranno interazioni sensibili fra le opere fondali e la falda idrica sotterranea.

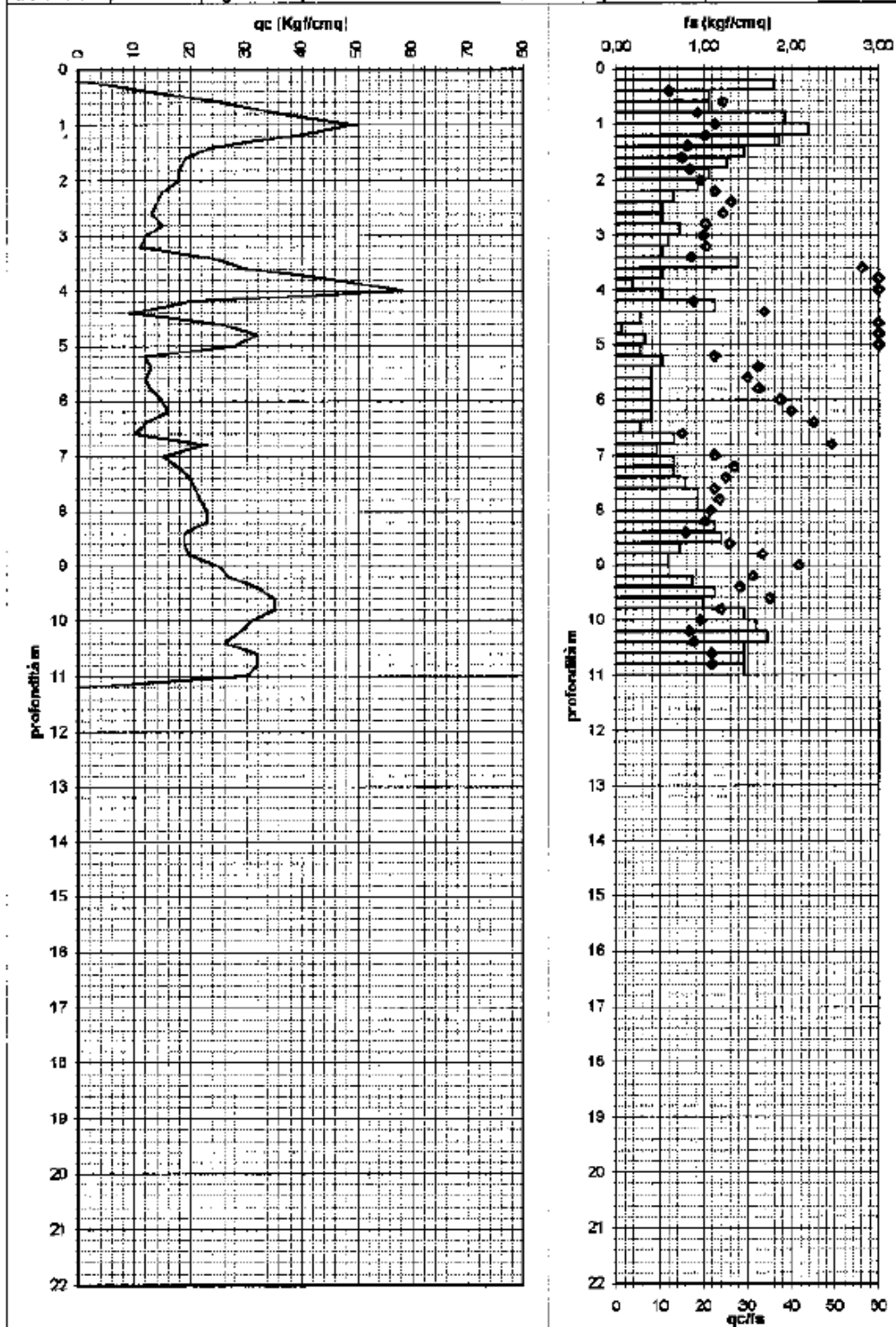
La pressione ammissibile sul suolo, nel contesto di progetti esecutivi, dovrà essere definita successivamente ad un adeguato incremento dei punti di indagine ed in relazione alle caratteristiche delle opere fondali e delle strutture in elevazione.

In funzione delle proprietà fisico naturali del sito ed all'intorno dello stesso, si riscontrano idonee condizioni per l'utilizzo ai fini edificatori dell'area di variante n° 1.

STUDIO GEOLOGICO CENTROGEO Correggio (RE) Piazza S. Quirino n° 6	PROVA PENETROMETRICA C.P.T. N° 1	COMMITTENTE: Amm. Com. NOVI
OPERATORE: DR. BRUSCHI-MAZZETTI	ATTREZZO: Pen. statico TM18	CANTIERE NOVI DI MODENA LOTTO N° 1
QUOTA: piano campagna	Profondità falda: -5,27 m da pc	DATA: 17/12/98



STUDIO GEOLOGICO CENTROGEO Correggio (RE) Piazza S. Quirino n° 6	PROVA PENETROMETRICA C.P.T. N° 2	COMMITTENTE: Amm. Com. NOVI
OPERATORE: DR. BRUSCHI-MAZZETTI	ATTREZZO: Pen. statico TM18	CANTIERE NOVI DI MODENA LOTTO N° 1
QUOTA: piano campagna	Profondità falda: -3,22 m da pc	DATA: 17/12/98



Area 3

CARATTERI GEOMECCANICI DEL SOTTOSUOLO

Le caratteristiche litomeccaniche del sottosuolo, sono state desunte dall'esecuzione di due prove penetrometriche CPT tipo RM: prove N° 1-2. L'analisi d'insieme della sequenza litomeccanica riscontrata, evidenzia che i terreni presenti nei primi 11 metri del sottosuolo, escludendo il primo metro di terreno agrario, sono schematicamente riassumibili in quattro unità geotecniche significative.

SUCCESSIONE GEOTECNICA

Ia Unità : Orizzonte a discreta variabilità litologica e di consistenza in senso laterale, costituito da alternanze argilloso limose sovraconsolidate per fenomeni di essiccazione superficiale, nella fascia orientale (cpt 2) e limose limoso sabbiose, nel settore occidentale: CPT 1. Il grado di compressibilità è sensibilmente variabile in senso laterale ed oscilla da valori medi a bassi; profondità da -1,0 a -2 m p.c.

IIa Unità : Alternanze ad elevata variabilità litologica in senso laterale, costituite nel settore orientale: cpt 2, da litotipi essenzialmente argilloso limosi, con inclusi alla base, dello strato lenti sabbiose a medio elevato grado di addensamento; nella fascia occidentale: cpt 1, si rilevano invece termini limoso sabbiosi e sabbioso, sabbioso limosi, saturi, con incluse locali lenti limoso argillose. Il grado di compressibilità è medio - medio basso, con valori bassi - molto bassi in corrispondenza delle lenti sabbiose, ad elevata variabilità dello stesso in senso verticale; profondità da -2 a -5 m p.c.

IIIa Unità: Orizzonte costituito da termini sabbiosi saturi, ad elevato grado di addensamento nel settore ovest: cpt 1, mentre nella fascia est del sito: cpt 2, sono presenti alternanze di litotipi prevalentemente limosi, limoso sabbiosi con intercalati livelli sabbioso limosi, a medio grado di compressibilità, che presenta elevata variabilità in senso laterale; profondità da -5 a -7 m p.c.

IVa Unità: Orizzonte costituito essenzialmente da litotipi argillosi e argilloso limosi sovraconsolidati, saturi nella fascia est, ad analoghe profondità, procedendo verso ovest, tali litotipi sono sostituiti da bancate essenzialmente sabbiose ad elevato grado di addensamento; il grado compressibilità è globalmente basso - molto basso, moderatamente variabile in senso laterale e tendenzialmente in aumento con la profondità; profondità da -7 a -11 m p.c.

PORTANZA DEI TERRENI

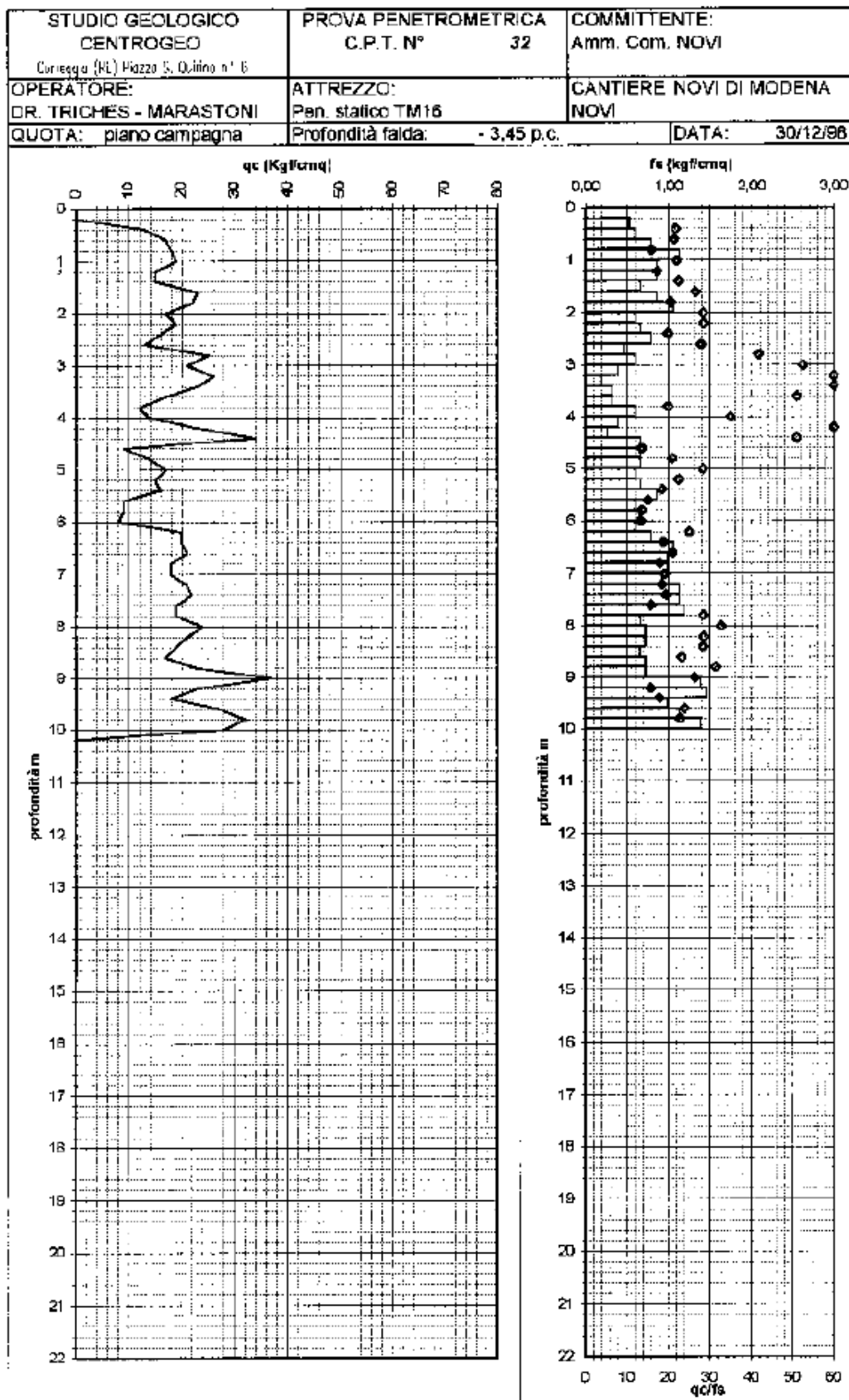
Le caratteristiche litomeccaniche che contraddistinguono il sottosuolo dell'area di lottizzazione n° 1, evidenziano una discreta variabilità dei valori di consistenza in senso laterale e verticale. In funzione di quanto esposto e dell'interesse tra le prove eseguite, rapportate all'estensione del sito, necessita prevedere un adeguato numero di punti di indagine integrativi per definire i valori di pressione ammissibile sul suolo, da determinarsi in relazione alle caratteristiche delle opere in elevazione. In linea di massima, per strutture che non impongano elevati carichi concentrati sul terreno, può essere considerato l'utilizzo di fondazioni dirette che trasmettano un carico ammissibile al sottosuolo equivalente a:

$$q_a = 0,9 \div 1,0 \text{ kgf/cm}^2$$

per un piano di posa delle opere fondali ubicato ad una quota dal piano campagna equivalente a:

$$D = -1,2 \div -1,4 \text{ m}$$

In rapporto alle caratteristiche litologiche, all'assetto idrogeologico e della prevista quota di posa delle fondazioni, non si verificheranno interazioni sensibili fra le opere fondali e la falda idrica sotterranea. La pressione ammissibile sul suolo, nel contesto di progetti esecutivi, dovrà essere definita successivamente ad un adeguato incremento dei punti di indagine ed in relazione alle caratteristiche delle opere fondali e delle strutture in elevazione. In funzione delle proprietà fisico naturali del sito ed all'intorno dello stesso, si riscontrano idonee condizioni per l'utilizzo ai fini edificatori dell'area di variante n° 1.



Area 5

CARATTERI GEOMECCANICI DEL SOTTOSUOLO

Le caratteristiche litomeccaniche del sottosuolo, sono state desunte dall'esecuzione di cinque prove penetrometriche CPT tipo RM: prove N° 4-5-6-7-8. L'analisi d'insieme della sequenza litomeccanica riscontrata, evidenzia che i terreni presenti nei primi 10÷11 metri del sottosuolo, escludendo i primi 10÷12 m di terreno agrario, sono schematicamente riassumibili in quattro unità geotecniche significative.

SUCCESSIONE GEOTECNICA

Ia Unità : Alternanze di litotipi sabbioso limosi - sabbiosi, a medio grado di compressibilità con inclusi livelli limosi - limoso sabbioso fini e argillosi - argilloso torbosi a spessore subordinato, tendenzialmente presenti alla base dello strato. I valori di qcm variano fra 8÷10 e 14 kgf/cmq con picchi di 24÷28 kgf/cmq in corrispondenza dei livelli sabbiosi, mentre fsm= 0,2÷0,3 kgf/cmq. Il grado di compressibilità dell'unità è di tipo medio e presenta una elevata variabilità sia laterale che verticale; profondità da -1,0 a -4 m p.c.

IIa Unità : Orizzonte, costituito da litotipi essenzialmente argilloso limosi e limoso argillosi, saturi, con valori di qcm variabili fra 10÷14 kgf/cmq ed fsm= 0,35÷0,5 kgf/cmq; il grado di compressibilità, di tipo medio, è contraddistinto da una discreta continuità laterale; profondità da -4 a -6 m p.c.

IIIa Unità: Alternanze di litotipi essenzialmente argillosi, e argilloso limosi, sovraconsolidati, saturi, con grado di compressibilità di tipo medio basso, continuo in senso laterale e tendenzialmente in aumento con la profondità; profondità da -6 a -8 m p.c.

IVa Unità: Sequenza costituita in prevalenza da litotipi sabbiosi e sabbioso limosi, saturi, contenente intercalazioni limose e limoso argillose, a discreta variabilità del grado di compressibilità sia in senso laterale che verticale. I valori di qcm variano fra 30÷50÷70 kgf/cmq, in corrispondenza degli orizzonti sabbiosi mentre, ove si rilevano le intercalazioni limoso argillose, qcm= 13÷16÷18 kgf/cmq, fsm oscilla fra 0,5 e 0,7÷0,8 kgf/cmq; profondità da -8 a -11 m p.c.

PORTANZA DEI TERRENI

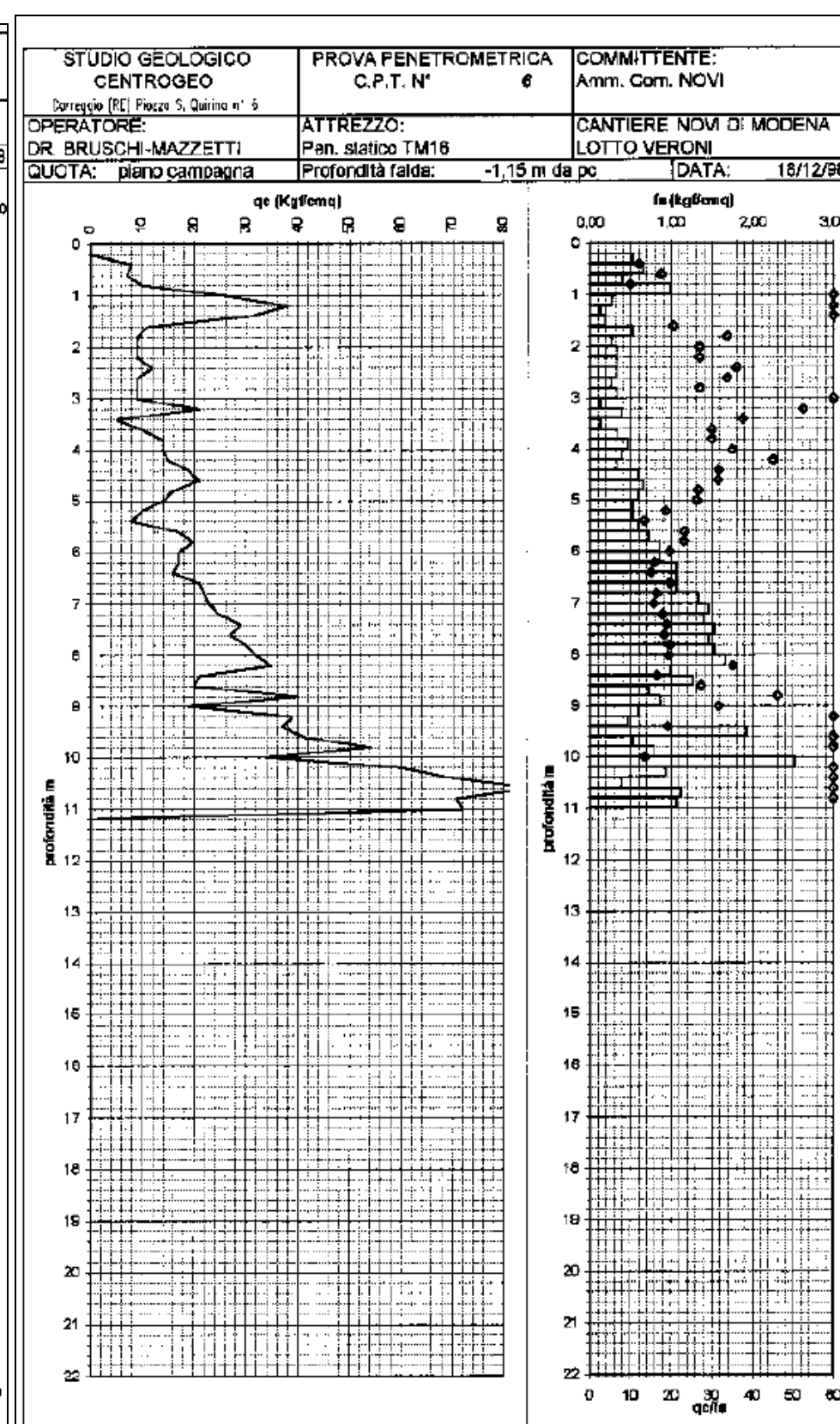
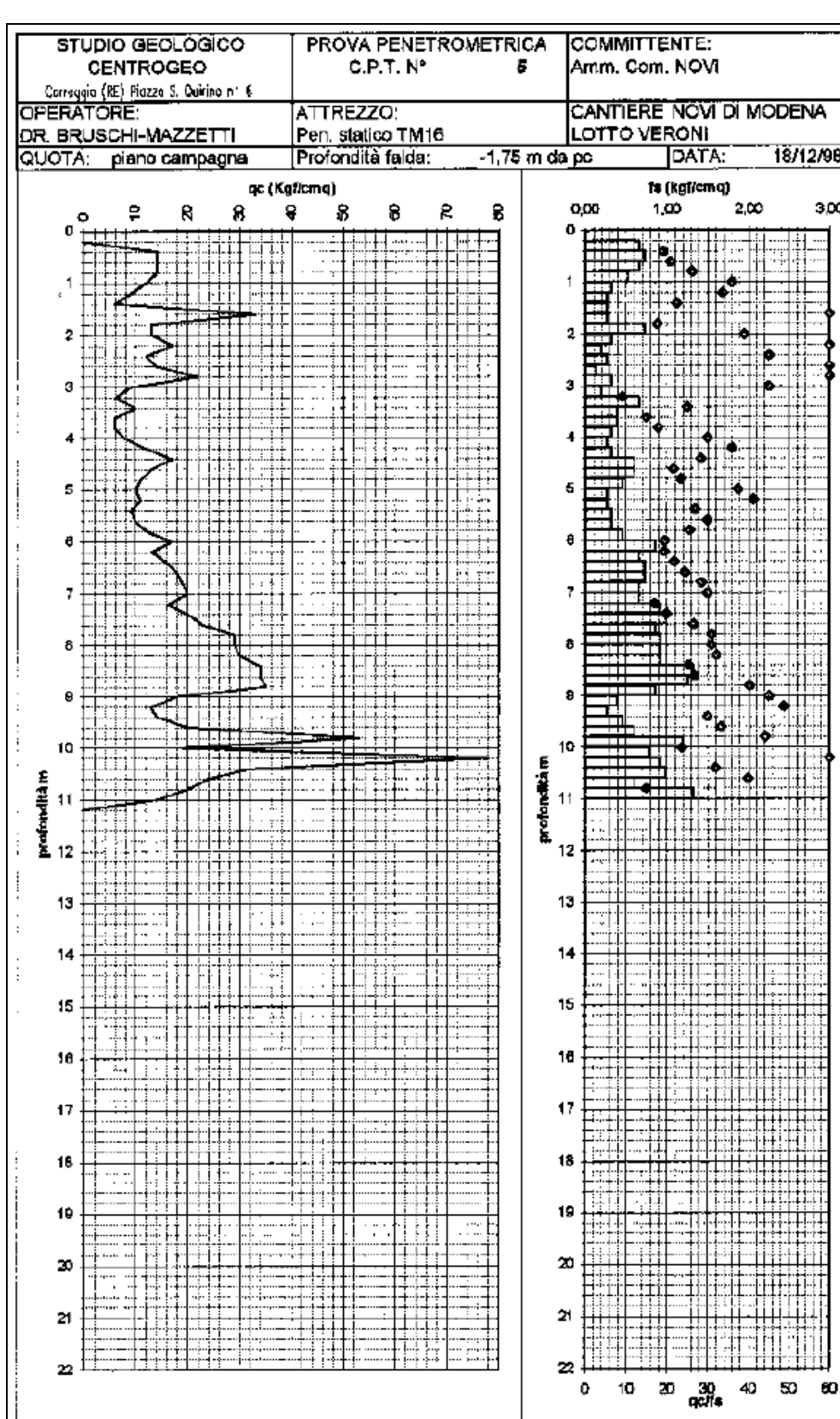
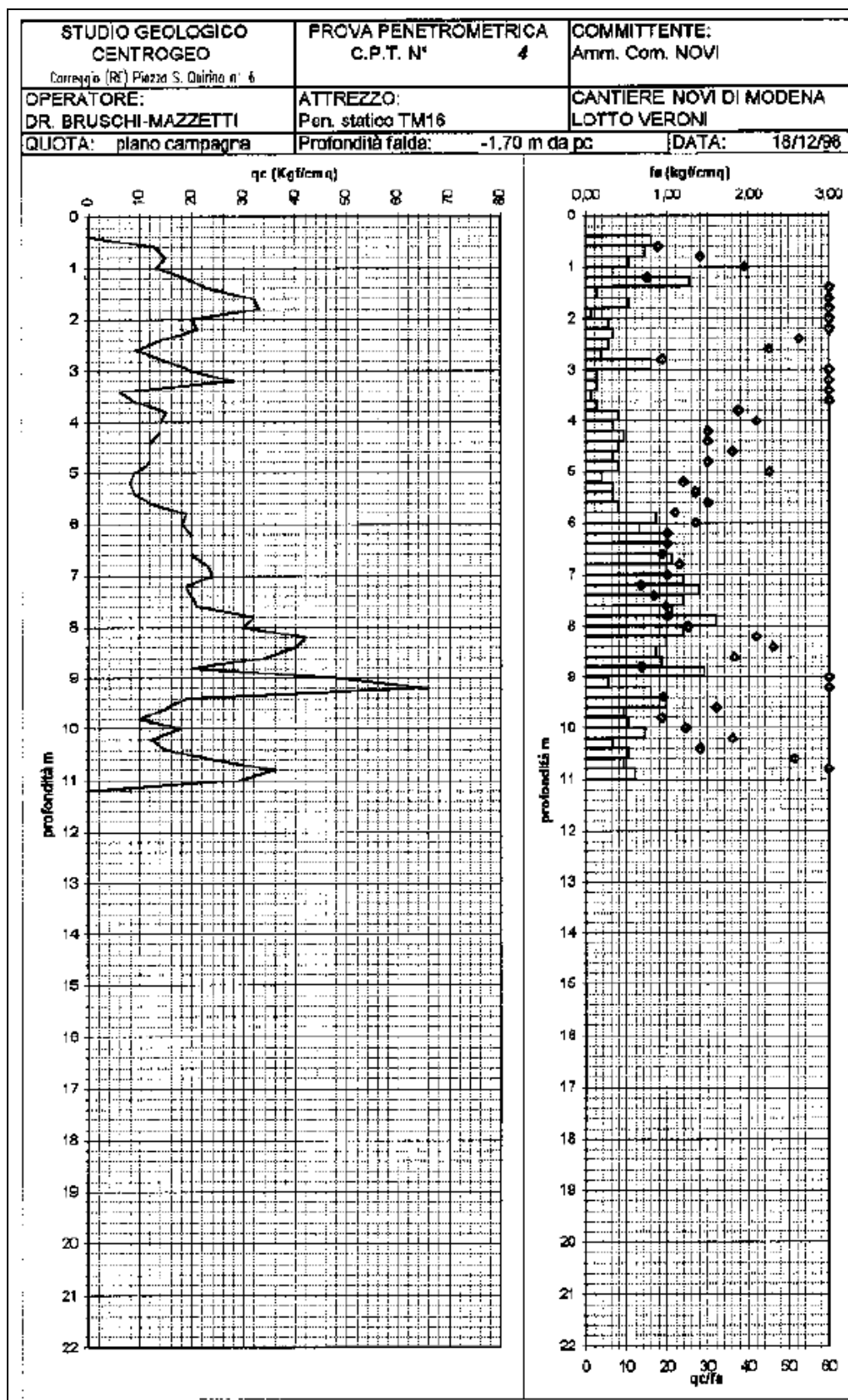
Le caratteristiche litomeccaniche che contraddistinguono il sottosuolo dell'area di lottizzazione n° 5, evidenziano una discreta variabilità dei valori di consistenza e subordinatamente litologica in senso laterale. In funzione di quanto esposto e dell'interasse tra le prove eseguite, nell'ambito delle progettazioni esecutive, necessita prevedere un adeguato numero di punti di indagine integrativi per definire i valori di pressione ammissibile sul suolo, da determinarsi in rapporto alle caratteristiche delle opere in elevazione. In linea di massima, per strutture che non impongano elevati carichi concentrati sul terreno, può essere considerato l'utilizzo di fondazioni dirette che trasmettano un carico ammissibile al sottosuolo equivalente a:

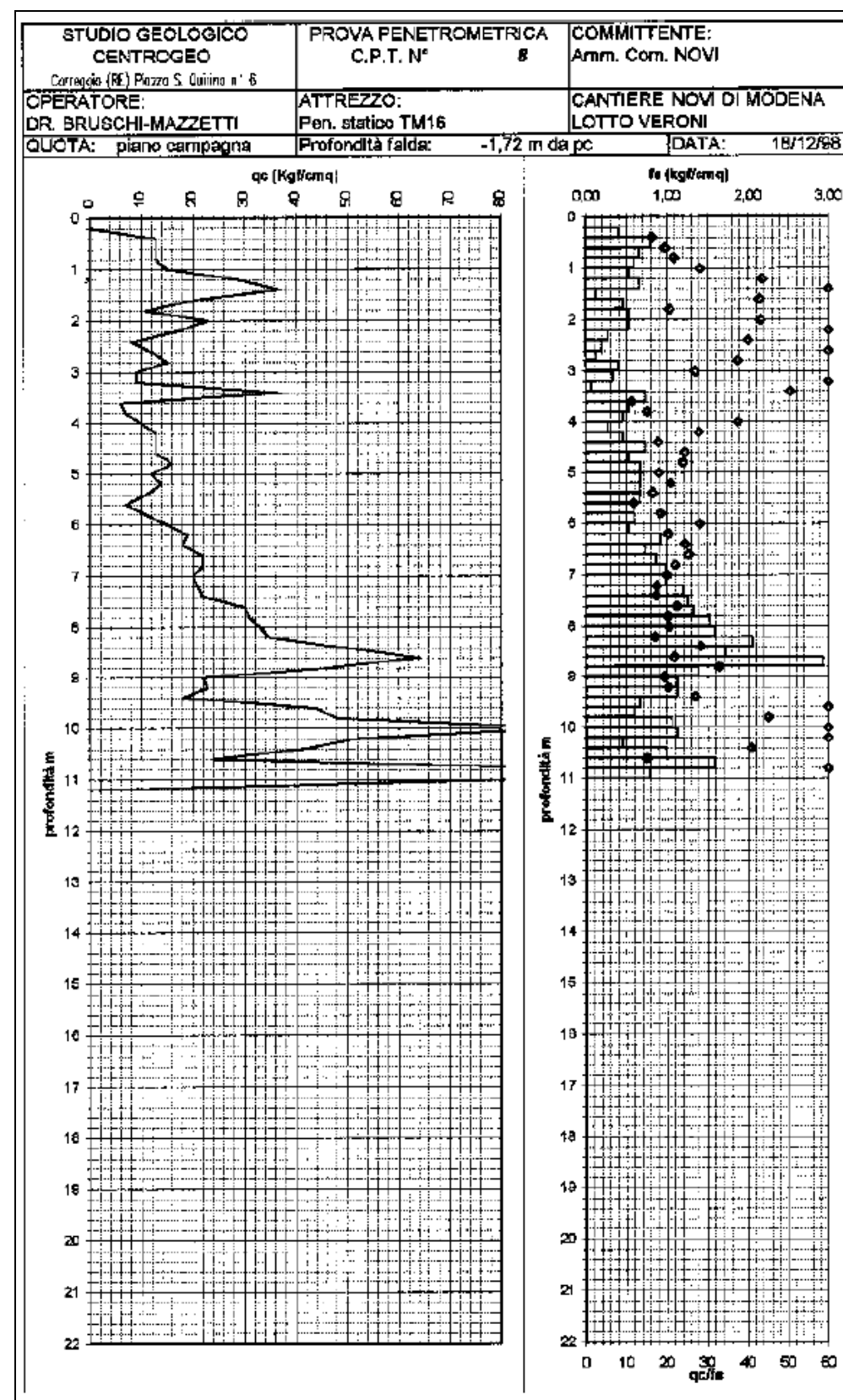
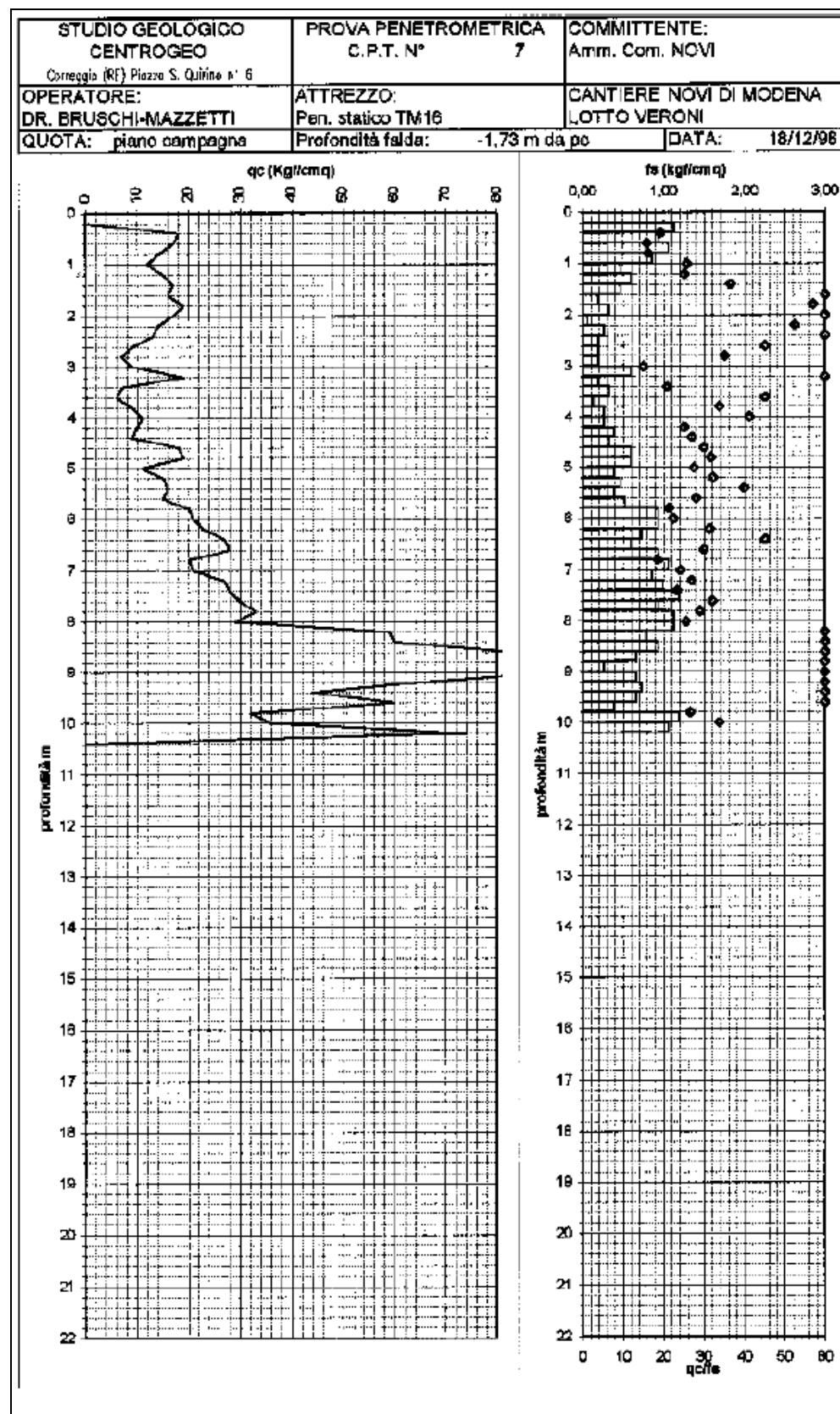
$$q_a = 0,8 \div 0,9 \text{ kgf/cmq}$$

per un piano di posa delle opere fondali ubicato ad una quota dal piano campagna equivalente a:

$$D = -1,2 \div -1,4 \text{ m}$$

In rapporto alle caratteristiche litologiche, all'assetto idrogeologico e della prevista quota di posa delle fondazioni, non si verificheranno interazioni sensibili fra le opere fondali e la falda idrica sotterranea. Le analisi territoriali effettuate, unitamente alle indagini geognostiche ed indicazioni precedentemente descritte, evidenziano condizioni geologiche idonee per l'utilizzo a fini edificatori dell'area di zonizzazione N° 5





Area 6

CARATTERI GEOMECCANICI DEL SOTTOSUOLO

Le caratteristiche litomeccaniche del sottosuolo, sono state desunte dall'esecuzione di tre prove penetrometriche CPT tipo RM: prove N° 11-14-15. L'analisi d'insieme della sequenza litomeccanica riscontrata, evidenzia che i terreni presenti nei primi 10-11 metri del sottosuolo, escludendo il primo metro di terreno agrario, sono schematicamente riassumibili in tre unità geotecniche significative.

SUCCESSIONE GEOTECNICA

Ia Unità : Alternanze di litotipi essenzialmente limosi, limoso argillosi, con intercalati subordinati livelli lentiformi sabbioso limosi e sabbioso fini, che procedendo verso il settore occidentale: cpt 15, divengono i termini prevalenti; i valori di qcm oscillano mediamente, fra 9-12 kgf/cm², in cpt 11 e 15, mentre in cpt 14 qcm = 7 ÷ 9 kgf/cm², fsm corrisponde a 0,25 ÷ 0,35 kgf/cm². Il grado di compressibilità è medio - medio elevato e risulta discretamente variabile lateralmente; profondità da -1,0 a -3,5 m p.c.

IIa Unità : Orizzonte sovraconsolidato, essenzialmente argilloso limoso e limoso argilloso, saturo con intercalati subordinati livelli limosi limoso sabbiosi a spiccata lenticolarità, a grado di compressibilità medio basso, basso, contraddistinto da una discreta continuità in senso laterale. I valori di qcm variano 18 e 22 kgf/cm² con picchi di 28-34 kgf/cm²; profondità da -3,5 a -8 m p.c.

IIIa Unità: Alternanze di litotipi, sabbioso fini e limosi - limoso sabbiosi, saturi, con intercalate subordinate lenti argillose - argilloso limose; il grado di compressibilità è discretamente differenziato lateralmente e verticalmente, variando da valori medi a medio bassi - bassi. I valori di qcm oscillano fra 10-14-16 kgf/cm² in corrispondenza delle lenti a granulometria fine, mentre qcm = 20-30-50 kgf/cm² ove si rilevano gli orizzonti sabbiosi; fsm oscilla fra 0,3 ÷ 0,5 kgf/cm². profondità da -8 a -11 m p.c.

PORTANZA DEI TERRENI

Le caratteristiche litomeccaniche che contraddistinguono il sottosuolo dell'area di lottizzazione n° 6, evidenziano nei primi 3-4 m da pc naturale, una discreta variabilità dei valori di consistenza in senso laterale. In funzione di quanto esposto e dell'interasse tra le prove eseguite necessita prevedere un adeguato numero di punti di indagine integrativi per definire i valori di pressione ammissibile sul suolo, da determinarsi in rapporto alle caratteristiche delle opere in elevazione.

In linea di massima, per strutture che non impongano elevati carichi concentrati sul terreno, ed in considerazione di quanto sopra esposto, i valori del carico ammissibile e del relativo piano di incastro delle opere fondali, sono stati definiti per settori con caratteristiche litomeccaniche omogenee, come di seguito esposto:

Fascia centrale ed occidentale: CPT 11 e 15

qa = 0,8 kgf/cm²

per un piano di posa delle opere fondali ubicato ad una quota dal piano campagna equivalente a:

D = -1,0 m

Settore est: CPT 14

qa = 0,7 kgf/cm²

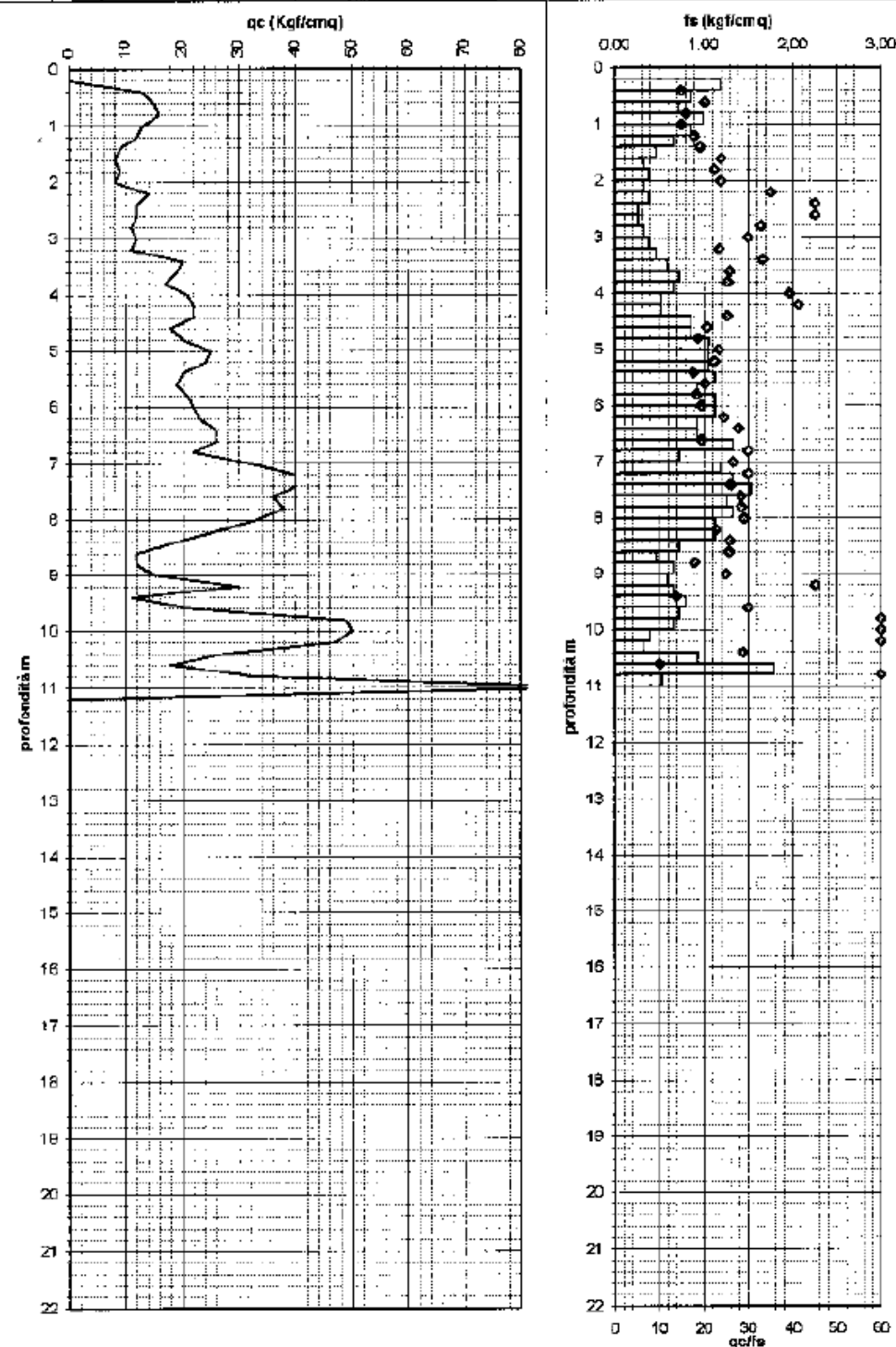
per un piano di posa delle opere fondali ubicato ad una quota dal piano campagna equivalente a:

D = -1,2 m

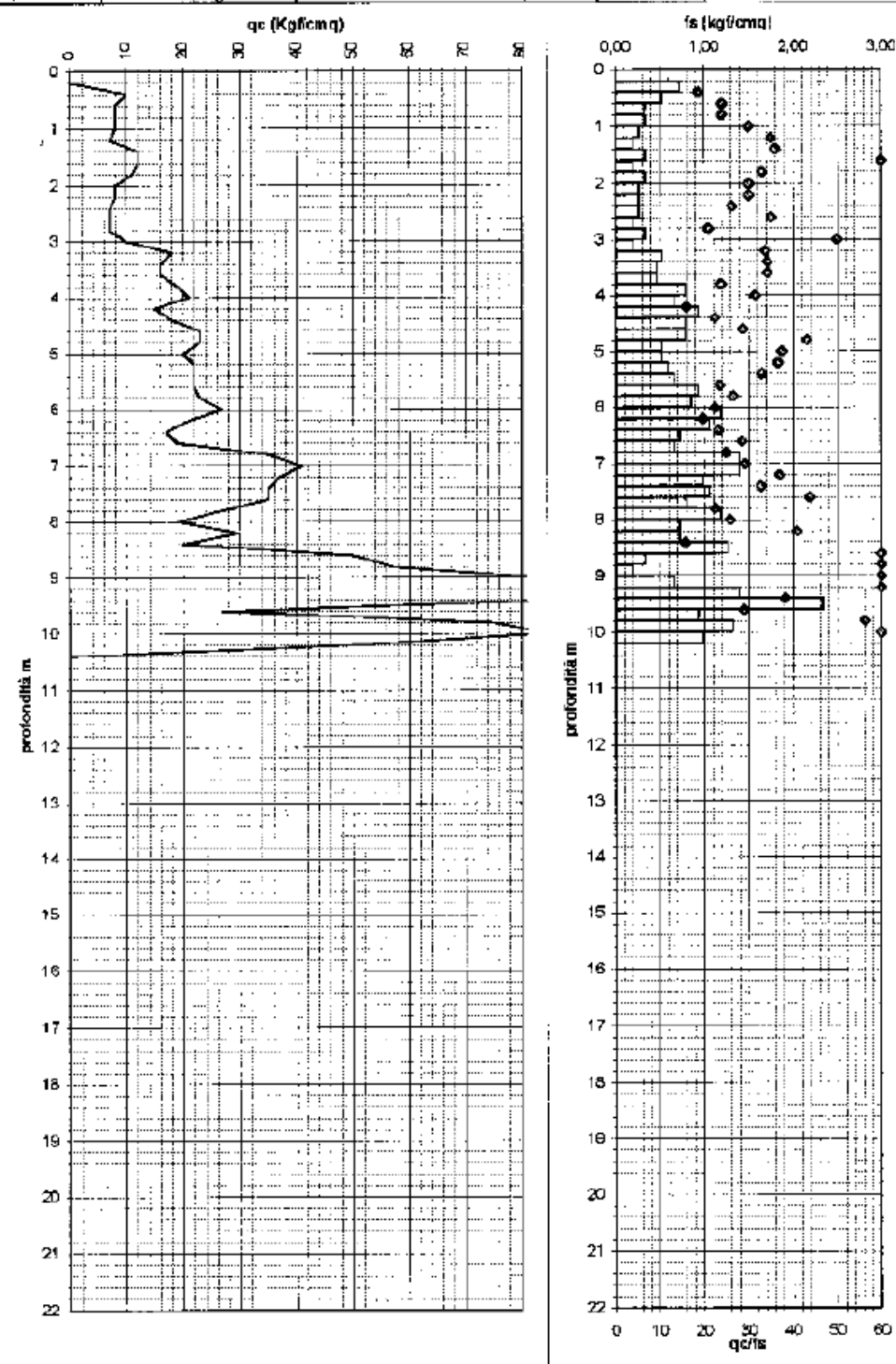
In rapporto alle caratteristiche litologiche, all'assetto idrogeologico e della prevista quota di posa delle fondazioni, non si verificheranno interazioni sensibili fra le opere fondali e la falda idrica sotterranea. Le analisi territoriali effettuate, unitamente alle indagini geognostiche ed indicazioni precedentemente descritte, evidenziano condizioni geologiche idonee per l'utilizzo a fini edificatori dell'area di espansione residenziale N° 6. Qualora le strutture in elevazione non potessero sopportare sensibili cedimenti differenziali, in particolare per gli interventi localizzati nel settore orientale dell'area: CPT 14, è opportuno prevedere l'adozione di fondazioni di tipo profondo. In tale caso è consigliabile spingere le profondità di prova a circa -20 ÷ -25

m p.c. per valutare le caratteristiche geotecniche dei terreni per uno spessore significativo sotto la quota di incastro della punta dei pali. Ne consegue che la pressione ammissibile sul suolo nell'ambito di progetti esecutivi dovrà essere definita successivamente ad un adeguato incremento dei punti di indagine ed in relazione alle caratteristiche delle opere fondali e delle opere in elevazione.

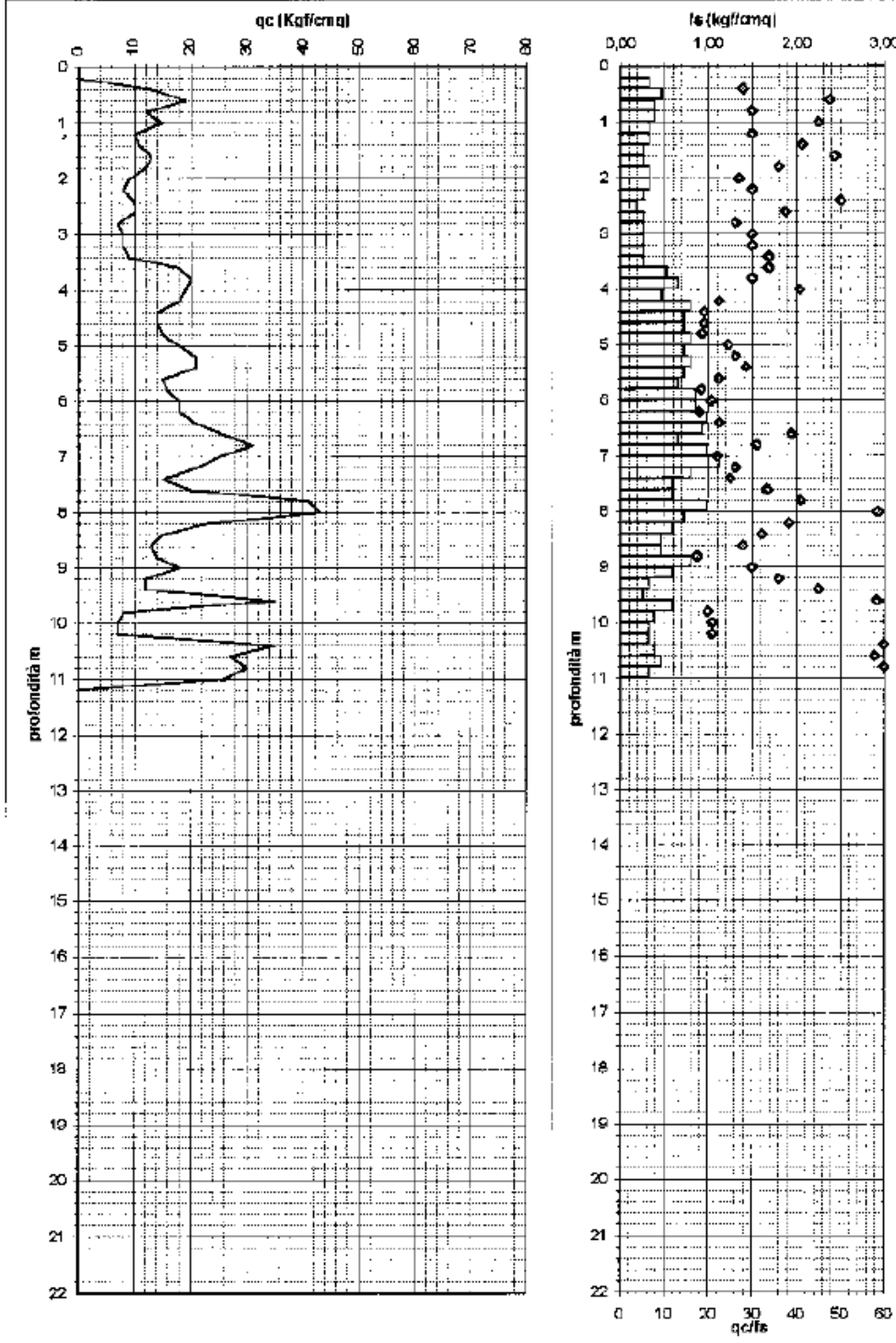
STUDIO GEOLOGICO CENTROGEO	PROVA PENETROMETRICA C.P.T. N°	COMMITTENTE: Amm. Com. NOVI
Correggio (RE) Piazza S. Quirino n° 6	11	
OPERATORE: DR. MARASTONI-MAZZETTI	ATTREZZO: Pen. statico TM16	CANTIERE NOVI DI MODENA
QUOTA: piano campagna	Profondità falda: >1,45 m da pc	DATA: 23/12/88



STUDIO GEOLOGICO CENTROGEO	PROVA PENETROMETRICA C.P.T. N°	COMMITTENTE: Amm. Com. NOVI
Correggio (RE) Piazza S. Quirino n° 6	14	
OPERATORE: DR. MARASTONI-MAZZETTI	ATTREZZO: Pen. statico TM16	CANTIERE NOVI DI MODENA
QUOTA: piano campagna	Profondità falda: >1,0 m da pc	DATA: 24/12/88



STUDIO GEOLOGICO CENTROGEO	PROVA PENETROMETRICA C.P.T. N°	COMMITTENTE: Amm. Com. NOVI
Correggio (RE) Piazza S. Quirino n° 6	15	
OPERATORE: DR. MARASTONI-MAZZETTI	ATTREZZO: Pen. statico TM16	CANTIERE NOVI DI MODENA
QUOTA: piano campagna	Profondità falda: non rilevata	DATA: 24/12/88



8.2. Indagini geognostiche in sito

Per integrare i dati ottenuti dal PRG sono state effettuate tre nuove prove penetrometriche statiche CPT direttamente nella zona di interesse. Quest'indagine ha avuto lo scopo di fornire dati e informazioni necessarie per la caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce ad un livello di approfondimento adeguato alle necessità del progetto.

I risultati delle 3 prove penetrometriche sono poi stati tra loro confrontati per elaborare il modello geotecnico assunto nei calcoli.

Sono state effettuate tre prove penetrometriche statiche (CPT1, CPT2 e CPT3) con penetrometro statico Sunda da 100 kN, che hanno raggiunto la profondità di 31 m dal piano campagna nella prova 1 e di 10 m per le altre due prove. Al termine dei sondaggi è stato misurato il livello idrico di falda, intercettato ad una profondità di 3 m per tutte e tre le prove.

L'andamento delle prove è risultato abbastanza omogeneo, come emerge nel grafico riportato di seguito, in cui si confronta l'andamento della resistenza alla punta registrato nei tre sondaggi.

Sulla base dei valori medi di resistenza alla punta (R_p) dei diversi strati omogenei si è poi calcolata la coesione non drenata (c_u) che è data, secondo diversi autori, dal rapporto $R_p/15 - 30$.

Da questa è poi possibile ricavare la pressione ammissibile in condizioni non drenate.

I valori di riferimento di cui si è parlato sono riportati schematicamente nelle tabelle che seguono e nei certificati in allegato 5.

PARAMETRI GEOTECNICI MEDI CPT I						
Strato n.	Profondità		qcm	Cum	Alfa	Mo
	da m	a m	(daN/cm ²)	(daN/cm ²)		(cm ² /Kg)
1	0	0.60	20.50	0.93	2.98	61.00
2	0.60	2.20	21.75	0.80	2.92	63.50
3	2.20	2.80	10.00	0.62	4.00	40.00
4	2.80	3.20	13.50	0.54	3.48	47.00
5	3.20	4.20	9.80	0.50	4.04	39.60
6	4.20	5.80	15.50	0.63	3.29	51.00
7	5.80	7.60	14.44	0.64	3.38	48.89
8	7.60	12.00	29.36	1.05	2.68	78.73
9	12.00	12.40	86.00	1.61	2.23	192.00
10	12.40	13.00	100.00	2.17	2.20	220.00
11	13.00	13.40	80.00	2.99	2.25	180.00
12	13.40	14.40	98.80	3.46	2.20	217.60
13	14.40	15.20	137.50	3.02	2.15	295.00
14	15.20	16.00	65.00	3.10	2.31	150.00
15	16.00	17.20	106.67	3.03	2.19	233.33
16	17.20	18.60	115.71	4.08	2.17	251.43

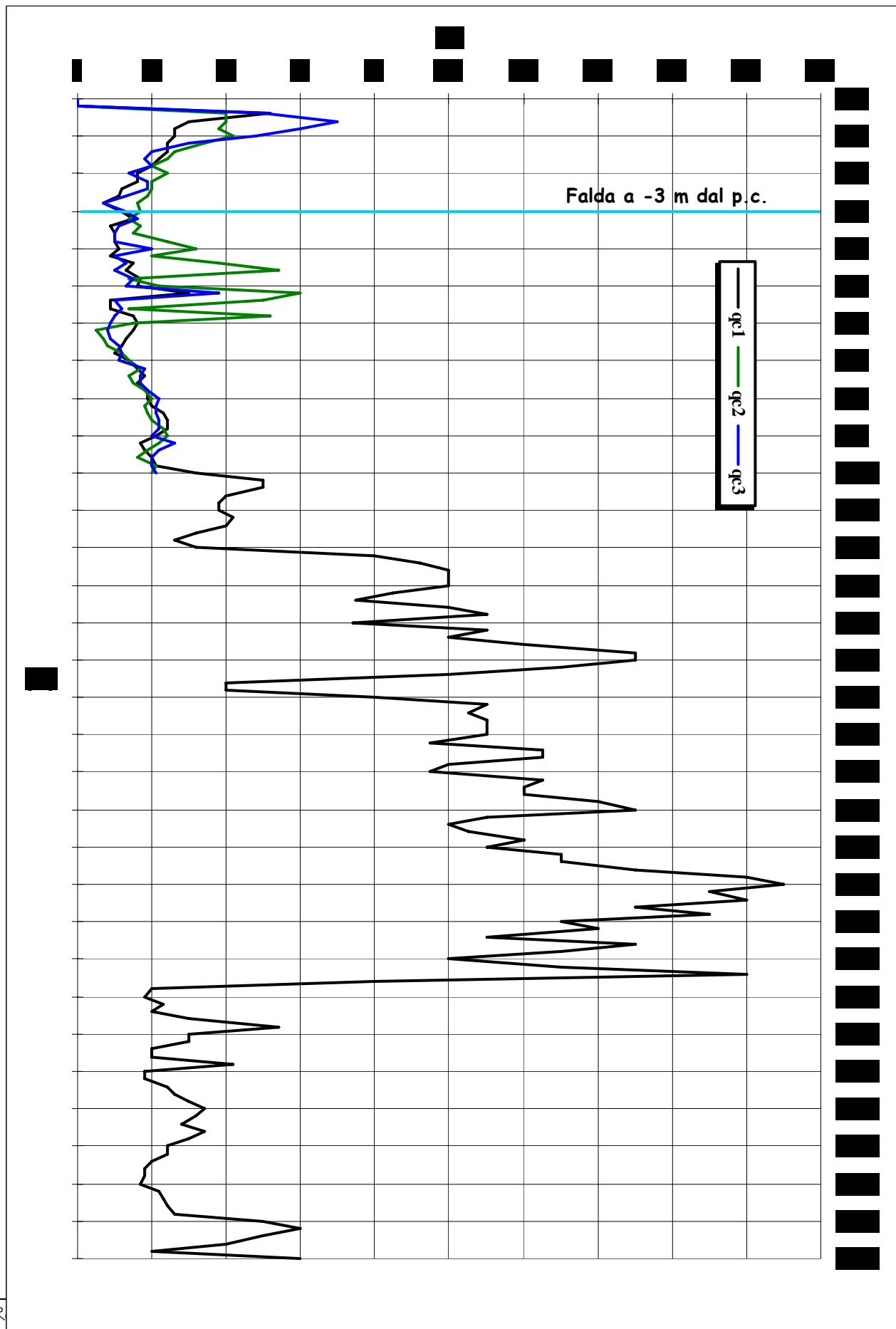
17	18.60	19.00	145.00	3.96	2.14	310.00
18	19.00	20.00	109.00	4.22	2.18	238.00
19	20.00	20.60	136.67	5.17	2.15	293.33
20	20.60	21.80	173.33	5.07	2.12	366.67
21	21.80	23.60	127.78	4.63	2.16	275.56
22	23.60	24.60	22.20	2.00	2.90	64.40
23	24.60	25.20	38.00	1.00	2.53	96.00
24	25.20	26.60	24.00	0.96	2.83	68.00
25	26.60	28.00	30.29	0.98	2.66	80.57
26	28.00	29.80	21.33	0.85	2.94	62.67
27	29.80	31.00	46.67	1.13	2.43	113.33

PARAMETRI GEOTECNICI MEDI CPT 2						
Strato n.	Profondità		qcm	Cum	Alfa	Mo
	da m	a m	(daN/cm ²)	(daN/cm ²)		(cm ² /Kg)
1	0.00	1.40	27.50	1.06	2.7	75.00
2	1.40	2.60	21.17	0.82	2.9	62.33
3	2.60	3.60	15.80	0.74	3.3	51.60
4	3.60	4.60	33.60	1.04	2.6	87.20
5	4.60	5.00	18.00	1.27	3.1	56.00
6	5.00	6.00	38.20	1.14	2.5	96.40
7	6.00	6.80	8.00	0.76	4.5	36.00
8	6.80	8.40	16.88	0.74	3.2	53.75
9	8.40	10.00	20.63	0.72	3.0	61.25

PARAMETRI GEOTECNICI MEDI CPT 3						
Strato n.	Profondità		qcm	Cum	Alfa	Mo
	da m	a m	(daN/cm ²)	(daN/cm ²)		(cm ² /Kg)
1	0.00	1.20	36.86	1.21	2.54	93.71
2	1.20	2.40	18.33	0.81	3.09	56.67
3	2.40	3.00	11.00	0.60	3.82	42.00
4	3.00	5.20	15.09	0.63	3.33	50.18
5	5.20	7.00	10.22	0.58	3.96	40.44
6	7.00	7.80	18.60	0.72	3.08	57.20
7	7.80	10.00	21.55	0.83	2.93	63.09

Analisi dei risultati e modello geotecnico

Dall'analisi comparata delle tre prove si vede come, in profondità, siano presenti alcuni livelli a caratteristiche geomeccaniche ben comparabili ed individuabili in tutte e tre le prove.



Dal piano campagna fino alla profondità di 1.50 si può individuare un livello superficiale indurito, livello che probabilmente risente dell'interazione con gli agenti atmosferici, quindi l'infiltrazione dell'acqua e la conseguente degradazione del suolo.

Sotto questo strato si sviluppa un livello a Q_c approssimabile a 16 daN/cm^2 , con valori inferiori nella CPT1 e maggiori nella CPT2, sotto il quale, per tutta l'area indagata si sviluppa un primo strato a Q_c e C_u abbastanza alto. Questo terzo livello di spessore variabile fra 0.40 m per la CPT1 e la CPT 3 e 2 m per la CPT2, si spinge fino alla profondità massima di 6 m, ed ha valori medi di Q_c pari a 23.3 daN/cm^2 .

Scendendo in profondità, fra i 6 ed i 10 m dal piano campagna, si individua un altro strato piuttosto uniforme, assimilabile al secondo descritto, ed individuabile in tutte e tre le prove i cui valori di Q_c sono approssimabile a $17,5 \text{ daN/cm}^2$, con valori inferiori nella CPT2 e maggiori nella CPT1.

I parametri medi massimi e minimi individuati per i primi 10 m di sottosuolo indagato sono riportati nella tabella seguente.

	CPT 1			CPT 2			CPT 3		
	Profondità (m)	Q_c media (daN/cm^2)	C_u (daN/cm^2)	Profondità (m)	Q_c (daN/cm^2)	C_u (daN/cm^2)	Profondità (m)	Q_c (daN/cm^2)	C_u (daN/cm^2)
Strato superficiale	0.00 - 2.20	21.75	0.80	0.00 - 1.40	27.50	1.06	0.00 - 1.60	36.86	1.21
Valore Min	3.20 - 4.20	9.80	0.50	6.00 - 6.80	8.00	0.76	5.20 - 7.00	10.22	0.58
Valore Max	20.60 - 21.80	173.33	5.07	5.00 - 6.00	38.20	1.14	7.80 - 10.00	21.55	0.83

Sotto i 10 m di profondità i dati che si hanno fanno riferimento unicamente alla prova CPT1, che è l'unica che si è spinta fino alla profondità di 31 m. Analizzando tale prova si vede che scendendo sotto i 10 m si sviluppa un nuovo livello, dello spessore di circa 2 m, che ha valori medi di Q_c pari a 38.10 daN/cm^2 . Sotto questo strato è presente uno spesso pacco di sabbie che si spinge fino alla profondità di circa 23.5 m ($Q_c 116.15 \text{ daN/cm}^2$) interrotto fra i 15 ed i 16 m da un livello limoso con Q_c di 40 daN/cm^2 .

Sotto il pacco di sabbie i valori di Q_c si riassessano su valori medi di 25.71 , per aumentare nuovamente sui 30 m e raggiungere valori di 46.67 daN/cm^2 .

8.3. Confronto fra le prove

I dati ricavati da PRG insieme con le tre nuove prove CPT effettuate nel lotto in esame hanno consentito di individuare i caratteri geomeccanici dei primi 30 m del sottosuolo.

Un'analisi d'insieme indica in genere la presenza di un orizzonte superficiale sovra consolidato fino a circa 1,5 e 2 m di profondità, correlabile a fenomeni di essiccazione. Detto livello geomeccanico è in stretta correlazione con l'escursione della falda freatica (che nelle 3 prove fatte risulta essere a 3 m dal piano campagna) e quindi non deve essere utilizzato come livello primario portante per fondazioni, dato che lo stesso è suscettibile di variazioni in volume conseguentemente a variazioni del tenore in umidità e della soggiacenza della falda freatica. Tale orizzonte interessato da sollecitazioni anche di non rilevante entità potrebbe essere soggetto a rotture differenziate e quindi determinare la trasmissione delle tensioni agli orizzonti a scarsa capacità portante ad essi sottostanti.

Scendendo poi in profondità si riscontra uno strato costituito prevalentemente da alternanze di litotipi argillosi nei primi 10 m dal piano campagna, che sui 6 - 7 m di profondità è interrotto da un livello sabbioso, a spiccata lenticolarità.

Superati i primi 10 m dal piano campagna compaiono spesse bancate sabbiose che, con valori di resistenza alla punta di solito maggiori di 80 daN/cm² si spingono fino a circa 23,5 m di profondità. Questo spesso banco di sabbia è contraddistinto da alternanza di livelli limo sabbiosi alla profondità di 15 / 16 m dal piano campagna, i cui valori di resistenza sono intorno ai 40 daN/cm².

Dalle indagini estratte da PRG si è desunto che superato lo strato di essiccamento in genere si rilevano i valori minimi delle caratteristiche meccaniche in corrispondenza del limite di saturazione dei terreni da parte della falda freatica. Successivamente, a parità di componenti litologiche si ha un tendenziale aumento, più o meno regolare, del grado di consolidazione con l'incremento della profondità derivante dalla crescita della pressione geostatica efficace.

Di conseguenza i litotipi che contraddistinguono il sottosuolo del territorio comunale di Novi sono caratterizzati di solito da un grado di consolidazione normale.

9 ANALISI SUSCETTIVITÀ ALLA LIQUEFAZIONE (ESTRATTO DA PRG)

Nell'ambito della stesura del PRG del comune di Novi è stata fatta un'analisi della suscettività dei terreni alla liquefazione, di cui si riportano di seguito le considerazioni fatte.

Le indagini geognostiche eseguite denotano la presenza di litotipi essenzialmente incoerenti generalmente riscontrabili a profondità comprese tra -1,5 / -2,5 m p.c. e tra -3 / -6 m p.c. e quindi in spessori del sottosuolo direttamente interessati dai bulbi di pressione generati dalle fondazioni degli edifici. In funzione di quanto esposto e della quota della falda freatica rinvenibile tra -1,5 / -2 e -4 m p.c., si è attuata l'analisi di risposta a sollecitazioni dinamiche dei terreni in rapporto a condizioni di magnitudo degli eventi corrispondenti a quelli delle zone classificate con grado di sismicità 6. In relazione alle condizioni locali le verifiche sono state effettuate per i terreni sotto falda escludendo da tale analisi i litotipi con contenuto in granulometrie più fini di 0,005 mm superiore al 20 ± 25% poiché non liquefacibili.

Detta disamina è stata eseguita considerando l'assenza di manufatti poiché la stessa è la configurazione più sfavorevole per il rischio di liquefazione. Per i litotipi sabbioso fini presenti alle quote variabili tra -1,6 e -6 m p.c., si è fatto riferimento all'abaco di SEED per sabbie limose.

Prove CPT

Le valutazioni del rischio suscettività alla liquefacibilità degli strati in funzione dei valori di q_c riscontrati alle profondità comprese tra -2 e -6 m p.c., si è effettuato utilizzando l'abaco di SEED (1983), che definisce la liquefazione in rapporto alla tensione tangenziale ciclica ed alla q_c , come visualizzato in figura A. La determinazione della tensione tangenziale ciclica si è ottenuta dalla relazione:

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

I parametri della relazione sopra indicata sono come di seguito esposto:

τ_d = tensione tangenziale ciclica

σ_0 = tensione verticale totale

σ'_0 = tensione verticale efficace

A/g = valore di accelerazione massima sviluppato in superficie, equivalente a 0,15 per S6

z = profondità dello strato

ottenendo, per gli strati sabbioso limosi alle diverse quote, come indicato nelle seguenti tabelle, i relativi valori di τ_d / σ'_0 .

Zona Capoluogo:

Profondità strato m	Quota falda da p.c. m	τ_d/σ'_{v0}	qc kgf/cm ²
1,5 ÷ 2,5	-1,5	0,110	14 ÷ 18
2 - 3	-1,7	0,114	12 ÷ 14
3 - 4	-1,8	0,126	16 ÷ 20
4 - 5	-1,8	0,136	14 ÷ 18
5 - 7	-1,8	0,119	30 ÷ 50

In base ai valori di tensione tangenziale ciclica ottenuti risulta che gli strati analizzati, sebbene prossimi alla fascia potenzialmente a rischio, non rientrano nel campo dei terreni liquefacibili. In funzione dei valori di qc riscontrati, è comunque consigliabile, nelle fasi di studio di piano particolareggiato, procedere anche ad analisi con altri metodi quali: curve granulometriche critiche, metodo CNR - GNDT, ecc, nei siti nei quali le prospezioni geognostiche hanno indicato la presenza di strati sabbiosi nei primi 1,8 - 3,5 m del sottosuolo e presenza di falda idrica a tali quote, poiché quelli più direttamente interessati da strutture fondali di tipo diretto.

Figura A: Curve per la valutazione del potenziale di liquefazione per sabbie limose (da SEED, 1983).

10 VERIFICHE GEOTECNICHE AL PIANO DI FONDAZIONE

Dalle informazioni ricevute dal progettista, le fondazioni adottate saranno del tipo diretto a plinto, con dimensioni 3x3 oppure 4x4. Si è quindi proceduto ad una prima valutazione del carico ammissibile, sulla base dei parametri riscontrati a 1,5 m di profondità, adottando sia parametri geotecnica medi che minimi.

Capacità portante in condizioni non drenate

Il calcolo della pressione ammissibile netta (incremento netto di pressione sul piano fondazione) secondo Terzaghi-Peck-Meyerhof (carico verticale centrato), è risolvibile con la seguente relazione:

$$q_{amm} = [C_u N_c (1 + 0.2 B/L)] / F$$

C_u = coesione non drenata (angolo di attrito apparente $\phi = 0^\circ$)

N_c = fattore di capacità portante (= 5.14)

B, L = dimensioni della fondazione

F = coefficiente di sicurezza

I parametri che si sono utilizzati per il calcolo della pressione ammissibile sono:

1° CASO:

larghezza fondazione B (m) = 3

lunghezza fond. L (m) = 3

prof.FOND. dal P.C. H (m) = 1.5

coesione non drenata C_u (kg/cm²) = 0.8

pressione limite efficace (netta) q_{ult} (kg/cm²) = 4.93

coeff. di sicurezza F = 3

da cui si è ricavato che la pressione ammissibile (netta) è

$$q_{amm} = 1.64 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

2° CASO:

larghezza fondazione B (m) = 4

lunghezza fond. L (m) = 4

prof.FOND. dal P.C. H (m) = 1.5

coesione non drenata C_u (kg/cm²) = 0.8

pressione limite efficace (netta) q_{ult} (kg/cm²) = 4.93

coeff. di sicurezza F = 3

da cui si è ricavato che la pressione ammissibile (netta) è

$$q_{amm} = 1.64 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

3° CASO:

larghezza fondazione B (m) = 3

lunghezza fond. L (m) = 3

prof.FOND. dal P.C. H (m) = 1.5

coesione non drenata C_u (kg/cm²) = 0.6

pressione limite efficace (netta) q_{ult} (kg/cm²) = 3.70

coeff. di sicurezza $F = 3$

da cui si è ricavato che la pressione ammissibile (netta) è

$$q_{amm} = 1.23 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

4° CASO:

larghezza fondazione $B \text{ (m)} = 4$

lunghezza fond. $L \text{ (m)} = 4$

prof.FOND. dal P.C. $H \text{ (m)} = 1.5$

coesione non drenata $C_u \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 0.6$

pressione limite efficace (netta) $q_{ult} \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 3.70$

coeff. di sicurezza $F = 3$

da cui si è ricavato che la pressione ammissibile (netta) è

$$q_{amm} = 1.23 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Stima dei cedimenti

Non essendo al momento disponibili i carichi di esercizio, per la stima dei cedimenti è stato considerato, in via cautelativa, il carico massimo ammissibile di una fondazione superficiale a plinti poggianti su un sottosuolo stratificato, utilizzando il metodo edometrico.

SINTESI E COMMENTO DEI RISULTATI

Di seguito si riportano alcune considerazioni ed indicazioni di carattere geologico e geotecnico relative alle aree interessate dall'ampliamento del polo scolastico, desunte dall'analisi delle indagini geognostiche eseguite ed in rapporto ai caratteri litostratigrafici emersi.

La capacità portante calcolata è pari a $1,64 \text{ kg/cm}^2$ se si considera un valore di coesione non drenata pari a $0,8 \text{ kg/cm}^2$, mentre scende a $1,23 \text{ kg/cm}^2$ con un valore di coesione non drenata pari a 0.6 kg/cm^2 . Si fa riferimento a due valori di C_u in quanto $0,8 \text{ kg/cm}^2$ è il valore riferito allo strato che

si trova a profondità di 1,5 m e su cui si propone di appoggiare le fondazioni; $0,6 \text{ kg/cm}^2$ è invece il valore di C_u minima individuato nelle prove, ed è stato utilizzato nei calcoli solo in via cautelativa.

Dall'analisi della distribuzione del bulbo delle pressioni in profondità, considerando un piano di appoggio della fondazione a - 1.5 m, si osserva che il 50% dell'intero carico trasmesso si esaurisce entro la profondità di 4,5 m, all'interno dello strato sabbioso individuato in tutte e tre le prove fra la profondità di 4 e 6 m, a cui sono stati parametri geotecnici medi pari a $15,50 \text{ daN/cm}^2$ di q_{cm} , $0,70 \text{ daN/cm}^2$ di coesione non drenata, $3,20$ di α e di $53 \text{ cm}^2/\text{Kg}$. L'influenza del bulbo di pressione, quindi il carico dell'edificio, si esaurisce alla profondità di 9 metri circa, dove il terreno risente solamente del 20% del peso della costruzione, circa 3 metri sopra un nuovo livello sabbioso.

Anche il calcolo dei cedimenti è stato condotto considerando i due diversi valori di C_u ; i valori che si sono ottenuti dalle prove sono stati riassunti nelle tabelle seguenti.

Plinto 3X3

Prove	Appoggio a 1.50 m; $C_u - 0.8$			Appoggio a 1.50 m; $C_u - 0.6$		
	Cedimento Flessibile (cm)		Cedimento Rigido (cm)	Cedimento Flessibile (cm)		Cedimento Rigido (cm)
	centro	vertice		centro	vertice	
CPT1	8.37	3.04	6.59	6.28	2.28	4.94
CPT2	6.37	2.23	4.99	4.78	1.67	3.74
CPT3	7.03	3.65	7.24	6.78	2.74	5.43

Plinto 4X4

Prove	Appoggio a 1.50 m; $C_u - 0.8$			Appoggio a 1.50 m; $C_u - 0.6$		
	Cedimento Flessibile (cm)		Cedimento Rigido (cm)	Cedimento Flessibile (cm)		Cedimento Rigido (cm)
	centro	vertice		centro	vertice	
CPT1	10.04	3.32	7.80	7.53	2.49	5.85
CPT2	7.51	2.42	5.81	5.63	1.81	4.36
CPT3	11.25	4.21	8.91	8.44	3.16	6.68

I cedimenti risultano omogenei per le prove 1 e 3, mentre sono tendenzialmente minori per la prova 2, di circa 2 / 3 cm; si sottolinea che un edificio sarà realizzato in corrispondenza delle prove 1-3 (nuova scuola media), mentre in corrispondenza della prova 3 sarà realizzato un edificio separato dal precedente.

11 CONCLUSIONI

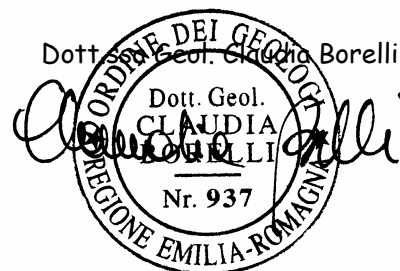
La presente relazione tratta delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, e geotecniche di un'area situata nel centro abitato di Novi di Modena.

Sono state esaminate le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dell'area oggetto di intervento, approfondite mediante specifiche indagini in situ (prove penetrometriche statiche e indagine sismica a microtremori).

Su indicazione del progettista le fondazioni saranno dirette, a plinto quadrato. In relazione è stata calcolata la capacità portante, ipotizzando due tipi di plinto, ed in riferimento ad un valore di cui medio e minimo calcolato.

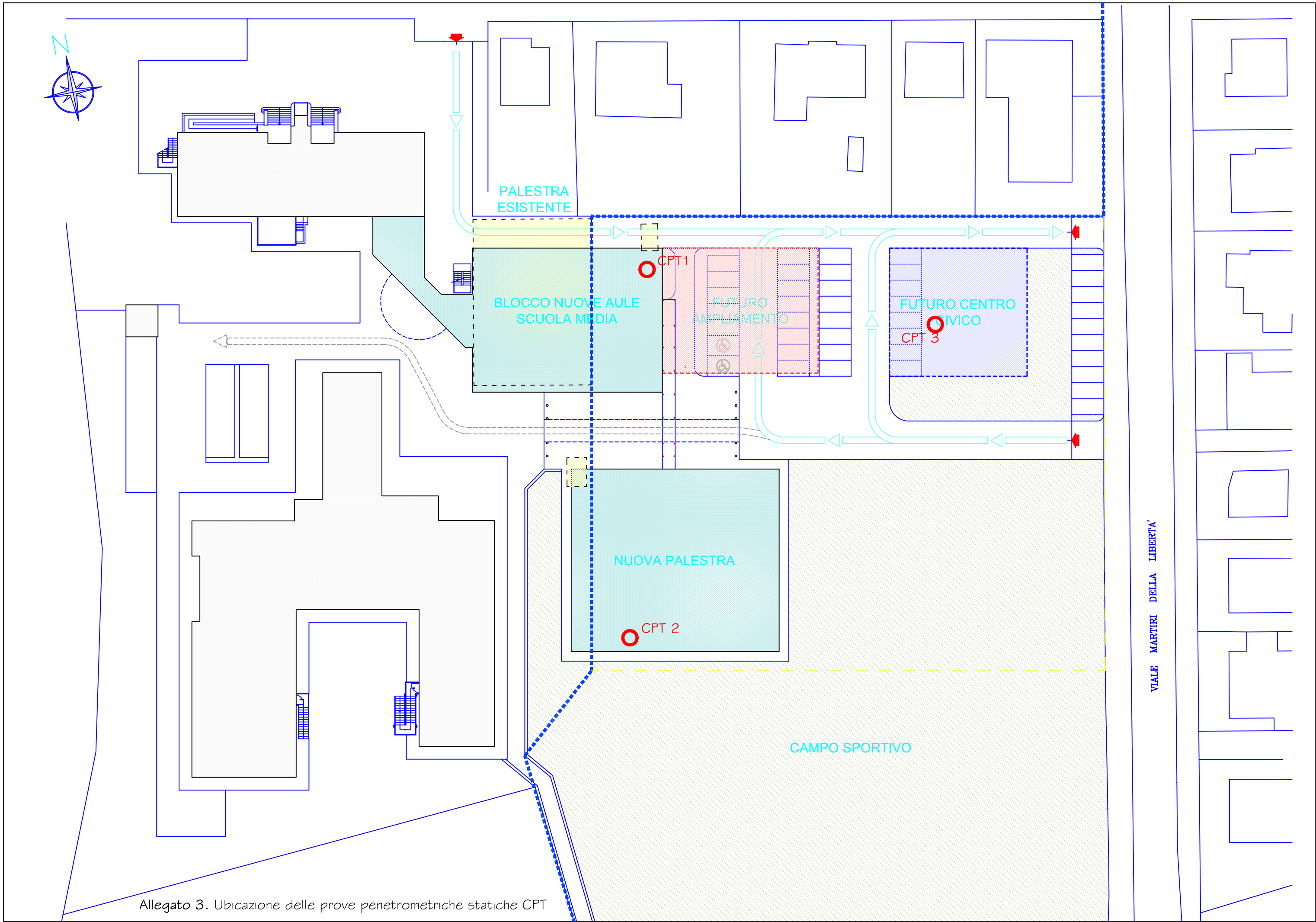
Si è poi proceduto alla valutazione dei cedimenti.

Spilamberto, 29 dicembre 2008

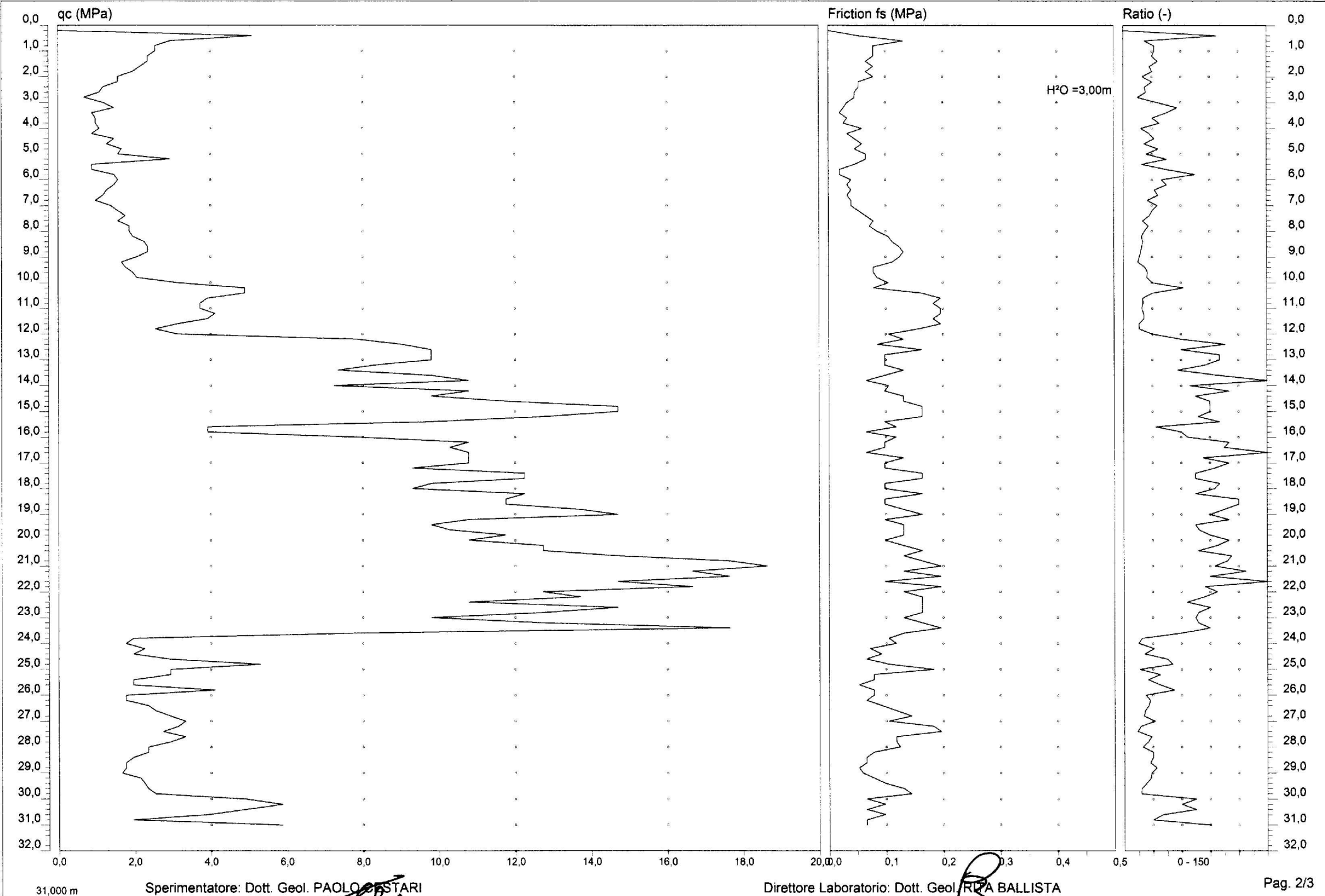


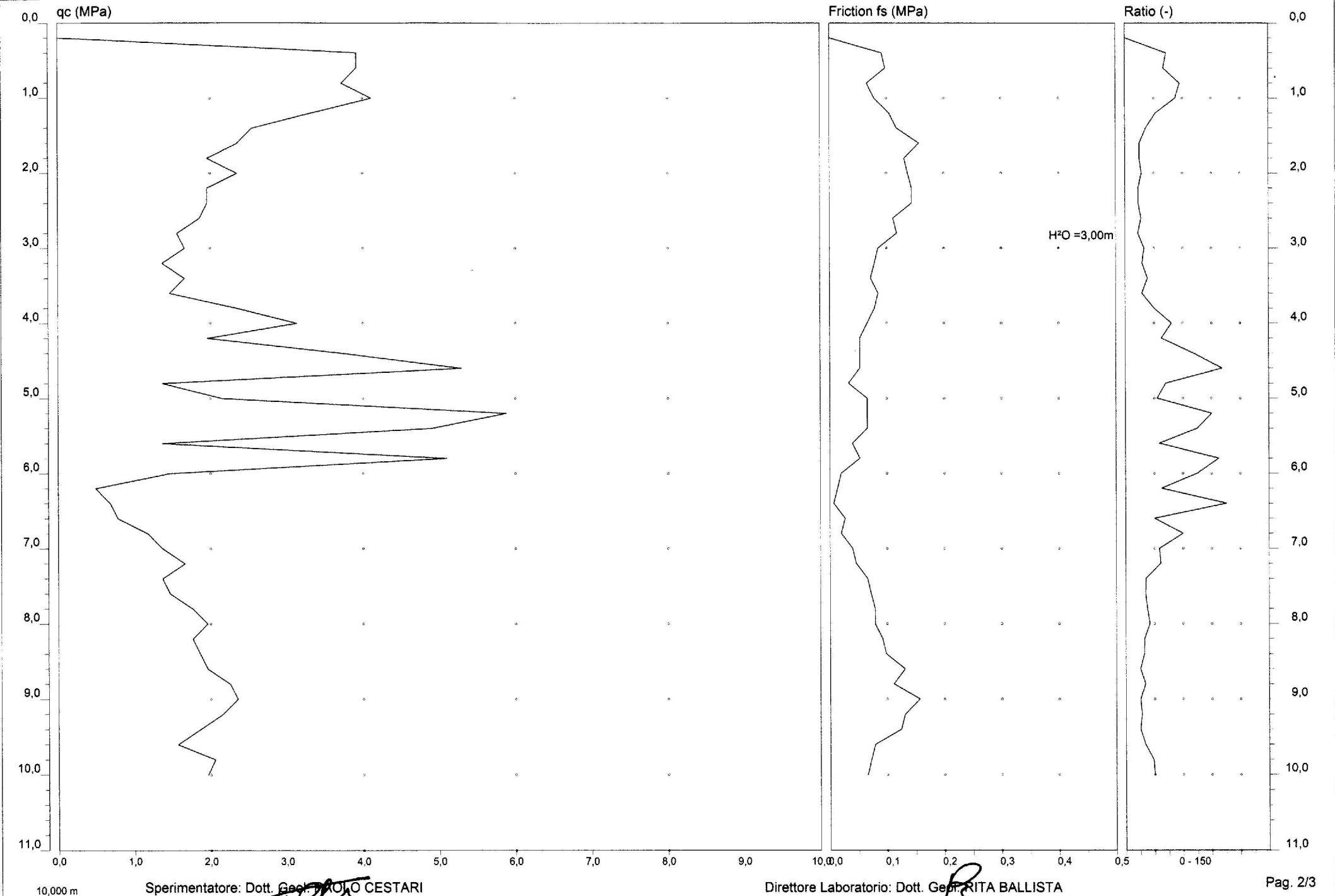


Allegato 2 Inquadramento topografico, estratto dall'Elemento CTR 183111 Novi di Modena
scala 1:5.000



Allegato 3. Ubicazione delle prove penetrometriche statiche CPT





10,000 m

Sperimentatore: Dott. Geol. ROLO CESTARI

Direttore Laboratorio: Dott. Geol. RITA BALLISTA

Pag. 2/3

