

COMUNE DI CESENA

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO

Diegaro - Via Brighi
Comparto 05/01 AT4a

Proprietà:

ARCA S.p.a.

Sede: Via Emilia 3902, 47020 Longiano (FC)

P.IVA: 00138870407

ottagono
associazione professionale

Cesena, via A. Saffi 62
tel/fax 0547-332425
studio.ottagono@libero.it

progettista:

Arch. Arnaldo Montacuti

Collaboratore: Arch. Agnese Riva

All.

15

10 Agosto 2012

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA

CASADIO & CO.
studio tecnico associato

Via V.Veneto 1/bis – 47100 FORLÌ
Tel: 0543 23923 – Email: studio@casadioeco.it
P.I. 03480110406

Casadio&Co



geologia
acustica
ambiente

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Committente: ARCA S.p.a.

DATA: 31/07/2012

**PIANO URBANISTICO ATTUATIVO
COMPARTO 05/01 AT4a
IN VIA BRIGHI
LOCALITA' DIEGARO
IN COMUNE DI CESENA**

Il geologo
MARIO CASADIO

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA
PER LA REALIZZAZIONE DI UN PIANO URBANISTICO ATTUATIVO
COMPARTO 05/01 AT4a IN VIA BRIGHI LOCALITA' DIEGARO
IN COMUNE DI CESENA

SOMMARIO

Premessa	3
Normativa di riferimento	3
Descrizione dell'Intervento	4
Morfologia e geologia del territorio	4
Idrologia e idrogeologia	4
Indagine sismica.....	5
Elementi di progettazione antisismica in base all'OPCM n.3274 – 20/3/2003 e successive modifiche e integrazioni.....	8
Condizioni topografiche	9
Indagine geoelettrica	10
Configurazione delle misure	10
Strumentazione ed elaborazione dati	11
Proprietà elettriche del suolo	11
Risultati	13
Microzonazione sismica	14
Verifica sulla liquefazione delle sabbie.....	14
Metodi di calcolo	15
Risultati	16
Prove penetrometriche statiche CPT (cone penetration test)	18
Calcolo dei valori caratteristici dei terreni	33
Calcolo portanza e cedimenti di fondazioni superficiali	35
Carico limite di fondazioni su terreni.....	35
Cedimenti edometrici.....	38
Verifica del carico limite.....	40
Coefficiente di sottofondazione bowles (1982).....	43
Conclusioni	44

PREMESSA

La presente relazione geologica e geotecnica è stata commissionata allo scrivente allo scopo di verificare le condizioni idrogeologiche e geotecniche di un'area sulla quale sarà realizzato un PUA denominato comparto 05/01 AT4a in Via Brighi località Diegaro, in Comune di Cesena

Geograficamente l'area è inserita nel foglio n. 255.030 della carta tecnica regionale.

Lo studio è finalizzato anche alla ricerca dei parametri che consentono la classificazione sismica del terreno, a tale scopo sono state programmate le seguenti indagini:

- Esecuzione di n.5 prove penetrometriche statiche
- Rilievo sismico
- Ricerca bibliografica.

Alla presente relazione sono allegati:

- planimetria area d'intervento con ubicazione prove a scala 1:2.000
- n. 2 sezioni geologiche a scala 1:500 o/1:200 v
- grafici penetrometrici statici
- sezioni tomografia geoelettrica a scala 1:1.000
- carta corografica a scala 1:5.000
- carta geologica alla scala 1:10.000

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Relativamente alla parte geologica, si fa riferimento alle seguenti normative:

- Decreto Ministeriale 14.01.2008
- Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.
- Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.
- Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007
- Eurocodice 8 (1998)
- Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture
- Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- Eurocodice 7.1 (1997)
- Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI

- Eurocodice 7.2 (2002)
- Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- Eurocodice 7.3 (2002)
- Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento oggetto di questa relazione consiste nella realizzazione di un PUA. L'area ha una superficie di 40.480 m² ed ha forma planimetrica irregolare. Il fabbricato che verrà realizzato all'interno avrà forma planimetrica rettangolare con lati massimi di 12,0 m di lunghezza per 85,0 m di larghezza e avrà accesso dalla Via Brighi. Sui lati nord e nord-ovest verranno realizzate delle aree a parcheggio.

Le fondazioni saranno a plinto conforme alla normativa sismica vigente.

MORFOLOGIA E GEOLOGIA DEL TERRITORIO

La zona qui studiata è posta a circa 38 m s.l.m., morfologicamente si presenta pianeggiante e delimitata da aree agricole. Attualmente l'area è adibita a seminativo.

Idrologicamente le acque superficiali sono regimate dal reticolo dei fossetti.

Geologicamente i terreni fanno parte dei depositi alluvionali olocenici costituiti da terreni a grana fine come argilla e limo e strati di sabbia.

La falda è stata trovata al momento dell'esecuzione delle prove a profondità di:

Prova	Profondità (m)
1	2.95
2	2.05
3	3.15
4	3.30
5	0.00

IDROLOGIA E IDROGEOLOGIA

Idrologicamente le acque superficiali sono regimate dal reticolo dei fossi di scolo ad uso agricolo presenti nell'area.

Dalle prove effettuate nel gennaio 2007 la falda è stata rintracciata a profondità diverse (tabella soprastante), mentre nella prova eseguita nel luglio 2012 la falda non è stata

rintracciata fino a 2,50 m in quanto il foro di prova si è chiuso. E' probabile che considerato il periodo molto secco si sia abbassata al di sotto di tale profondità.

INDAGINE SISMICA

Prova HVSR

All'interno dell'area di studio è stato condotto il rilievo dei microtremori con il tromografo digitale "Tromino", per verificare le caratteristiche sismiche e stratigrafiche del terreno.

Lo strumento utilizzato registra il rumore sismico ambientale presente nella superficie terrestre e generato da fenomeni atmosferici, dall'attività antropica e dall'attività dinamica terrestre.

I microtremori sono rappresentati da oscillazioni molto piccole (accelerazioni dell'ordine di 10^{-15} m/s²), che, attraversando strati con caratteristiche differenti (in termini di densità e velocità di propagazione delle onde), subiscono fenomeni di rifrazione, riflessione, attenuazione e altri.

Questi fenomeni sono tali per cui un'onda che viaggia all'interno di un mezzo e viene riflessa da una superficie di discontinuità interferisce con le onde incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime quando la lunghezza d'onda incidente λ è pari a 4 volte lo spessore h dello strato (condizione di risonanza):

Relativamente alle onde S:

$$f_r = \frac{V_{S1}}{4h}$$

f_r rappresenta la frequenza fondamentale dello strato, ossia la frequenza cui corrispondono le maggiori accelerazioni sismiche.

Utilizzando la formula sopra esposta si evince che conoscendo la profondità di una discontinuità (trovata nelle prove penetrometriche) e la frequenza fondamentale del terreno in superficie (fornita dal tromografo) è possibile risalire alla velocità delle onde S del terreno.

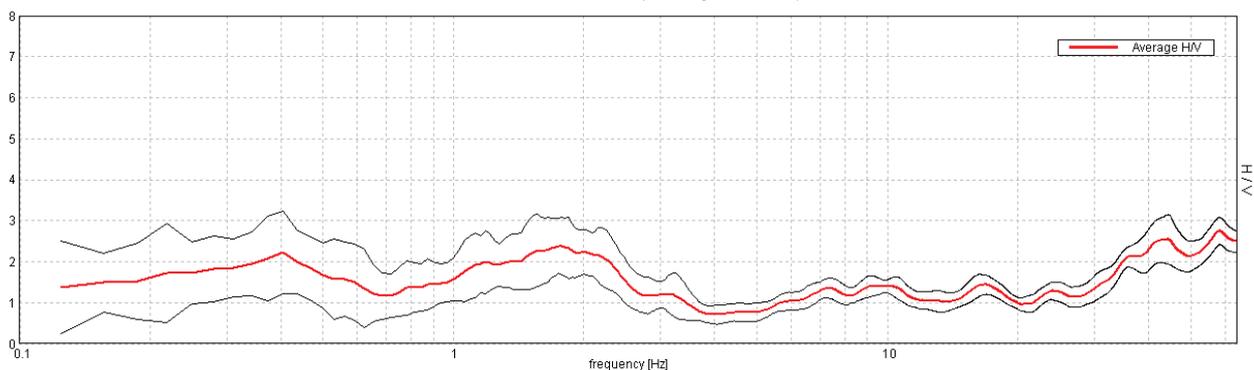
Una volta ricavato il valore di V_s , è possibile ricostruire la stratigrafia dell'area e l'andamento delle discontinuità, se presenti.

La tecnica HVSR consiste nella valutazione dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e verticali del moto ed è in grado di fornire in buona approssimazione il contenuto in frequenza del segnale dei microtremori.

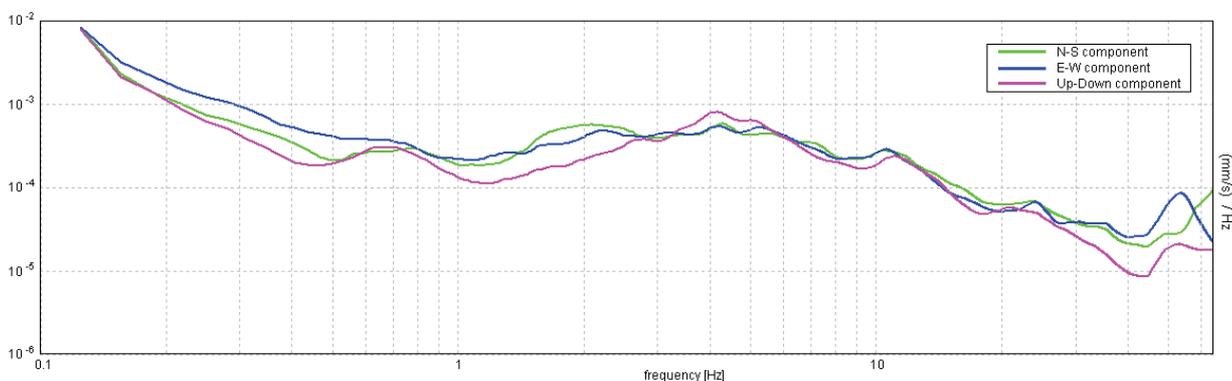
Si riportano di seguito i grafici ottenuti nei punti di rilievo:

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

Max. H/V at 58.16 ± 15.53 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



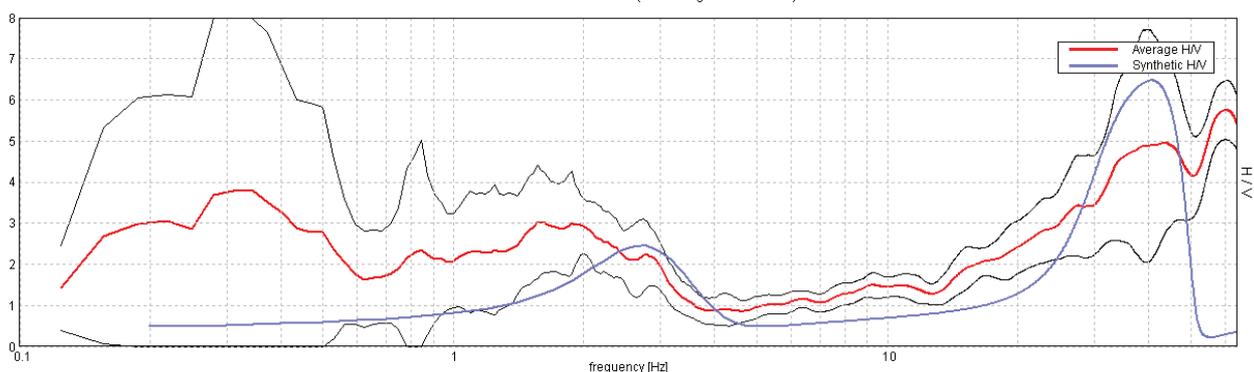
SINGLE COMPONENT SPECTRA



La linea rossa corrisponde al rapporto spettrale H/V misurato, mentre quella blu è stata calcolata tramite una procedura matematica di inversione di un profilo stratigrafico mostrato in seguito.

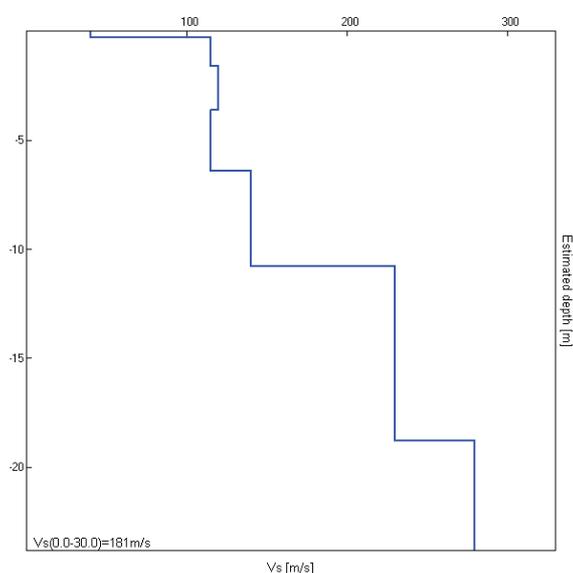
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 60.31 ± 3.53 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.30	0.30	40	0.35
1.60	1.30	115	0.35
3.60	2.00	120	0.35
6.40	2.80	115	0.35
10.80	4.40	140	0.35
18.80	8.00	230	0.35
inf.	inf.	280	0.35

$V_s(0.0-30.0)=181\text{m/s}$



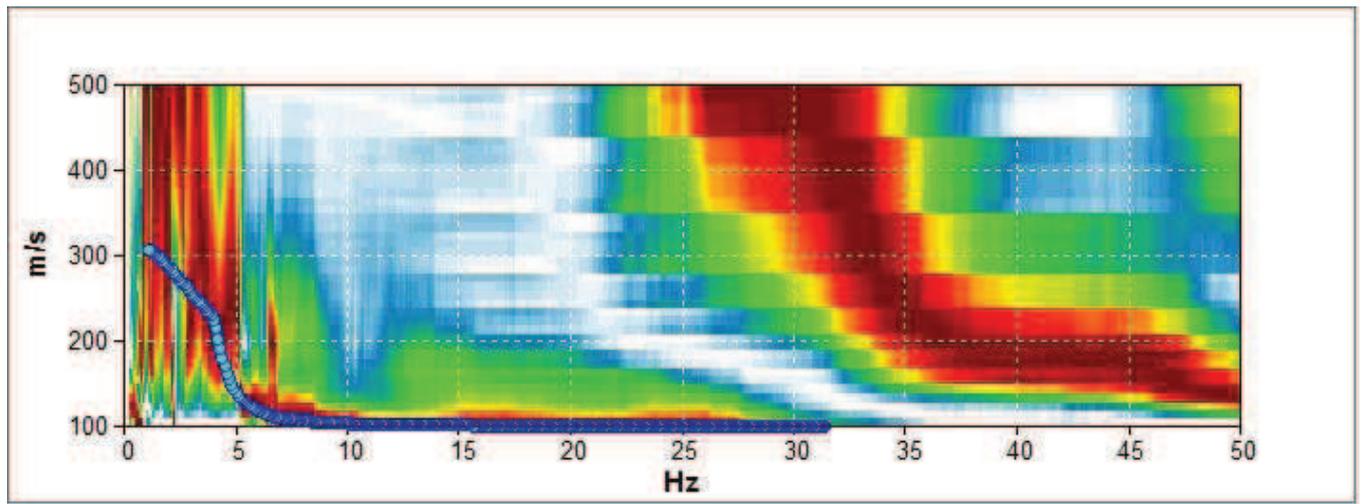
Prova ReMi

L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo) disposta sul terreno con array lineare, da 12 a 48 geofoni; per ottenere una buona risoluzione in termine di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni con bassa frequenza di risonanza (4-14 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15-30s) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale. L'uso di un sismografo digitale con elevata dinamica consente di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni impiegati.

Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle Vs relativamente ai primi cento metri di profondità.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency"(p-f) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico p-f.

A questo punto l'operatore, in maniera arbitraria ed in base all'esperienza, esegue un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (p o 1/velocità di fase) per alcune frequenze. Tali valori vengono in seguito plottati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello diretto.



Dalla prova ReMi si vedono orizzonti ad alte velocità che corrispondono ai moti superiori, ed un orizzonte a velocità più basse, che rappresenta la velocità reale delle onde S nel terreno. Lo stendimento conferma le velocità ricavate con il tomografo.

ELEMENTI DI PROGETTAZIONE ANTISISMICA IN BASE ALL'OPCM N.3274 – 20/3/2003 E SUCCESSIVE MODIFICHE E INTEGRAZIONI

La nuova normativa in materia sismica impone un approccio più attento relativamente alle azioni indotte da eventi sismici di particolare entità, agenti sulla struttura degli edifici.

Tali eventi sismici sono in primo luogo descritti in termini di accelerazione di picco su sottosuolo rigido (PGA), valore proposto in base alla nuova classificazione sismica nazionale, che distribuisce i vari comuni del territorio nazionale in 4 categorie.

Procedendo con le azioni di progetto si passa poi ai cosiddetti "effetti di sito", che modificano l'azione sismica di partenza, in base alla litologia dei depositi attraversati dalle onde sismiche prima di pervenire all'edificio di progetto.

Le varie tipologie di sottosuolo sono discriminate sulla base delle velocità di propagazione delle onde S e sono state raggruppate in 5 + 2 categorie.

Il valore indicativo di tali velocità è definito dalla media pesata su uno spessore di 30 m delle velocità misurate $v_{s,30}$. In alternativa si utilizzano dei parametri corrispondenti, meno significativi, rappresentati dal valore della coesione non drenata c_u o del numero di colpi *NSPT*.

Qui di seguito è mostrata la tabella di identificazione dei tipi di sottosuolo:

	<i>Descrizione del profilo stratigrafico</i>
A	<i>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi</i> Caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m
B	<i>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti</i> 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 e 800 m/s (oppure resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa)
C	<i>Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza</i> Con spessori variabili da diverse decine 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	<i>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</i> Caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$, $c_u < 70$ kPa)
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
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 ($10 < c_u < 20$ kPa)
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti

Dai risultati delle prove penetrometriche e delle prove sismiche, il terreno di studio ricade all'interno della **classe C**.

CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

La normativa prevede le seguenti categorie topografiche

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

INDAGINE GEOELETRICA

L'esplorazione geoelettrica consiste nella determinazione sperimentale del parametro della resistività apparente. Tale parametro è definito da un sistema composto da coppie di elettrodi. Una prima coppia (elettrodi energizzanti) immette corrente elettrica nel sottosuolo ed una seconda (elettrodi riceventi) ne misura la differenza di potenziale. Da tale applicazione è possibile studiare e mettere in evidenza i contrasti di resistività esistenti tra diverse litologie, fornendo così informazioni sulla presenza di discontinuità strutturali (faglie, superfici di scorrimento, ...), presenza e andamento della falda acquifera, presenza di strutture interrato (muri...), individuazione di fenomeni di inquinamento (perdita percolato, sversamenti, ecc....)

Tali anomalie si riflettono in una deflessione delle linee di corrente che vengono riconosciute come disomogeneità.

Le misure geoelettriche tomografiche presentano il vantaggio di poter ottenere, nelle aree da indagare, una copertura estensiva e rapida alla necessaria profondità di indagine, fornendo indicazioni sul comportamento elettrico dei materiali interessati ed utilizzare questa informazione per mirare o integrare indagini puntuali dirette quali sondaggi e prove geognostiche allo scopo di estendere sensibilmente la conoscenza della stratigrafia di terreni in aree soggette a caratterizzazione ambientale e geotecnica.

La tecnica di acquisizione 3D, permette poi di indagare zone non del tutto accessibili superficialmente, consentendo di ricostruire i valori di resistività e/o caricabilità nel sottosuolo ad esempio al di sotto di aree edificate.

Configurazione delle misure

I sistemi di misura più recenti permettono di acquisire dati utilizzando più elettrodi emittenti e riceventi (16, 24, 32, 48 ecc.) mediante stendimenti superficiali con spaziatura tra gli elettrodi a diverse distanze in funzione della profondità che si deve raggiungere. E' così possibile ottenere un numero molto alto di combinazioni, indagando quindi non più solo lungo una verticale, ma lungo tutta una sezione ottenendo un'informazione bidimensionale o anche tridimensionale.

Le attività di acquisizione dati riguardano la misura dei valori di potenziale e di corrente necessari per il calcolo della *resistività elettrica* e della *caricabilità* (polarizzazione indotta), che vengono restituite e interpretate secondo immagini tomografiche bidimensionali e tridimensionali.

Tale ricostruzioni in 2-3 dimensioni sono possibili grazie a software di calcolo che creano un modello (detto “tomografia”) del sito mediante algoritmi di inversione. In questa indagine è stato utilizzato il software di elaborazione ERTLAB (Geostudi Astier s.r.l.).

Per le ricostruzioni bidimensionali le più usate sono lo schema Wenner, dipolo-dipolo, Wenner-Schlumberger, polo-dipolo.

Sia il sistema quadripolo di Wenner che quello di Schlumberger prevede i quattro elettrodi allineati di cui i due più esterni sono quelli trasmettitori; i due sistemi si differenziano per le diverse distanze fra gli elettrodi. In questi sistemi i valori ricavati sono molto “puliti” in quanto poco influenzati dal rumore di fondo.

Il polo-dipolo è il metodo che indaga la profondità maggiore a parità di condizioni. I due trasmettitori sono costituiti, da uno remoto (polo) che viene posizionato ad una distanza pari almeno a 5 volte la lunghezza dello stendi mento e da uno variabile sulla sequenza, mentre i due ricevitori sono posti sempre sulla sequenza tra i due trasmettitori. Quando la sequenza ha una configurazione diversa dalla sezione (sequenze a L, a U a GRECA, ecc.), questo metodo restituisce una ricostruzione in 3D.

Strumentazione ed elaborazione dati

Per l'esecuzione dei profili si utilizzano opportuni cavi multiconduttori a 48-96 elettrodi; ogni elettrodo viene infisso nello strato superficiale per una profondità media di 15-20 cm dal piano campagna.

La strumentazione che viene adottata (Syscal R1 a commutazione concentrata, prodotto da IRIS Instruments, Francia), permette di eseguire misure di alta precisione, con correnti indotte fino ad oltre 2 Ampere, con automatica compensazione del potenziale spontaneo (caduta di tensione esistente tra due poli in assenza di trasmissione, e spesso fortemente variabile nel breve tempo).

L'elaborazione 2D e 3D delle misure di campagna è prodotta con software proprietario, a discretizzazione FEM (elementi finiti), correzione topografica, procedura di inversione robusta con possibile inserimento di vincoli complessi; tale software è capace di ricostruire la distribuzione di resistività reale in due e tre dimensioni, (Morelli G., 1996).

Proprietà elettriche del suolo

La *resistività elettrica* è la grandezza che misura la difficoltà che ha la corrente elettrica ad attraversare i materiali. Tale caratteristica dipende da vari fattori (descritti in seguito) e quindi può essere utile per verificare variazioni di tali caratteristiche.

La resistività è la difficoltà opposta da una porzione standard di materiale al passaggio della corrente elettrica.

La resistività è un parametro variabile non solo da conduttore a conduttore ma anche nel medesimo conduttore a seconda della sua temperatura.

In generale nelle rocce la resistività diminuisce all'aumentare della temperatura. La resistività delle rocce e dei suoli dipende principalmente dalla presenza di acqua nei pori. Macrofessure o cavità laddove è presente l'aria hanno un comportamento elettrico nullo, in cui la resistività tende a valori altissimi. La resistività delle rocce dipende anche dalla tessitura cioè dalla disposizione, forma e dimensione dei granuli che la compongono e dai vuoti riempiti di acqua.

La resistività dei sedimenti è controllata principalmente dai seguenti fattori:

- grado di saturazione dei pori,
- porosità,
- salinità del fluido, se presente nei pori,
- temperatura,
- eventuale presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, ecc.),
- presenza di argilla,
- presenza di minerali particolari (ad esempio le miche),
- grado di compattazione.

Nella tabella sottostante si elencano le resistività di alcune rocce (ohm*m):

ROCCE SEDIMENTARIE	RESISTIVITA'
CALCARE	100-5000
ARGILLA	1-100
SUOLO COPERTURA	1-100
SUOLO ARGILLOSO	100-10 ³
SUOLO SABBIOSO	100-10 ⁴
GHIAIA	100-5000
SABBIA	100-10 ³
SABBIE E GHIAIE	100-10 ⁴
SABBIA SCIOLTA	10 ³ -10 ⁵
CONGLOMERATI	10 ³ -10 ⁴
CALCARI MARNOSI	10-100
ARENARIA	100-10 ⁴
DOLOMIE	10 ³ -10 ⁴

MARNA	1-100
QUARZITE	5000-10 ⁵

ACQUE	RESISTIVITA'
Di mare	< 0,2
Pura	100-10 ³
Naturale	1-100
Con 20% di sale (NaCl)	0,001

MATERIALI INQUINANTI	RESISTIVITA'
Rifiuti domestici	12-30
Fanghi industriali	40-200
Plume contaminato da rifiuti domestici	1-10
Olio esausto	150-700

Il metodo della *polarizzazione indotta (IP)* si applica contemporaneamente al metodo della

Risultati

Gli stendimenti hanno consentito di elaborare due sezioni geologiche (allegate) che mostrano una variazione della resistività dai 9 ai 55 Ohm e da 8 a 55 Ohm nel campo quindi delle argille e argille-limose.

L'indagine aveva la finalità di localizzare eventuali anomalie che però non si sono manifestate, fatta eccezione per un'area molto piccola gialla che si rinviene in tutte e due le sezioni. Tale anomalia è costituita da uno strato con resistività più alta rispetto a tutti gli altri e si identifica molto probabilmente con uno straterello di sabbia o limo sabbioso immerso in falda.



Esecuzione dello stendimento geoelettrico

MICROZONAZIONE SISMICA

Da quanto si può desumere dai paragrafi precedenti l'area di studio non ricade nelle seguenti categorie:

- Aree soggette a liquefazione e densificazione;
- Aree instabili o potenzialmente instabili;
- Aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile;
- Aree in cui è prevista la realizzazione di opere a rilevante interesse pubblico

Non si rende quindi necessario un approfondimento delle indagini ai fini della microzonazione sismica e dell'analisi della risposta sismica locale.

VERIFICA SULLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

La liquefazione delle sabbie è un processo che può avvenire durante un evento sismico: essa nasce dall'incremento della pressione dell'acqua interstiziale (u) durante sollecitazioni di tipo ciclico.

Se tale aumento è tale da eguagliare la pressione litostatica totale (σ), si ha l'annullamento della resistenza al taglio (τ), secondo la seguente relazione:

$$\tau = (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi$$

Da studi statistici si è verificato che il fuso granulometrico a rischio possiede un D_{50} compreso tra 0,25 e 0,45 mm.

La stratigrafia del sottosuolo mostra nella prova n. 2 degli strati di sabbia immersi in falda, che potrebbero quindi essere liquefacibili.

Poiché la liquefazione si verifica in condizioni in cui le sabbie presentano una composizione granulometrica piuttosto uniforme, si escludono dalla verifica i casi in cui si presentano livelli sabbiosi di spessore uguale o inferiore ai 60 cm, che rappresentano intercalazioni all'interno di strati coesivi.

Sono inoltre esclusi i depositi presenti ad una profondità superiore a 15 m, in quanto il carico litostatico è talmente elevato da non poter essere raggiunto dalla pressione neutra.

Per valutare il pericolo di liquefazione è stato adottato il metodo di Robertson e Wride (1997), che parte dai risultati delle prove CPT, per giungere a un fattore di sicurezza, ed un indice di liquefazione associato al rischio.

Metodi di calcolo

Il metodo utilizzato si basa sulle seguenti equazioni principali:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} \cdot MSF$$

dove CRR = resistenza ciclica del terreno

CSR = sforzo di taglio ciclico indotto dal sisma

MSF = fattore di scala della magnitudo

$$CRR = 0,883 \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} + 0,05 \quad \text{per } (q_{c1N})_{cs} < 50$$

$$CRR = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \quad \text{per } 50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$$

dove $(q_{c1N})_{cs}$ è la resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente

$$(q_{c1N})_{cs} = \frac{q_{c1N}}{1 - \frac{F_{cl}}{100}}$$

dove a_{\max} è l'accelerazione massima orizzontale di progetto
 g è la forza di gravità ($980,7 \text{ cm/s}^2$)
 σ_{v0} e σ'_{v0} sono le pressioni verticali totali ed efficaci alla prof. Z
 r_d è un coefficiente funzione della profondità

Una volta ottenuto il valore del fattore di sicurezza FSL, si calcola l'indice del potenziale di liquefazione P_L (Iwasaki et al, 1978):

$$P_L = \int_0^{z_{\text{rit}}} F(z) w(z) dz$$

dove
 $F(z)$ è una funzione dipendente dal FSL
 $w(z)$ è una funzione decrescente con la profondità

Risultati

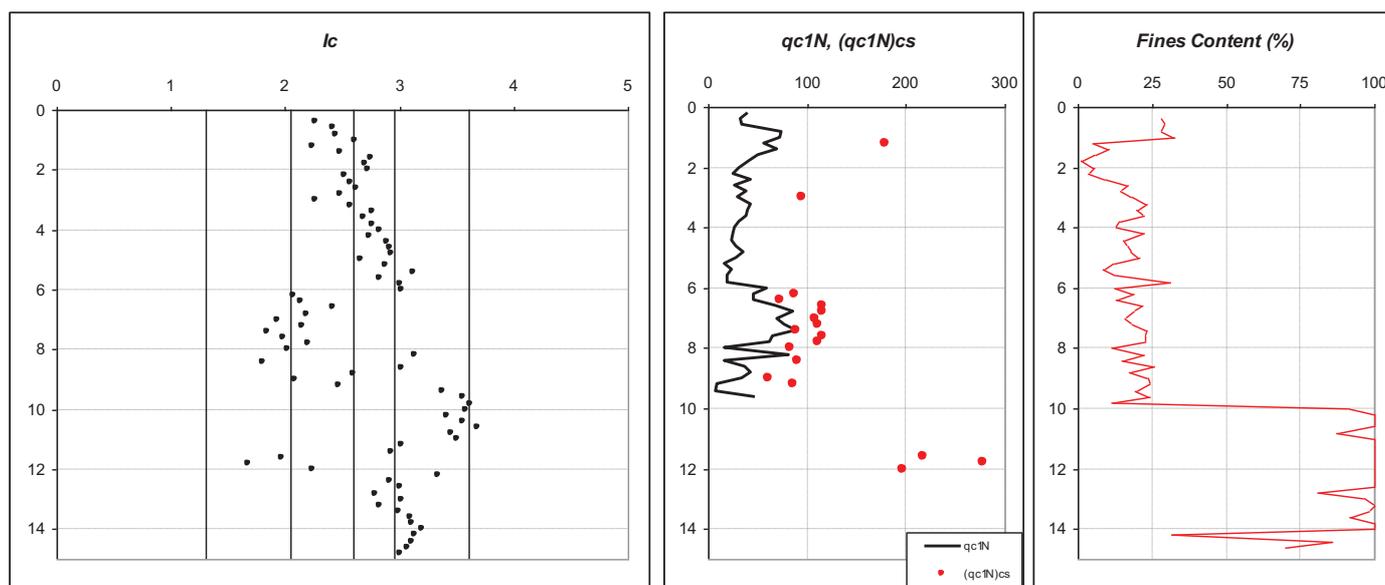
Poiché l'area di studio è inserita all'interno della 2° categoria ed il terreno di studio ricade nella classe C, per il calcolo dell'azione sismica si considera un'accelerazione pari a :

$$S \times a_g = 1,25 \times 0,25 = 0,31g$$

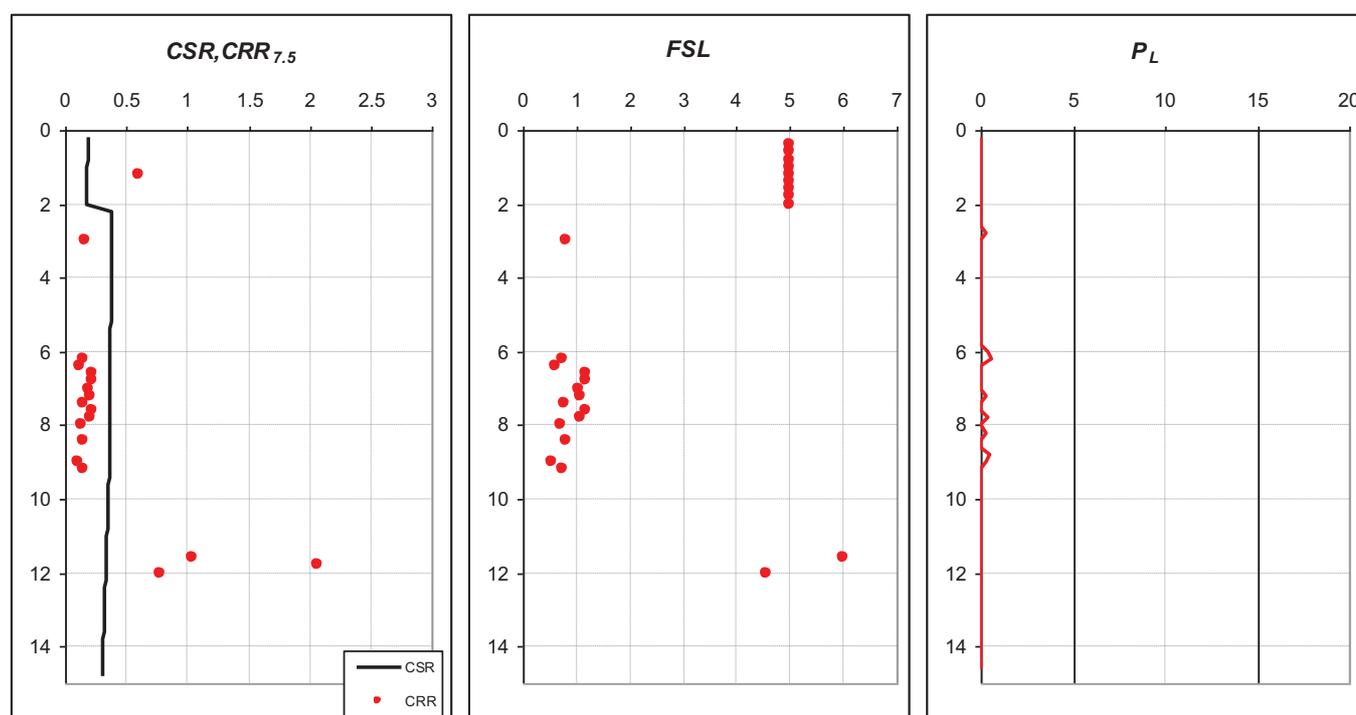
Inserendo i valori estratti dalla prova CPT, Robertson e Wride propongono una distinzione granulometrica sulla base di un Indice del tipo di terreno I_c .

In seguito si calcola il valore di resistenza alla punta normalizzata q_{c1N} e corretta per il contenuto di fini $(q_{c1N})_{cs}$ ed infine il contenuto di frazione fine (%).

Qui di seguito si illustrano tre grafici in cui sono plottati i tre parametri sopra indicati:



Qui di seguito sono poi illustrati il confronto tra i valori di *CRR* e *CSR*, il fattore di sicurezza *FSL*, corretto per una magnitudo realistica per l'area di studio (6,1) ed il valore di P_L , indice del potenziale di liquefazione.



Come è evidente sono solo pochi gli strati che presentano un fattore di sicurezza inferiori a 1, il che si traduce in un valore di P_L estremamente basso, ad indicare come il rischio di liquefazione sia praticamente nullo.

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT (CONE PENETRATION TEST)

PROVE CPT : METODOLOGIA DELL' INDAGINE

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v = 2 \text{ cm / sec} \pm 0,5 \text{ cm / sec}$).

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica.

La punta conica (del tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale : punta / manicotto tipo "**Begemann**".

Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente :

- diametro Punta Conica meccanica $\varnothing = 35,7 \text{ mm}$
- area di punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo di apertura del cono $\alpha = 60^\circ$
- superficie laterale del manicotto $A_m = 150 \text{ cm}^2$

Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'infissione.

REGISTRAZIONE DATI.

Una cella di carico, che rileva gli sforzi di infissione, è montata all'interno di un'unità rimovibile, chiamata "selettore", che preme alternativamente sull'asta interna e su quella esterna.

Durante la fase di spinta le aste sono azionate automaticamente da un comando idraulico. L'operatore deve solamente controllare i movimenti di spinta per l'infissione delle aste.

I valori acquisiti dalla cella di carico sono visualizzati sul display di una Sistema Acquisizione Automatico (qualora presente) o sui manometri.

Le letture di campagna (che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm²) durante l'infissione sono le seguenti:

- Lettura alla punta **LP** = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta
- Lettura laterale **LT** = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto
- Lettura totale **LLTT** = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).

Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo "**STATIC PROBING**" della GeoStru

La resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP**) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

- A_p = l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann") = 10 cm²
- A_m = area del manicotto di frizione = 150 cm²
- C_t = costante di trasformazione =10

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

I dati di uscita principali sono RP (Resistenza alla punta) e RL (Resistenza laterale o fs, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il

programma calcola automaticamente; inoltre viene calcolato il Rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %-).

I valori sono calcolati con queste formule:

- $Q_c (RP) = (LP \times Ct) / 10 \text{ cm}^2$ **Resistenza alla punta**
- $Q_l (RL) (fs) = [(LT - LP) \times Ct] / 150 \text{ cm}^2$ **Resistenza laterale**
- $Q_c (RP) = \text{Lettura alla punta } LP \times \text{Costante di Trasformazione } Ct / \text{Superficie Punta } A_p$
- $Q_l (RL) (fs) = \text{Lettura laterale } LT - \text{Lettura alla punta } LP \times \text{Costante di Trasformazione } Ct / A_m \text{ area del manicotto di frizione}$

N.B.

- $A_p = 10 \text{ cm}^2$ e $A_m = 150 \text{ cm}^2$
- la resistenza laterale viene conteggiata **20 cm sotto** (alla quota della prima lettura della punta)

CORRELAZIONI

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (consigliata o meno a seconda del tipo di penetrometro utilizzato) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati. Il programma esegue inoltre il grafico (per i vari autori) Profondità/Valutazioni litologiche, per visualizzare in maniera diretta l'andamento delle litologie presenti lungo la verticale indagata.

INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (Autori di riferimento)

Schmertmann1978 (consigliato per CPT)

L'utilizzo della stratigrafia dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

CORRELAZIONI GEOTECNICHE

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

Ad ogni strato mediato il programma calcola la Q_c media, la fs media, il peso di volume naturale medio, il comportamento geotecnico (coesivo, incoerente o coesivo-incoerente), ed applica una texture.

TERRENI INCOERENTI

Angolo di Attrito

Angolo di Attrito (Caquot) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Densità relativa (%)

Densità Relativa (Jamiolkowski 1985)

Modulo di Young

Modulo di Young (ISOPT-1 1988) E_y (50) - per sabbie OC sovraconsolidate e SC

Modulo Edometrico

Modulo Edometrico (Mitchell & Gardner 1975) – valido per sabbie

Peso di Volume Gamma

Peso di Volume Gamma (Meyerhof) -

Peso di Volume Gamma saturo (Meyerhof) -

Modulo di deformazione di taglio

Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per **sabbie** e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Fattori di compressibilità

Ramo di carico C (autori vari)

Ramo di carico medio C_{rm} (autori vari)

OCR - Grado di Sovraconsolidazione

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

MODULO DI REAZIONE K_o (Kulhawy Maine, 1990).

CORRELAZIONE NSPT Meardi – Meigh 1972

TERRENI COESIVI

Coesione Non Drenata

Coesione non drenata (Baligh ed altri 1976-1980) in tale elaborazione occorre inserire il valore di N_k (generalmente 20)

Modulo Edometrico-Confinato

Metodo generale del modulo edometrico.

Peso di Volume Gamma

Peso di Volume terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Peso di Volume saturo terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Modulo di deformazione di taglio

Imai & Tonouchi (1982)

OCR

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Permeabilità

Coefficiente di Permeabilità K (Piacentini-Righi, 1988).

PROVA Nr.1

Committente: ARCA s.p.a.

Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)

Prova eseguita in data: 19/01/2007

Profondità prova: 15.60 mt

Località: Cesena

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.00	0.0	0.1	0.6	0.2	434.8
0.40	17.00	26.0	17.1	1.1	16.1	6.2
0.60	20.00	36.0	20.1	0.3	75.4	1.3
0.80	12.00	16.0	12.1	0.8	15.2	6.6
1.00	16.00	28.0	16.1	1.0	16.1	6.2
1.20	15.00	30.0	15.3	1.1	14.3	7.0
1.40	16.00	32.0	16.3	1.5	11.1	9.0
1.60	12.00	34.0	12.3	0.7	18.4	5.4
1.80	13.00	23.0	13.3	0.7	19.9	5.0
2.00	11.00	21.0	11.3	0.4	28.2	3.5
2.20	7.00	13.0	7.4	0.4	18.5	5.4
2.40	8.00	14.0	8.4	0.5	18.0	5.6
2.60	9.00	16.0	9.4	0.4	23.5	4.2
2.80	7.00	13.0	7.4	0.5	15.9	6.3
3.00	12.00	19.0	12.4	0.3	46.5	2.2
3.20	9.00	13.0	9.6	0.3	28.7	3.5
3.40	5.00	10.0	5.6	0.3	20.8	4.8
3.60	6.00	10.0	6.6	0.2	32.8	3.1
3.80	7.00	10.0	7.6	0.3	22.7	4.4
4.00	7.00	12.0	7.6	0.5	14.2	7.1
4.20	15.00	23.0	15.7	0.3	47.1	2.1
4.40	11.00	16.0	11.7	0.6	19.5	5.1
4.60	12.00	21.0	12.7	0.3	47.5	2.1
4.80	9.00	13.0	9.7	0.5	18.2	5.5
5.00	11.00	19.0	11.7	0.5	25.0	4.0
5.20	10.00	17.0	10.8	0.4	27.1	3.7
5.40	10.00	16.0	10.8	0.4	27.1	3.7
5.60	19.00	25.0	19.8	0.5	42.5	2.4
5.80	9.00	16.0	9.8	0.4	24.6	4.1
6.00	9.00	15.0	9.8	0.4	24.6	4.1
6.20	9.00	15.0	10.0	0.4	24.9	4.0
6.40	7.00	13.0	8.0	0.7	10.9	9.2
6.60	13.00	24.0	14.0	0.5	26.2	3.8
6.80	11.00	19.0	12.0	0.5	25.6	3.9
7.00	15.00	22.0	16.0	0.9	17.1	5.8
7.20	15.00	29.0	16.1	1.0	16.1	6.2
7.40	21.00	36.0	22.1	0.8	27.6	3.6
7.60	15.00	27.0	16.1	0.9	18.6	5.4
7.80	14.00	27.0	15.1	0.5	28.3	3.5

8.00	13.00	21.0	14.1	0.5	26.5	3.8
8.20	13.00	21.0	14.2	0.4	35.6	2.8
8.40	15.00	21.0	16.2	0.5	34.8	2.9
8.60	11.00	18.0	12.2	0.5	23.0	4.4
8.80	11.00	19.0	12.2	0.5	26.2	3.8
9.00	13.00	20.0	14.2	0.5	26.7	3.7
9.20	11.00	19.0	12.4	0.6	20.6	4.8
9.40	16.00	25.0	17.4	1.0	17.4	5.8
9.60	21.00	36.0	22.4	1.2	18.7	5.4
9.80	21.00	39.0	22.4	1.0	22.4	4.5
10.00	16.00	31.0	17.4	0.9	20.0	5.0
10.20	17.00	30.0	18.5	0.9	19.8	5.0
10.40	17.00	31.0	18.5	0.9	21.4	4.7
10.60	16.00	29.0	17.5	0.7	26.3	3.8
10.80	18.00	28.0	19.5	1.0	19.5	5.1
11.00	15.00	30.0	16.5	0.8	20.6	4.8
11.20	17.00	29.0	18.7	0.7	25.5	3.9
11.40	17.00	28.0	18.7	0.9	21.5	4.6
11.60	17.00	30.0	18.7	0.7	28.0	3.6
11.80	13.00	23.0	14.7	0.7	20.0	5.0
12.00	11.00	22.0	12.7	0.7	17.3	5.8
12.20	16.00	27.0	17.8	0.8	22.2	4.5
12.40	17.00	29.0	18.8	0.5	40.2	2.5
12.60	13.00	20.0	14.8	0.5	27.8	3.6
12.80	12.00	20.0	13.8	0.7	20.7	4.8
13.00	10.00	20.0	11.8	0.6	19.7	5.1
13.20	12.00	21.0	13.9	0.5	29.8	3.4
13.40	14.00	21.0	15.9	0.8	19.9	5.0
13.60	12.00	24.0	13.9	0.6	23.2	4.3
13.80	12.00	21.0	13.9	0.7	19.0	5.3
14.00	16.00	27.0	17.9	1.3	14.2	7.1
14.20	19.00	38.0	21.1	0.9	22.6	4.4
14.40	19.00	33.0	21.1	1.1	18.6	5.4
14.60	18.00	35.0	20.1	0.8	25.1	4.0
14.80	20.00	32.0	22.1	1.3	16.6	6.0
15.00	18.00	38.0	20.1	0.9	21.5	4.6
15.20	18.00	32.0	20.2	0.7	27.6	3.6
15.40	20.00	31.0	22.2	1.0	22.2	4.5
15.60	17.00	32.0	19.2	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Descrizione
0.60	12.5	0.6	1.8	Argille organiche e terreni misti
6.40	11.0	0.5	1.8	Argilla inorganica di media consistenza
9.20	14.8	0.6	1.9	Argille sabbiose e limose
15.60	17.9	0.8	1.9	Argilla inorganica compatta

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr: Numero progressivo strato
 Prof: Profondità strato (m)
 Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente

Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.60	C	0.6	466.7	47.4	131.0	>9	1.9	2.0	--	--	-- 219.93
2	6.40	C	0.5	390.9	45.4	121.2	6.2	1.9	1.9	--	--	-- 214.41
3	9.20	Cl	0.7	520.0	48.4	145.3	5.3	1.9	2.0	5.0	23.5	227.9 263.05
4	15.60	C	0.8	620.7	46.0	163.2	4.2	1.9	2.0	--	--	-- 236.22

PROVA Nr.2

Committente: ARCA s.p.a.
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 19/01/2007
 Profondità prova: 14.80 mt
 Località: Cesena

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.00	0.0	0.1	0.5	0.3	338.4
0.40	11.00	18.0	11.1	0.5	20.9	4.8
0.60	11.00	19.0	11.1	0.6	18.6	5.4
0.80	13.00	22.0	13.1	0.9	14.1	7.1
1.00	14.00	28.0	14.1	1.5	9.6	10.4
1.20	36.00	58.0	36.3	1.8	20.2	5.0
1.40	29.00	56.0	29.3	2.0	14.6	6.8
1.60	21.00	51.0	21.3	1.1	19.9	5.0
1.80	17.00	33.0	17.3	0.9	18.5	5.4
2.00	16.00	30.0	16.3	0.7	24.4	4.1
2.20	14.00	24.0	14.4	0.5	27.0	3.7
2.40	12.00	20.0	12.4	0.4	31.0	3.2
2.60	10.00	16.0	10.4	0.4	26.0	3.8
2.80	13.00	19.0	13.4	0.4	33.5	3.0
3.00	19.00	25.0	19.4	0.7	26.5	3.8
3.20	16.00	27.0	16.6	0.8	20.7	4.8
3.40	13.00	25.0	13.6	0.6	22.6	4.4
3.60	13.00	22.0	13.6	0.7	18.5	5.4
3.80	13.00	24.0	13.6	0.6	22.6	4.4
4.00	11.00	20.0	11.6	0.3	34.7	2.9
4.20	10.00	15.0	10.7	0.5	20.1	5.0
4.40	10.00	18.0	10.7	0.5	20.1	5.0
4.60	10.00	18.0	10.7	0.8	13.4	7.5

4.80	12.00	24.0	12.7	0.6	21.2	4.7
5.00	16.00	25.0	16.7	0.7	22.8	4.4
5.20	13.00	24.0	13.8	0.5	25.9	3.9
5.40	8.00	16.0	8.8	0.5	18.9	5.3
5.60	12.00	19.0	12.8	0.5	24.1	4.2
5.80	10.00	18.0	10.8	0.5	20.3	4.9
6.00	10.00	18.0	10.8	0.4	27.1	3.7
6.20	38.00	44.0	39.0	0.3	145.9	0.7
6.40	30.00	34.0	31.0	0.8	38.7	2.6
6.60	31.00	43.0	32.0	0.9	36.9	2.7
6.80	47.00	60.0	48.0	0.6	79.9	1.3
7.00	61.00	70.0	62.0	0.8	77.5	1.3
7.20	50.00	62.0	51.1	0.3	153.5	0.7
7.40	57.00	62.0	58.1	0.8	72.6	1.4
7.60	67.00	79.0	68.1	0.9	78.6	1.3
7.80	50.00	63.0	51.1	0.4	127.8	0.8
8.00	48.00	54.0	49.1	0.8	61.4	1.6
8.20	12.00	24.0	13.2	0.3	39.8	2.5
8.40	66.00	71.0	67.2	0.6	112.1	0.9
8.60	13.00	22.0	14.2	1.2	11.9	8.4
8.80	33.00	51.0	34.2	0.2	171.2	0.6
9.00	36.00	39.0	37.2	0.5	69.9	1.4
9.20	29.00	37.0	30.4	0.5	57.0	1.8
9.40	8.00	16.0	9.4	0.4	23.5	4.3
9.60	6.00	12.0	7.4	0.3	27.6	3.6
9.80	5.00	9.0	6.4	0.4	16.0	6.3
10.00	6.00	12.0	7.4	0.2	36.9	2.7
10.20	6.00	9.0	7.5	0.3	22.6	4.4
10.40	6.00	11.0	7.5	0.3	28.2	3.6
10.60	5.00	9.0	6.5	0.2	32.6	3.1
10.80	6.00	9.0	7.5	0.4	18.8	5.3
11.00	7.00	13.0	8.5	0.4	21.3	4.7
11.20	13.00	19.0	14.7	0.3	54.9	1.8
11.40	13.00	17.0	14.7	3.7	4.0	25.0
11.60	180.00	235.0	181.7	3.5	51.4	1.9
11.80	286.00	339.0	287.7	3.7	77.1	1.3
12.00	121.00	177.0	122.7	2.1	57.5	1.7
12.20	17.00	49.0	18.8	0.5	35.3	2.8
12.40	18.00	26.0	19.8	0.9	22.8	4.4
12.60	19.00	32.0	20.8	1.1	19.5	5.1
12.80	29.00	45.0	30.8	1.5	21.0	4.8
13.00	24.00	46.0	25.8	1.5	17.6	5.7
13.20	32.00	54.0	33.9	1.6	21.2	4.7
13.40	26.00	50.0	27.9	2.2	12.7	7.9
13.60	26.00	59.0	27.9	2.1	13.5	7.4
13.80	25.00	56.0	26.9	1.8	15.0	6.7
14.00	21.00	48.0	22.9	1.1	20.2	4.9
14.20	19.00	36.0	21.1	1.9	10.9	9.2
14.40	25.00	54.0	27.1	2.1	12.7	7.9
14.60	28.00	60.0	30.1	2.0	15.0	6.7
14.80	30.00	60.0	32.1	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Descrizione
0.60	5.6	0.5	1.7	Argille organiche e terreni misti
6.00	15.0	0.7	1.9	Argilla inorganica compatta

9.40	40.9	0.6	1.9	Sabbie
11.40	8.8	0.6	1.8	Argilla inorganica di media consistenza
12.20	197.3	3.1	2.0	Sabbie addensate o cementate
14.60	26.3	1.6	2.0	Argilla inorganica molto compatta

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

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

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.60	C	0.3	208.1	29.9	80.2	>9	1.8	1.8	--	--	--	187.45
2	6.00	C	0.7	544.1	48.4	146.5	>9	1.9	2.0	--	--	--	228.06
3	9.40	I	--	--	160.4	270.3	7.9	1.9	2.2	31.0	28.8	451.8	334.03
4	11.40	C	0.4	288.0	40.7	105.7	3.8	1.8	1.9	--	--	--	205.10
5	12.20	I	--	--	407.0	707.1	>9	1.9	2.2	64.0	35.0	1029.3	483.48
6	14.60	C	1.2	933.8	52.6	206.4	8.0	2.0	2.1	--	--	--	255.02

PROVA Nr.3

Committente: ARCA s.p.a.
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 19/01/2007
 Profondità prova: 15.00 mt
 Località: Cesena

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertman n)
0.20	0.00	0.0	0.1	0.4	0.3	289.9
0.40	13.00	19.0	13.1	1.3	9.9	10.1
0.60	10.00	30.0	10.1	1.1	8.9	11.2
0.80	15.00	32.0	15.1	1.2	12.6	7.9
1.00	15.00	33.0	15.1	1.7	9.1	11.0
1.20	31.00	56.0	31.3	1.4	22.3	4.5

1.40	19.00	40.0	19.3	1.3	15.2	6.6
1.60	18.00	37.0	18.3	0.8	22.8	4.4
1.80	31.00	43.0	31.3	0.5	58.7	1.7
2.00	33.00	41.0	33.3	1.5	21.7	4.6
2.20	31.00	54.0	31.4	1.1	29.4	3.4
2.40	17.00	33.0	17.4	0.7	23.8	4.2
2.60	15.00	26.0	15.4	0.6	25.7	3.9
2.80	16.00	25.0	16.4	0.6	27.4	3.7
3.00	16.00	25.0	16.4	0.4	41.0	2.4
3.20	18.00	24.0	18.6	0.6	30.9	3.2
3.40	11.00	20.0	11.6	1.5	7.5	13.3
3.60	15.00	38.0	15.6	0.9	16.7	6.0
3.80	16.00	30.0	16.6	0.7	22.6	4.4
4.00	19.00	30.0	19.6	1.0	19.6	5.1
4.20	21.00	36.0	21.7	1.1	19.1	5.2
4.40	29.00	46.0	29.7	0.3	111.2	0.9
4.60	18.00	22.0	18.7	0.3	56.1	1.8
4.80	16.00	21.0	16.7	0.3	62.5	1.6
5.00	9.00	13.0	9.7	0.9	11.2	8.9
5.20	13.00	26.0	13.8	0.3	41.5	2.4
5.40	8.00	13.0	8.8	0.9	10.2	9.8
5.60	22.00	35.0	22.8	0.6	38.0	2.6
5.80	31.00	40.0	31.8	1.0	31.8	3.1
6.00	21.00	36.0	21.8	0.7	32.7	3.1
6.20	20.00	30.0	21.0	0.9	22.5	4.5
6.40	20.00	34.0	21.0	1.0	21.0	4.8
6.60	16.00	31.0	17.0	1.0	17.0	5.9
6.80	15.00	30.0	16.0	0.3	47.9	2.1
7.00	10.00	15.0	11.0	0.3	41.1	2.4
7.20	17.00	21.0	18.1	0.5	38.8	2.6
7.40	13.00	20.0	14.1	0.5	30.2	3.3
7.60	12.00	19.0	13.1	0.5	28.1	3.6
7.80	15.00	22.0	16.1	0.3	48.4	2.1
8.00	14.00	19.0	15.1	0.5	28.3	3.5
8.20	11.00	19.0	12.2	0.5	26.2	3.8
8.40	13.00	20.0	14.2	0.5	26.7	3.7
8.60	16.00	24.0	17.2	0.1	129.6	0.8
8.80	15.00	17.0	16.2	0.9	17.4	5.7
9.00	16.00	30.0	17.2	0.7	23.5	4.3
9.20	19.00	30.0	20.4	0.5	43.6	2.3
9.40	19.00	26.0	20.4	0.4	51.0	2.0
9.60	16.00	22.0	17.4	0.4	43.5	2.3
9.80	13.00	19.0	14.4	0.5	30.8	3.2
10.00	19.00	26.0	20.4	1.3	16.1	6.2
10.20	20.00	39.0	21.5	0.8	26.9	3.7
10.40	18.00	30.0	19.5	0.8	24.4	4.1
10.60	18.00	30.0	19.5	0.7	26.6	3.8
10.80	19.00	30.0	20.5	1.1	18.1	5.5
11.00	23.00	40.0	24.5	0.7	33.4	3.0
11.20	33.00	44.0	34.7	1.0	34.7	2.9
11.40	22.00	37.0	23.7	0.7	32.3	3.1
11.60	18.00	29.0	19.7	0.7	29.5	3.4
11.80	16.00	26.0	17.7	0.5	33.1	3.0
12.00	18.00	26.0	19.7	1.1	18.4	5.4
12.20	18.00	34.0	19.8	1.3	15.6	6.4
12.40	21.00	40.0	22.8	0.9	24.4	4.1
12.60	19.00	33.0	20.8	1.1	18.4	5.4

12.80	18.00	35.0	19.8	1.1	17.5	5.7
13.00	19.00	36.0	20.8	1.0	20.8	4.8
13.20	16.00	31.0	17.9	0.8	22.4	4.5
13.40	12.00	24.0	13.9	0.5	29.8	3.4
13.60	10.00	17.0	11.9	0.3	35.8	2.8
13.80	10.00	15.0	11.9	0.4	29.8	3.4
14.00	18.00	24.0	19.9	0.7	29.9	3.3
14.20	12.00	22.0	14.1	0.7	21.1	4.7
14.40	11.00	21.0	13.1	0.6	21.8	4.6
14.60	11.00	20.0	13.1	0.5	24.5	4.1
14.80	12.00	20.0	14.1	0.7	21.1	4.7
15.00	11.00	21.0	13.1	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Descrizione
0.60	5.1	0.8	1.7	Argille organiche e terreni misti
6.40	20.0	0.9	1.9	Argilla inorganica molto compatta
9.80	15.9	0.5	1.9	Argille inorganica compatta
13.00	21.7	0.9	2.0	Argille sabbiose e limose
14.80	14.4	0.6	1.9	Argilla inorganica compatta

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

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

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.60	C	0.3	189.3	27.8	75.8	>9	1.7	1.8	--	--	--	184.00
2	6.40	C	1.0	726.8	42.0	174.6	>9	2.0	2.0	--	--	--	241.50
3	9.80	C	0.7	557.5	48.1	151.8	3.4	1.9	2.0	--	--	--	230.72
4	13.00	CI	1.0	763.3	43.4	183.5	5.4	2.0	2.1	5.0	23.6	329.3	287.80
5	14.80	C	0.6	480.5	48.4	142.9	2.6	1.9	2.0	--	--	--	226.21

PROVA Nr.4

Committente: ARCA s.p.a.
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 19/01/2007

Profondità prova: 10.80 mt

Località: Cesena

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertman)
0.20	0.00	0.0	0.1	0.3	0.4	241.3
0.40	7.00	12.0	7.1	1.0	7.1	14.0
0.60	12.00	27.0	12.1	1.1	11.4	8.8
0.80	27.00	43.0	27.1	1.1	24.0	4.2
1.00	22.00	39.0	22.1	1.2	18.4	5.4
1.20	21.00	39.0	21.3	1.7	12.8	7.8
1.40	22.00	47.0	22.3	1.1	19.7	5.1
1.60	32.00	49.0	32.3	1.9	16.7	6.0
1.80	20.00	49.0	20.3	1.3	16.0	6.2
2.00	20.00	39.0	20.3	1.2	16.9	5.9
2.20	17.00	35.0	17.4	0.9	18.7	5.4
2.40	9.00	23.0	9.4	0.7	14.1	7.1
2.60	11.00	21.0	11.4	0.6	19.0	5.3
2.80	20.00	29.0	20.4	0.5	43.7	2.3
3.00	13.00	20.0	13.4	0.3	50.2	2.0
3.20	9.00	13.0	9.6	0.2	47.8	2.1
3.40	11.00	14.0	11.6	0.7	15.8	6.3
3.60	21.00	32.0	21.6	0.8	26.9	3.7
3.80	17.00	29.0	17.6	0.9	18.8	5.3
4.00	15.00	29.0	15.6	0.8	19.4	5.1
4.20	13.00	25.0	13.7	0.6	22.8	4.4
4.40	13.00	22.0	13.7	0.5	25.7	3.9
4.60	12.00	20.0	12.7	0.7	17.3	5.8
4.80	10.00	21.0	10.7	0.6	17.8	5.6
5.00	11.00	20.0	11.7	0.7	17.5	5.7
5.20	20.00	30.0	20.8	0.9	22.3	4.5
5.40	36.00	50.0	36.8	1.0	36.8	2.7
5.60	51.00	66.0	51.8	1.1	48.6	2.1
5.80	15.00	31.0	15.8	0.5	33.9	3.0
6.00	14.00	21.0	14.8	0.5	31.8	3.1
6.20	17.00	24.0	18.0	0.6	29.9	3.3
6.40	12.00	21.0	13.0	0.6	21.6	4.6
6.60	13.00	22.0	14.0	0.9	16.1	6.2
6.80	12.00	25.0	13.0	0.9	15.0	6.7
7.00	14.00	27.0	15.0	0.9	17.3	5.8
7.20	12.00	25.0	13.1	0.9	14.0	7.1
7.40	16.00	30.0	17.1	1.1	16.0	6.2
7.60	17.00	33.0	18.1	1.6	11.3	8.8
7.80	32.00	56.0	33.1	1.1	31.0	3.2
8.00	30.00	46.0	31.1	1.6	19.4	5.1
8.20	16.00	40.0	17.2	0.9	19.9	5.0
8.40	13.00	26.0	14.2	0.7	19.4	5.1
8.60	10.00	21.0	11.2	0.9	13.0	7.7
8.80	17.00	30.0	18.2	0.7	24.9	4.0
9.00	19.00	30.0	20.2	0.9	21.7	4.6
9.20	18.00	32.0	19.4	1.3	15.3	6.5
9.40	12.00	31.0	13.4	1.3	10.0	10.0
9.60	12.00	32.0	13.4	0.4	33.5	3.0
9.80	12.00	18.0	13.4	1.6	8.4	12.0
10.00	24.00	48.0	25.4	1.6	15.9	6.3
10.20	32.00	56.0	33.5	1.9	18.0	5.6

10.40	31.00	59.0	32.5	1.9	17.4	5.7
10.60	27.00	55.0	28.5	2.0	14.3	7.0
10.80	26.00	56.0	27.5	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Descrizione
0.60	6.5	0.8	1.8	Argille organiche e terreni misti
1.80	24.2	1.4	2.0	Argilla inorganica molto compatta
5.00	14.4	0.7	1.9	Argilla inorganica compatta
5.80	31.3	0.9	2.0	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
9.80	17.0	1.0	1.9	Argilla inorganica compatta
10.60	30.0	1.8	2.0	Argilla inorganica molto compatta

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

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

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.60	C	0.3	241.7	33.4	87.9	>9	1.8	1.9	--	--	--	193.10
2	1.80	C	1.2	899.0	48.4	196.2	>9	2.0	2.1	--	--	--	250.83
3	5.00	C	0.7	515.9	48.4	142.9	7.8	1.9	2.0	--	--	--	226.21
4	5.80	CI	1.5	1142.8	62.6	229.6	>9	2.0	2.1	33.0	27.8	375.4	313.67
5	9.80	C	0.8	598.3	47.2	158.1	6.8	1.9	2.0	--	--	--	233.81
6	10.60	C	1.4	1077.5	60.0	223.7	>9	2.0	2.1	--	--	--	261.79

PROVA Nr.5

Committente: ARCA s.p.a.
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 11/07/2012
 Profondità prova: 14.60 mt
 Località: Cesena

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertman n)
0.20	0.00	0.0	0.1	1.1	0.1	773.2
0.40	32.00	48.0	32.1	0.5	68.8	1.5
0.60	38.00	45.0	38.1	1.6	23.8	4.2
0.80	29.00	53.0	29.1	1.3	21.9	4.6
1.00	31.00	51.0	31.1	1.9	16.7	6.0
1.20	31.00	59.0	31.3	2.9	10.9	9.2
1.40	28.00	71.0	28.3	2.9	9.9	10.1
1.60	23.00	66.0	23.3	2.1	11.3	8.9
1.80	27.00	58.0	27.3	1.1	24.1	4.2
2.00	26.00	43.0	26.3	1.6	16.4	6.1
2.20	18.00	42.0	18.4	1.2	15.3	6.5
2.40	19.00	37.0	19.4	0.8	24.3	4.1
2.60	11.00	23.0	11.4	0.5	24.4	4.1
2.80	13.00	20.0	13.4	0.5	25.2	4.0
3.00	15.00	23.0	15.4	0.6	25.7	3.9
3.20	14.00	23.0	14.6	0.7	21.8	4.6
3.40	11.00	21.0	11.6	0.5	24.7	4.0
3.60	19.00	26.0	19.6	0.6	32.6	3.1
3.80	10.00	19.0	10.6	0.6	17.6	5.7
4.00	11.00	20.0	11.6	0.5	21.7	4.6
4.20	10.00	18.0	10.7	0.5	22.9	4.4
4.40	15.00	22.0	15.7	0.7	21.4	4.7
4.60	11.00	22.0	11.7	0.4	29.2	3.4
4.80	12.00	18.0	12.7	0.6	21.2	4.7
5.00	13.00	22.0	13.7	0.5	29.3	3.4
5.20	14.00	21.0	14.8	0.5	31.8	3.1
5.40	18.00	25.0	18.8	0.6	31.4	3.2
5.60	13.00	22.0	13.8	0.7	20.7	4.8
5.80	12.00	22.0	12.8	0.6	21.4	4.7
6.00	17.00	26.0	17.8	0.7	24.3	4.1
6.20	12.00	23.0	13.0	1.0	13.0	7.7
6.40	13.00	28.0	14.0	0.9	15.0	6.7
6.60	17.00	31.0	18.0	0.8	22.5	4.5
6.80	13.00	25.0	14.0	0.8	17.5	5.7
7.00	17.00	29.0	18.0	1.1	15.9	6.3
7.20	18.00	35.0	19.1	1.3	14.3	7.0
7.40	22.00	42.0	23.1	1.5	15.7	6.3
7.60	19.00	41.0	20.1	1.2	16.8	6.0
7.80	17.00	35.0	18.1	0.7	27.1	3.7
8.00	18.00	28.0	19.1	0.8	23.9	4.2
8.20	17.00	29.0	18.2	1.0	18.2	5.5
8.40	12.00	27.0	13.2	0.5	24.8	4.0
8.60	26.00	34.0	27.2	1.1	24.0	4.2
8.80	25.00	42.0	26.2	1.2	21.9	4.6
9.00	18.00	36.0	19.2	0.8	24.1	4.2
9.20	22.00	34.0	23.4	0.7	31.9	3.1
9.40	27.00	38.0	28.4	1.4	20.3	4.9
9.60	25.00	46.0	26.4	1.0	26.4	3.8
9.80	26.00	41.0	27.4	1.4	19.6	5.1
10.00	19.00	40.0	20.4	1.2	17.0	5.9
10.20	19.00	37.0	20.5	0.9	22.0	4.5
10.40	17.00	31.0	18.5	0.7	27.8	3.6
10.60	19.00	29.0	20.5	0.9	22.0	4.5
10.80	19.00	33.0	20.5	0.9	22.0	4.5

11.00	16.00	30.0	17.5	0.8	21.9	4.6
11.20	21.00	33.0	22.7	1.1	21.2	4.7
11.40	15.00	31.0	16.7	1.0	16.7	6.0
11.60	15.00	30.0	16.7	0.9	17.9	5.6
11.80	19.00	33.0	20.7	1.0	20.7	4.8
12.00	15.00	30.0	16.7	0.7	22.7	4.4
12.20	17.00	28.0	18.8	0.7	28.2	3.5
12.40	12.00	22.0	13.8	0.5	29.5	3.4
12.60	12.00	19.0	13.8	0.6	23.0	4.3
12.80	16.00	25.0	17.8	0.9	20.5	4.9
13.00	12.00	25.0	13.8	0.8	17.2	5.8
13.20	12.00	24.0	13.9	0.7	20.9	4.8
13.40	12.00	22.0	13.9	0.6	23.2	4.3
13.60	12.00	21.0	13.9	0.6	23.2	4.3
13.80	12.00	21.0	13.9	0.5	26.1	3.8
14.00	15.00	23.0	16.9	0.7	25.4	3.9
14.20	18.00	28.0	20.1	0.9	21.5	4.6
14.40	16.00	30.0	18.1	0.8	22.6	4.4
14.60	17.00	29.0	19.1	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Descrizione
0.60	23.5	1.0	1.9	Argille organiche e terreni misti
2.20	26.9	1.9	2.0	Argilla inorganica molto compatta
7.20	14.6	0.7	1.9	Argilla inorganica compatta
11.00	21.5	1.0	2.0	Argilla sabbiose e limose
14.60	16.7	0.7	1.9	Argilla inorganica compatta

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

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

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.60	CI	1.2	879.1	47.0	192.7	>9	2.0	2.1	100.0	39.7	108.6	293.24
2	2.20	C	1.3	998.5	53.8	209.3	>9	2.0	2.1	--	--	--	256.17
3	7.20	C	0.7	513.4	48.4	144.1	5.5	1.9	2.0	--	--	--	226.84
4	11.00	CI	1.0	740.1	43.0	182.5	4.4	2.0	2.1	7.0	22.2	331.1	287.18
5	14.60	C	0.7	533.0	47.5	156.4	1.9	1.9	2.0	--	--	--	232.98

CALCOLO DEI VALORI CARATTERISTICI DEI TERRENI

Il calcolo dei valori caratteristici è stato eseguito utilizzando il software CVSOIL che consente di elaborare i dati forniti dalle prove e ricavare il 5° percentile da una curva statistica con distribuzione standard. Le seguenti tabelle riassumono i dati ottenuti che saranno poi utilizzati nel calcolo della portanza.

Prova n. 1

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione drenata [kN/mq]	Coesione non drenata [kN/mq]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	Modulo di Young [kN/mq]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]
Argille organiche e terreni misti	36.6	--	42.0	4137.9	13300.7	7.9	8.2
Argilla inorganica di media consistenza	21.7	24.5	48.8	4328.1	9735.2	17.1	17.9
Argille sabbiose e limose	22.0	48.4	63.2	5346.6	17922.8	17.2	18.9
Argilla inorganica compatta	21.1	63.1	78.9	5453.0	22173.7	17.3	19.2

Prova n. 2

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione drenata [kN/mq]	Coesione non drenata [kN/mq]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	Modulo di Young [kN/mq]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]
Argille organiche e terreni misti	--	--	42.4	3094.0	--	7.9	8.7
Argilla inorganica compatta	21.0	9.7	68.1	5120.9	14335.0	17.3	18.6
Sabbie	25.2	34.4	52.9	15721.9	28265.9	17.7	19.6
Argilla inorganica di media consistenza	16.6	23.1	36.1	3734.3	3225.4	16.9	17.2
Sabbie addensate o cementate	31.0	--	--	39922.8	80241.2	17.0	19.9
Argilla inorganica molto compatta	25.2	134.6	115.9	6188.3	38895.6	17.9	20.0
Argille organiche e terreni misti	24.970	--	--	12348.530	43525.8	--	--

Prova n. 3

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione drenata [kN/mq]	Coesione e non drenata [kN/mq]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	Modulo di Young [kN/mq]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]
Argille organiche e terreni	--	--	48.6	2846.9	--	7.8	8.6

misti							
Argilla inorganica molto compatta	23.0	49.2	75.9	6969.3	18196.5	17.1	19.1
Argille inorganica compatta	22.0	48.9	69.1	5904.4	17890.7	17.1	19.6
Argille sabbiose e limose	22.1	63.6	92.9	6856.8	24174.7	16.9	19.9
Argilla inorganica compatta	18.9	34.8	64.8	5099.2	13082.1	17.1	19.0
Argille organiche e terreni misti	20.0	--	--	5039.6	19783.9	--	--

Prova n. 4

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione drenata [kN/mq]	Coesione non drenata [kN/mq]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	Modulo di Young [kN/mq]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]
Argille organiche e terreni misti	--	--	31.2	2718.9	--	8.1	8.8
Argilla inorganica molto compatta	36.4	132.2	114.8	5614.8	17426.4	17.8	19.9
Argilla inorganica compatta	22.7	46.5	64.8	4983.5	12979.7	17.3	18.6
Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi	22.8	27.3	--	12040.3	15582.9	17.6	20.5
Argilla inorganica compatta	21.0	26.9	74.3	5392.5	14254.0	17.4	18.9
Argilla inorganica molto compatta	--	--	140.7	5878.9	--	19.5	20.3
Argille organiche e terreni misti	24.8	--	--	10578.4	38006.6	--	--

Prova n. 5

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione drenata [kN/mq]	Coesione non drenata [kN/mq]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	Modulo di Young [kN/mq]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]
Argille organiche e terreni misti	38.3	186.3	0.4	9023.0	11004.1	8.0	8.2
Argilla inorganica molto compatta	28.4	125.7	128.2	6706.4	13214.3	17.5	20.0
Argilla inorganica compatta	21.5	51.1	63.1	5161.6	16871.0	17.3	18.7
Argilla sabbiose e limose	20.3	57.6	97.2	6224.2	20550.2	17.0	19.7
Argilla inorganica compatta	17.6	45.2	70.5	5055.6	18553.3	17.5	18.9

Affinché una fondazione possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (stato limite ultimo), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine.

Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$R/A' = (2 + \pi) c_u s_c i_c + q$$

Dove:

$A' = B' L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u Coesione non drenata.

q pressione litostatica totale sul piano di posa.

s_c Fattore di forma

$$s_c = 1 + 0,2 (B'/L') \quad \text{per fondazioni rettangolari}$$

$$s_c = 1,2 \quad \text{per fondazioni quadrate o circolari.}$$

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H .

$$i_c = 0,5 \left(1 + \sqrt{1 - H/A'c_u} \right)$$

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$R/A' = c' N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 (45 + \phi' / 2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + (B'/L') \sin \phi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_q = 1 + \sin \phi' \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 (B'/L') \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 0,7 \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$ per forma rettangolare, quadrata o circolare.

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a L'

$$i_q = i_\gamma = 1 - H / (V + A' c' \cot \phi')$$

$$i_c = (i_q N_q - 1) / (N_q - 1)$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = [1 - 0,7H / (V + A' c' \cot \phi')]^3$$

$$i_\gamma = [1 - H / (V + A' c' \cot \phi')]^3$$

$$i_c = (i_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

Oltre ai fattori correttivi di cui sopra sono considerati quelli complementari della profondità del piano di posa e dell'inclinazione del piano di posa e del piano campagna (Hansen).

FATTORI CORRETTIVI SISMICI: PAOLUCCI E PECKER

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma sulla determinazione del q_{lim} vengono introdotti i fattori correttivi z:

$$z_q = \left(1 - \frac{k_h}{tg \phi}\right)^{0,35}$$

$$z_c = 1 - 0,32 \cdot k_h$$

$$z_\gamma = z_q$$

Dove k_h è il coefficiente sismico orizzontale.

Calcolo coefficienti sismici

Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti k_h e k_v in dipendenza di vari fattori:

$$k_h = \beta \times (a_{max}/g)$$

$$k_v = \pm 0,5 \times k_h$$

β = coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità;

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S S_T a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq S_S \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

S_T (effetto di amplificazione topografica) per fondazioni in prossimità di pendii.

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1 (S_T = 1.0) \quad T2 (S_T = 1.20) \quad T3 (S_T = 1.20) \quad T4 (S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$K_h = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

a_{gR} : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,

γ_I : fattore di importanza,

S: soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale K_v è definito in funzione di K_h , e vale:

$$K_v = \pm 0.5 \cdot K_h$$

CEDIMENTI EDOMETRICI

Il calcolo dei cedimenti con l'approccio edometrico consente di valutare un cedimento di consolidazione di tipo monodimensionale, prodotto dalle tensioni indotte da un carico applicato in condizioni di espansione laterale impedita. Pertanto la stima effettuata con questo metodo va considerata come empirica, piuttosto che teorica.

Tuttavia la semplicità d'uso e la facilità di controllare l'influenza dei vari parametri che intervengono nel calcolo, ne fanno un metodo molto diffuso.

L'approccio edometrico nel calcolo dei cedimenti passa essenzialmente attraverso due fasi:

il calcolo delle tensioni verticali indotte alle varie profondità con l'applicazione della teoria dell'elasticità;

la valutazione dei parametri di compressibilità attraverso la prova edometrica.

In riferimento ai risultati della prova edometrica, il cedimento è valutato come:

$$\Delta H = H_0 \cdot RR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}}$$

se si tratta di un terreno sovraconsolidato ($OCR > 1$), ossia se l'incremento di tensione dovuto all'applicazione del carico non fa superare la pressione di preconsolidazione σ'_p ($\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v < \sigma'_p$).

Se invece il terreno è normalconsolidato ($\sigma'_{v0} = \sigma'_p$) le deformazioni avvengono nel tratto di compressione e il cedimento è valutato come:

$$\Delta H = H_0 \cdot CR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}}$$

dove:

RR Rapporto di ricompressione;

CR Rapporto di compressione;

H_0 spessore iniziale dello strato;

σ'_{v0} tensione verticale efficace prima dell'applicazione del carico.

$\Delta\sigma_v$ incremento di tensione verticale dovuto all'applicazione del carico.

In alternativa ai parametri RR e CR si fa riferimento al modulo edometrico M ; in tal caso però occorre scegliere opportunamente il valore del modulo da utilizzare, tenendo conto dell'intervallo tensionale ($\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v$) significativo per il problema in esame.

L'applicazione corretta di questo tipo di approccio richiede:

la suddivisione degli strati compressibili in una serie di piccoli strati di modesto spessore (< 2.00 m);

la stima del modulo edometrico nell'ambito di ciascuno strato;

il calcolo del cedimento come somma dei contributi valutati per ogni piccolo strato in cui è stato suddiviso il banco compressibile.

Molti usano le espressioni sopra riportate per il calcolo del cedimento di consolidazione tanto per le argille quanto per le sabbie di granulometria da fina a media, perché il modulo di elasticità impiegato è ricavato direttamente da prove di consolidazione. Tuttavia, per terreni a grana più grossa le dimensioni dei provini edometrici sono poco significative del comportamento globale dello strato e, per le sabbie, risulta preferibile impiegare prove penetrometriche statiche e dinamiche.

Cedimento secondario

Il cedimento secondario è calcolato facendo riferimento alla relazione:

$$\Delta H_s = H_c \cdot C_\alpha \cdot \log \frac{T}{T_{100}}$$

in cui:

H_c è l'altezza dello strato in fase di consolidazione;

C_α è il coefficiente di consolidazione secondaria come pendenza nel tratto secondario della curva *cedimento-logaritmo tempo*;

T tempo in cui si vuole il cedimento secondario;

T_{100} tempo necessario all'esaurimento del processo di consolidazione primaria.

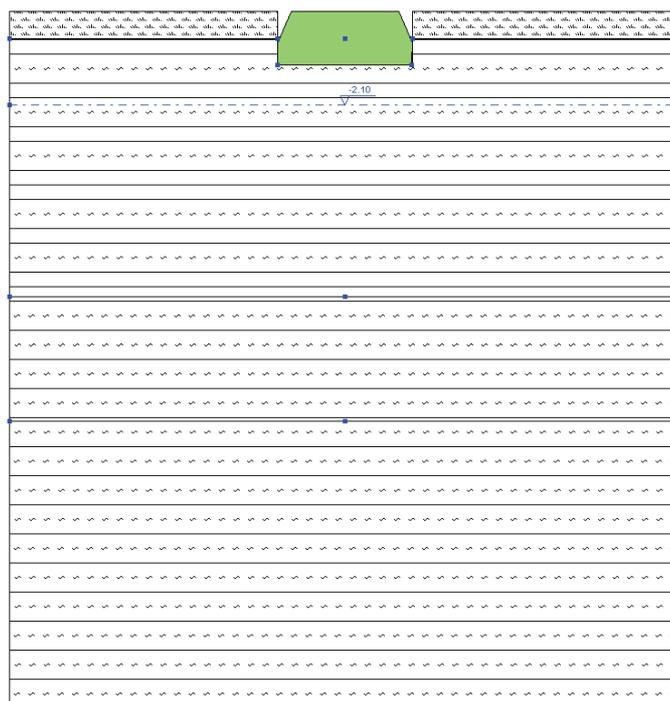
VERIFICA DEL CARICO LIMITE

DATI GENERALI

Azione sismica	NTC 2008
Larghezza fondazione	3.0 m
Lunghezza fondazione	3.0 m
Profondità piano di posa	1.2 m
Altezza di incastro	0.5 m
Profondità falda	2.1

SISMA

Accelerazione massima (ag/g)	0.092
Effetto sismico secondo	NTC(C7.11.5.3.1)
Fattore di struttura [q]	3
Periodo fondamentale vibrazione [T]	0.25
Coefficiente intensità sismico terreno [Khk]	0.0184
Coefficiente intensità sismico struttura [Khi]	0.223



S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.6	2.43	0.27
S.L.D.	50.0	0.76	2.41	0.28
S.L.V.	475.0	1.95	2.39	0.31
S.L.C.	975.0	2.49	2.42	0.32

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.9	0.2	0.0184	0.0092
S.L.D.	1.14	0.2	0.0233	0.0116
S.L.V.	2.7589	0.24	0.0675	0.0338
S.L.C.	3.3149	0.28	0.0947	0.0473

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	121.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	Sisma	121.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	121.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
4	S.L.D.	121.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. C capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	2.3	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 364.71 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 158.57 kN/m²

Tensione [Ed] 121.57 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3.0

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

=====

Fattore [Nq] 1.0

Fattore [Nc] 5.14

Fattore [Ng] 0.0

Fattore forma [Sc] 1.2

Fattore profondità [Dc] 1.16

Fattore inclinazione carichi [Ic] 1.0

Fattore correzione sismico inerziale [zq] 1.0

Fattore correzione sismico inerziale [zg] 1.0

Fattore correzione sismico inerziale [zc] 1.0

=====

Carico limite 364.69 kN/m²

Resistenza di progetto 158.56 kN/m²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

=====

Sisma

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

=====

Fattore [Nq] 1.0

Fattore [Nc] 5.14

Fattore [Ng] 0.0

Fattore forma [Sc]	1.2
Fattore profondità [Dc]	1.16
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	364.69 kN/m ²
Resistenza di progetto	158.56 kN/m ²
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

CEDIMENTI PER OGNI STRATO

***Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi**

Pressione normale di progetto	110.0 kN/m ²
Cedimento dopo T anni	15.0
Cedimento totale	4.27 cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento di consolidazione; Ws: Cedimento secondario (deformazioni viscosi); Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m ²)	Dp (kN/m ²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
2	3.8	54.282	29.274	Edometrico	3.42	--	3.42
3	7.8	91.951	7.53	Edometrico	0.44	--	0.44
4	12.4	137.609	2.858	Edometrico	0.41	--	0.41

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Il coefficiente di sottofondo è il rapporto tra il carico applicato e il cedimento conseguente nell'ipotesi di un terreno ideale elastico.

Tale modulo dipende sia dal tipo di terreno sia dalle condizioni di carico.

Valori indicativi per il coefficiente sono forniti dalla bibliografia:

Terreni argillosi

($q_u > 800$ kPa) : $K_1 > 48.000$ [KN/mc]

($200 < q_u < 400$ kPa) : $K_1 = 24.000 - 48.000$ [KN/mc]

($q_u < 200$ kPa) : $K_1 = 12.000 - 24.000$ [KN/mc]

Dove per q_u si intende il valore della pressione che produce un cedimento di 2,54 cm.

Terreni sabbiosi

Terreno con sabbia sciolta : $K_1 = 4.800 - 16.000$ [KN/mc]

Terreno con sabbia media : $K_1 = 9.600 - 8.000$ [KN/mc]

Terreno con sabbia densa : $K_1 = 6400 - 12.800$ [KN/mc]

Terreno con sabbia densa mediamente argillosa : $K_1 = 32.000 - 80.000$ [KN/mc]

Terreno con sabbia densa mediamente siltosa : $K_1 = 24.000 - 48.000$ [KN/mc]

CONCLUSIONI

L'intervento oggetto di questa relazione consiste nella realizzazione di un PUA e di un capannone all'interno dello stesso. Geologicamente i terreni fanno parte dei depositi alluvionali olocenici costituiti da terreni a grana fine come argilla e limo e strati di sabbia.

La falda è stata misurata al momento dell'esecuzione delle prove nel gennaio 2007 a profondità variabile tra di 2,05 m e 3,30m.

Dal punto di vista sismico il terreno appartiene alla classe C. Nella presente relazione si considera l'approccio 2 descritto nelle NTA 2008 i cui risultati sono qui di seguito riassunti:

Tipo fondazione lunghezza-larghezza (m)	Profondità piano di posa (m)	Carico limite SLU (KN/m²)	Rd (KN/m²)	Carico d'esercizio (KN/m²)	Cedimenti (cm)
Plinto 3,0 x 3,0	1,2	364,69	158,56	110,0	4,27

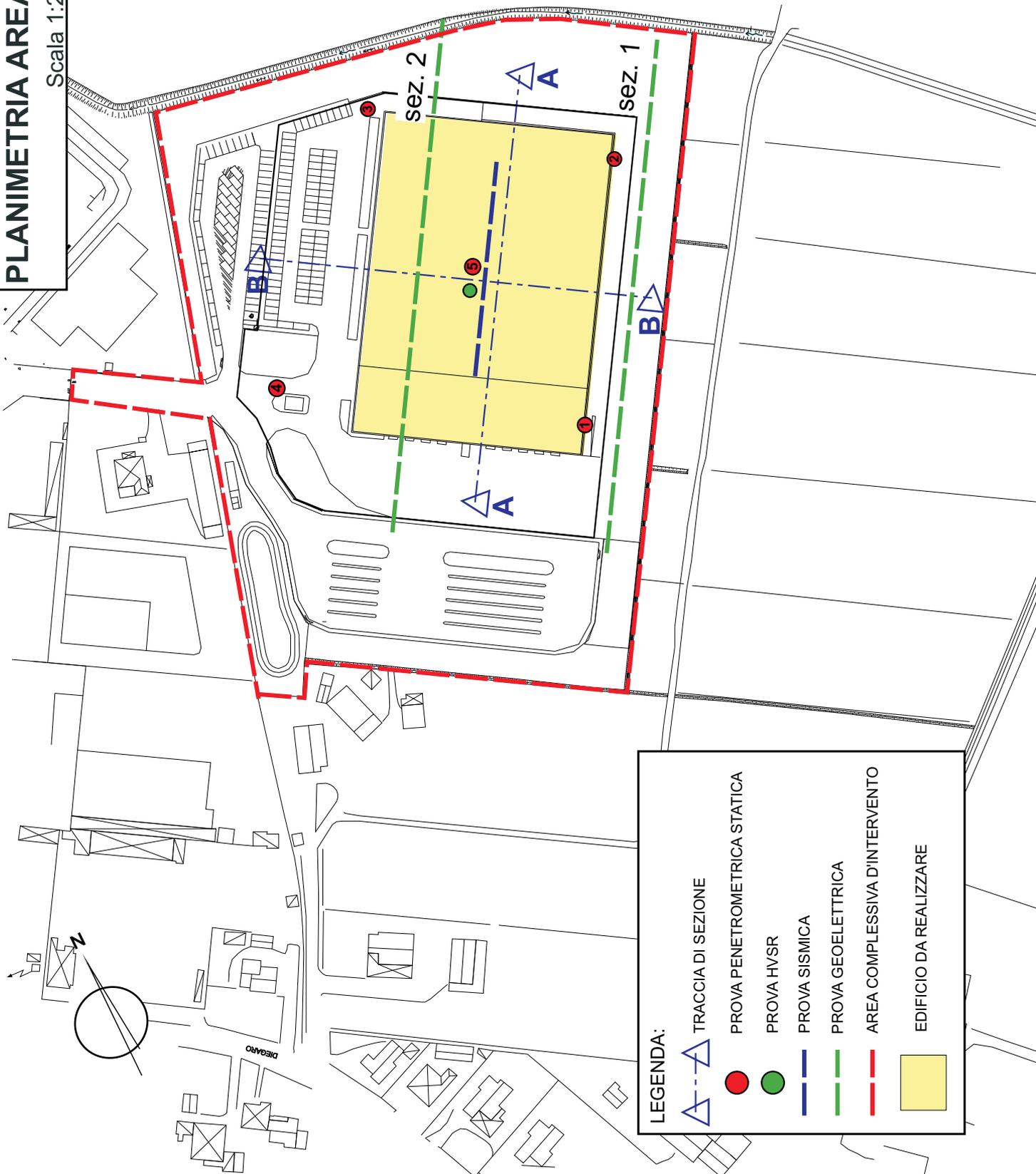
1. eseguire correttamente le fogne e i sistemi drenanti le acque meteoriche;
2. effettuare i getti fondali in periodi stagionali favorevoli;
3. considerato che la falda fu trovata a profondità appena più bassa del piano fondale ipotizzato è probabile che in tempi più umidi o particolarmente piovosi possa risalire e per capillarità raggiungere le fondazioni per cui è bene aggiungere materiale idrofugo nei getti fondali per evitare infiltrazioni di acqua nelle fondazioni stesse;
4. allontanare velocemente il terreno di risulta;
5. valutare durante gli scavi fondali la profondità fondale corretta, ed eventualmente approfondire tali scavi sino a raggiungere terreno idoneo.

Qualora durante gli scavi fondali emergessero situazioni anomale non previste dal presente studio quali, terreno molle o di riporto, si prega di avvisare il sottoscritto il quale dopo sopralluogo deciderà sugli eventuali interventi da eseguire.

Casadio Mario

PLANIMETRIA AREA D'INTERVENTO

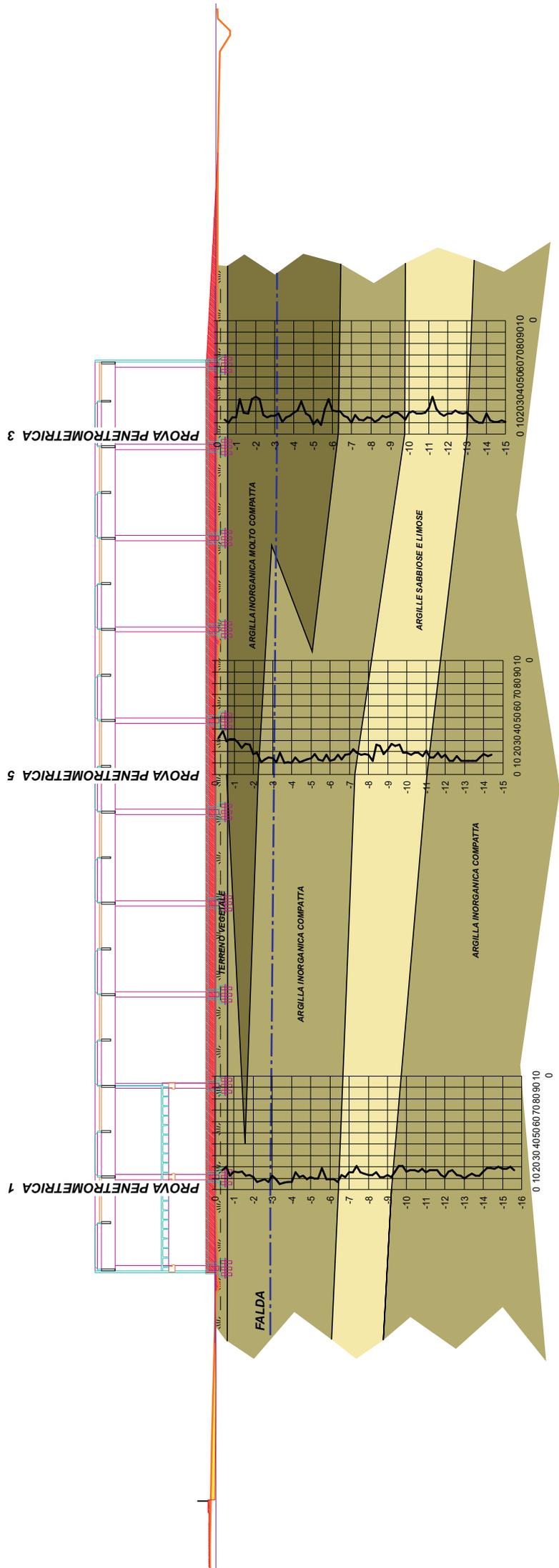
Scala 1:2.000



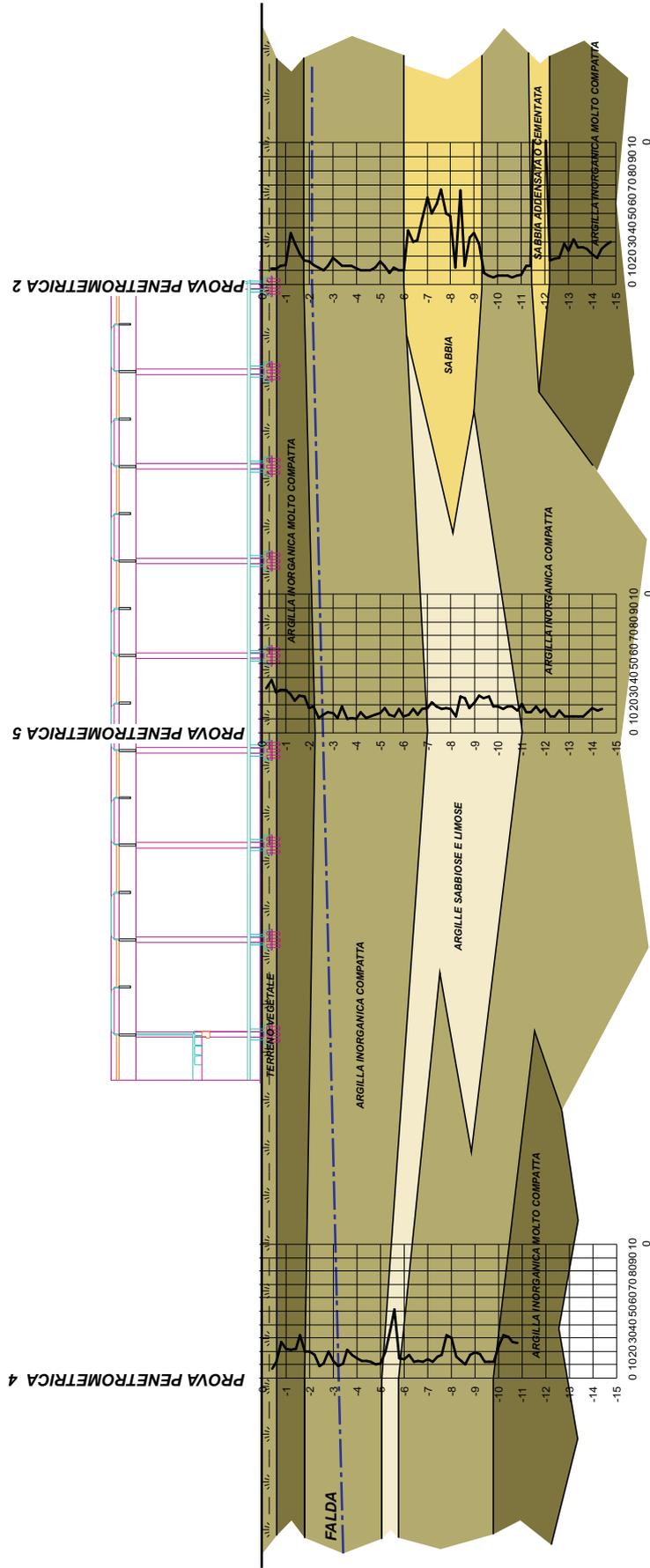
LEGENDA:

- TRACCE DI SEZIONE
- PROVA PENETROMETRICA STATICA
- PROVA HVSR
- PROVA SISMICA
- PROVA GEOELETTICA
- AREA COMPLESSIVA D'INTERVENTO
- EDIFICIO DA REALIZZARE

SEZIONE GEOLOGICA A-A
scala 1:500 o/1:200 v

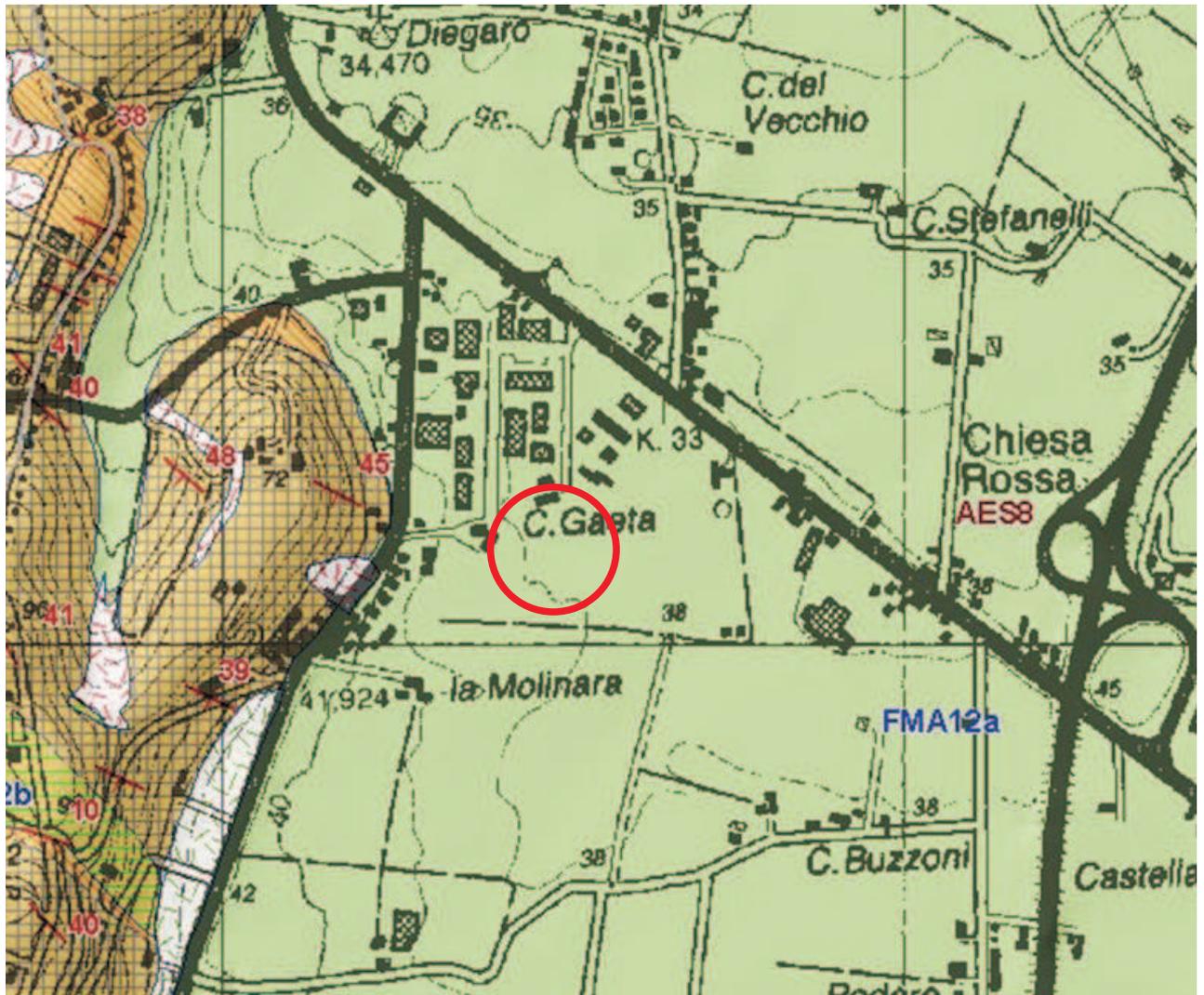


SEZIONE GEOLOGICA B-B
scala 1:500 o/1:200 v



CARTA GEOLOGICA

Scala 1:10.000



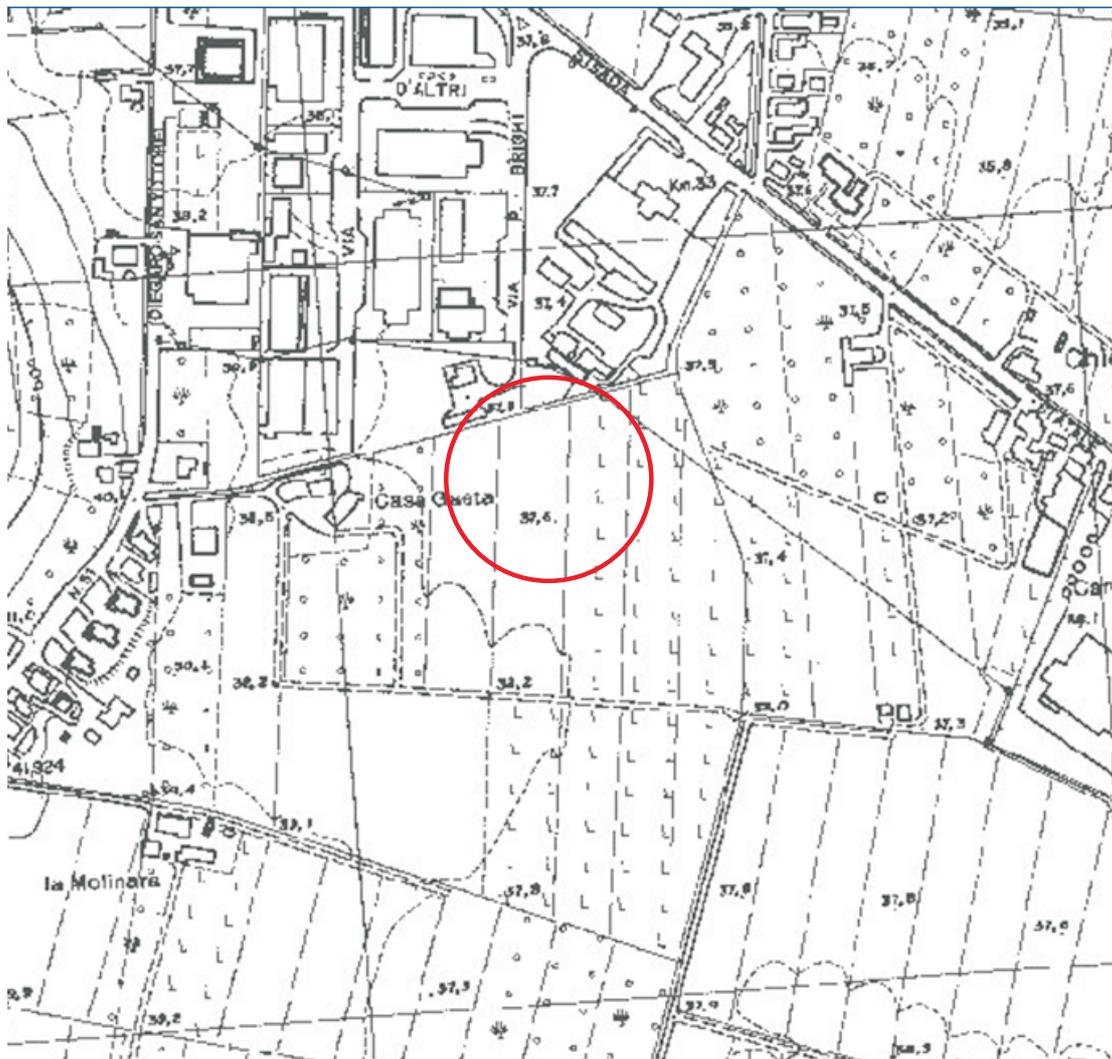
Coperture quaternarie (10K)

 AES8 - Subsistema di Ravenna - limi prevalenti

 AES8a - Unità di Modena - limi e argille prevalenti

 Area d'intervento

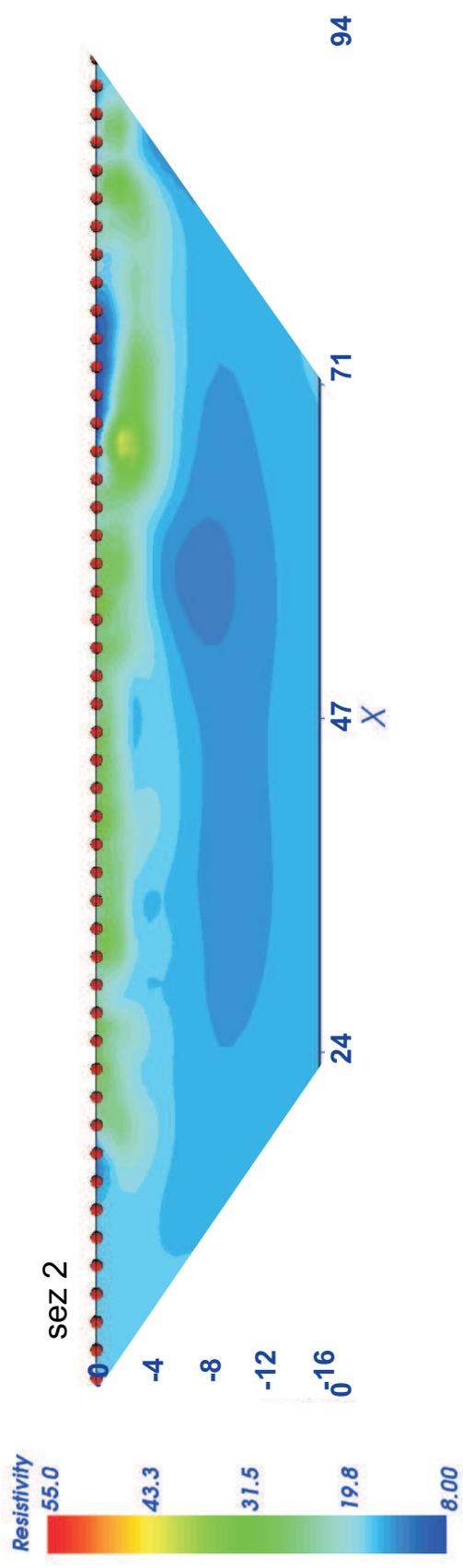
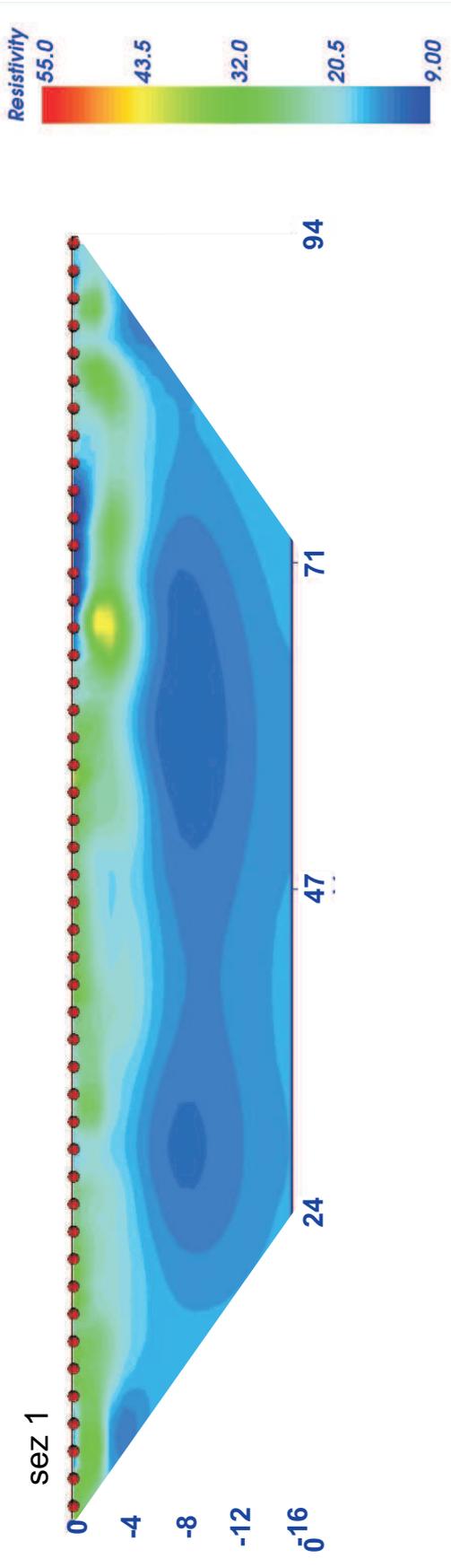
CARTA COROGRAFICA
SCALA 1:5000



CTR n° 255030

SEZIONI TOMOGRAFIA GEOELETRICA

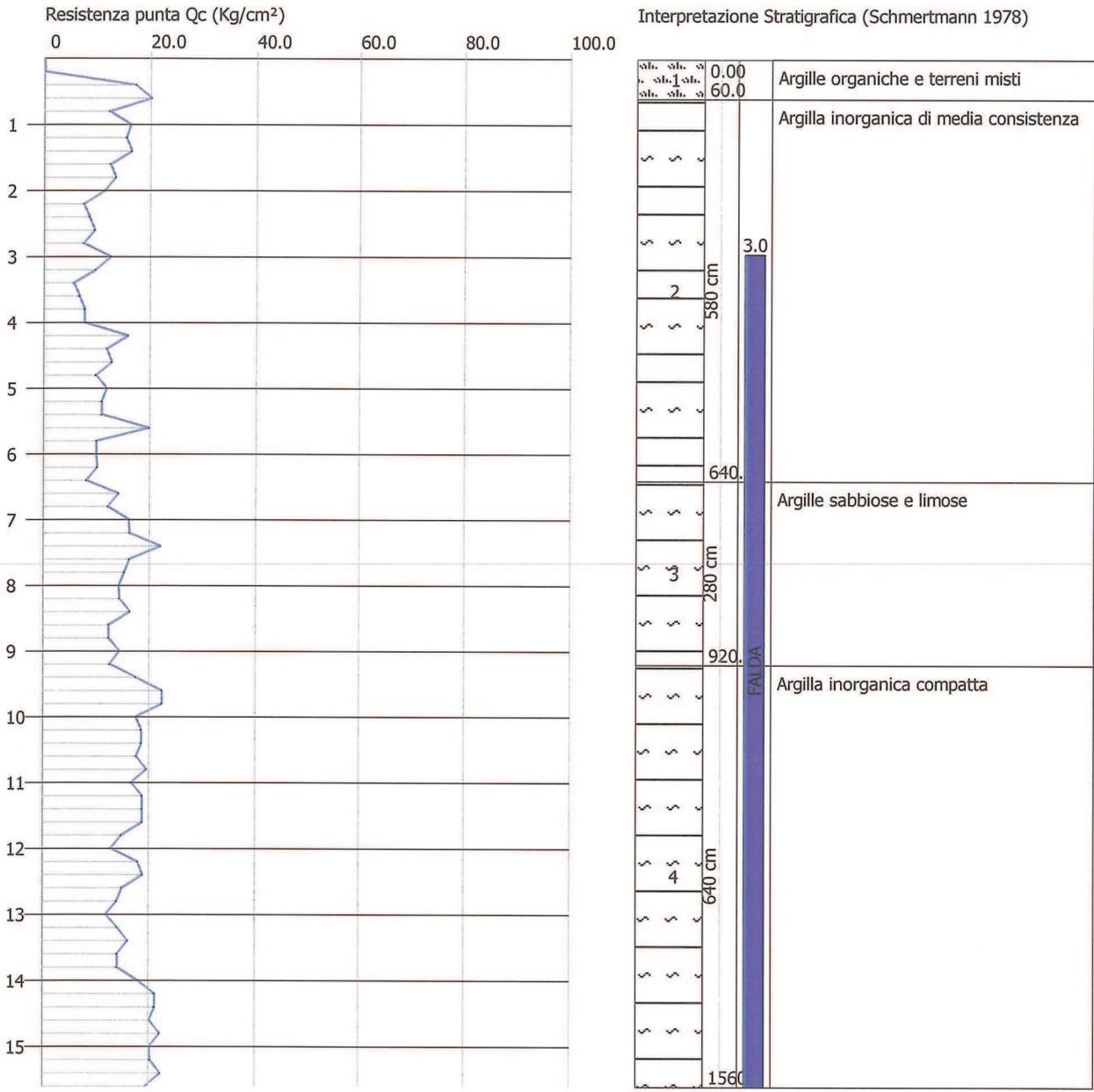
SCALA 1:1.000



Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: ARCA s.p.a.
 Cantiere: Via Brighi
 Località: Cesena

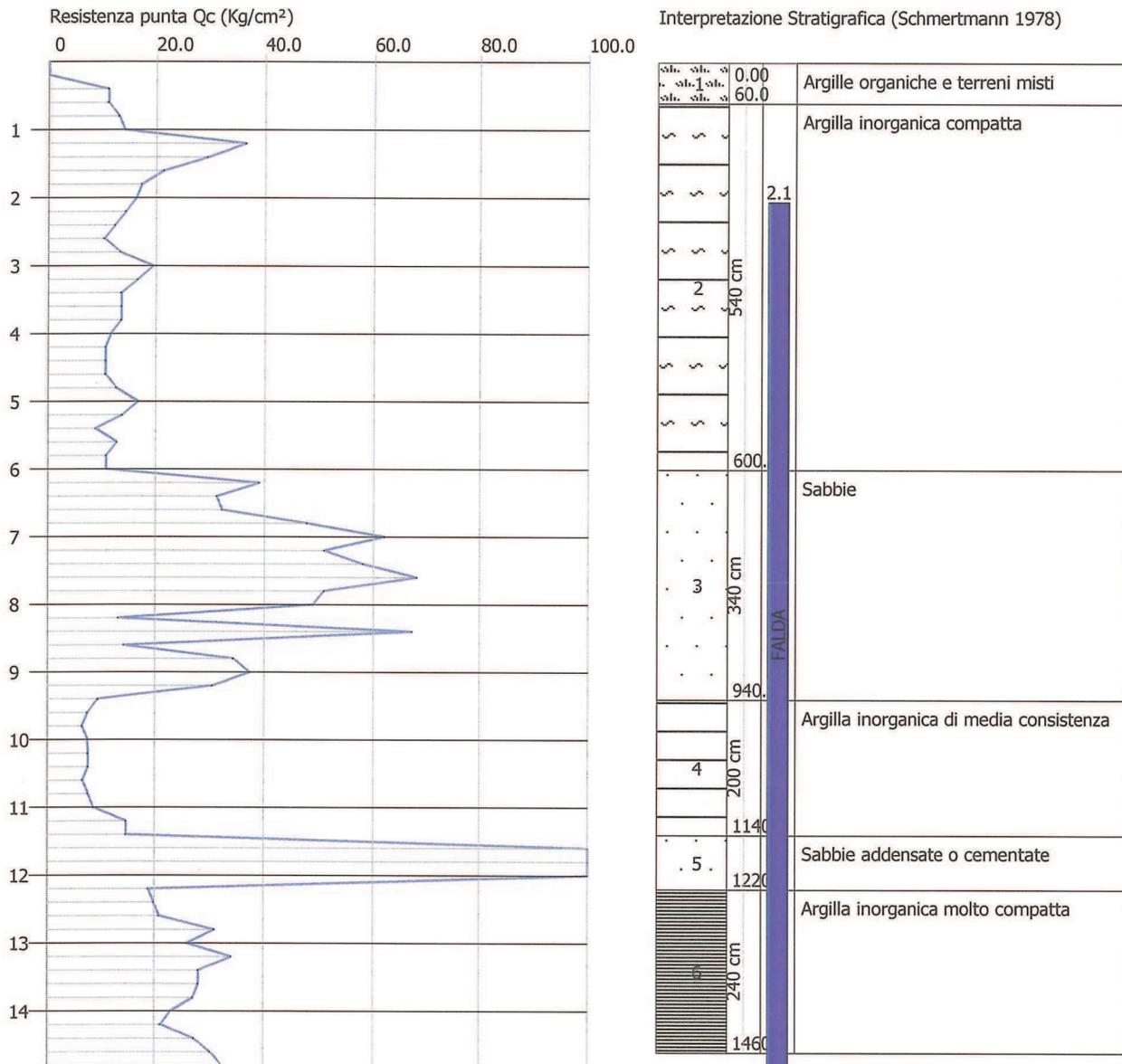
Data: 19/01/2007
 Scala 1:100



Probe CPT - Cone Penetration Nr.2
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: ARCA s.p.a.
 Cantiere: Via Brighi
 Località: Cesena

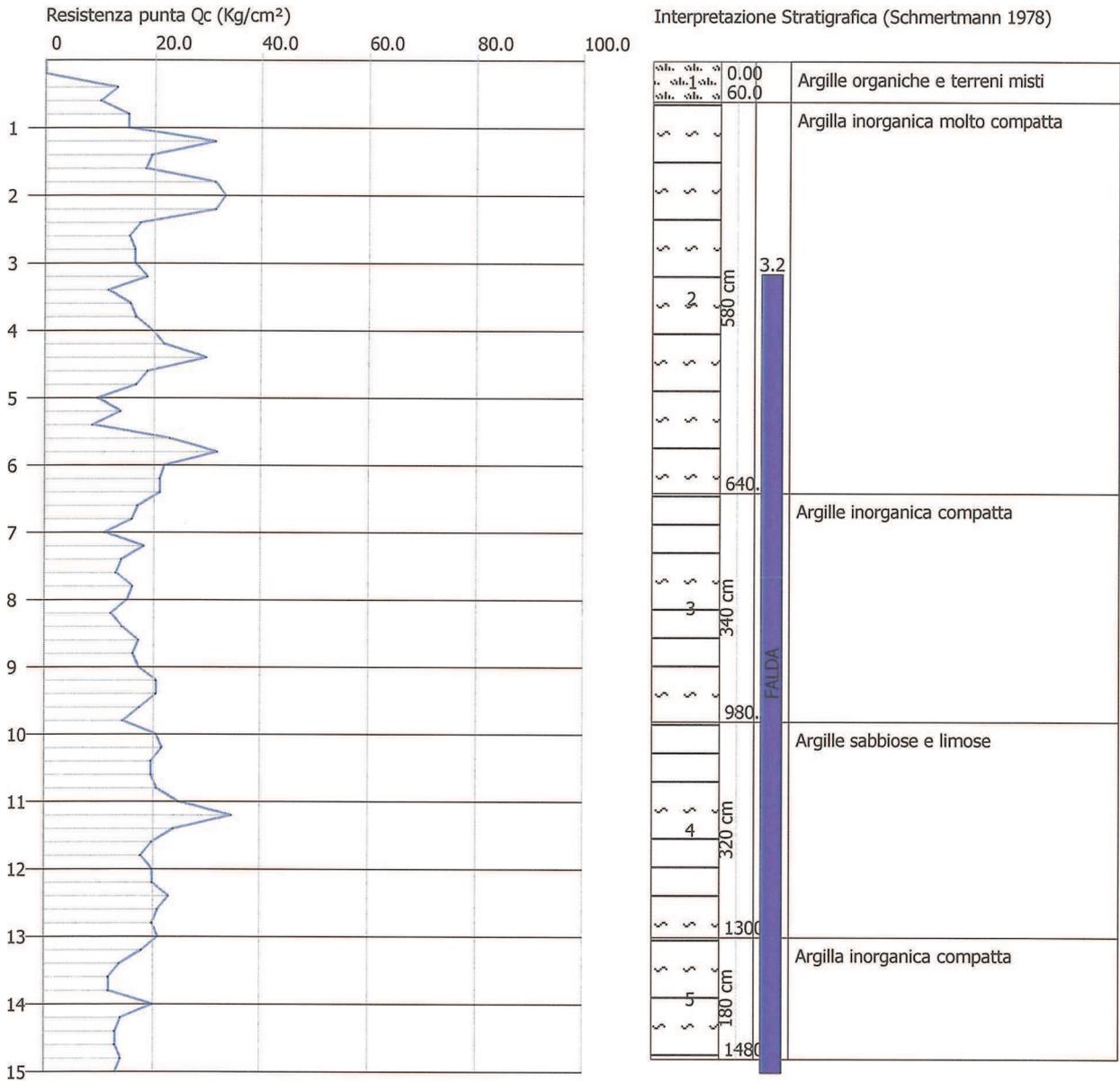
Data: 19/01/2007
 Scala 1:100



Probe CPT - Cone Penetration Nr.3
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: ARCA s.p.a.
 Cantiere: Via Brighi
 Località: Cesena

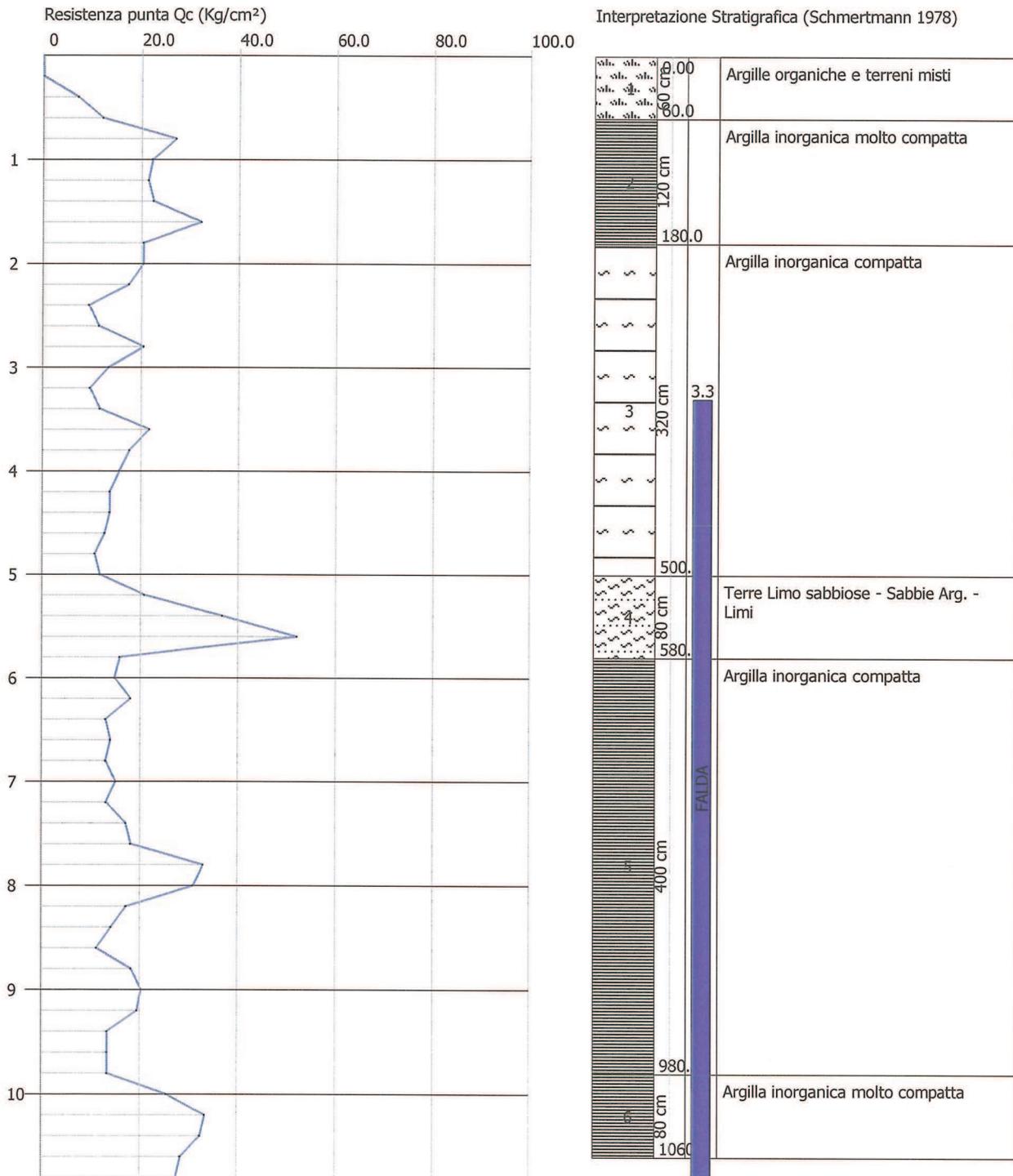
Data: 19/01/2007
 Scala 1:100



Probe CPT - Cone Penetration Nr.4
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: ARCA s.p.a.
 Cantiere: Via Brighi
 Località: Cesena

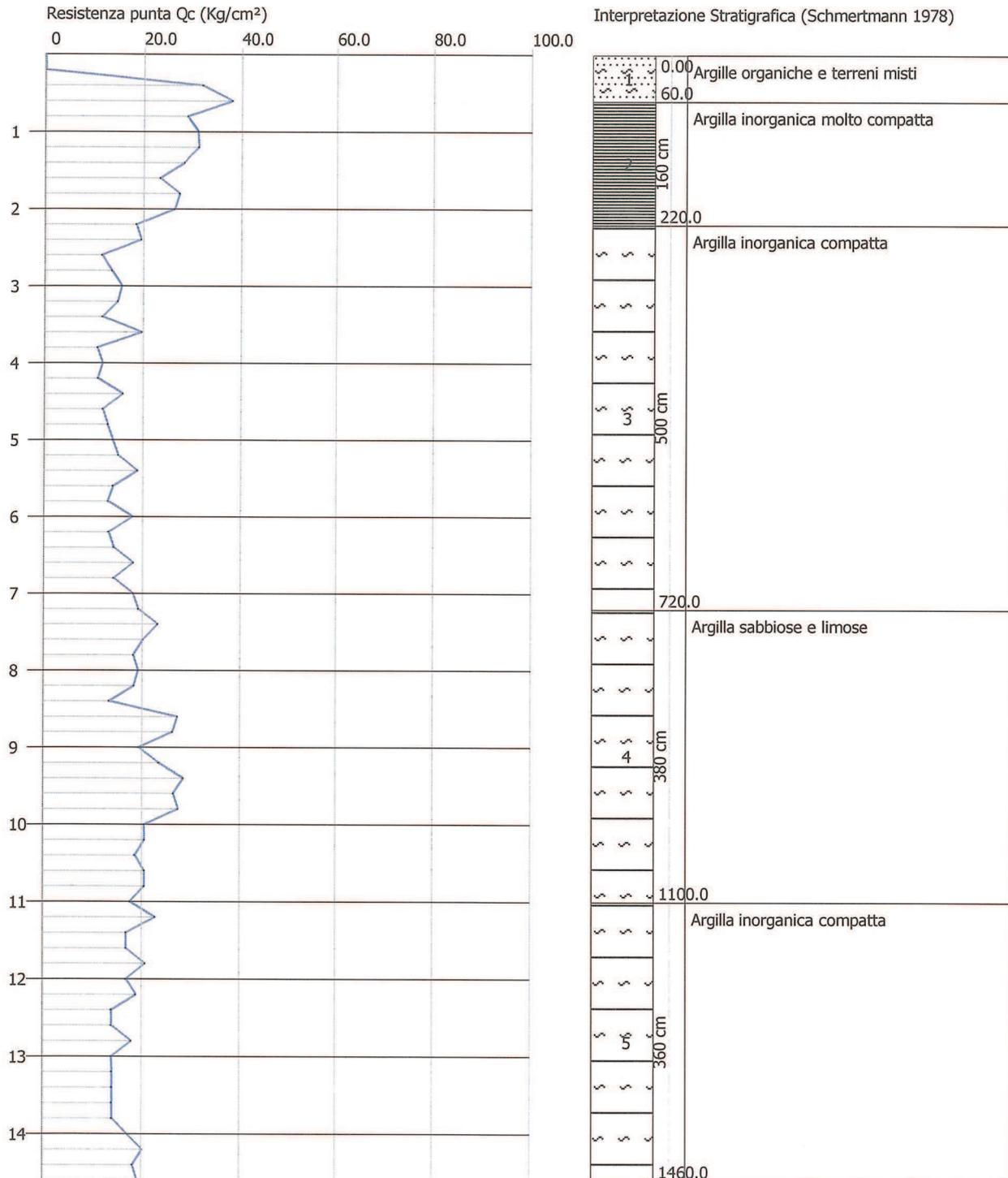
Data: 19/01/2007
 Scala 1:59



Probe CPT - Cone Penetration Nr.5
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

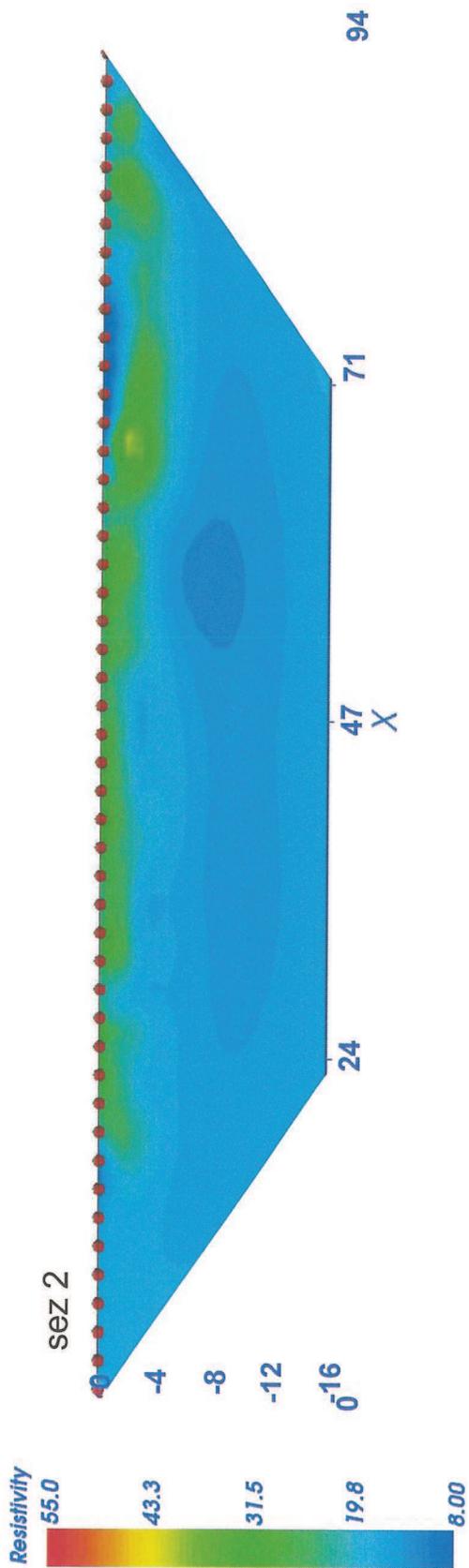
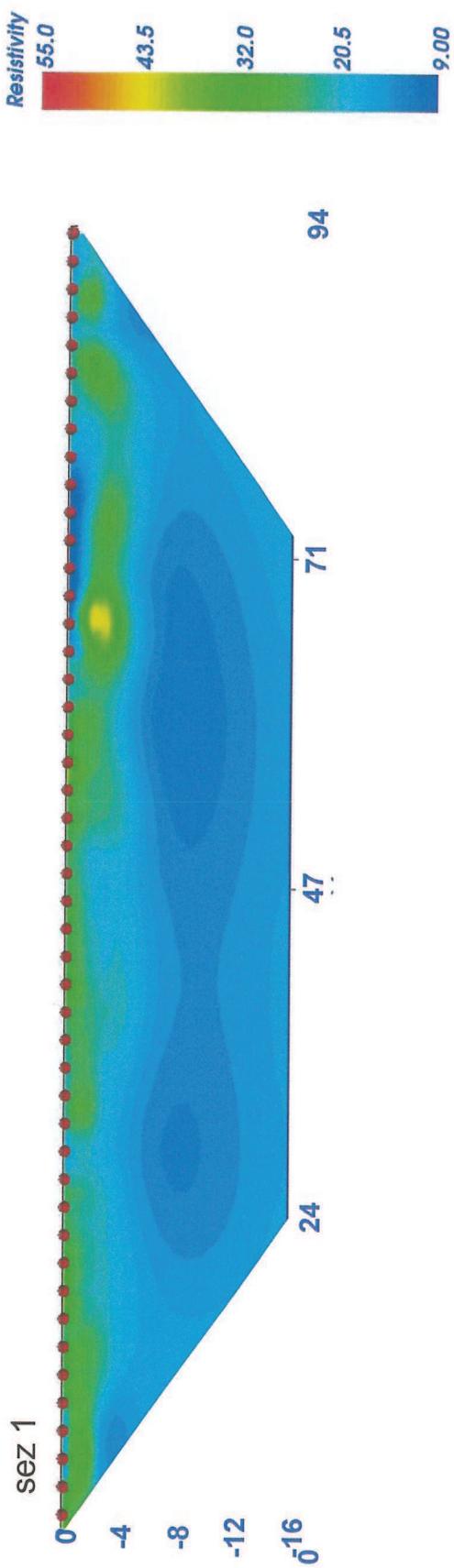
Committente: ARCA s.p.a.
 Cantiere: Via Brighi
 Località: Cesena

Data: 11/07/2012
 Scala 1:79

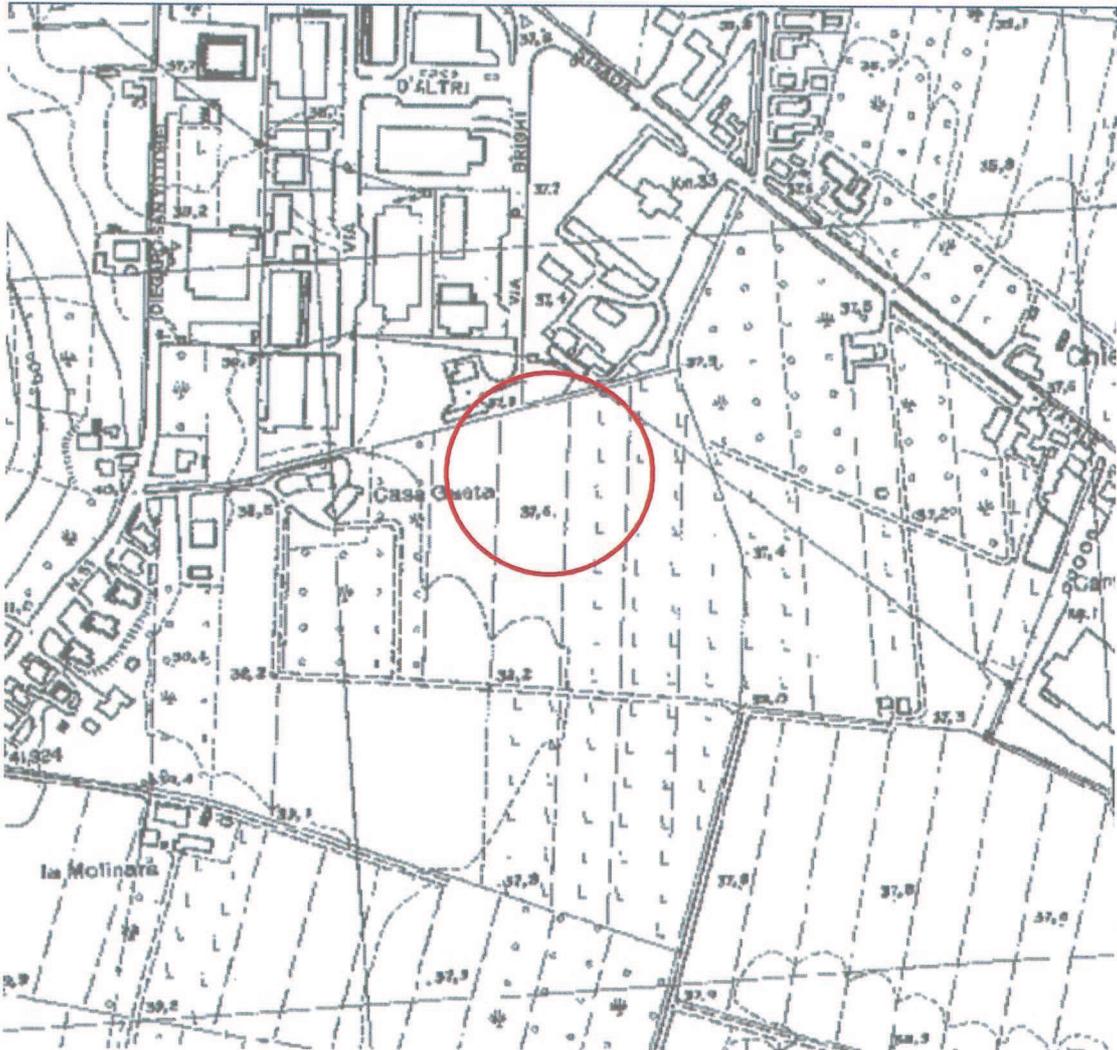


SEZIONI TOMOGRAFIA GEOELETRICA

SCALA 1:1.000



CARTA COROGRAFICA
SCALA 1:5000



CTR n° 255030