

# COMUNE DI SASSO MARCONI



## ACCORDO DI PROGRAMMA IN VARIANTE AREA "EX ALFA WASSERMANN" SITA NEL COMUNE DI SASSO MARCONI, FRAZIONE DI BORGONUOVO

PNRR - MISSIONE M5C2-COMPONENTE C2-INVESTIMENTO 2.3

PROGETTO PINQUA QUALITA' DELL'ABITARE

FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA - NEXT GENERATION EU

RUP: ING. ANDREA NEGRONI

ASSESSORE: GIANLUCA ROSSI

CUP B99J20002220001

PROPONENTE:



COMUNE DI SASSO MARCONI  
P.ZZA DEI MARTIRI DELLA  
LIBERAZIONE N.6  
40037 SASSO MARCONI (BO)

TECNICO RESPONSABILE:

Ing. Alessandra Senesi  
Dott. Alessandro Micheli  
Ing. Francesco Faraone

GRUPPO DI LAVORO:



ARCHITETTO SILVIA POLI  
PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA E URBANISTICA



TITOLO ELABORATO :

Adp Approvato - Relazione geologica

CODICI :

CODICE COMMESSA

TIPOLOGIA  
PROGETTO

TEMA

TIPO  
ELABORATO

REVISIONE  
CORRENTE

SCALA

RIFERIMENTI  
ELABORATO:

**GE0006**

CIG: 9568925EB3

PRELIMINARE

GE

RT

00

-

file: pp\_GE0006\_00\_AdP Approvato - Relazione geologica

		DATA	NOTE DI REVISIONE:	REDATTO	APPROVATO
EMISSIONE		12/05/2023	EMISSIONE	-	-
REV.	1				
	2				
	3				

PROTOCOLLI E VISTI:



COMUNE DI SASSO MARCONI



COMUNE DI CASALECCHIO DI RENO



PROVINCIA DI BOLOGNA

DESCRIZIONE DEI LAVORI

ACCORDO DI PROGRAMMA PER L'ATTUAZIONE URBANISTICA  
DELL'AMBITO AN.1 IN COMUNE DI SASSO MARCONI  
E DELL'AMBITO TUM4 IN COMUNE DI CASALECCHIO DI RENO  
PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DEL SUB-AMBITO 1 DELL'AMBITO AN.1 DEL COMUNE DI SASSO MARCONI  
E DELL'AMBITO TUM4 DEL PSC DEL COMUNE DI CASALECCHIO DI RENO

SPAZIO RISERVATO ALL'U.T.

NUMERO PROTOCOLLO U.T.

DATI ELABORATO

Committente:

**ALFA WASSERMANN**

Progettazione generale:

arch Ivanoe Castori

**iSIC!**  
ARCHITETTURE  
StudioIvanoeCastori

arch Elisa Stacchi  
arch Chiara Vitali  
geom Anna Antonino  
geom Andrea Budriesi  
geom Cristina Vanelli

ORGANIZZAZIONE CON SISTEMA DI GESTIONE CERTIFICATA **CERMET** SECONDO LA NORMA UNI EN ISO 9001:2008

info@sicarchitetture.it www.sicarchitetture.it

I-40033 Casalecchio di Reno via G. Parini, 5 T +390516133220 F +390512985064

Relazione Geologica:

GEO-PROBE - Studio Geologico Associato

OGGETTO ELABORATO

PUA  
RELAZIONE GEOLOGICA

TAVOLA N

**RG**

SCALA

Comm	File	Emissione	Disegno	Verifica	Data	Aggiornamento
1214						5
						4
						3
						2
	1214-PUA_RG	PIANO URBANISTICO ATTUATIVO			NOVEMBRE 2013	1



# GEO-PROBE

– *Studio Geologico Associato* –

2013.057/RG

Comune di Sasso Marconi (BO)

STUDIO GEOLOGICO-TECNICO DEI TERRENI DEL  
PRIMO SOTTOSUOLO DI UN'AREA SITA PRESSO L'EX  
STABILIMENTO ALFA WASSERMAN, SULLA QUALE È  
IN PROGETTO LA REALIZZAZIONE DI UN CENTRO  
PER L'ARTE E PER LA SCIENZA.

Giugno 2013

## INDICE

1. PREMESSA .....	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	3
3. SITUAZIONE MORFOLOGICA E GEO-LITOLOGICA GENERALE .....	4
4. INDAGINE GEOGNOSTICA .....	7
5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI ....	10
6. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO.....	11
7. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE.....	12
8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE .....	14
9. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA .....	15
10. MODELLAZIONE SISMICA .....	17
10.1. Vita nominale .....	17
10.2. Classi d'uso.....	17
10.3. Periodo di riferimento.....	18
10.4. Azione sismica .....	18
10.5. Categoria di sottosuolo .....	19
10.6. Condizioni topografiche .....	20
10.7. Amplificazione stratigrafica .....	21
10.8. Accelerazione massima al sito .....	21
10.9. Coefficiente sismico orizzontale e verticale .....	21
11. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....	23
12. RESISTENZA DI PROGETTO DEL TERRENO IN CONDIZIONI STATICHE..	24
13. MODELLAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	30
13.1 Selezione del moto di riferimento .....	30
13.2 Elaborazione del modello sismico.....	32
13.3 Elaborazione dell'amplificazione .....	35
14. CONSIDERAZIONI FINALI .....	40

## ALLEGATI:

- certificati penetrometrie statiche;
- diagrammi penetrometrie statiche;
- indagine sismica;
- classificazione orientativa dei terreni attraversati  
(Schmertmann, 1978).

\* \* \*



## 1. PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dalla SICarchitettura si trasmette, in conformità con le normative vigenti, la seguente relazione geologico-tecnica riguardante lo studio dei terreni del primo sottosuolo di un'area sulla quale è in progetto la realizzazione di un centro per l'arte e per la scienza.

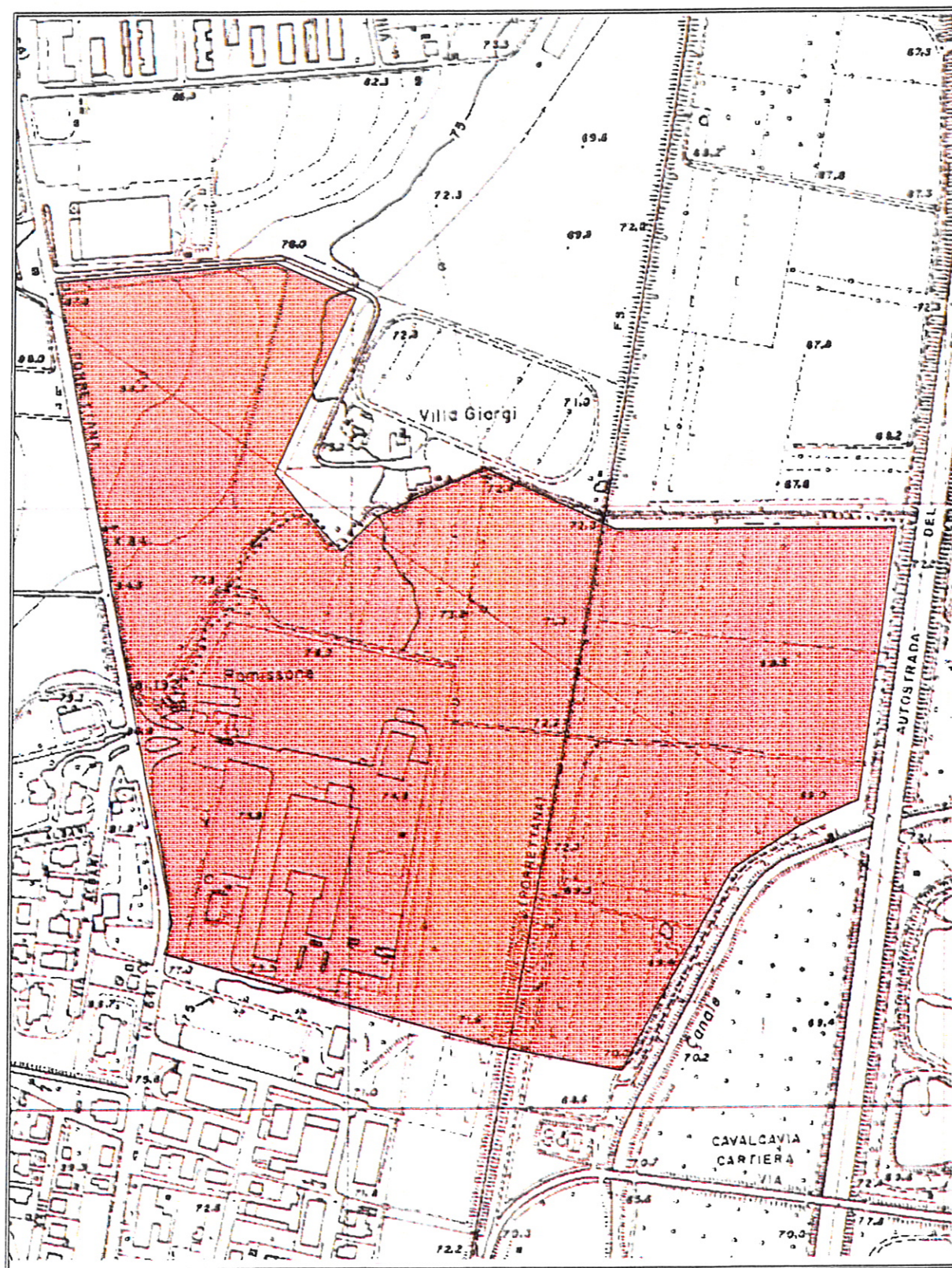
L'area in esame si ubica presso l'ex stabilimento Alfa Wasserman, in Comune di Sasso Marconi (BO) (TAV. 1: estratto C.T.R. Scala 1:5.000; elementi n. 220164 – Borgonuovo di Pontecchio, n. 220123 – San Biagio).

Il presente studio è stato articolato nei seguenti punti:

- a) analisi e descrizione della situazione morfologica e geo-litologica generale;
- b) determinazione della natura dei terreni costituenti il primo sottosuolo;
- c) determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche degli stessi;
- d) caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
- e) analisi della risposta sismica locale;
- f) valutazione della resistenza di progetto dei terreni di fondazione in condizioni statiche.



TAV. 1 - UBICAZIONE AREA IN ESAME



Area in esame

Scala 1:5.000



## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata compiuta in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento di seguito elencate:

- "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". D.M. 11 Marzo 1988.
- Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". Circ. Min. LL. PP. n. 30483, 24 Settembre 1988.
- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.
- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 1990 (edizione provvisoria).
- Eurocodice Ec7 per l'ingegneria geotecnica, Settembre 1988.
- ISRM International Society for Rock Mechanics: Rock characterization testing and monitoring suggested methods - Commission on Testing Methods; 1981.
- "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica". O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e successive modifiche.
- "Norme tecniche per le costruzioni". D.M. 14 Gennaio 2008 (G.U. n. 29 del 04/02/08, supplemento ordinario n. 30).
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008. Circolare Cons. Sup. LL.PP. n. 617/2009.
- Delibera dell'Assemblea legislativa Regione Emilia Romagna progr. N. 112 – oggetto n. 3121 del 2 maggio 2007.
- Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna progr. N. 1661/2009 del 2 novembre 2009.

### 3. SITUAZIONE MORFOLOGICA E GEO-LITOLOGICA GENERALE

L'area in esame si ubica nella fascia collinare pedeappenninica caratterizzata da lievi ondulazioni che degradano progressivamente in direzione Nord verso l'alta Pianura Padana.

Più esattamente si attesta ad una quota compresa tra 68,00 m e 87,00 m s.l.m., in una fascia pressoché pianeggiante o scarsamente acclive (2,5÷3,5 %), con lieve pendenza verso Est - Sud/Est, a ridosso della strada statale n. 64 - Porrettana.

Da un punto di vista geo-litologico, secondo quanto riportato nella Carta Geologica che copre il territorio della Regione Emilia - Romagna (TAV. 2 di seguito riportata), l'area oggetto di intervento ricade in parte all'interno dei terreni classificati come appartenenti a conoide torrentizia inattiva (i2), costituiti da depositi alluvionali recenti prevalentemente ghiaiosi a forma di ventaglio aperto verso valle, e in parte nei terreni appartenenti alla Successione neogenico quaternaria del margine appenninico padano (Subsistema di Ravenna, AES8 e Unità di Modena, AES8a), costituiti da ghiaie passanti a sabbie e limi organizzati in numerosi ordini di terrazzi alluvionali.

La fascia montuosa presente a Ovest dell'area in esame risulta invece caratterizzata dalla presenza dei terreni appartenenti alla Formazione di Monghidoro (MOH), appartenenti alle Unità liguri, e costituiti da torbiditi arenaceo pelitiche in strati generalmente spessi con rapporto A/P di circa 2/1.

L'idrografia principale è rappresentata dal Fiume Reno, che dista mediamente 800÷1000 m, mentre quella secondaria è costituita da rii e fossi a carattere prevalentemente stagionale (Rio dell'Asino Troiano), che vanno ad alimentare gli assi idrografici principali.

Secondo quanto riportato dal Piano stralcio del Bacino del Fiume Reno, l'area in esame non risulta interessata da rischio da frana e assetto dei versanti (Tav. 1.2), e risulta idonea alle trasformazioni edilizio - urbanistiche (tav. 2.2), essendo classificata come zona di terrazzo alluvionale.

Per quanto concerne il Rischio Idraulico non è presente alcuna prescrizione; all'interno del comparto è presente il Rio dell'Asino Toiano per il quale il P.S.C. prevede una zona di tutela dei corpi idrici superficiali.

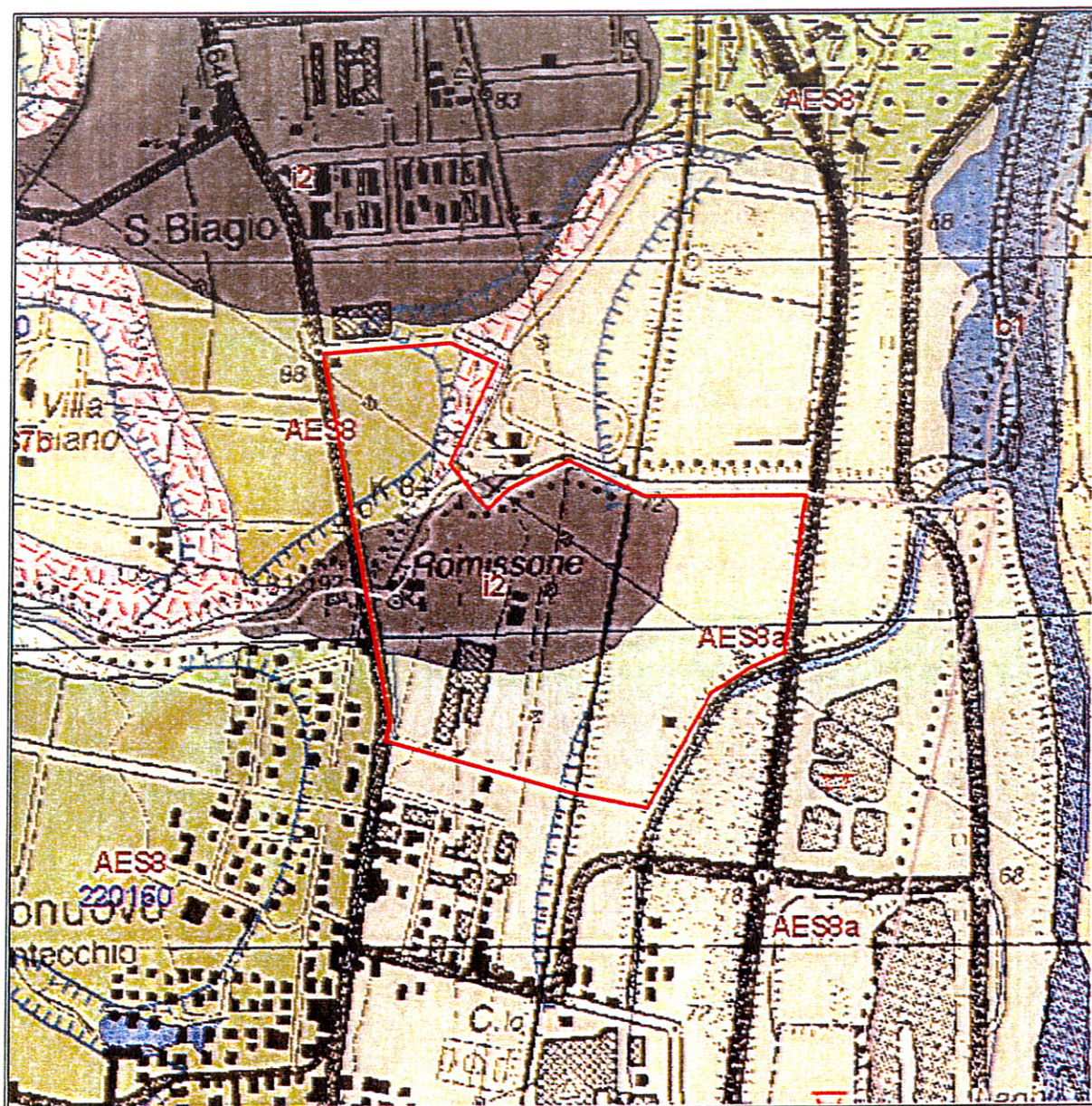
Come visto l'ambito di progetto è collocato su una conoide intravalliva a morfologia piatta, poco accentuata ed ormai fossile e su un terrazzo alluvionale indirettamente connesso.



In considerazione delle modalità deposizionali che vede l'alternarsi di sedimenti grossolani permeabili e di sedimenti fini impermeabili si ritiene che l'unità idrogeologica sia caratterizzato dalla presenza di più falde sovrapposte la prima delle quali, permeante il materasso alluvionale ghiaioso e confinato da un substrato argilloso come riportato dalla cartografia del P.O.C. di Sasso Marconi presenta un'isopieza pari a 68,00 m s.l.m. cui corrisponde, in funzione della morfologia attuale, un livello statico compreso tra 3,00 m e 7,00 m, con deflusso Sud/Ovest – Nord/Est.



TAV. 2 - CARTA GEO-LITOLOGICA



Area in esame

Scala 1:10.000

- b1      *depositi alluvionali in evoluzione;*  
 i2      *conoide torrentizia inattiva;*  
 AES8a    *Unità di Modena;*  
 ANT      *Marne di Antognola;*  
 FAA      *Formazione delle Argille Azzurre.*



#### 4. INDAGINE GEOGNOSTICA

Nell'area interessata dall'intervento, allo scopo di verificare la successione stratigrafica che caratterizza i terreni del primo sottosuolo e valutare le caratteristiche fisico meccaniche degli stessi, è stata eseguita un'indagine geognostica in sito e un'indagine sismica locale, al fine di determinare il parametro Vs30 per poi classificare il suolo di fondazione del sito.

##### 4.1. Indagine geognostica in sito

L'indagine geognostica in sito, eseguita dalla Geo-Probe S.r.l., è consistita nella realizzazione di n. 8 penetrometrie statiche con punta meccanica (CPT) che, rispetto al p.c. attuale, hanno raggiunto profondità comprese tra 6,80 m e 11,60 m.

I punti di indagine sono stati ubicati per essere rappresentativi dell'area oggetto di intervento; l'esatta ubicazione degli stessi viene riportata di seguito nella TAV. 3.

Il penetrometro statico utilizzato, montato Unimog U400L con cella di carico da 200 kN, impiega una punta conica con apertura di 60° e superficie di 10 cm<sup>2</sup> per la misurazione della resistenza alla punta ed un manicotto di frizione (*friction jacket*) della superficie di 150 cm<sup>2</sup> per la misurazione dell'attrito laterale locale (punta meccanica tipo *Begemann*).

I risultati delle penetrometrie statiche vengono rappresentati in forma diagrammatica nelle apposite tavole allegate, dove viene riportato il valore  $q_c$  (resistenza alla punta), il valore  $f_s$  (resistenza attrito laterale locale), espressi rispettivamente in MPa e kPa, ed il rapporto  $R_f$  che orientativamente ci permette una classificazione dei terreni attraversati (*Schmertmann J.H.*, 1978).

Le suddette letture vengono eseguite per avanzamenti di 20 cm.

##### 4.2. Indagine sismica

Allo scopo di definire la frequenza di risonanza dei terreni e la velocità media delle onde sismiche di taglio Vs, è stata eseguita un'indagine sismica locale mediante metodologia di sismica passiva con misura del Rumore Sismico Passivo (microtremori).

Lo strumento utilizzato è il tromografo digitale Tromino prodotto dalla Micromed S.p.A.; si tratta di un sismografo di dimensioni molto contenute che contiene tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri) che permettono la registrazione del microtemore nel campo di frequenze compreso tra 0 e 256 Hz.

Il metodo di indagine utilizzato è quello a stazione singola dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR).

Il segnale di microtremore, dopo essere stato acquisito dai tre velocimetri, ad una frequenza di campionamento di 128Hz per un intervallo di tempo di 20', amplificato e digitalizzato a 24 bit equivalenti, viene suddiviso in intervalli di pochi secondi e mediante il software Grilla per ogni intervallo viene eseguita un'analisi spettrale nelle tre componenti e il calcolo dei rapporti spettrali H/V.

Il valore di tale rapporto è direttamente correlato alla frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza mentre la frequenza di risonanza è legata allo spessore e alla velocità delle onde di taglio Vs dalla relazione:

$$f_i = V_{si}/4h_i$$

dove:

$f_i$  = frequenza dello strato i-esimo;

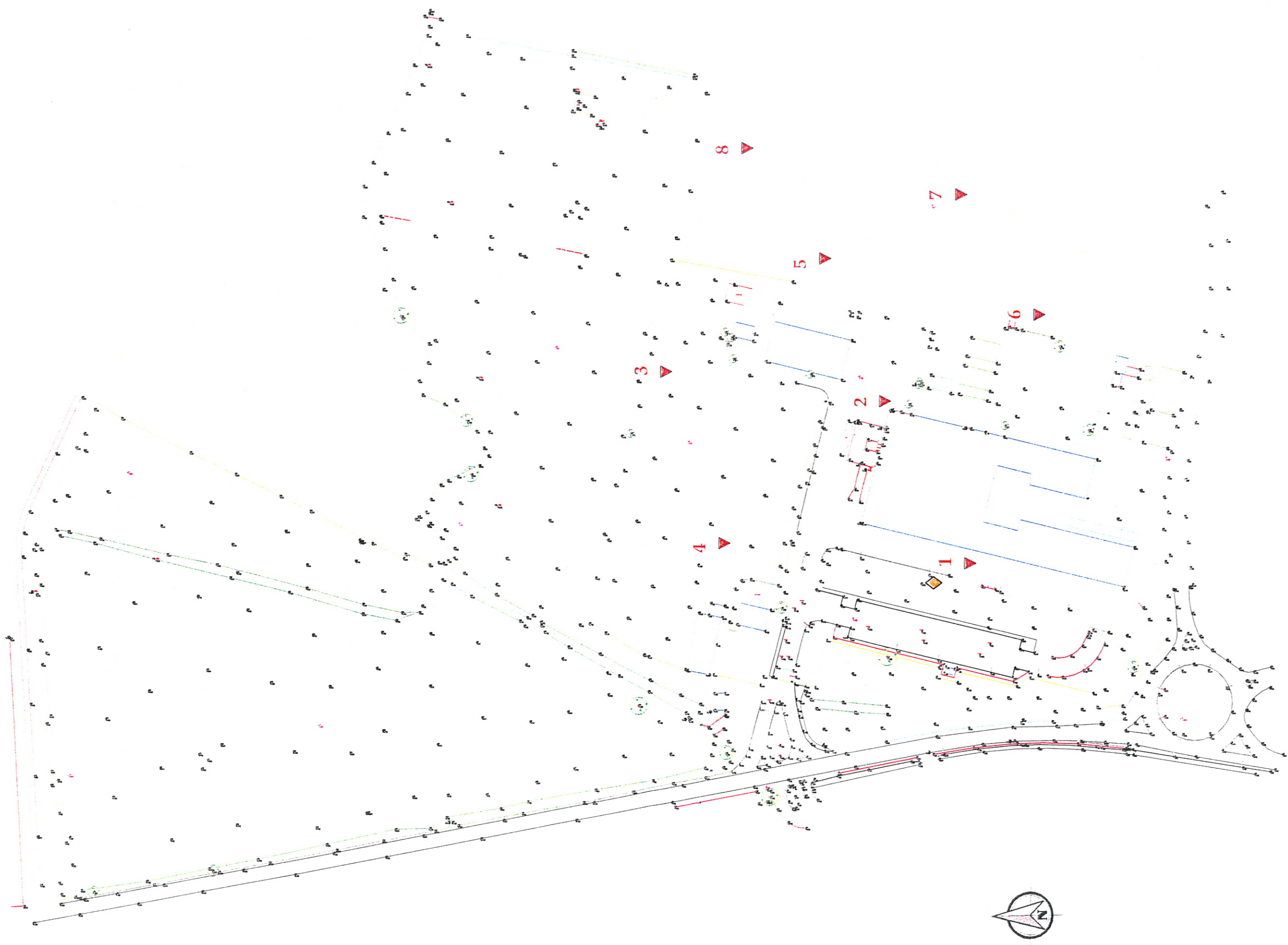
$V_{si}$  = velocità delle onde S dello strato i-esimo;

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo.

I risultati dell'indagine sismica vengono restituiti in forma diagrammatica nelle apposite tavole allegate, dove vengono riportate gli spettri delle singole componenti del moto, le curve relative al rapporto spettrale orizzontale su verticale H/V e il grafico Vs/profondità.



TAV. 3 - UBICAZIONE INDAGINE GEOGNOSTICA



▼ Penetrometrie statiche  
◆ Indagine sismica

Scala 1:2.000

8

## 5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI

L'indagine geognostica eseguita ci consente di ricostruire con discreta precisione la litologia del primo sottosuolo e di valutare le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati.

Schematicamente, con riferimento al p.c. attuale, possiamo ricostruire la seguente successione stratigrafica:

al tetto, al disotto di un orizzonte di terreno di riporto e/o pedogenizzato dello spessore medio di  $0,40 \div 1,00$  m, sono inizialmente presenti dei limi argillosi e/o debolmente sabbiosi di consistenza da plastica a plastico dura ( $q_c = 1,0 \div 3,6$  MPa;  $R_f = 4,2 \div 6,7$  %), inglobanti localmente intercalazioni sabbioso limose e/o viceversa con rari ciottoli di addensamento da medio ad elevato ( $q_c = 2,7 \div 26,9$  MPa;  $R_f = 0,6 \div 2,8$  %).

Suddetti litotipi sono sopportati da ghiaie di addensamento da medio ad elevato ( $q_c = 4,1 \div 38,8$  MPa;  $R_f = 0,5 \div 1,3$  %) in matrice sabbiosa a tratti prevalente ( $q_c = 4,1 \div 7,8$  MPa;  $R_f = 1,3 \div 1,8$  %), il cui tetto è stato evidenziato ad una profondità variabile da 6,00 m a 8,20 m dal p.c. attuale.

Indagine eseguite in aree limitrofe hanno evidenziato come le ghiaie presentino spessori mediamente dell'ordine di 3,00 m, e sono sopportate da argille limose di consistenza elevata costituenti il substrato.

I suddetti terreni sono caratterizzati dalla presenza di una falda freatica di superficie il cui livello statico, al termine dell'indagine, rispetto al p.c. attuale è stato misurato a profondità variabili da 2,50 m a 6,00 m, quote presumibilmente soggette a variazioni stagionali.



## 6. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

La caratterizzazione geotecnica del sito viene fatta ricostruendo un modello in termini di unità geotecniche del volume significativo del terreno inteso come la parte di sottosuolo influenzata direttamente o indirettamente dalla costruzione dell'opera e che influenza l'opera stessa.

Ciascuna unità geotecnica (U.G.) è ottenuta correlando i dati stratigrafici e i dati di resistenza misurati nel corso dell'indagine geognostica in modo da suddividere il volume significativo in elementi omogenei.

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è possibile distinguere il terreno secondo le unità geotecniche indicate nella tabella successiva.

U.G.	Profondità m da p.c.		Litologia prevalente	qd MPa	$\gamma$ (kN/mc)	Cu (kPa)	$\varphi$ (°)	Dr (%)
	da	a						
0	0,00	0,40÷1,00	R/P	-	-	-	-	-
A	0,40÷1,00	2,50÷6,00	LAS	1,3÷3,6	19,1÷19,4	65÷150	0	0
A1	2,50÷6,00	6,00÷8,20	LAS	1,0÷3,0	9,0÷9,3	50÷133	0	0
A2	1,80÷4,60	3,60÷7,60	SLG	2,7÷26,9	8,5÷8,6	0	30÷39	25÷90
B	6,20÷11,20	fine indag	GS/SL	4,1÷38,8	8,5	0	31÷43	36÷95

R/P = terreno di riporto e/o pedogenizzato;

LAS = limi argillosi e/o debolmente sabbiosi;

SLG = sabbie limose con ciottoli;

GS/SL = ghiaie in matrice sabbioso limosa localmente prevalente.

## 7. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è stato possibile suddividere il volume significativo di terreno in unità geotecniche, delle quali di seguito, vengono definiti i parametri geomeccanici.

### Unità geotecnica 0

È costituita da terreno di riporto e/o pedogenizzato e si evidenzia sino ad una profondità media di 0,40÷1,00 m dal p.c. attuale.

### Unità geotecnica A

È costituita da limi argillosi e/o debolmente sabbiosi di consistenza plastica con intercalazioni plastico dure, ed umidità presumibilmente media.

L'unità A si evidenzia da circa 0,40÷1,00 m sino ad una profondità variabile mediamente da 2,50 m a 6,00 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	$\gamma$ (kN/mc)	Cu (kPa)	$\varphi$ (°)
CPT 1	1,8	19,2	90	0
CPT 2	2,0	19,2	100	0
CPT 3	1,5	19,2	75	0
CPT 4	2,0	19,2	100	0
CPT 5	1,8	19,2	90	0
CPT 6	2,0	19,2	100	0
CPT 7	1,6	19,1	80	0
CPT 8	1,8	19,2	90	0

### Unità geotecnica A1

È costituita da limi argillosi e/o debolmente sabbiosi di consistenza da plastica a plastico dura, presumibilmente saturi.

L'unità A1 si evidenzia da 2,50÷6,00 m sino ad una profondità variabile mediamente da 6,00 m a 8,20 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	$\gamma$ (kN/mc)	Cu (kPa)	$\varphi$ (°)
CPT 1	1,5	9,2	75	0
CPT 2	1,4	9,1	70	0
CPT 3	1,7	9,2	85	0
CPT 4	1,7	9,2	85	0



Verticale	qc (MPa)	$\gamma$ (kN/mc)	Cu (kPa)	$\varphi$ (°)
CPT 5	1,5	9,2	75	0
CPT 6	1,7	9,2	85	0
CPT 7	1,4	9,1	70	0
CPT 8	2,0	9,2	100	0

### Unità geotecnica A2

È costituita da sabbie limose con rari ciottoli di addensamento medio buono, presumibilmente sature.

L'unità A2 si evidenzia localmente da circa 1,80÷4,60 m sino ad una profondità variabile da 3,60 a 7,60 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	$\gamma$ (kN/mc)	Cu (kPa)	$\varphi$ (°)
CPT 2	9,3	18,5	0	34
CPT 4	11,4	18,5	0	35
CPT 6	6,0	18,5	0	34

### Unità geotecnica B

È costituita da ghiaie in matrice sabbioso limosa localmente prevalente, di addensamento da medio a buono, presumibilmente sature.

L'unità B si evidenzia da 6,20÷11,20 m dal p.c. attuale sino alla profondità indagata, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qd (MPa)	$\gamma$ (kN/mc)	Cu (kPa)	$\varphi$ (°)
CPT 1	23,3	18,5	0	38
CPT 2	19,8	18,5	0	37
CPT 3	25,4	18,5	0	39
CPT 4	12,0	18,5	0	35
CPT 5	33,0	18,5	0	42
CPT 6	32,2	18,5	0	42
CPT 7	26,0	18,5	0	41
CPT 8	25,1	18,5	0	39

## 8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Nel sito di indagine sono state effettuate due misure di microtremore della durata di 20', allo scopo di definire le frequenze di risonanza fondamentali dei terreni del sottosuolo e, tramite inversione, di ricostruire il modello di sottosuolo in termini di profondità e velocità delle onde di taglio.

L'indagine sismica è stata condotta su terreno naturale duro e asciutto in condizioni meteo buone, in presenza di vento di debole entità tale da non creare disturbo durante la registrazione.

Gli spettri delle singole componenti del moto non mostrano particolari andamenti imputabili a fonti di rumore antropico; anche l'accoppiamento dello strumento con il terreno risulta di buona qualità, dato che le tre curve presentano un andamento concordante, pertanto i picchi evidenziati nel diagramma HVSR sono da considerarsi naturali.

Il diagramma HVSR mostra a 7,3 Hz, un picco generato dal contrasto di impedenza dovuto al contatto tra i materiali superficiali e il materasso ghiaioso evidenziato nel corso dell'indagine ad una profondità media di circa 11,00 m.

Tale picco è stato utilizzato per ancorare il diagramma H/V ai dati stratigrafici ricavando una curva H/V teorica che consente di stimare l'andamento della velocità sismica lungo la verticale indagata.

La buona sovrapposizione della curva sintetica H/V alla curva misurata, confermano la correttezza del modello di sottosuolo ottenuto con l'inversione.

La definizione dei sismostrati in termini di velocità delle onde di taglio permettono di calcolare il parametro Vs30 richiesto dall'attuale normativa, secondo l'equazione:

$$Vs_{30} = 30 / \sum (h_i / V_{si})$$

dove:

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo;

$V_{si}$  = velocità dello strato  $i$ -esimo.

Nel caso in esame per i valori considerati la Vs30 al p.c. risulta pari a 336 m/s.

La frequenza caratteristica di risonanza del sito, ricavabile dal diagramma HVSR rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di doppia risonanza.



## 9. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA

La pericolosità e il rischio sismico del territorio nazionale sono stati affrontati dal Servizio Sismico Nazionale utilizzando il calcolo probabilistico di Cornell, in grado di considerare tutte le possibili sorgenti influenzanti di un sisma.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni ideali di sito di riferimento con superficie topografica orizzontale di categoria A.

Il Comune di Sasso Marconi (TAV. 4 – Mappa di pericolosità sismica) presenta un'accelerazione al suolo tipo A con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni  $PGA = 0,150 - 0,175g$  e intensità macrosismica  $MCS = 8$ .

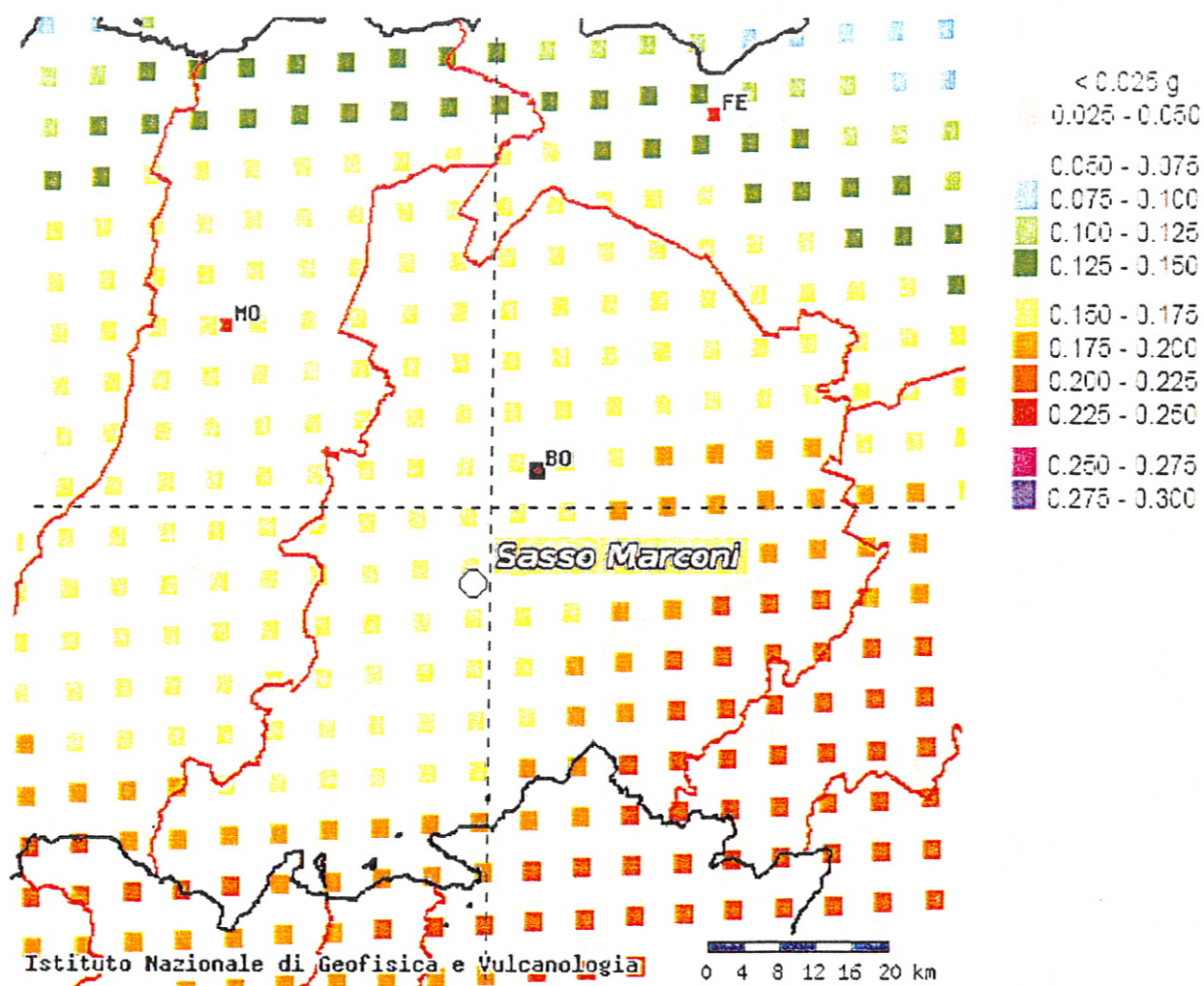
La Magnitudo dell'area si ottiene sulla base della seguente relazione proposta dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT):

$$M = \frac{1,93 + MCS}{1,78} = 6$$

La pericolosità sismica in un generico sito viene definita in termini di valori di accelerazione orizzontale massima e di spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale, in corrispondenza dei punti di un reticolo e per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presenti nel sito in esame e della morfologia di superficie.

TAV. 4 - MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA





## 10. MODELLAZIONE SISMICA

### 10.1. Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale ( $V_n$ ) è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale delle diverse tipologie di opere è riportata nella seguente tabella.

Tabella 2.4.I

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_n$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

Nell'area in esame sono previste opere tipo "2" per le quali si prevede una vita nominale  $V_n \geq 50$  anni.

### 10.2. Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso distinte nel modo seguente:

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'Uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi.. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A e B di cui al D.M. 5/11/2001 n. 6792 "Norme funzionali e geotecniche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A e B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e impianti di produzione di energia.

Ad ogni classe d'uso è associato un coefficiente come da tabella seguente:

Tabella 2.4.II

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_u$	0,7	1,0	1,5	2,0

Le opere presenti nell'area in esame sono relative alla Classe III pertanto alle stesse è associato un coefficiente d'uso pari a  $C_u = 1,5$ .

### 10.3. Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_n$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ :

$$V_R = V_n \cdot C_u$$

Per il sito in esame il periodo di riferimento è pari a  $V_R = 75$  anni.

### 10.4. Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_o$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



Nella seguente tabella vengono riportati i suddetti parametri elaborati per il sito in esame, considerando un periodo di riferimento per l'azione sismica di 75 anni, in relazione al periodo di ritorno e agli stati limite di esercizio e agli stati limite ultimi e relative probabilità di superamento.

Stato limite		PVR (%)	TR (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Stati limite di esercizio	SLO	81	45	0,065	2,482	0,268
	SLD	63	75	0,080	2,489	0,277
Stati limite ultimi	SLV	10	712	0,188	2,416	0,309
	SLC	5	1462	0,233	2,447	0,319

### 10.5. Categoria di sottosuolo

La nuova Normativa per gli effetti locali identifica cinque categorie di sottosuolo (A÷E) suddivisi sulla base dei valori di velocità equivalente  $V_{s30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità, riferita per fondazioni superficiali al piano di imposta delle stesse, e due categorie aggiuntive (S1 e S2) per le quali è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione della azione sismica.

#### Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{PT30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{v30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{PT30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{v30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{PT30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{v30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni del sottosuolo di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento con <math>V_s &gt; 800</math> m/s.</i>

### Categorie aggiuntive di sottosuolo

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Come evidenziato in precedenza, i terreni del primo sottosuolo presentano una  $V_{s30}$  pari a 336 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria C, che comprende *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < C_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fine"*.

### 10.6. Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale mentre per configurazioni semplici può essere adottata la seguente tabella.

Tabella 3.2.IV

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

Ad ogni categoria topografica è associato un coefficiente di amplificazione topografica come da tabella seguente:

Tabella 3.2.VI

CATEGORIA	T1	T2	T3	T4
COEFFICIENTE $S_t$	1	1,2	1,2	1,4

L'area in esame si pone in corrispondenza di una fascia pressoché pianeggiante o scarsamente acclive, perciò si configura una categoria topografica tipo T1 cui è associato un coefficiente di amplificazione topografica pari a 1,0.



### 10.7. Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  valgono 1; per le altre categorie vengono calcolati in funzione di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  mediante le espressioni fornite nella seguente tabella.

Tabella 3.2.V

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,4 - 0,4 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,7 - 0,6 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,4 - 1,50 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per il sito in esame otteniamo:

Stato limite	$S_s$	$C_c$
SLO	1,500	1,622
SLD	1,500	1,604
SLV	1,427	1,547
SLC	1,358	1,531

### 10.8 Accelerazione massima al sito

L'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

Nel nostro caso per i parametri considerati in precedenza e per lo stato limite SLV si ottiene un valore pari a  $2,632 \text{ m/sec}^2$ .

### 10.9 Coefficiente sismico orizzontale e verticale

Il coefficiente sismico orizzontale si ottiene mediante la relazione:

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

dove:

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ricavabile dalla sottostante tabella.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Nel nostro caso assumendo un valore di  $\beta_s$  pari a 0,24, si ottiene un coefficiente sismico orizzontale ( $k_h$ ) pari a 0,064.

Il coefficiente sismico verticale ( $k_v$ ) si ottiene mediante la relazione:

$$k_v = 0,5 k_h = 0,032$$



## 11. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

In occasione di un evento sismico particolare attenzione deve essere posta nella liquefazione dei terreni, ovvero la fluidificazione degli stessi con perdita improvvisa della resistenza al taglio, tendenza all'addensamento e conseguente riduzione di volume.

Tale fenomeno riguarda innanzitutto terremoti di magnitudo  $> 5$ , caratterizzati da accelerazioni massime al sito  $a_{\max} > 0,10 \text{ g}$  e di durata prolungata ( $> 15 \text{ sec}$ ) e i sedimenti granulari (incoerenti), non consolidati, saturi, con densità relativa inferiore al 40 % e a granulometria uniforme e medio piccola, come ad esempio limi e sabbie fini di origine deltizia, fluviale e marina di età recente e i terreni di riporto.

Il fenomeno non appare probabile in terreni con valori superiori della densità relativa, e soprattutto quando le sabbie includono ghiaie o ciottoli. In questo ultimo caso se il deposito ghiaioso è compreso tra terreni poco permeabili, indipendentemente dalla sua capacità drenante, può essere soggetto al fenomeno della liquefazione.

Nei terreni a grana fine (limi ed argilla), sebbene caratterizzati da bassi valori della permeabilità, la possibilità che si possa verificare il fenomeno è molto ridotta o addirittura nulla, grazie all'influenza determinante dei legami interparticellari, ovvero della coesione.

Secondo l'Eurocodice 8 la liquefazione può verificarsi in terreni di fondazione composti da estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso - argillosa e falda al piano campagna.

Nell'area in esame sedimenti potenzialmente liquefabili sono inesistenti, essendo la litologia di superficie rappresentata da argille e limi di buona consistenza e ghiaie di addensamento da medio ad elevato, sopportate da argille limose di elevata consistenza.

## 12. RESISTENZA DI PROGETTO DEL TERRENO IN CONDIZIONI STATICHE

In accordo con le NTC sono stati effettuati i calcoli della resistenza allo stato limite ultimo (SLU).

Secondo la Normativa la valutazione del grado di sicurezza si ottiene adottando il "Metodo semiprobabilistico dei coefficienti parziali" e verificando la relazione:

$$Ed \leq Rd$$

dove:

Ed: valore di progetto dell'azione o degli effetti dell'azione nelle varie combinazioni di calcolo;

Rd: valore di progetto della resistenza del terreno.

Sulla base dei dati di resistenza meccanica ricavati dall'indagine geognostica eseguita è possibile valutare, in questa fase in via orientativa, la capacità portante dei terreni del primo sottosuolo.

Come visto in precedenza i terreni presenti nell'area indagata, sono caratterizzati, al di sotto di un orizzonte di terreno di riporto dello spessore medio di 0,40÷1,00 m dalla presenza di limi argillosi e/o debolmente sabbiosi di consistenza da plastica a plastica dura, inglobanti intercalazioni sabbioso limose e/o viceversa con rari ciottoli di addensamento da medio ad elevato.

Suddetti litotipi sono sopportati da ghiaie di addensamento da medio ad elevato in matrice sabbioso limosa a tratti il cui tetto è stato evidenziato ad una profondità variabile da 6,00 m a 8,20 m dal p.c. attuale.

Di seguito, utilizzando i parametri di resistenza meccanica misurati nel corso dell'indagine geognostica, in modo indicativo, si verifica la resistenza di progetto dei suddetti terreni prendendo in esame sistemi fondali nastriformi e a plinti, attestati ad una profondità media di 1,20÷1,50 m dal p.c. attuale.

Si rimanda ad una analisi più approfondita e dettagliata l'esatta verifica della capacità portante, in relazione anche alle tipologie costruttive ed a particolari esigenze.

La verifica del valore di progetto della resistenza del terreno viene eseguita secondo la teoria proposta da *Brinch-Hansen* (1970), estensione dell'equazione di *Buisman* (1935) e *Terzaghi* (1943), basata sulle seguenti ipotesi:

- omogeneità ed isotropia del terreno;
- non resistenza del terreno agli sforzi tensionali di trazione;



- rigidezza infinita della struttura di fondazione rispetto al terreno.

Per le considerazioni suddette la formula di *Brinch-Hansen* viene ad assumere la seguente struttura:

$$R_d = (1/2 \gamma' B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma z_\gamma + c' N_c s_c d_c i_c g_c b_c z_c + q' N_q s_q d_q i_q g_q b_q z_q) r_g / \gamma_R$$

dove:

$\gamma'$  = peso di volume del terreno posto al disotto della fondazione;

$B$  = larghezza della fondazione;

$N_\gamma$ ;  $N_c$ ;  $N_q$  = fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio;

$c'$  = coesione del terreno;

$q = (\gamma \cdot D)$  = sovraccarico agente ai bordi della fondazione dove  $\gamma$  è il peso di volume del terreno e  $D$  è l'incastro della fondazione;

$s_\gamma$ ;  $s_c$ ;  $s_q$  = fattori di forma della fondazione;

$d_\gamma$ ;  $d_c$ ;  $d_q$  = fattori di profondità della fondazione;

$i_\gamma$ ;  $i_c$ ;  $i_q$  = fattori inclinazione carico sulla fondazione;

$g_\gamma$ ;  $g_c$ ;  $g_q$  = fattori dipendenti dall'inclinazione del terreno;

$b_\gamma$ ;  $b_c$ ;  $b_q$  = fattori dipendenti dall'inclinazione della fondazione;

$z_\gamma$ ;  $z_c$ ;  $z_q$  = fattori correzione sismico inerziale;

$r_g$  = fattore riduttivo applicato per elevati valori di  $B$  (Bowles);

$\gamma_R$  = coefficiente parziale per la verifica agli stati ultimi di fondazioni superficiali.

Per i corpi di fabbrica in progetto vengono considerati sistemi fondali nastriformi ed a plinti attestati ad una profondità media di 1,20-1,50 m rispetto al p.c. attuale; i terreni che interagiscono con le fondazioni sono pertanto rappresentati dai limi argillosi e/o debolmente sabbiosi di consistenza plastica e plastico dura appartenenti alle unità geotecniche A e A1, e localmente dalle sabbie limose di addensamento medio appartenenti all'unità geotecnica A2.

In considerazione del modesto spessore degli orizzonti sabbiosi la verifica della resistenza di progetto del terreno in condizioni statiche viene eseguita prendendo in esame i terreni limo argillosi.

In presenza di terreni prevalentemente coesivi la verifica della capacità portante degli stessi viene eseguita in condizioni non drenate (condizioni più critiche); in questo caso l'angolo di attrito interno del terreno ( $\varphi$ ) viene considerato uguale a zero e la resistenza al taglio totale viene affidata alla sola coesione non drenata il cui valore viene ricavato empiricamente mediante la relazione:

$$C_u = \frac{qc_m - \sigma'_{vo}}{N_{cp}}$$

dove:

$qc_m$  = valore medio di resistenza meccanica del terreno posto al disotto del piano di posa delle fondazioni;

$\sigma'_{vo}$  = tensione verticale efficace;

$N_{cp}$  = coefficiente adimensionale funzione della litologia e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni.

Per le condizioni suddette la formula di *Brinch-Hansen*, non considerando i fattori correttivi che tengono conto della forma e dell'approfondimento della fondazione, ipotizzando il piano di posa della fondazione orizzontale, che il carico trasmesso sulla stessa risulti centrato, e per una inclinazione del terreno  $\beta = 0$ , si riduce a:

$$R_d = (cud \cdot N_c \cdot s_c \cdot z_c + q) \cdot r_g / \gamma_R$$

dove:

$cud$  = coesione non drenata di progetto;

$N_c = (2 + \pi) =$  fattore capacità portante;

$s_c$  = fattore di forma delle fondazioni; per fondazioni a plinti vale 1,2;

$z_c$  = fattore correzione sismico inerziale;

$q = (\gamma \cdot D) =$  sovraccarico agente ai bordi della fondazione, dove  $\gamma$  è il peso di volume del terreno e  $D$  è l'incastro medio della fondazione;

$r_g$  = fattore riduttivo applicato per elevati valori di  $B$  (Bowles), pari a 1-0,25  $\log_{10}(B/2)$ ; per valori di  $B < 2$  m, lo stesso si assume unitario.

Per la verifica del valore di progetto della capacità portante del terreno, la normativa prevede l'utilizzo di valori di progetto ( $V_d$ ) ottenuti applicando, ai valori caratteristici ( $V_k$ ), dei coefficienti parziali riduttivi funzione della tipologia di Approccio utilizzata.

Per i calcoli della resistenza allo stato limite ultimo (SLU) verrà utilizzato sia l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2), che risulta dimensionante per le verifiche di sicurezza rispetto agli stati limite di tipo geotecnico, che l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

Nella tabella seguente vengono riportati i coefficienti parziali riduttivi previsti dalla normativa per i parametri geotecnici del terreno.



Tabella 6.2.II

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE		
		$\gamma_M$	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi' k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$c' k$	$\gamma_c$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,00	1,00

Il valore caratteristico della coesione non drenata ( $c_{uk}$ ), trovandoci in presenza di una fondazione rigida cui è associata un importante volume significativo di terreno, è definito come il 5° percentile della distribuzione lognormale della media dei dati delle verticali indagate nel volume di influenza, al quale viene applicato il coefficiente M1 o M2 previsto dalla Normativa per ottenere il valore di  $c_{ud}$ .

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma viene introdotto il fattore correttivo  $z_c$  ottenuto dalla formula:

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

dove:

$kh$  = coefficiente sismico orizzontale.

Il valore  $\gamma_R$  (coefficiente parziale per la verifica agli stati ultimi di fondazioni superficiali) si ricava dalla seguente tabella:

Tabella 6.4.I

Verifica	Coefficiente parziale (R1)	Coefficiente parziale (R2)	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Nel nostro caso per le diverse unità geotecniche e per fondazioni unitarie, non considerando la superficie efficace della fondazione, indicativamente otteniamo:

**Fondazioni nastriformi**

$D = 1,20 \text{ m}; L < 2,00 \text{ m}$

$\gamma = 22,8 \text{ kN/mc};$

$z_c = 0,980;$

$sc = 1,0;$

$rg = 1,0.$

- *Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2)*

N.	$c_{uk}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$c_{ud}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\gamma_R$	$R_d$ (kN/m <sup>2</sup> )
CPT 1	70	50,0	1,8	152,6
CPT 2	91	65,0	1,8	194,5
CPT 3	55	39,3	1,8	122,7
CPT 4	65	46,4	1,8	142,5
CPT 5	55	39,3	1,8	122,7
CPT 6	90	64,3	1,8	192,6
CPT 7	65	46,4	1,8	142,5
CPT 8	70	50,0	1,8	152,6

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

N.	$c_{uk}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$c_{ud}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\gamma_R$	$R_d$ (kN/m <sup>2</sup> )
CPT 1	70	70	2,3	163,2
CPT 2	91	91	2,3	209,2
CPT 3	55	55	2,3	130,4
CPT 4	65	65	2,3	152,3
CPT 5	55	55	2,3	130,4
CPT 6	90	90	2,3	207,0
CPT 7	65	65	2,3	152,3
CPT 8	70	70	2,3	163,2



**Fondazioni a plinti**

$D = 1,50 \text{ m}; L=D < 2,00 \text{ m}$

$\gamma = 28,5 \text{ kN/mc};$

$z_c = 0,980;$

$sc = 1,0;$

$rg = 1,0.$

- *Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2)*

N.	$c_{uk}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$c_{ud}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\gamma_R$	$R_d$ (kN/m <sup>2</sup> )
CPT 1	70	50,0	0	183,7
CPT 2	91	65,0	0	234,1
CPT 3	55	39,3	0	147,8
CPT 4	65	46,4	0	171,6
CPT 5	55	39,3	0	147,8
CPT 6	90	64,3	0	231,7
CPT 7	65	46,4	0	171,6
CPT 8	70	50,0	0	183,7

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

N.	$c_{uk}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$c_{ud}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\gamma_R$	$R_d$ (kN/m <sup>2</sup> )
CPT 1	70	70	0	196,3
CPT 2	91	91	0	251,5
CPT 3	55	55	0	156,9
CPT 4	65	65	0	183,2
CPT 5	55	55	0	156,9
CPT 6	90	90	0	248,9
CPT 7	65	65	0	183,2
CPT 8	70	70	0	196,3

Si rimanda ad una analisi più approfondita e dettagliata l'esatta verifica della capacità portante, in relazione anche alle tipologie costruttive ed a particolari esigenze.

### 13. MODELLAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Nel sito in esame è stata condotta la valutazione degli effetti sismici di sito di III livello secondo lo schema seguente:

- 1) Definizione del modello geotecnico del sottosuolo attraverso indagini dirette e indirette;
- 2) Selezione di un moto di input (terremoto caratteristico) al bedrock;
- 3) Stima dell'amplificazione del moto in superficie rispetto al bedrock, in funzione della frequenza;
- 4) Stima dello spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo a un grado di libertà in termini di accelerazioni massime attese in funzione del periodo proprio della struttura per uno smorzamento assunto pari al 5%.

Al fine di effettuare la modellazione numerica per la valutazione degli effetti di sito è necessario avere a disposizione accelerogrammi e spettri di risposta da utilizzare come input sismici nella modellazione stessa.

Il modello geologico di sottosuolo e la correlabilità tra gli esiti litologici e meccanici ottenuti dalle prove geognostiche e geofisiche, consentono l'elaborazione di un'unica modellazione numerica generale di risposta sismica.

La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale è stata eseguita tramite il software EERA e si compone di due fasi:

- elaborazione del modello;
- simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

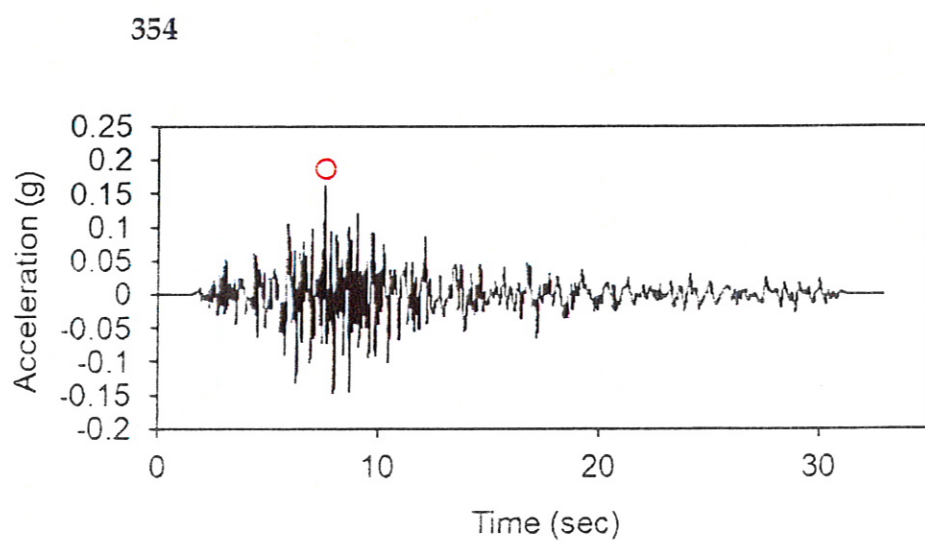
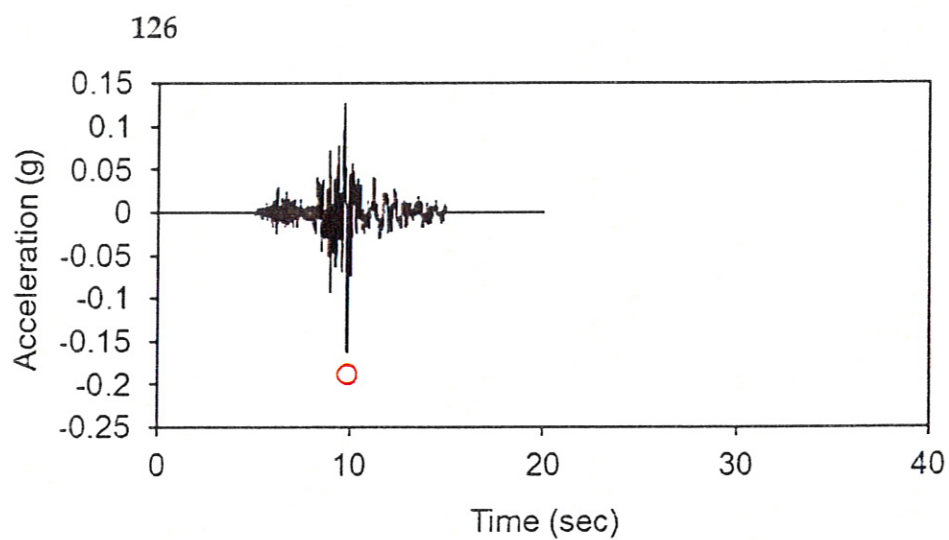
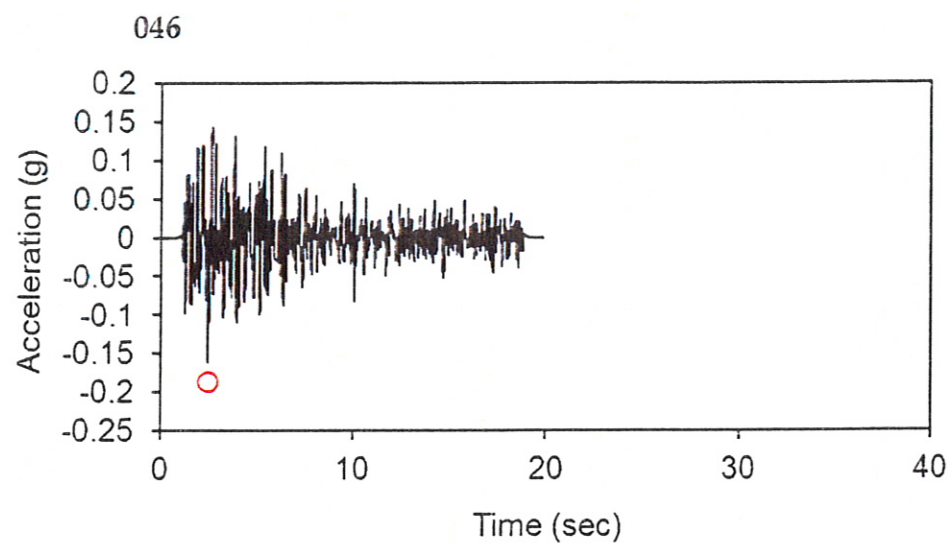
#### 13.1 Selezione del moto di riferimento

Per produrre una simulazione di terremoto si è proceduto a calcolare il moto atteso in superficie a partire dai tre accelerogrammi reali relativi ad un sito in roccia (A) forniti dalla regione Emilia Romagna per il Comune di Sasso Marconi e identificati dalle sigle 046, 126 e 354 con valore di accelerazione di picco di 0,188g.

I relativi accelerogrammi vengono riportati nella pagina seguente.



## ACCELEROGRAMMI DI INPUT (0,188g)



### 13.2 Elaborazione del modello sismico

La prima fase di elaborazione consiste nel costruire la colonna di sottosuolo di riferimento, rappresentata da strati caratterizzati da diversa tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S ( $V_s$ ).

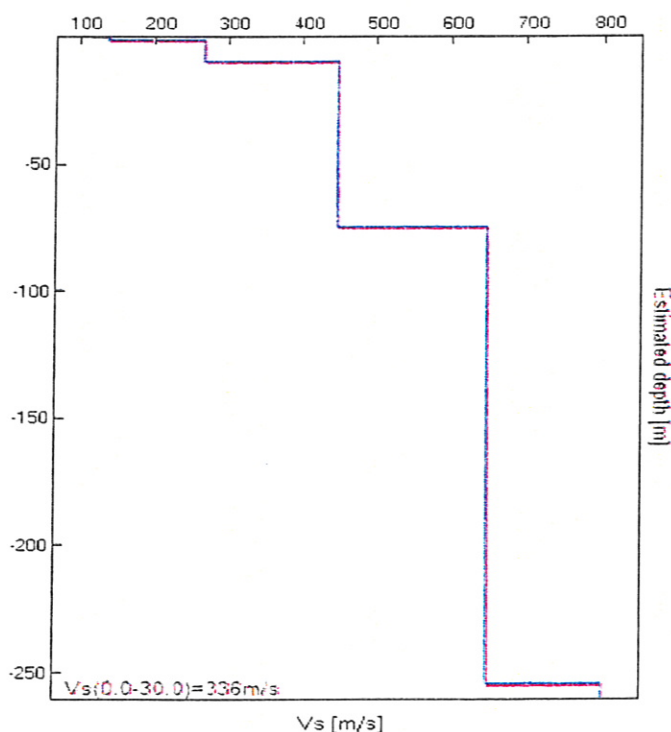
La stratigrafia che caratterizza il modello per i primi 30 metri deriva dagli esiti delle prove geognostiche eseguite mentre per l'attribuzione della velocità delle onde sismiche di taglio  $V_s$  relativa ai differenti strati della colonna sismica, si sono considerati gli esiti dell'indagine sismica eseguita.

Sulla base dei risultati dell'indagine geofisica la profondità del bedrock sismico cui corrisponde una  $V_s = 800$  m/sec è stata stimata di 255,00 m dal p.c. attuale.

#### DISTRIBUZIONE DELLE $V_s$

Strato sismico	Profondità (m)	$V_s$ (m/sec)
1	0,00÷0,60	120
2	0,60÷1,80	140
3	1,80÷10,40	268
4	10,40÷75,40	450
5	75,40÷255,40	650
6	>255,40	800

#### PROFILO DI VELOCITÀ

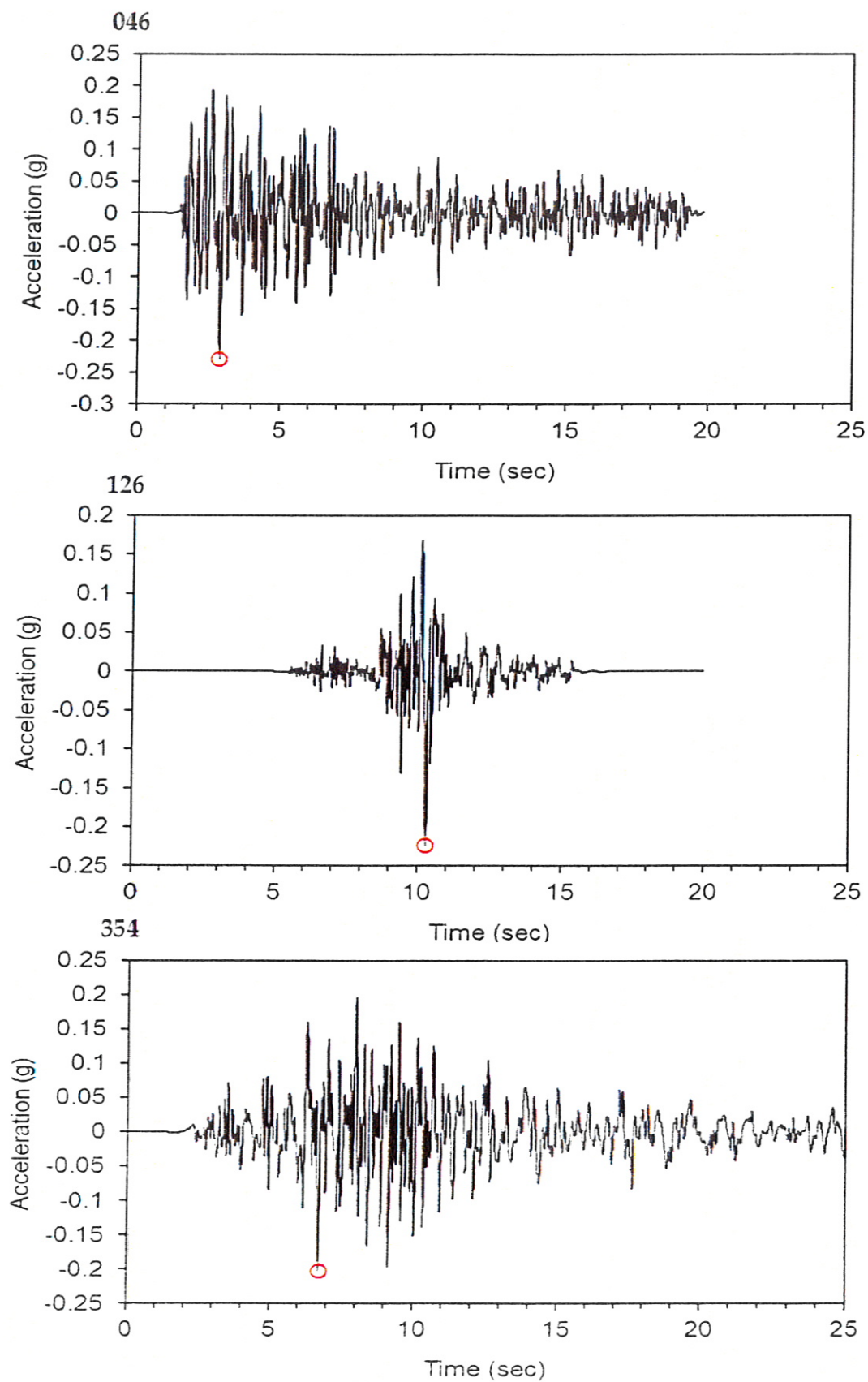


L'interpolazione tra il profilo di sottosuolo e le velocità delle onde sismiche di taglio permette di stimare i valori di accelerazione di picco attesi in superficie per i terremoti caratteristici.

I relativi accelerogrammi vengono riportati nella pagina seguente.



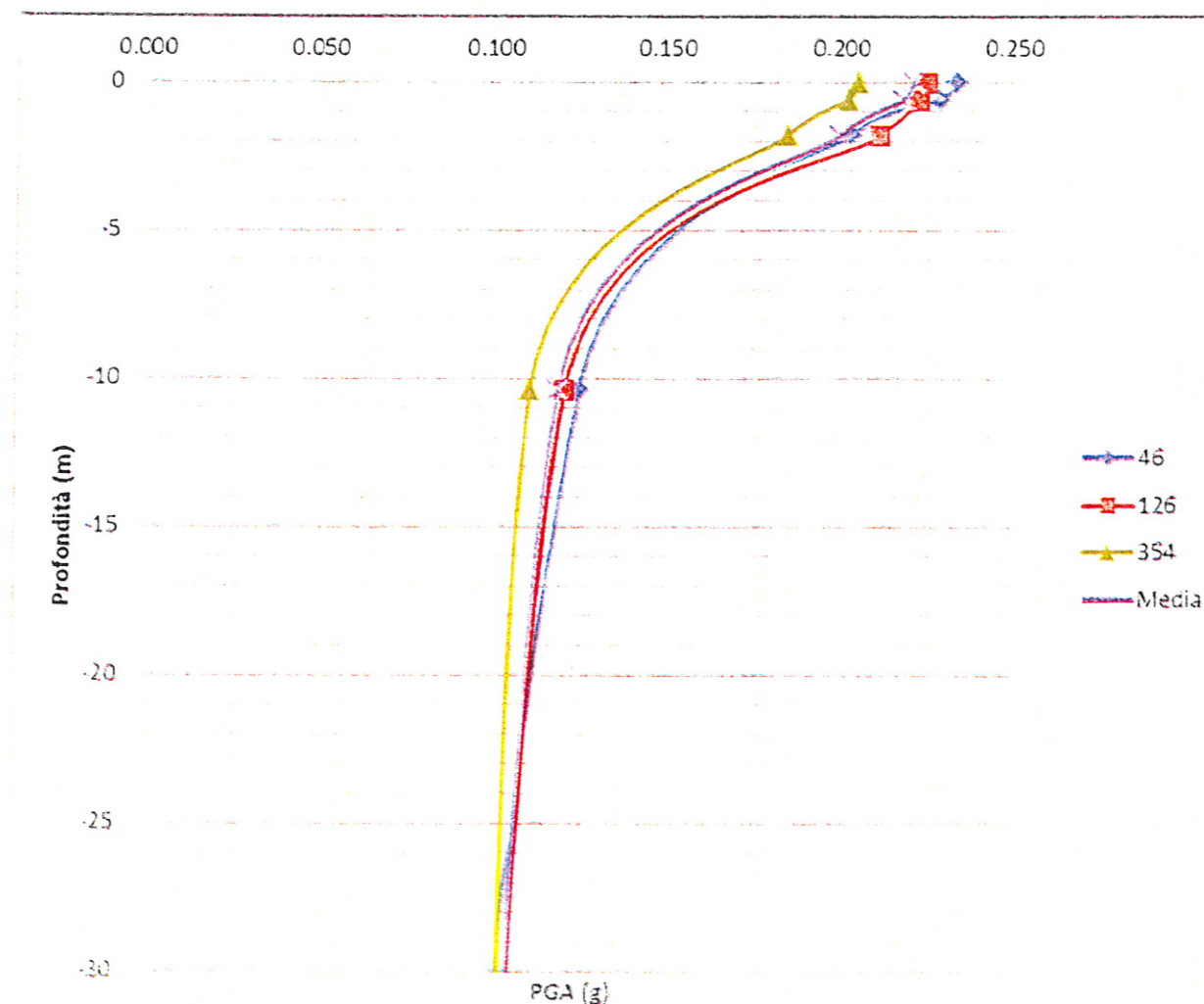
## ACCELEROGRAMMI DEL SITO (strato sismico 2)



Di seguito in forma tabellare, viene riportato l'andamento dell'accelerazione di picco attesa in funzione della profondità per i tre terremoti di input e il rispettivo valore medio mentre in forma grafica viene riportato l'andamento nei primi 30,00 m.

Dalla stessa si evince come il valore di picco dell'accelerazione atteso in superficie ottenuto dalla simulazione è compreso tra 0,205g e 0,234g mentre il valore mediato è pari a 0,221g.

Profondità	PGA			
	046	0126	354	media
0	0.234	0.225	0.205	0.221
0.6	0.229	0.223	0.202	0.218
1.8	0.203	0.211	0.184	0.199
10.4	0.125	0.121	0.111	0.119
75.4	0.081	0.094	0.103	0.093
255.4	0.094	0.078	0.118	0.097





### 13.3 Elaborazione dell'amplificazione

La seconda fase di elaborazione consente di ottenere due differenti spettri di risposta, ognuno dei quali descrive il diverso comportamento relativo ad ogni singolo strato della colonna litologica tipo, rispetto all'input sismico utilizzato.

Poiché questi spettri vengono ripresi nell'ambito della verifica sismica del sito, nel nostro caso consideriamo come strato sismico il n. 2, sul quale presumibilmente verranno attestate le fondazioni delle opere in progetto.

Nella TAV. 5.1 vengono riportati i grafici della velocità spettrale; i risultati di questa analisi sono utilizzabili per il calcolo dell'Intensità Spettrale di Housner (IS), indicatore della pericolosità sismica definito come l'area sottesa dallo spettro di pseudovelocità in un intervallo prefissato di frequenze, e direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante il terremoto.

Il secondo spettro (TAV. 5.2) riguarda l'amplificazione locale intesa come il rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido (PGA<sub>0</sub>) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito (PGA).

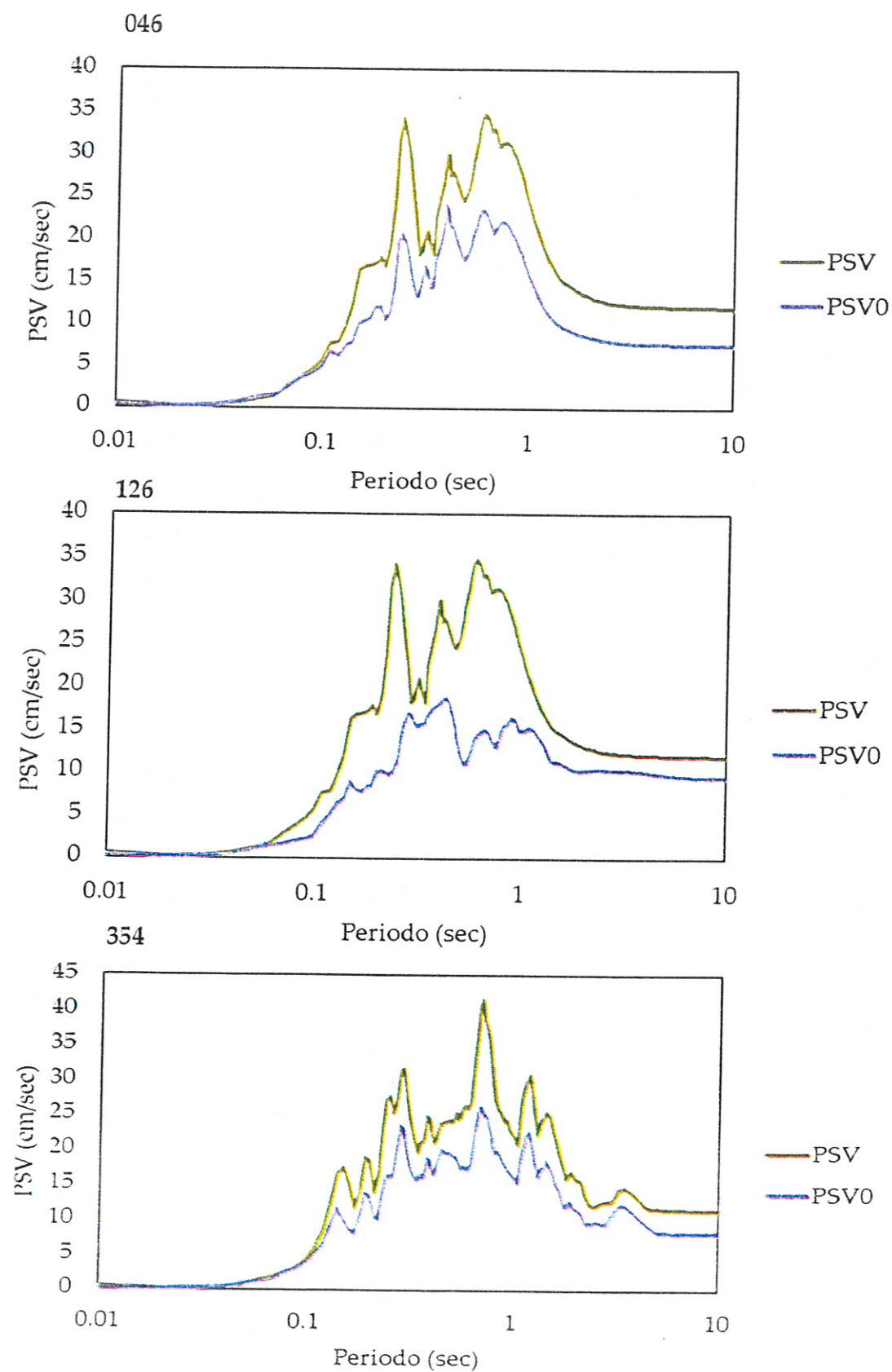
La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione del deposito, dalla quale si ricava la frequenza fondamentale, definita come la frequenza cui corrisponde il valore massimo della funzione di amplificazione.

Dalle funzioni di amplificazione ricavate dalle elaborazioni (TAV. 4.2) risulta che la frequenza fondamentale assume un valore di circa 6,6 Hz e il relativo fattore di amplificazione (F.A.) risulta compreso tra 1,76 e 1,78.

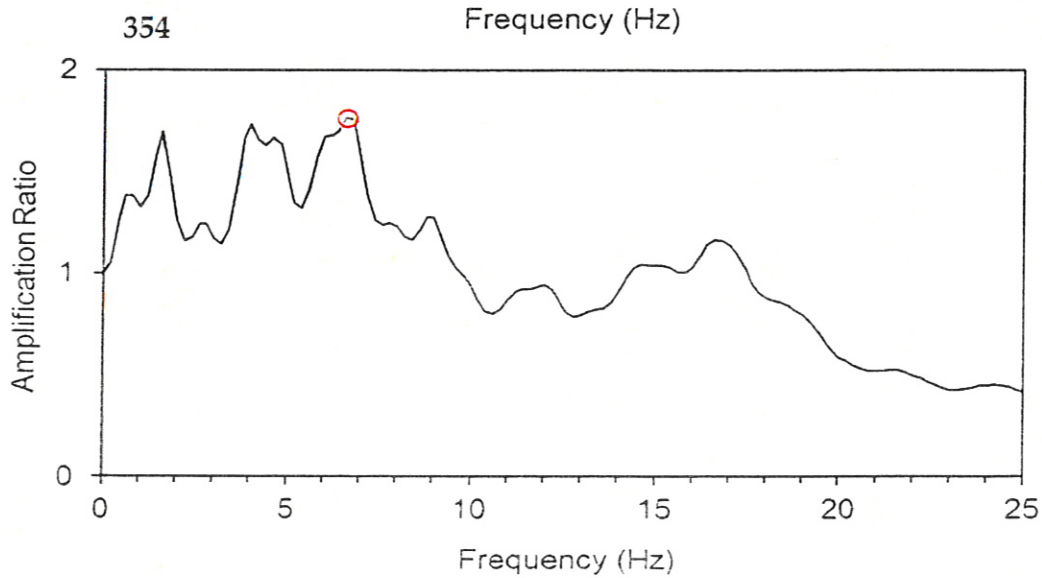
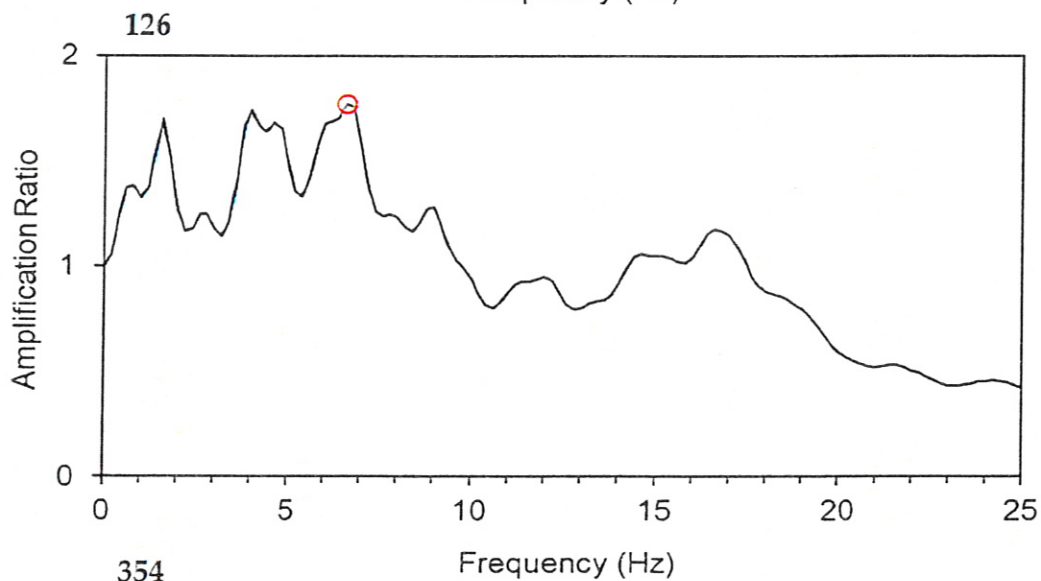
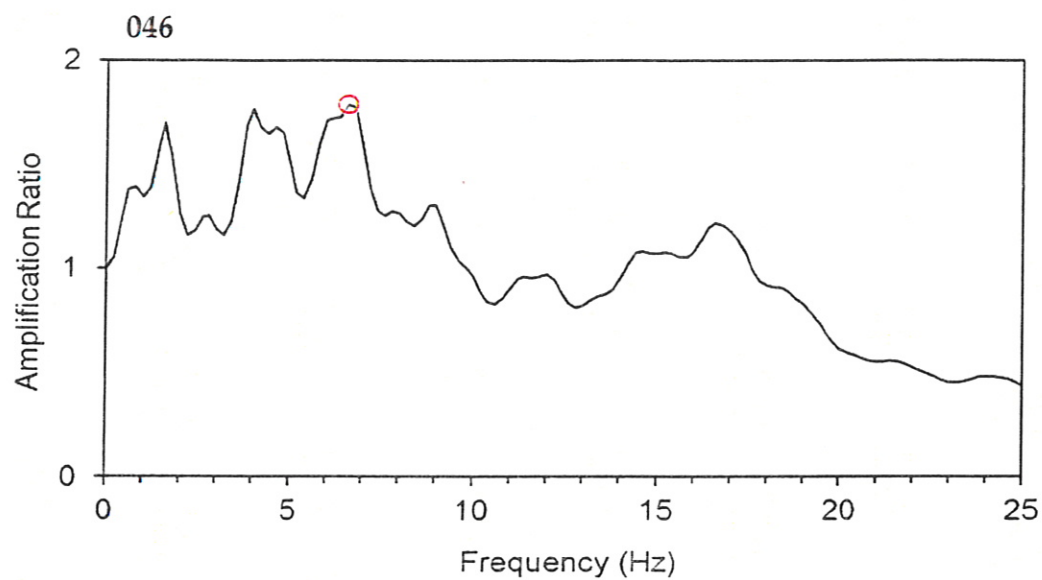
Nella tabella successiva vengono riportati i valori del Fattore di Amplificazione (F.A.), in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA<sub>0</sub>) e di intensità spettrale ((IS), ottenuti per ciascuno dei tre sismi di progetto.

Segnale reg.	F.A. PGA/PGA <sub>0</sub>	F.A. IS 0,00÷0,50 sec	F.A. IS 0,50÷1,00 sec
046	1,78	1,40	1,48
126	1,77	1,37	1,40
354	1,76	1,35	1,44

TAV. 5.1 – Spettri di risposta relativi alla pseudovelocità (PSV)





TAV. 5.2 – Spettro di amplificazione PGA/PGA<sub>0</sub>

Nella TAV. 6 vengono confrontati i tre spettri in accelerazione, lo spettro risultante dalla media dei tre, e lo spettro inelastico di progetto SLV (N.C.T. 3.2.3.5) ottenuto mediante il foglio di calcolo del Ministero dei Lavori Pubblici riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento.

I parametri utilizzati per determinare le forme spettrali sono i seguenti:

$V_n = 50$

Classe d'uso = III

Coefficiente d'uso = 1,5

Categoria di sottosuolo = C

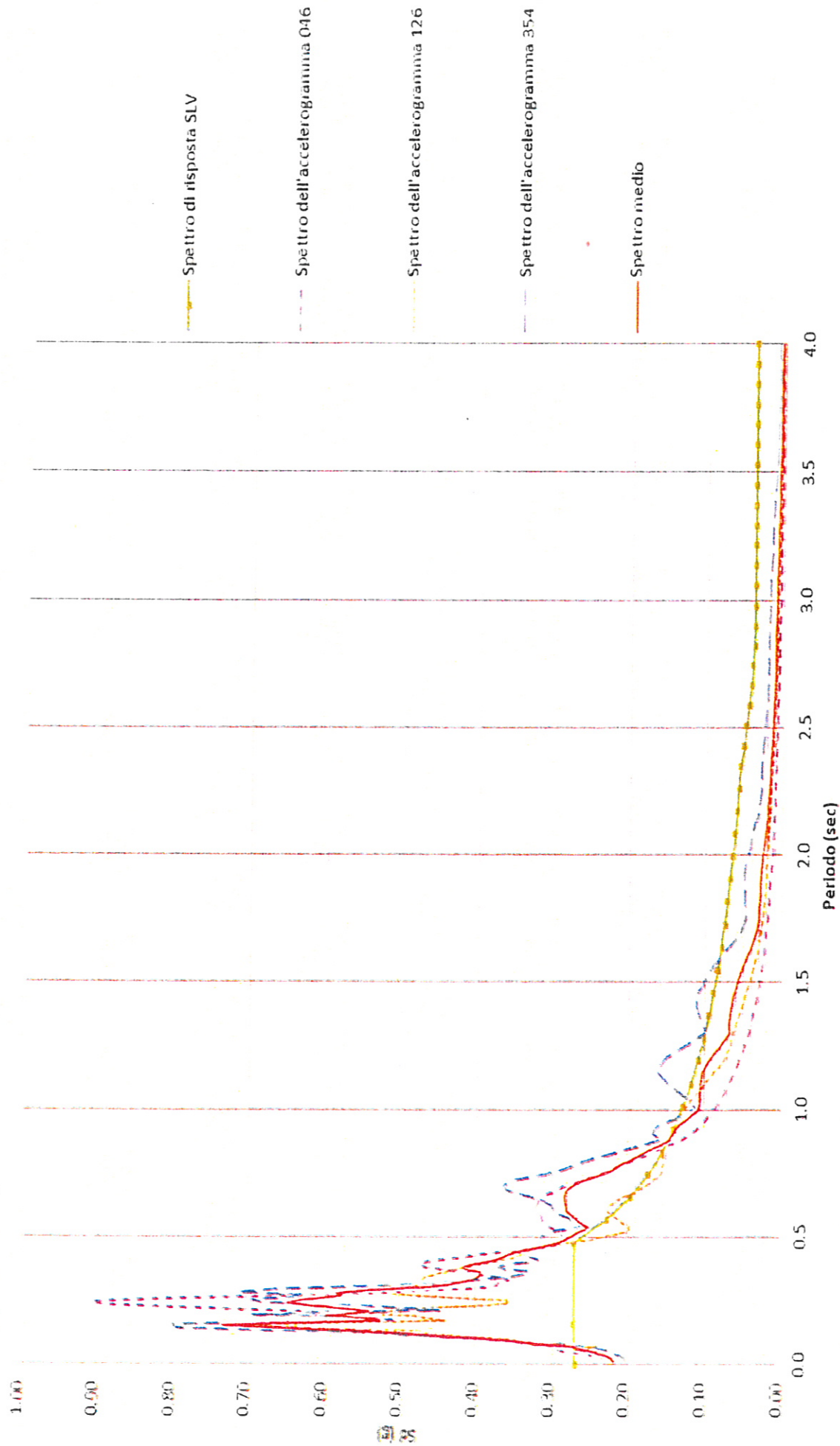
Categoria topografica = T1

Smorzamento = 5 %

Fattore di struttura = 1



TAV. 6- Spettri di risposta



## 14. CONSIDERAZIONI FINALI

L'area in esame si ubica ad una quota compresa tra 68,00 m e 87,00 m s.l.m., in una fascia pressoché pianeggiante o scarsamente acclive (2,5÷3,5 %), a ridosso della strada statale n. 64 - Porrettana.

La litologia del primo sottosuolo al tetto, al disotto di un orizzonte di terreno di riporto e/o pedogenizzato dello spessore medio di 0,40÷1,00 m, risulta inizialmente caratterizzata dalla presenza di limi argillosi e/o debolmente sabbiosi di consistenza da plastica a plastico dura, inglobanti localmente intercalazioni sabbioso limose e/o viceversa con rari ciottoli di addensamento da medio ad elevato.

Suddetti litotipi sono sopportati da ghiaie di addensamento da medio ad elevato in matrice sabbiosa a tratti prevalente, il cui tetto è stato evidenziato ad una profondità variabile da 6,00 m a 8,20 m dal p.c. attuale.

Indagine eseguite in aree limitrofe hanno evidenziato come le ghiaie presentino spessori mediamente dell'ordine di 3,00 m, e sono sopportate da argille limose di consistenza elevata costituenti il substrato.

I suddetti terreni sono caratterizzati dalla presenza di una falda freatica di superficie il cui livello statico, al termine dell'indagine, rispetto al p.c. attuale è stato misurato a profondità variabili da 2,50 m a 6,00 m, quote presumibilmente soggette a variazioni stagionali.

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è possibile distinguere il terreno secondo le unità geotecniche indicate nella tabella successiva.

U.G.	Profondità m da p.c.		Litologia prevalente	qd MPa	$\gamma$ (kN/mc)	Cu (kPa)	$\varphi$ (°)	Dr (%)
	da	a						
0	0,00	0,40÷1,00	R/P	-	-	-	-	-
A	0,40÷1,00	2,50÷6,00	LAS	1,3÷3,6	19,1÷19,4	65÷150	0	0
A1	2,50÷6,00	6,00÷8,20	LAS	1,0÷3,0	9,0÷9,3	50÷133	0	0
A2	1,80÷4,60	3,60÷7,60	SLG	2,7÷26,9	8,5÷8,6	0	30÷39	25÷90
B	6,20÷11,20	fine indag	GS/SL	4,1÷38,8	8,5	0	31÷43	36÷95

I terreni del primo sottosuolo presentano una Vs30 pari a 336 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria C, che comprende *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < N<sub>SPT30</sub> < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < Cu<sub>30</sub> < 250 kPa nei terreni a grana fine"*.



Nell'area in esame sedimenti potenzialmente liquefabili sono inesistenti, essendo la litologia di superficie rappresentata da argille e limi di buona consistenza e ghiaie di addensamento da medio ad elevato, sopportate da argille limose di elevata consistenza.

La modellazione della risposta sismica locale ha consentito di determinare i valori del Fattore di Amplificazione (F.A.), in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0) e di intensità spettrale (IS).

Dalle funzioni di amplificazione ricavate dalle elaborazioni risulta che la frequenza fondamentale assume un valore di circa 6,6 Hz, ed il relativo fattore di amplificazione (FA) risulta compreso tra 1,76 e 1,78, mentre il fattore di amplificazione (F.A.), in termini di intensità spettrale (IS), per periodi propri del sito ( $T_0$ ) compresi tra 0,1 e 0,5 sec varia da 1,35 a 1,40 sec, e per periodi compresi tra 0,5 e 1,0 sec varia da 1,40 a 1,48 sec.

Il valore di accelerazione massima al sito per un tempo di ritorno di 712 anni è pari a 0,268; la modellazione di III livello effettuata porta a stimare un accelerazione massima attesa in superficie compresa tra 0,205g e 0,234g, mentre il valore mediato tra i tre terremoti di riferimento considerati è pari a 0,221g.

I terreni presenti ad una profondità media di 1,20÷1,50 m dal p.c. attuale, nel caso di un sistema fondale diretto nastriforme, non considerando la superficie efficace dello stesso, consentono valori di resistenza di progetto compresi tra 122,7 kN/m<sup>2</sup> a 194,5 kN/m<sup>2</sup> nel caso di verifica mediante "Approccio 1 Combinazione 2" e tra 130,4 kN/m<sup>2</sup> e 207,0 kN/m<sup>2</sup> nel caso di "Approccio 2", mentre per fondazioni a plinti, sempre per le stesse condizioni, risultano compresi tra 147,8 kN/m<sup>2</sup> a 234,1 kN/m<sup>2</sup> nel caso di verifica mediante "Approccio 1 Combinazione 2" e tra 156,9 kN/m<sup>2</sup> e 251,5 kN/m<sup>2</sup> nel caso di "Approccio 2".

Si rimanda ad una analisi più approfondita e dettagliata l'esatta verifica della capacità portante, in relazione anche alle tipologie costruttive ed a particolari esigenze.

In considerazione di quanto sopra si può pertanto affermare che, da un punto di vista geologico, non vi è nulla che impedisca la realizzazione di quanto in progetto.

Casalecchio di Reno, 05 Giugno 2013



## ALLEGATI

## Indagine geognostica

Committente: SICarchitettura  
 Località: Sasso Marconi (BO)  
 Cantiere: ex stabilimento Alfa Wassermann  
 n° prova: 1  
 Profondità falda: foro chiuso a 0.20 m  
 Attrezzatura: Penetrometro da 200 kN  
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **13.0165 /RSP**

Data prova: 08/04/2013  
 Quota: ---  
 Codice lavoro: 2013.042  
 Procedura di prova: IO\_003

L1 kg/cm <sup>2</sup>	L2 kg/cm <sup>2</sup>	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
23		2,25	98,10	23	4,35	
39	54	3,82	124,26	31	3,25	1,0 m
15	34	1,47	98,10	15	6,67	
17	32	1,67	85,02	20	5,10	
19	32	1,86	104,64	18	5,62	
21	37	2,06	111,18	19	5,40	
103	120	10,10	98,10	103	0,97	2,0 m
25	40	2,45	65,40	37	2,67	
19	29	1,86	85,02	22	4,56	
18	31	1,76	104,64	17	5,93	
18	34	1,76	85,02	21	4,82	
20	33	1,96	91,56	21	4,67	3,0 m
16	30	1,57	98,10	16	6,25	
14	29	1,37	91,56	15	6,67	
16	30	1,57	85,02	18	5,42	
13	26	1,27	78,48	16	6,16	
18	30	1,76	104,64	17	5,93	4,0 m
17	33	1,67	98,10	17	5,89	
17	32	1,67	104,64	16	6,28	
17	33	1,67	78,48	21	4,71	
19	31	1,86	91,56	20	4,92	
17	31	1,67	98,10	17	5,89	5,0 m
16	31	1,57	91,56	17	5,84	
16	30	1,57	85,02	18	5,42	
15	28	1,47	85,02	17	5,78	
17	30	1,67	85,02	20	5,10	
16	29	1,57	85,02	18	5,42	6,0 m
15	28	1,47	78,48	19	5,34	
14	26	1,37	85,02	16	6,19	
13	26	1,27	78,48	16	6,16	
12	24	1,18	65,40	18	5,56	
13	23	1,27	65,40	19	5,13	7,0 m
13	23	1,27	78,48	16	6,16	
16	28	1,57	91,56	17	5,84	
16	30	1,57	85,02	18	5,42	
315	328	30,88	183,12	169	0,59	
230	258	22,55	137,34	164	0,61	8,0 m
101	122	9,90	71,94	138	0,73	
306	317	30,00	183,12	164	0,61	
400	428	39,22				

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	08/04/2013	Dr. Tabarroni	Dr. Luca Conti



Committente: SICarchitettura  
 Località: Sasso Marconi (BO)  
 Cantiere: ex stabilimento Alfa Wassermann  
 n° prova: 2  
 Profondità falda: foro chiuso a 4.00 m  
 Attrezzatura: Penetrometro da 200 kN  
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **13.0166 /RSP**

Data prova: 08/04/2013  
 Quota: ---  
 Codice lavoro: 2013.042  
 Procedura di prova: IO\_003

L1 kg/cm <sup>2</sup>	L2 kg/cm <sup>2</sup>	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
15		1.47	98.10	15	6.67	
16	31	1.57	85.02	18	5.42	1,0 m
33	46	3.24	71.94	45	2.22	
19	30	1.86	98.10	19	5.27	
21	36	2.06	104.64	20	5.08	
25	41	2.45	117.72	21	4.80	
24	42	2.35	111.18	21	4.73	2,0 m
18	35	1.76	104.64	17	5.93	
46	62	4.51	85.02	53	1.89	
18	31	1.76	91.56	19	5.19	
17	31	1.67	85.02	20	5.10	
19	32	1.86	85.02	22	4.56	3,0 m
21	34	2.06	85.02	24	4.13	
44	57	4.31	78.48	55	1.82	
23	35	2.25	111.18	20	4.93	
24	41	2.35	98.10	24	4.17	
77	92	7.55	98.10	77	1.30	4,0 m
89	104	8.73	150.42	58	1.72	
30	53	2.94	52.32	56	1.78	
14	22	1.37	91.56	15	6.67	
28	42	2.75	45.78	60	1.67	
11	18	1.08	65.40	16	6.06	5,0 m
115	125	11.27	78.48	144	0.70	
274	286	26.86	156.96	171	0.58	
112	136	10.98	78.48	140	0.71	
31	43	3.04	58.86	52	1.94	
13	22	1.27	52.32	24	4.11	6,0 m
12	20	1.18	52.32	22	4.45	
14	22	1.37	58.86	23	4.29	
14	23	1.37	65.40	21	4.76	
13	23	1.27	45.78	28	3.59	
12	19	1.18	58.86	20	5.00	7,0 m
11	20	1.08	65.40	16	6.06	
12	22	1.18	65.40	18	5.56	
12	22	1.18	52.32	22	4.45	
13	21	1.27	71.94	18	5.64	
17	28	1.67	78.48	21	4.71	8,0 m
13	25	1.27	78.48	16	6.16	
175	187	17.16	111.18	154	0.65	
322	339	31.57	183.12	172	0.58	
296	324	29.02	176.58	164	0.61	
79	106	7.75	104.64	74	1.35	9,0 m
105	121	10.29	85.02	121	0.83	
116	129	11.37	85.02	134	0.75	
322	335	31.57	176.58	179	0.56	
400	427	39.22				

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	08/04/2013	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

Committente: SICarchitettura  
 Località: Sasso Marconi (BO)  
 Cantiere: ex stabilimento Alfa Wassermann  
 n° prova: 3  
 Profondità falda: 2.50 m  
 Attrezzatura: Penetrometro da 200 kN  
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **13.0167 /RSP**

Data prova: 08/04/2013  
 Quota: ---  
 Codice lavoro: 2013.042  
 Procedura di prova: IO\_003

L1 kg/cm²	L2 kg/cm²	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
10		0,98	45,78	21	4,67	
10	17	0,98	45,78	21	4,67	
11	18	1,08	58,86	18	5,46	
12	21	1,18	65,40	18	5,56	
14	24	1,37	71,94	19	5,24	1,0 m
14	25	1,37	71,94	19	5,24	
13	24	1,27	65,40	19	5,13	
14	24	1,37	65,40	21	4,76	
15	25	1,47	78,48	19	5,34	
18	30	1,76	98,10	18	5,56	2,0 m
16	31	1,57	71,94	22	4,59	
15	26	1,47	78,48	19	5,34	
15	27	1,47	85,02	17	5,78	
17	30	1,67	85,02	20	5,10	
23	36	2,25	104,64	22	4,64	3,0 m
18	34	1,76	91,56	19	5,19	
20	34	1,96	85,02	23	4,34	
19	32	1,86	85,02	22	4,56	
18	31	1,76	78,48	22	4,45	
16	28	1,57	65,40	24	4,17	4,0 m
16	26	1,57	85,02	18	5,42	
25	38	2,45	78,48	31	3,20	
28	40	2,75	85,02	32	3,10	
20	33	1,96	78,48	25	4,00	
19	31	1,86	98,10	19	5,27	5,0 m
18	33	1,76	98,10	18	5,56	
17	32	1,67	98,10	17	5,89	
19	34	1,86	104,64	18	5,62	
19	35	1,86	91,56	20	4,92	
13	27	1,27	71,94	18	5,64	6,0 m
14	25	1,37	71,94	19	5,24	
15	26	1,47	78,48	19	5,34	
16	28	1,57	71,94	22	4,59	
15	26	1,47	85,02	17	5,78	
16	29	1,57	85,02	18	5,42	7,0 m
17	30	1,67	65,40	25	3,92	
16	26	1,57	65,40	24	4,17	
15	25	1,47	91,56	16	6,23	
18	32	1,76	85,02	21	4,82	
16	29	1,57	58,86	27	3,75	8,0 m
15	24	1,47	65,40	22	4,45	
14	24	1,37	71,94	19	5,24	
16	27	1,57	104,64	15	6,67	
35	51	3,43	52,32	66	1,52	
270	278	26,47	156,96	169	0,59	9,0 m
169	193	16,57	111,18	149	0,67	
337	354	33,04	183,12	180	0,55	
400	428	39,22				

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	08/04/2013	Dr. Tabarroni	Dr. Luca Conti

Committente: SiCarchitetture  
 Località: Sasso Marconi (BO)  
 Cantiere: ex stabilimento Alfa Wassermann  
 n° prova: 4  
 Profondità falda: 6.00 m  
 Attrezzatura: Penetrometro da 200 kN  
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **13.0168 /RSP**

Data prova: 08/04/2013  
 Quota: ---  
 Codice lavoro: 2013.042  
 Procedura di prova: IO\_003

L1 kg/cm <sup>2</sup>	L2 kg/cm <sup>2</sup>	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
7		0,69	65,40	10	9,53	
7	17	0,69	45,78	15	6,67	
9	16	0,88	71,94	12	8,15	
15	26	1,47	71,94	20	4,89	
17	28	1,67	71,94	23	4,32	1,0 m
13	24	1,27	71,94	18	5,64	
85	96	8,33	111,18	75	1,33	
24	41	2,35	65,40	36	2,78	
17	27	1,67	78,48	21	4,71	
18	30	1,76	71,94	25	4,08	2,0 m
16	27	1,57	65,40	24	4,17	
18	28	1,76	58,86	30	3,34	
22	31	2,16	91,56	24	4,25	
23	37	2,25	71,94	31	3,19	
24	35	2,35	104,64	22	4,45	3,0 m
24	40	2,35	78,48	30	3,34	
23	35	2,25	98,10	23	4,35	
27	42	2,65	111,18	24	4,20	
24	41	2,35	111,18	21	4,73	
24	41	2,35	78,48	30	3,34	4,0 m
26	38	2,55	98,10	26	3,85	
33	48	3,24	71,94	45	2,22	
34	45	3,33	71,94	46	2,16	
174	185	17,06	117,72	145	0,69	
202	220	19,80	124,26	159	0,63	5,0 m
24	43	2,35	71,94	33	3,06	
13	24	1,27	58,86	22	4,62	
74	83	7,25	111,18	65	1,53	
13	30	1,27	52,32	24	4,11	
15	23	1,47	85,02	17	5,78	6,0 m
13	26	1,27	65,40	19	5,13	
12	22	1,18	58,86	20	5,00	
13	22	1,27	65,40	19	5,13	
135	145	13,24	85,02	156	0,64	
68	81	6,67	104,64	64	1,57	7,0 m
127	143	12,45	78,48	159	0,63	
19	31	1,86	117,72	16	6,32	
34	52	3,33	65,40	51	1,96	
14	24	1,37	78,48	17	5,72	
10	22	0,98	45,78	21	4,67	8,0 m
11	18	1,08	52,32	21	4,85	
12	20	1,18	58,86	20	5,00	
14	23	1,37	65,40	21	4,76	
17	27	1,67	71,94	23	4,32	
18	29	1,76	91,56	19	5,19	9,0 m
16	30	1,57	85,02	18	5,42	
77	90	7,55	111,18	68	1,47	
57	74	5,59	98,10	57	1,76	
42	57	4,12	71,94	57	1,75	
50	61	4,90	78,48	62	1,60	10,0 m

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	08/04/2013	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti



Segue Rapporto di Prova N°: **13.0168 /RSP**

L1 kg/cm <sup>2</sup>	L2 kg/cm <sup>2</sup>	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
52	64	5,10	85,02	60	1,67	
80	93	7,84	104,64	75	1,33	
61	77	5,98	98,10	61	1,64	
53	68	5,20	91,56	57	1,76	
27	41	2,65	117,72	22	4,45	11,0 m
38	56	3,73	117,72	32	3,16	
323	341	31,67	189,66	167	0,60	
400	429	39,22				

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	08/04/2013	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

Committente: SiCarchitetture  
 Località: Sasso Marconi (BO)  
 Cantiere: ex stabilimento Alfa Wassermann  
 n° prova: 5  
 Profondità falda: 3.50 m  
 Attrezzatura: Penetrometro da 100 kN  
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **13.0170 /RSP**

Data prova: 09/04/2013  
 Quota: ---  
 Codice lavoro: 2013.042  
 Procedura di prova: --

L1 kg/cm <sup>2</sup>	L2 kg/cm <sup>2</sup>	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
3		0,29	26,16	11	8,89	
6	10	0,59	32,70	18	5,56	
8	13	0,78	45,78	17	5,84	
9	16	0,88	52,32	17	5,93	
14	22	1,37	78,48	17	5,72	1,0 m
16	28	1,57	98,10	16	6,25	
16	31	1,57	98,10	16	6,25	
12	27	1,18	65,40	18	5,56	
12	22	1,18	65,40	18	5,56	
15	25	1,47	71,94	20	4,89	2,0 m
19	30	1,86	85,02	22	4,56	
18	31	1,76	85,02	21	4,82	
26	39	2,55	65,40	39	2,57	
26	36	2,55	65,40	39	2,57	
17	27	1,67	98,10	17	5,89	3,0 m
25	40	2,45	85,02	29	3,47	
23	36	2,25	98,10	23	4,35	
25	40	2,45	91,56	27	3,74	
24	38	2,35	85,02	28	3,61	
21	34	2,06	91,56	22	4,45	4,0 m
49	63	4,80	85,02	57	1,77	
81	94	7,94	104,64	76	1,32	
18	34	1,76	104,64	17	5,93	
15	31	1,47	71,94	20	4,89	
15	26	1,47	71,94	20	4,89	5,0 m
13	24	1,27	58,86	22	4,62	
16	25	1,57	65,40	24	4,17	
17	27	1,67	91,56	18	5,49	
18	32	1,76	85,02	21	4,82	
15	28	1,47	85,02	17	5,78	6,0 m
12	25	1,18	78,48	15	6,67	
11	23	1,08	58,86	18	5,46	
13	22	1,27	85,02	15	6,67	
15	28	1,47	91,56	16	6,23	
14	28	1,37	71,94	19	5,24	7,0 m
11	22	1,08	65,40	16	6,06	
11	21	1,08	65,40	16	6,06	
10	20	0,98	52,32	19	5,34	
12	20	1,18	58,86	20	5,00	
27	36	2,65	71,94	37	2,72	8,0 m
285	296	27,94	176,58	158	0,63	
328	355	32,16	189,66	170	0,59	
396	425	38,82	215,82	180	0,56	
400	433	39,22				

Revisione	Data emissione	Scerimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	09/04/2013	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

Committente: SICarchitettura  
 Località: Sasso Marconi (BO)  
 Cantiere: ex stabilimento Alfa Wassermann  
 n° prova: 6  
 Profondità falda: 4.20 m  
 Attrezzatura: Penetrometro da 100 kN  
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **13.0171 /RSP**

Data prova: 08/04/2013  
 Quota: ---  
 Codice lavoro: 2013.042  
 Procedura di prova: --

L1 kg/cm <sup>2</sup>	L2 kg/cm <sup>2</sup>	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
6		0.59	39.24	15	6.67	
8	14	0.78	32.70	24	4.17	
6	11	0.59	26.16	22	4.45	
4	8	0.39	45.78	9	11.67	
10	17	0.98	65.40	15	6.67	1,0 m
20	30	1.96	98.10	20	5.00	
18	33	1.76	98.10	18	5.56	
17	32	1.67	98.10	17	5.89	
19	34	1.86	91.56	20	4.92	
70	84	6.86	137.34	50	2.00	2,0 m
93	114	9.12	163.50	56	1.79	
78	103	7.65	137.34	56	1.80	
54	75	5.29	91.56	58	1.73	
32	46	3.14	143.88	22	4.59	
21	43	2.06	117.72	17	5.72	3,0 m
24	42	2.35	111.18	21	4.73	
48	65	4.71	91.56	51	1.95	
21	35	2.06	117.72	17	5.72	
20	38	1.96	111.18	18	5.67	
25	42	2.45	150.42	16	6.14	4,0 m
25	48	2.45	156.96	16	6.40	
24	48	2.35	156.96	15	6.67	
20	44	1.96	111.18	18	5.67	
20	37	1.96	124.26	16	6.34	
21	40	2.06	130.80	16	6.35	5,0 m
20	40	1.96	130.80	15	6.67	
19	39	1.86	117.72	16	6.32	
13	31	1.27	71.94	18	5.64	
12	23	1.18	71.94	16	6.11	
14	25	1.37	91.56	15	6.67	6,0 m
16	30	1.57	98.10	16	6.25	
17	32	1.67	111.18	15	6.67	
21	38	2.06	137.34	15	6.67	
22	43	2.16	117.72	18	5.46	
20	38	1.96	117.72	17	6.00	7,0 m
19	37	1.86	124.26	15	6.67	
19	38	1.86	104.64	18	5.62	
17	33	1.67	104.64	16	6.28	
15	31	1.47	85.02	17	5.78	
12	25	1.18	58.86	20	5.00	8,0 m
13	22	1.27	78.48	16	6.16	
302	314	29.61	176.58	168	0.60	
356	383	34.90	202.74	172	0.58	
400	431	39.22				

Revisione	Data emissione	Soerimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	08/04/2013	Dr. Tabarroni	Dr. Luca Conti



Committente: SICarchitettura  
 Località: Sasso Marconi (BO)  
 Cantiere: ex stabilimento Alfa Wassermann  
 n° prova: 7  
 Profondità falda: 2.50 m  
 Attrezzatura: Penetrometro da 100 kN  
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **13.0172 /RSP**

Data prova: 09/04/2013  
 Quota: ---  
 Codice lavoro: 2013.042  
 Procedura di prova: --

L1 kg/cm <sup>2</sup>	L2 kg/cm <sup>2</sup>	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
7		0.69	32.70	21	4.76	
6	11	0.59	39.24	15	6.67	
12	18	1.18	52.32	22	4.45	
14	22	1.37	85.02	16	6.19	
12	25	1.18	65.40	18	5.56	1,0 m
15	25	1.47	98.10	15	6.67	
16	31	1.57	85.02	18	5.42	
16	29	1.57	104.64	15	6.67	
18	34	1.76	104.64	17	5.93	
17	33	1.67	78.48	21	4.71	2,0 m
17	29	1.67	98.10	17	5.89	
18	33	1.76	71.94	25	4.08	
58	69	5.69	85.02	67	1.50	
14	27	1.37	71.94	19	5.24	
15	26	1.47	65.40	22	4.45	3,0 m
21	31	2.06	65.40	31	3.18	
18	28	1.76	91.56	19	5.19	
19	33	1.86	91.56	20	4.92	
14	28	1.37	58.86	23	4.29	
12	21	1.18	58.86	20	5.00	4,0 m
13	22	1.27	71.94	18	5.64	
11	22	1.08	58.86	18	5.46	
10	19	0.98	58.86	17	6.00	
10	19	0.98	52.32	19	5.34	
11	19	1.08	65.40	16	6.06	5,0 m
10	20	0.98	52.32	19	5.34	
11	19	1.08	71.94	15	6.67	
13	24	1.27	71.94	18	5.64	
20	31	1.96	91.56	21	4.67	
17	31	1.67	91.56	18	5.49	6,0 m
15	29	1.47	98.10	15	6.67	
24	39	2.35	91.56	26	3.89	
33	47	3.24	78.48	41	2.43	
173	185	16.96	124.26	136	0.73	
265	284	25.98	156.96	166	0.60	7,0 m
338	362	33.14	183.12	181	0.55	
286	314	28.04	163.50	171	0.58	
400	425	39.22				

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	09/04/2013	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

Committente: SiCarchitetture  
 Località: Sasso Marconi (BO)  
 Cantiere: ex stabilimento Alfa Wassermann  
 n° prova: 8  
 Profondità falda: 2.50 m  
 Attrezzatura: Penetrometro da 100 kN  
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **13.0173 /RSP**

Data prova: 09/04/2013  
 Quota: ---  
 Codice lavoro: 2013.042  
 Procedura di prova: --

L1 kg/cm <sup>2</sup>	L2 kg/cm <sup>2</sup>	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
6		0.59	39.24	15	6.67	
6	12	0.59	45.78	13	7.78	
7	14	0.69	58.86	12	8.58	
8	17	0.78	52.32	15	6.67	
11	19	1.08	65.40	16	6.06	1,0 m
14	24	1.37	91.56	15	6.67	
19	33	1.86	98.10	19	5.27	
18	33	1.76	98.10	18	5.56	
18	33	1.76	98.10	18	5.56	
20	35	1.96	91.56	21	4.67	2,0 m
19	33	1.86	91.56	20	4.92	
24	38	2.35	85.02	28	3.61	
21	34	2.06	71.94	29	3.49	
17	28	1.67	98.10	17	5.89	
31	46	3.04	104.64	29	3.44	3,0 m
25	41	2.45	111.18	22	4.54	
25	42	2.45	104.64	23	4.27	
24	40	2.35	98.10	24	4.17	
26	41	2.55	111.18	23	4.36	
20	37	1.96	85.02	23	4.34	4,0 m
19	32	1.86	98.10	19	5.27	
16	31	1.57	78.48	20	5.00	
17	29	1.67	98.10	17	5.89	
21	36	2.06	104.64	20	5.08	
22	38	2.16	111.18	19	5.15	5,0 m
23	40	2.25	117.72	19	5.22	
26	44	2.55	124.26	21	4.87	
24	43	2.35	104.64	22	4.45	
30	46	2.94	130.80	22	4.45	
17	37	1.67	98.10	17	5.89	6,0 m
41	56	4.02	78.48	51	1.95	
351	363	34.41	202.74	170	0.59	
377	408	36.96	222.36	166	0.60	
400	434	39.22				

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	09/04/2013	Dr. Tabarroni	Dr. Luca Conti

**GEO-PROBE S.r.l.**

- Indagini Geognostiche -

40033 CASALECCHIO DI RENO

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

**CPT (CONE PENETRATION TEST)****N. 1**

Committente :

SICarchitetture

Località :

Sasso Marconi (BO)

Attrezzatura :

Penetrometro da 200 kN

Rapporto di Prova N°:

**13.0165 /RSP**

Quota:

---

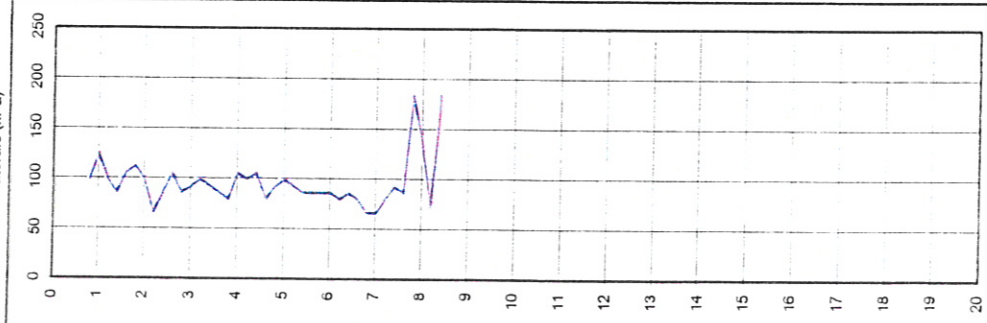
Data prova :

08/04/2013

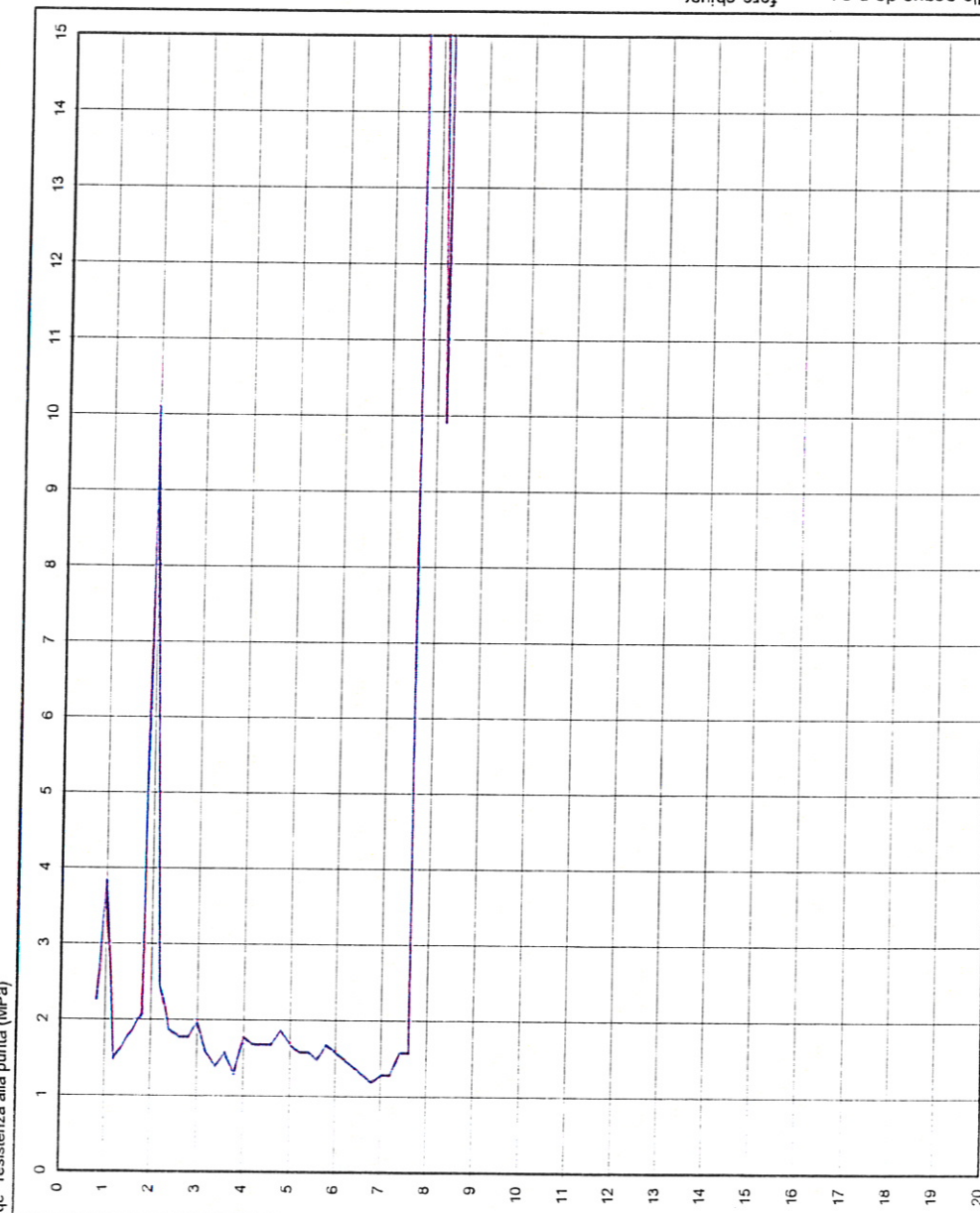
Codice lavoro:

2013.042

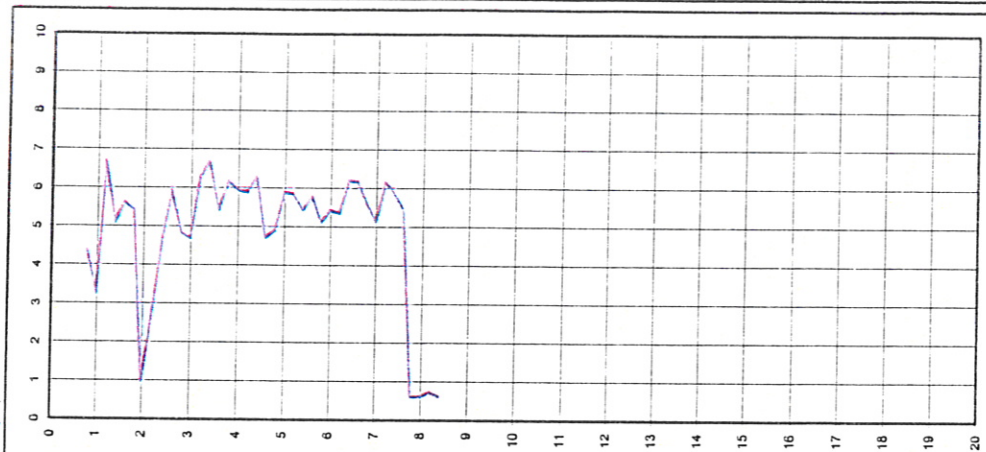
fs resistenza laterale (kPa)



qc resistenza alla punta (MPa)



Rf (%)



Livello acqua da p.c.: foro chiuso

Note: ---

Procedura di prova	Normativa di riferimento	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_003	ASTM D 3441-94	0	08/04/2013	Dr. Tabarroni	Dr. Luca Conti



**GEO-PROBE S.r.l.**

- Indagini Geognostiche -

40033 CASALECCHIO DI RENO

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

**CPT (CONE PENETRATION TEST)****N. 2**

Rapporto di Prova N°:

**13.0166 /RSP**

Committente :

SICarchitetture

Località :

Sasso Marconi (BO)

Attrezzatura :

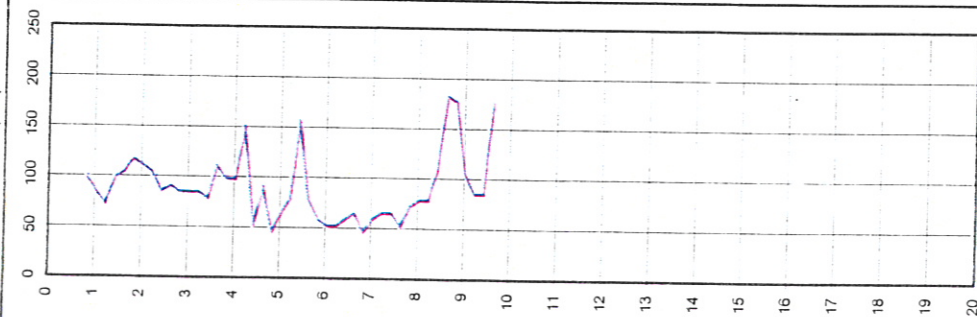
Penetrometro da 200 kN

Quota: ---

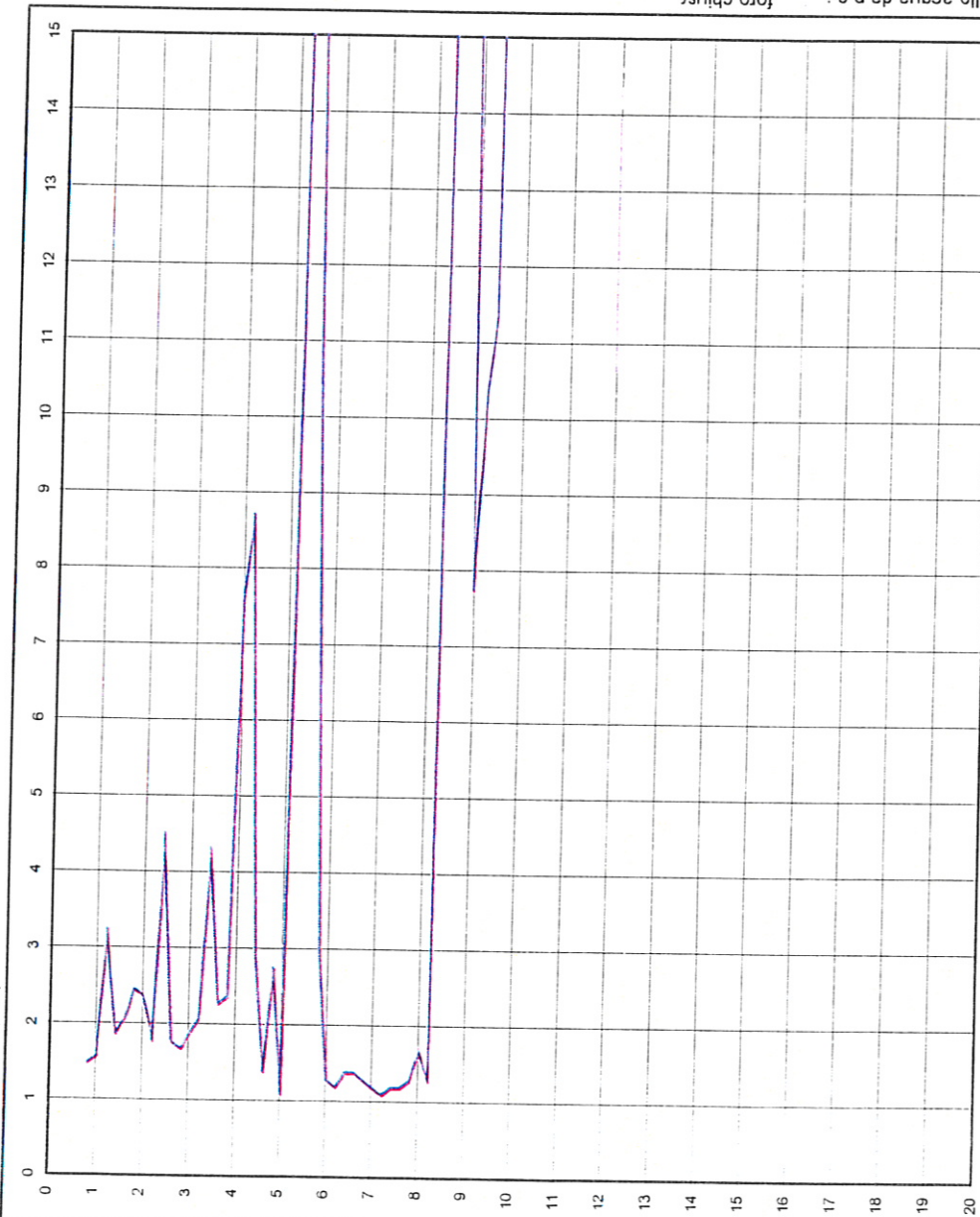
Data prova : 08/04/2013

Codice lavoro: 2013.042

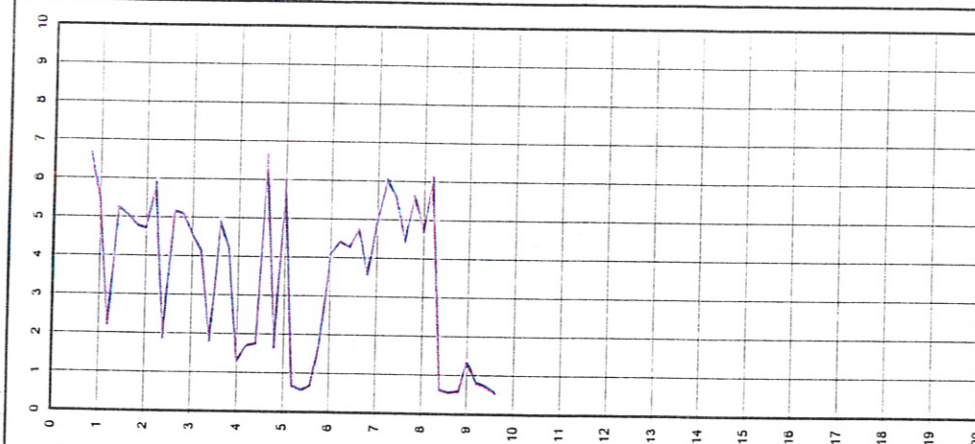
fs resistenza laterale (kPa)



qc resistenza alla punta (MPa)



Rf (%)



Livello acqua da p.c.: foro chiuso

Note: ---

Procedura di prova	Normativa di riferimento	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_003	ASTM D 3441-94	0	08/04/2013	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

**GEO-PROBE S.r.l.**

- Indagini Geognostiche -

40033 CASALECCHIO DI RENO

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

**CPT (CONE PENETRATION TEST)****N. 3**

Rapporto di Prova N°:

**13.0167 /RSP**

Committente :

SICarchitetture

Località :

Sasso Marconi (BO)

Attrezzatura :

Penetrometro da 200 kN

ex stabilimento Alfa Wassermann

Quota:

---

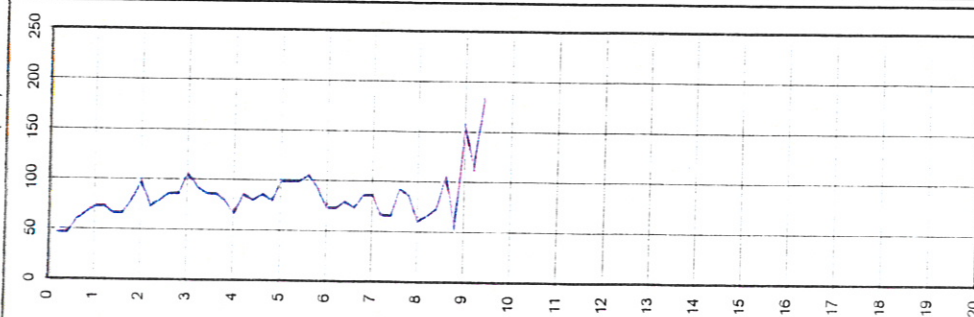
Data prova :

08/04/2013

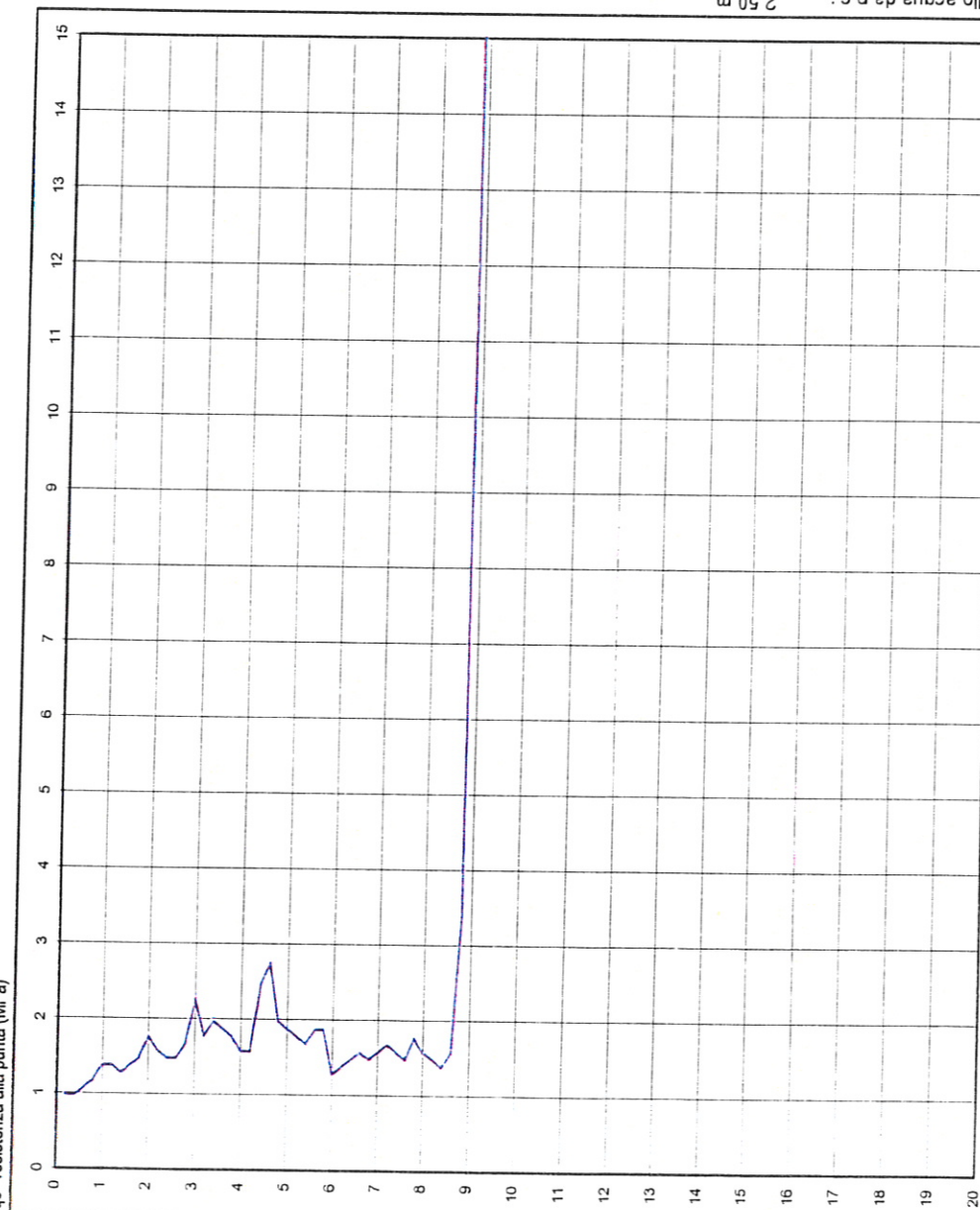
Codice lavoro:

2013.042

fs resistenza laterale (kPa)

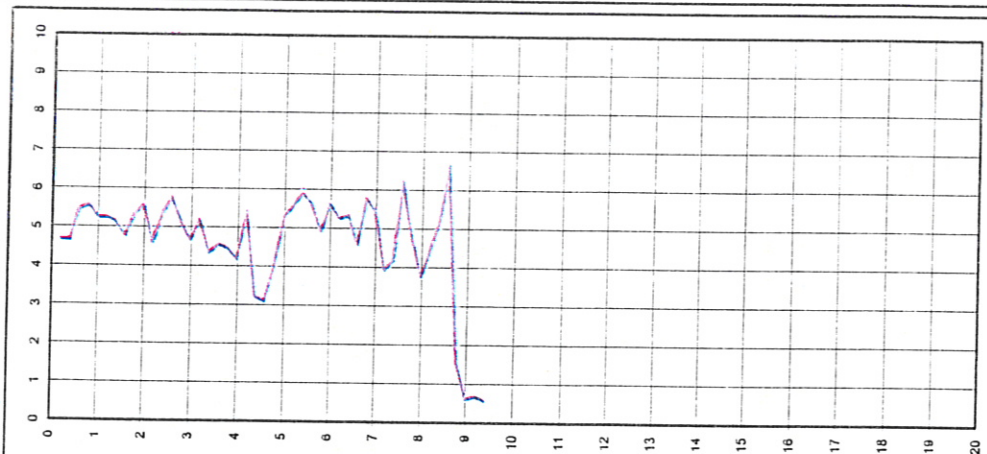


qc resistenza alla punta (MPa)



Livello acqua da p.c.: 2,50 m

Rf (%)



Note: ---

Procedura di prova	Normativa di riferimento	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_003	ASTM D 3441-94	0	08/04/2013	Dr. Tabarroni	Dr. Luca Conti

MOD.0\_RSP\_GRAT\_CPT



**GEO-PROBE S.r.l.**

- Indagini Geognostiche -

40033 CASALECCHIO DI RENO

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

**CPT (CONE PENETRATION TEST)****N. 4**

Rapporto di Prova N°:

13.0168 /RSP

Quota: ---

Data prova : 08/04/2013

Codice lavoro: 2013.042

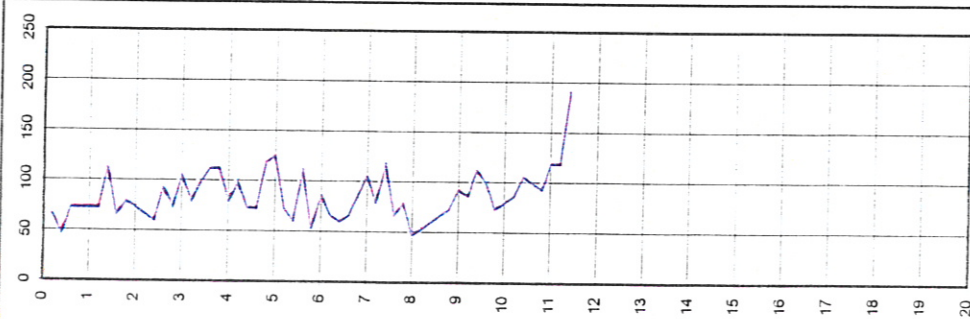
Committente : SICarchitettura

Località : Sasso Marconi (BO)

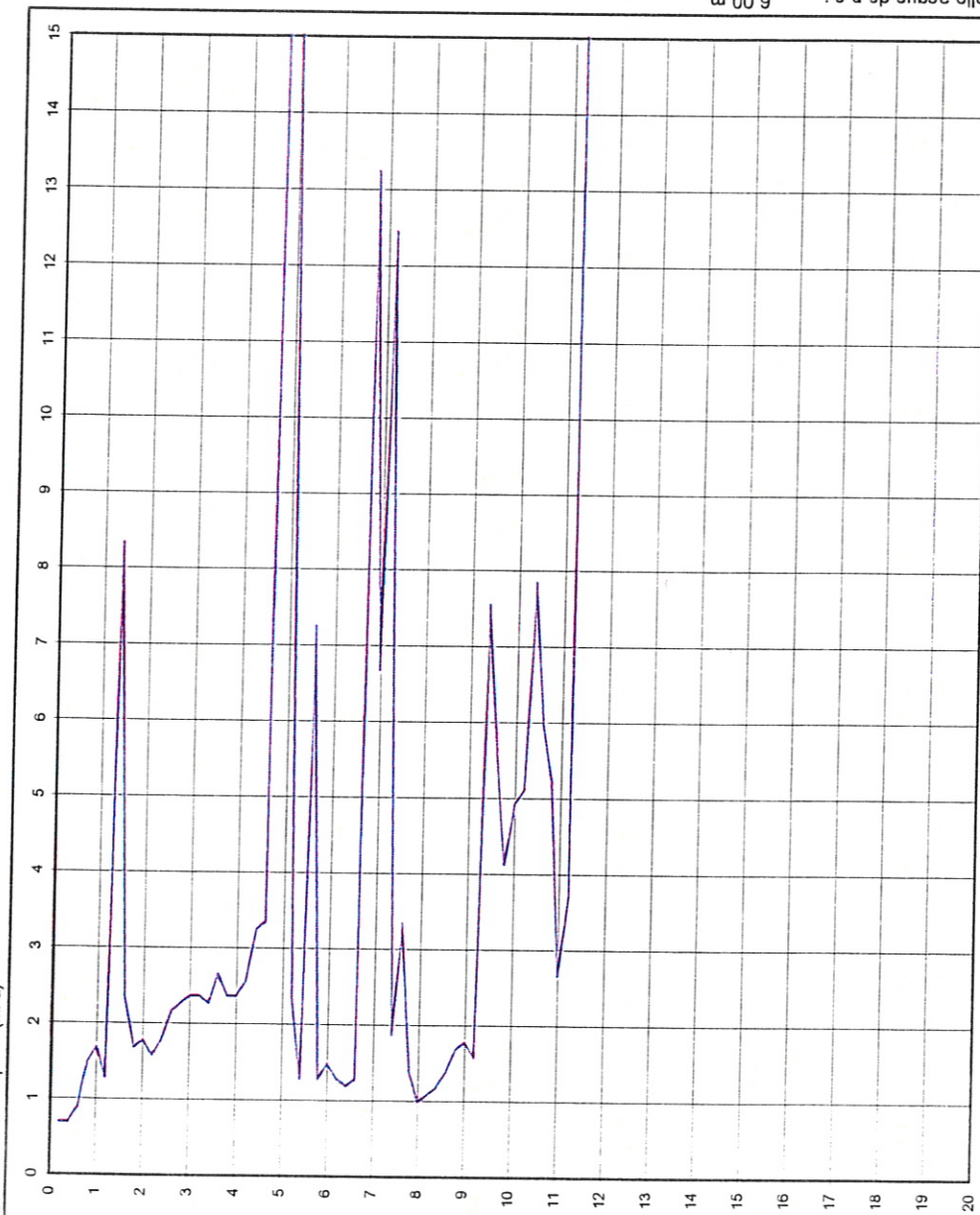
ex stabilimento Alfa Wassermann

Attrezzatura : Penetrometro da 200 kN

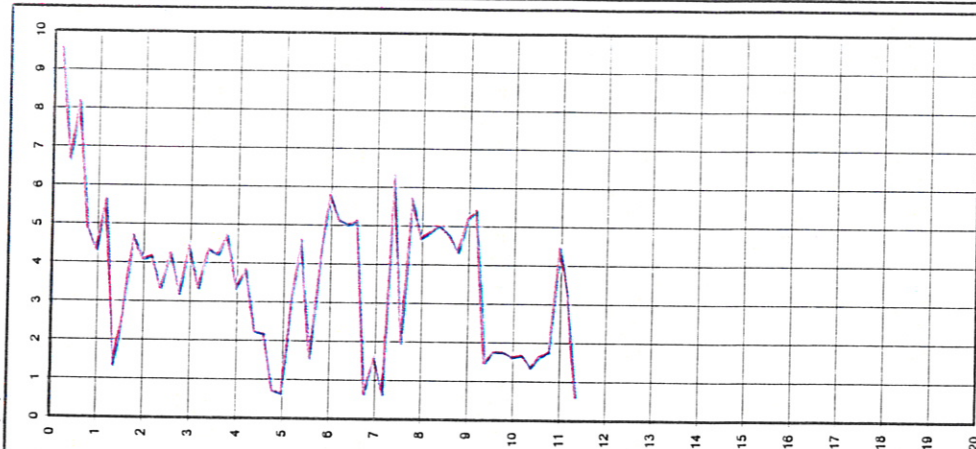
fs resistenza laterale (kPa)



qc resistenza alla punta (MPa)



Rf (%)



Livello acqua da p.c.: 6.00 m

Note: ---

Procedura di prova	Normativa di riferimento	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_003	ASTM D 3441-94	0	08/04/2013	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti



**GEO-PROBE S.r.l.**

- Indagini Geognostiche -

40033 CASALECCHIO DI RENO

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

**CPT (CONE PENETRATION TEST)****N. 5**

Committente :

SICarchitetture

Località :

Sasso Marconi (BO)

Attrezzatura :

Penetrometro da 100 kN

Rapporto di Prova N°:

**13.0170 /RSP**

Quota:

---

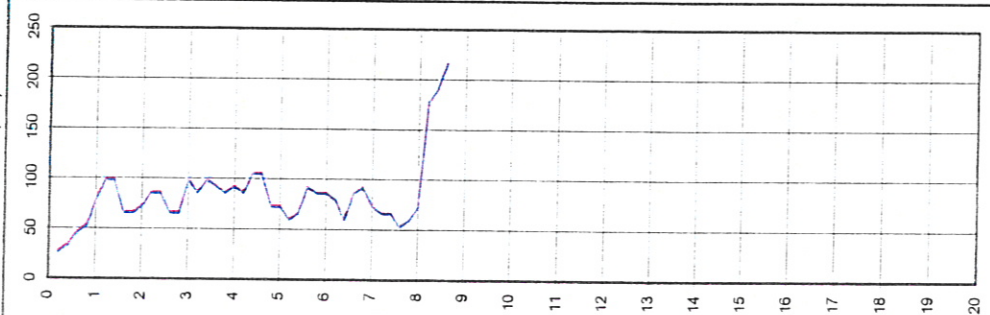
Data prova :

09/04/2013

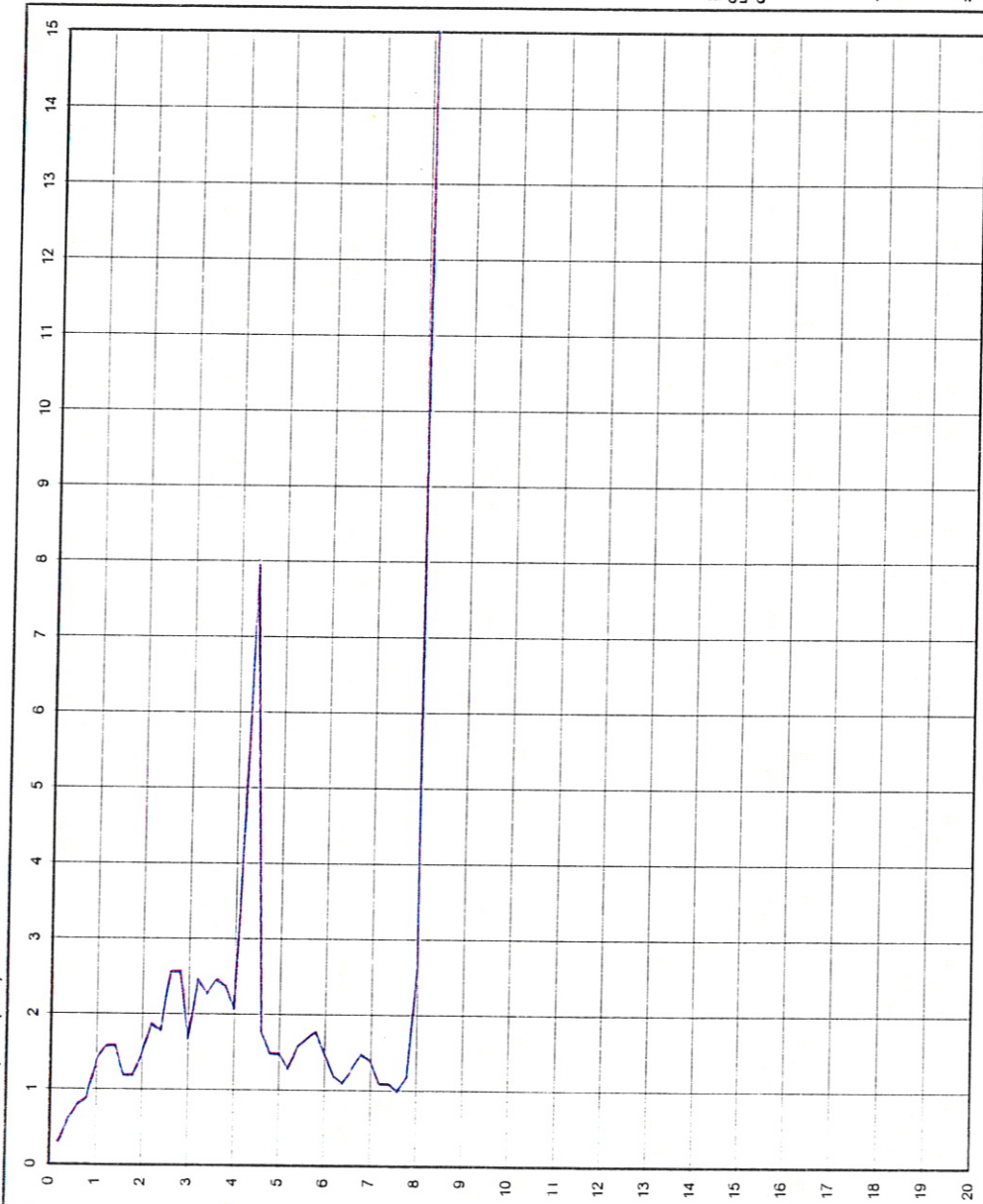
Codice lavoro:

2013.042

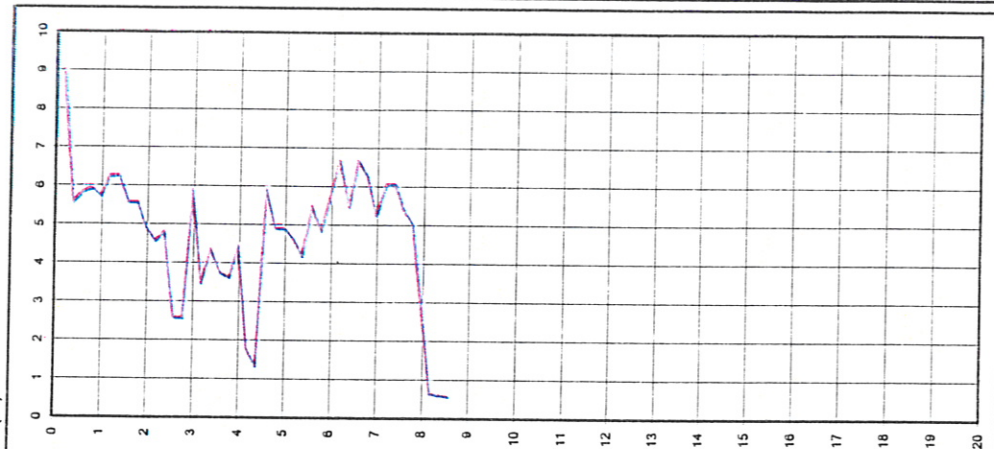
fs resistenza laterale (kPa)



qc resistenza alla punta (MPa)



Rf (%)



Livello acqua da p.c.: 3,50 m

Note: ---

Procedura di prova	Normativa di riferimento	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
--	--	0	09/04/2013	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

**GEO-PROBE S.r.l.**

- Indagini Geognostiche -

40033 CASALECCHIO DI RENO

Via Cimara, 119 - Tel. 051/61.33.072

**CPT (CONE PENETRATION TEST)****N. 6**

Committente :

SICarchitettura

Località :

Sasso Marconi (BO)

Attrezzatura :

Penetrometro da 100 kN

Rapporto di Prova N°:

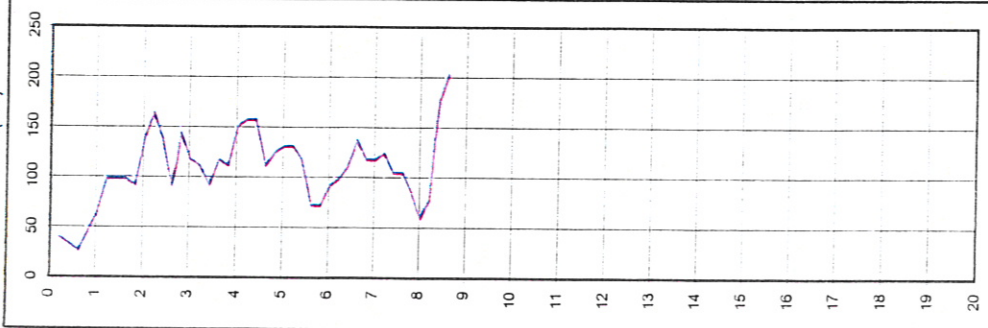
**13.0171 /RSP**

Quota: ---

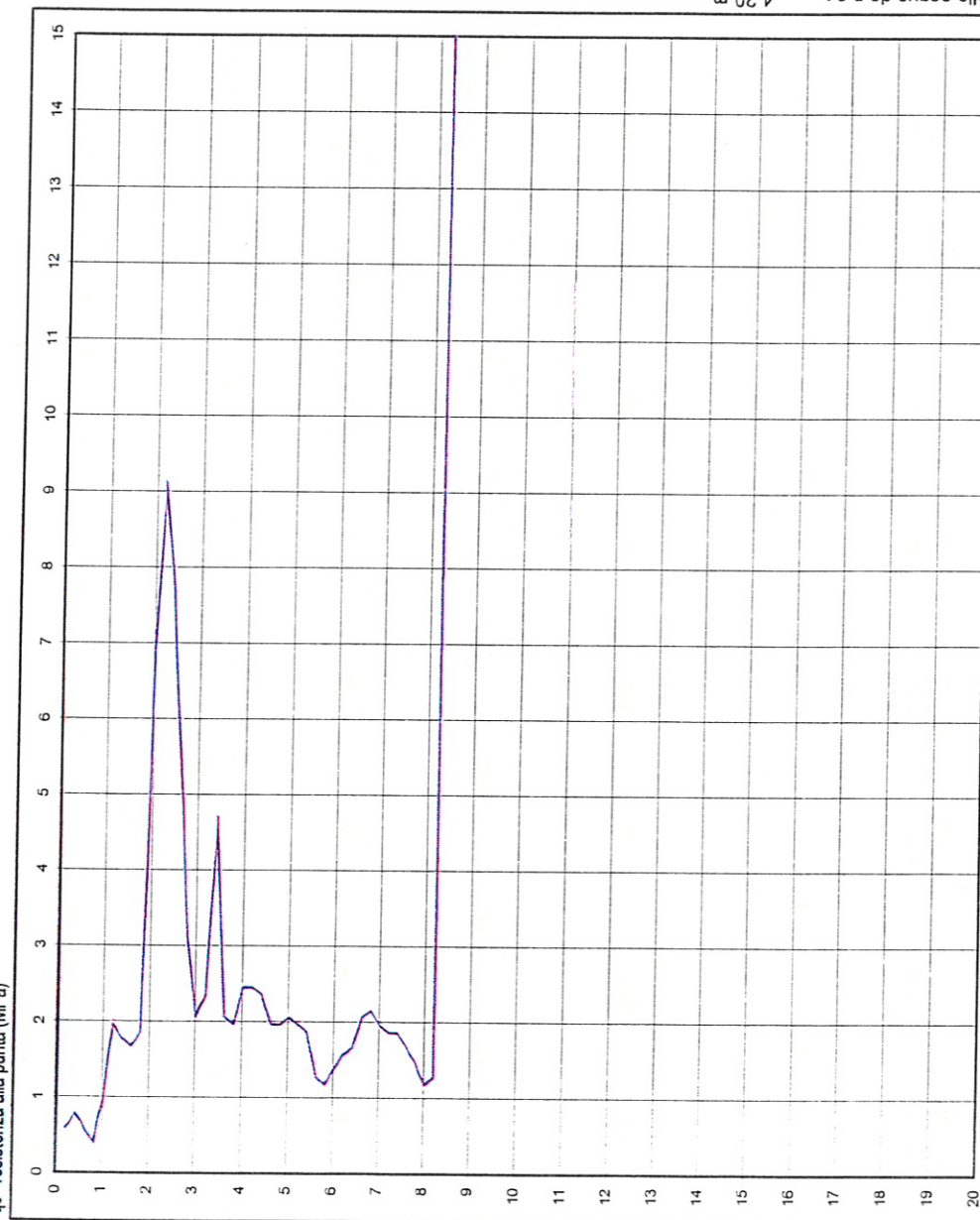
Data prova : 08/04/2013

Codice lavoro: 2013.042

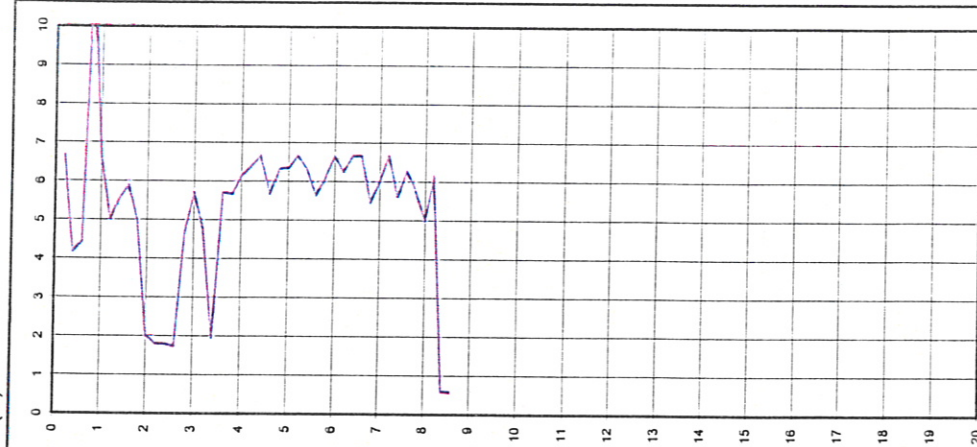
fs resistenza laterale (kPa)



qc resistenza alla punta (MPa)



Rf (%)



Livello acqua da p.c.: 4.20 m

Note: ---

GEO-PROBE S.r.l. Indagini Geognostiche

Procedura di prova	Normativa di riferimento	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
--	--	0	08/04/2013	Dr. Tabarroni	Dr. Luca Conti

MOD.01\_RSP\_GRAF\_CPT



**GEO-PROBE S.r.l.**

- Indagini Geognostiche -

**40033 CASALECCHIO DI RENO**

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

**CPT (CONE PENETRATION TEST)****N. 7****Rapporto di Prova N°:****13.0172 /RSP****Committente :**

SI/Carchitettura

**Località :**

Sasso Marconi (BO)

**Attrezzatura :**

Penetrometro da 100 kN

**Quota:**

---

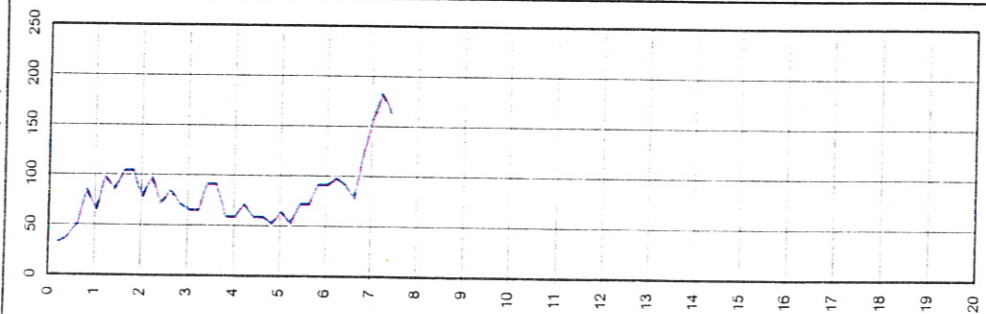
**Data prova :**

09/04/2013

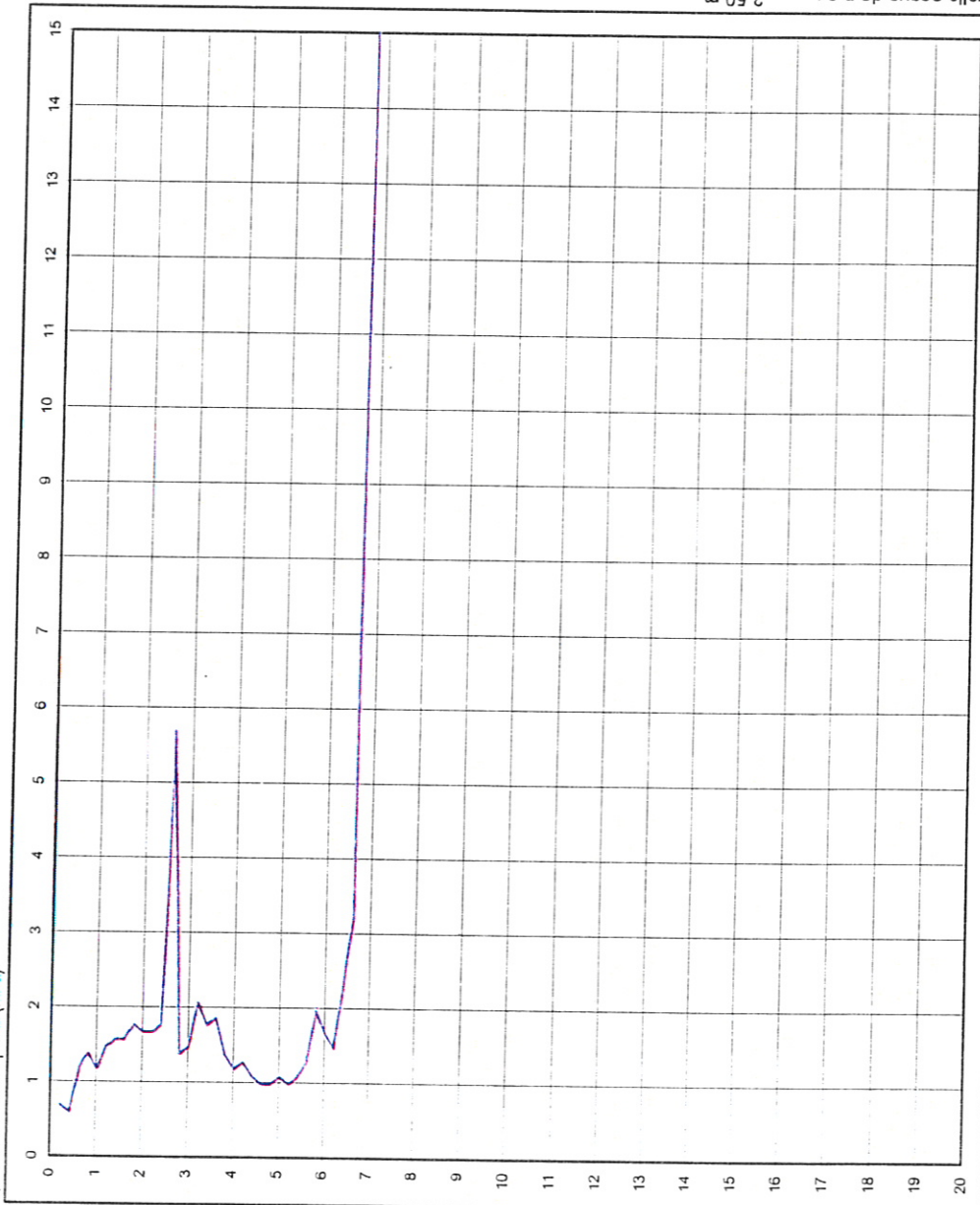
**Codice lavoro:**

2013.042

fs resistenza laterale (kPa)

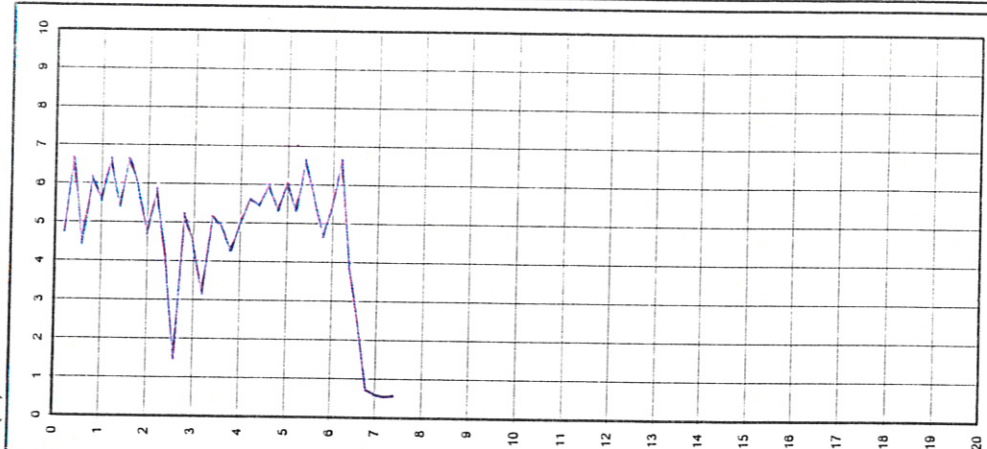


qc resistenza alla punta (MPa)



Livello acqua da p.c.: 2.50 m

Rf (%)



Note: ---

Procedura di prova	Normativa di riferimento	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
--	--	0	09/04/2013	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

MOD.01\_RSP\_GRAF\_CPT



**GEO-PROBE S.r.l.**

- Indagini Geognostiche -

40033 CASALECCHIO DI RENO

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

**CPT (CONE PENETRATION TEST)****N. 8**

Rapporto di Prova N°:

**13.0173 /RSP**

Committente :

SICarchitetture

Località :

Sasso Marconi (BO)

Attrezzatura :

Penetrometro da 100 kN

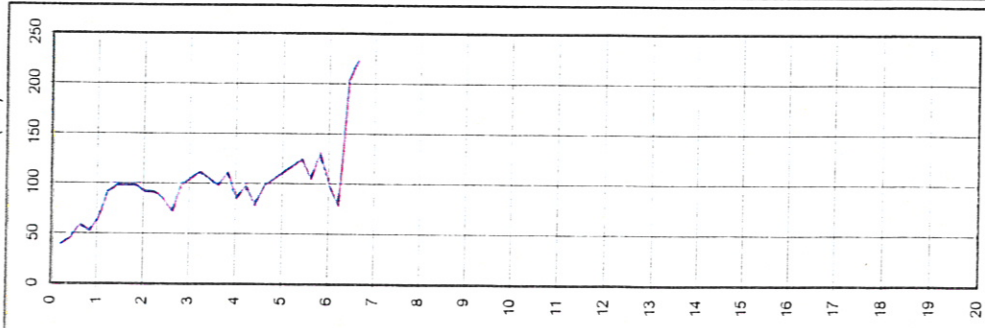
ex stabilimento Alfa Wassermann

Quota: ---

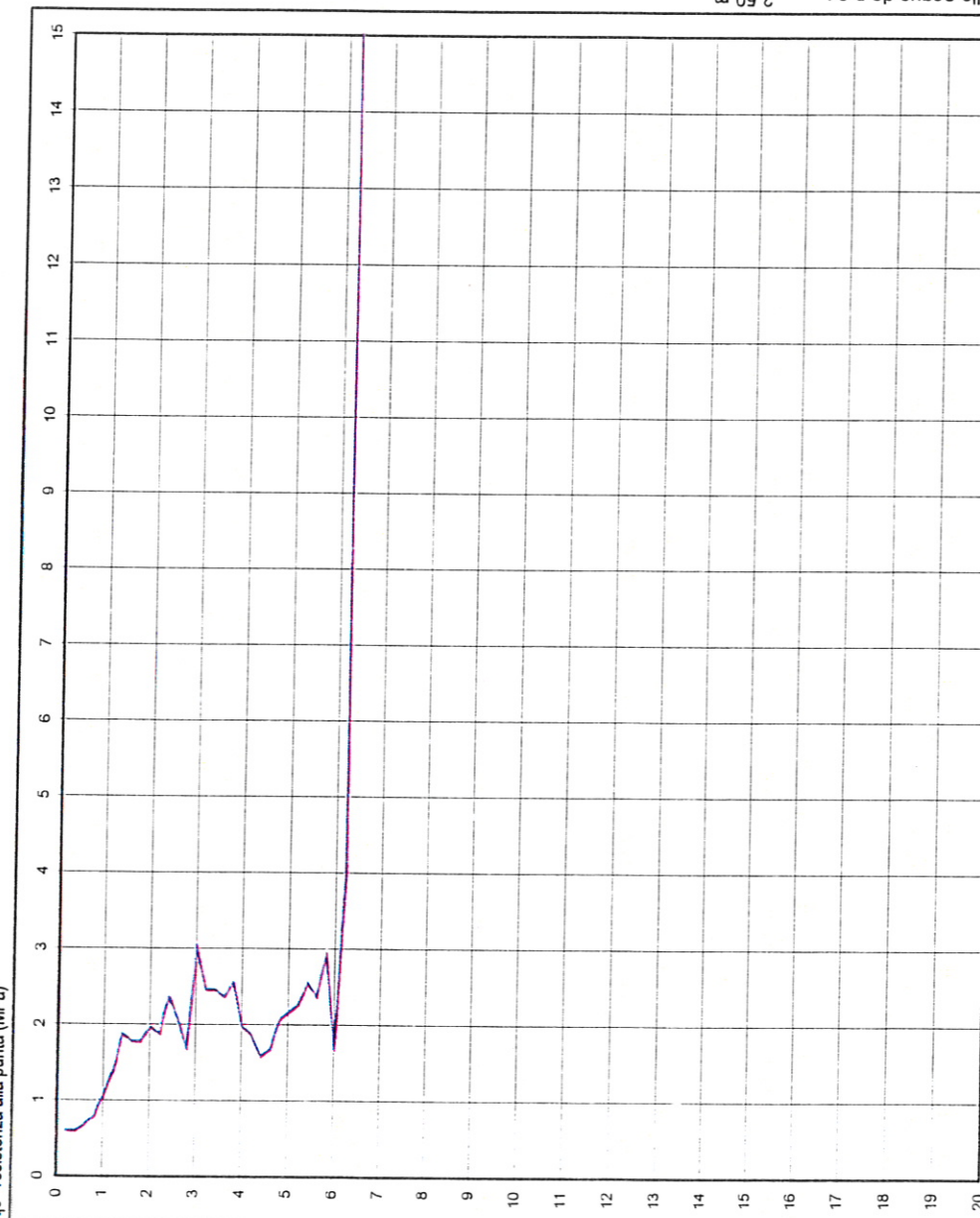
Data prova : 09/04/2013

Codice lavoro: 2013.042

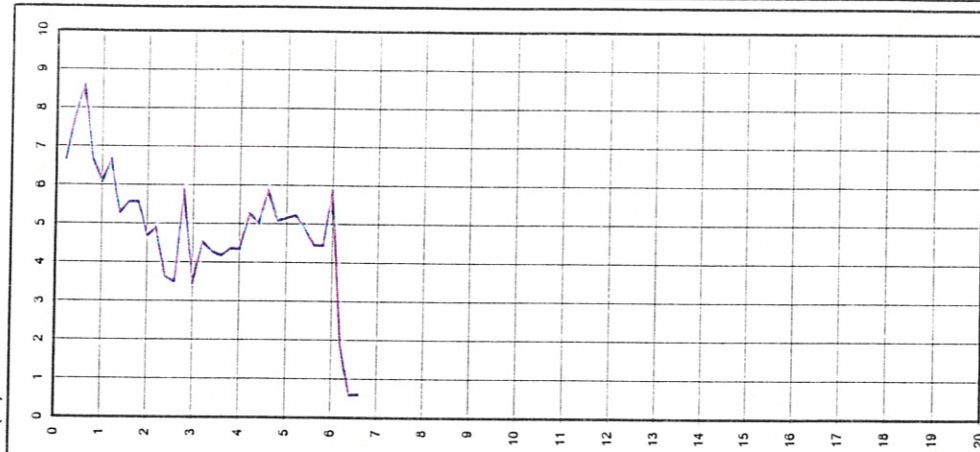
fs resistenza laterale (kPa)



qc resistenza alla punta (MPa)



Rf (%)



Livello acqua da p.c.: 2.50 m

Note: ---

Procedura di prova	Normativa di riferimento	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
--	--	0	09/04/2013	Dr. Tabarroni	Dr. Luca Conti

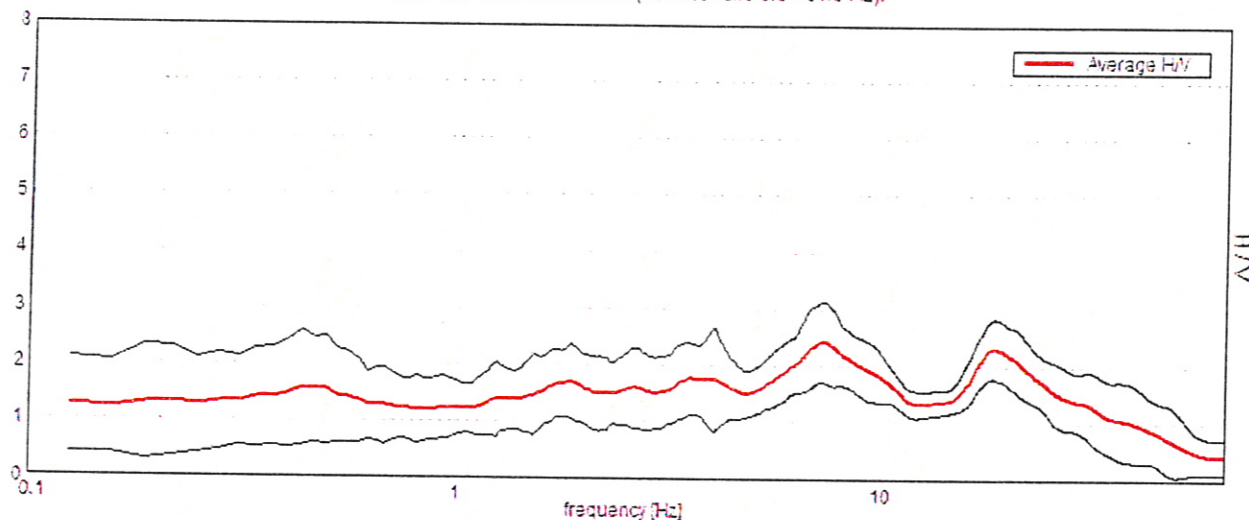
## Indagine sismica

## ACQUISIZIONE DATI

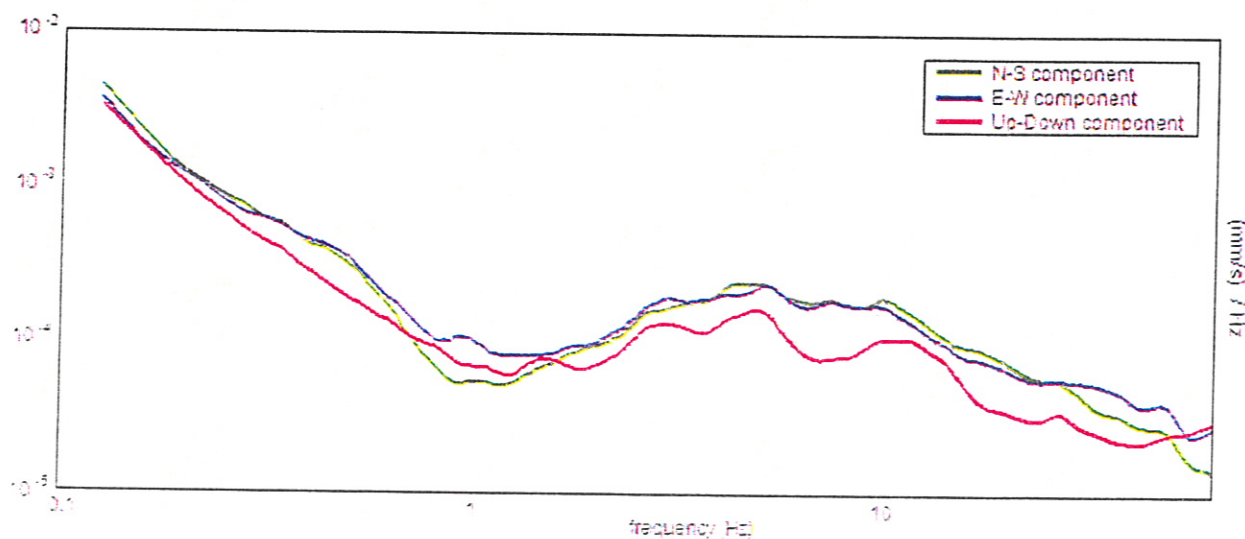
Strumento	TRZ-0184/01-12
Inizio registrazione	14:14:09 del 30/05/13
Fine registrazione	14:34:09 del 30/05/13
Durata registrazione	20'00"
Frequenza campionamento	128 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Tipo di lisciamo	Finestra triangolare
Lisciamo	10%

## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Picco H/V a  $7.31 \pm 0.41$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



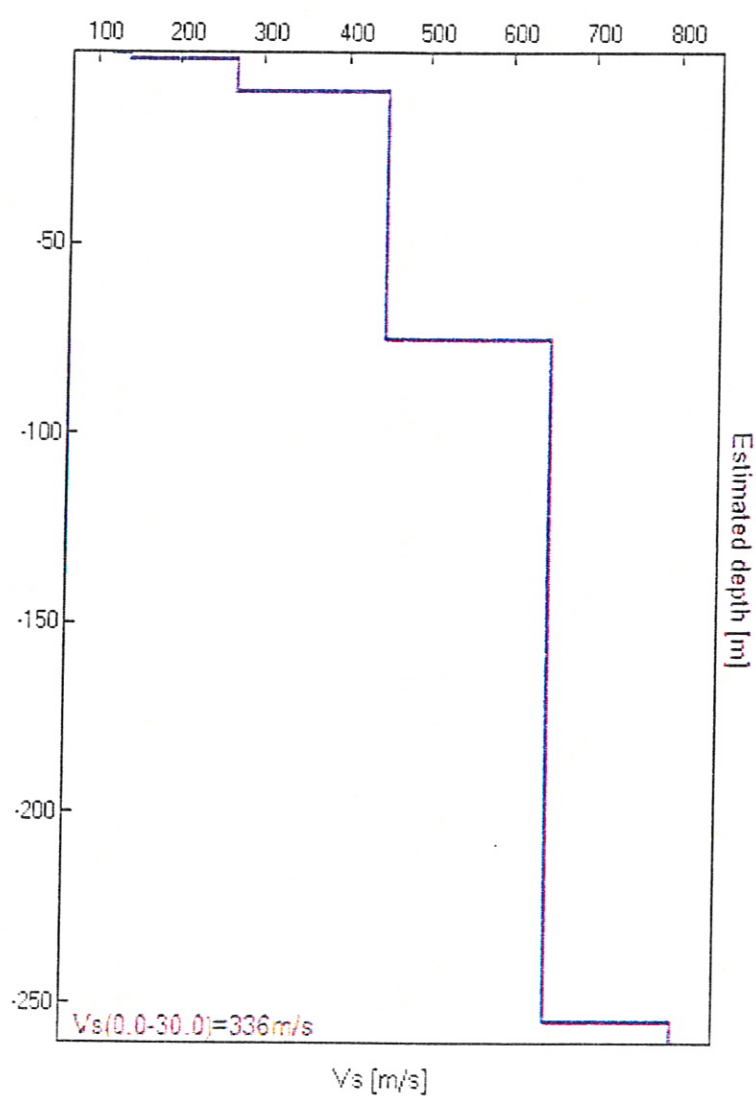
## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI





Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.60	0.60	120
1.80	1.20	140
10.40	8.60	268
75.40	65.00	450
255.40	180.00	650
inf.	inf.	800

$V_s(0.0-30.0) = 336 \text{ m/s}$

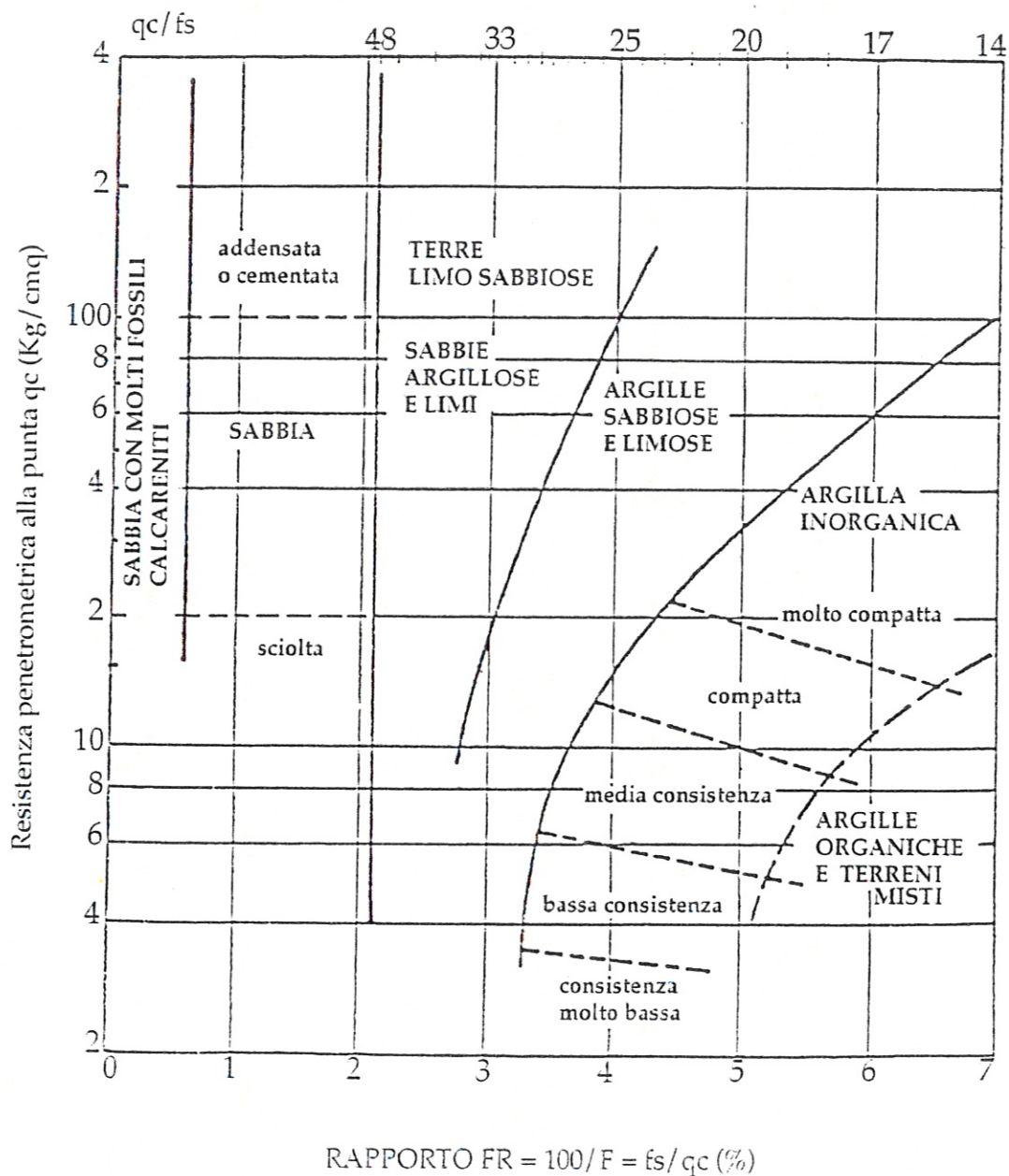


## Classificazione orientativa dei terreni

(Schmertmann, 1978)

# CLASSIFICAZIONE ORIENTATIVA DEI TERRENI IN BASE AI DATI PENETROMETRICI STATICI $q_c$ E $f_s$

(Schmertmann, 1978)





13042301

[illegible]

SICranitettura

ex stabilimento Alfa Wassermann - Sasso Marconi (BO)

CPT 2

13042002

Prof m	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Stema/V CU kg/cm2	FI kg/cm2	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Ferm cm/sec	
1.00		Argilla compatta	1916	1916	0.197	0.760	0	0	0.011250	1.5200	1.14e-005
1.10		Line argilloso	1945	1945	0.231	1.650	0	0	0.010201	1.3000	1.53e-001
1.40		Argilla compatta	1924	1924	0.269	0.950	0	0	0.011797	1.9000	1.17e-004
		Argilla compatta									
2.00			1930	1930	0.305	1.167	0	0	0.011633	2.3333	1.34e-004
2.20		Argilla compatta	1922	1922	0.423	0.900	0	0	0.011368	1.3000	3.75e-005
2.40		Sabbia	1850	1850	0.460	0.900	36	55	0.014493	2.3000	4.57e-001
		Argilla compatta									
3.00			1922	1922	0.576	0.900	0	0	0.011368	1.3000	1.34e-004
3.10		Argilla compatta	1923	1923	0.614	1.050	0	0	0.014321	2.1000	9.10e-004
3.40		Sabbia	1850	1850	0.651	0.900	34	47	0.015130	2.3000	4.94e-001
		Argilla compatta									
3.60			1930	1930	0.729	1.175	0	0	0.011590	2.3500	4.29e-004
		Sabbia									
4.10			1850	1850	0.808	0.900	36	55	0.001030	4.1500	3.07e-001
4.40		Sabbia sciolti	1800	1800	0.839	0.900	30	29	0.015567	1.5000	5.33e-001
4.60		Argilla organica/t.	1913	1913	0.877	0.700	0	0	0.014216	2.8000	7.45e-006
4.80		Sabbia sciolti	1800	1800	0.913	0.900	31	25	0.017337	1.4000	6.13e-001
5.00		Argilla organica/t.	1904	1904	0.951	0.950	0	0	0.013132	2.3000	1.64e-005
5.10		Ghiaccio	1850	1850	0.983	0.900	37	73	0.003696	5.7500	3.17e-001
5.40		Ghiaccio	1850	1850	1.025	0.900	41	100	0.003650	13.7000	3.31e-001
5.60		Ghiaccio	1850	1850	1.067	0.900	37	70	0.003919	5.6000	3.08e-001
5.80		Sabbia sciolti	1800	1800	1.093	0.900	31	25	0.016119	1.5500	4.06e-001
		Argilla media									
			1910	1910	1.558	0.650	0	0	0.015335	1.3000	1.42e-004
8.10		Ghiaccio	1850	1850	1.595	0.900	37	73	0.005714	3.7500	3.44e-001
8.40		Ghiaccio	1850	1850	1.667	0.900	39	97	0.003216	13.4500	3.75e-001
8.80		Sabbia	1850	1850	1.704	0.900	35	48	0.004439	3.9500	1.06e-001
9.10		Sabbia	1850	1850	1.773	0.900	34	50	0.006033	5.5250	1.77e-001
9.40		Ghiaccio	1850	1850	1.851	0.900	40	100	0.001770	13.0500	4.39e-001

SICAnaritettura

ex stabilimento Alfa Wassermann - Sasso Marconi (BO)

CPT 3

13042003

Prof mt	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Stigma IV CU kg/cm2	FI kg/cm2	DR %	Mv cm2/Kg	K orig Kg/cm3	Pamm cm/sec	
		Argilla compatta									
			1911	911	0.459	0.573	0	0	0.017037	1.3500	1.79e-004
1.40	FALDA										
1.80		Argilla compatta	1913	913	0.406	0.200	0	0	0.011409	1.6000	1.03e-004
3.00		Argilla compatta	1911	911	0.514	1.150	0	0	0.011077	2.3000	3.43e-004
3.10		Argilla compatta	1911	911	0.533	0.300	0	0	0.011363	1.3000	1.57e-004
3.40		Argilla compatta	1916	916	0.551	1.000	0	0	0.016667	2.0000	6.43e-004
		Argilla compatta									
4.20			1911	911	0.615	0.363	0	0	0.011661	1.7150	4.06e-004
		Argilla liscia									
4.30			1914	914	0.621	1.117	0	0	0.001119	2.4333	3.27e-003
		Argilla compatta									
			1913	913	1.030	0.311	0	0	0.017514	1.6111	1.63e-004
6.00											
6.10		Sabbia	1350	350	1.047	0.000	51	50	0.013043	1.7500	3.13e-001
6.00		Ghiaia	1350	350	1.064	0.000	41	100	0.003734	13.5000	3.75e-001
6.10		Ghiaia	1350	350	1.081	0.000	39	34	0.005917	3.4500	3.30e-001
6.20		Ghiaia	1350	350	1.115	0.000	43	100	0.001714	13.4150	4.33e-001



SILANIZZAZIONE

ex stabilimento Alfa Wassermann - Sasso Marconi (BO)

CPT 4

13042004

Prof mt	Strati	Litologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Stima V <sub>CO</sub> kg/cm2	F <sub>CO</sub> kg/cm2	DR %	Mv cm2/Kg	K <sub>grit</sub> Kg/cm3	Perm cm/sec	
0.00		Argilla organica t. mista	1390	1390	0.113	0.333	0	0	0.019465	1.5333	4.18e-007
0.60		Argilla compatta	1913	1913	0.113	0.750	0	0	0.013333	1.5333	1.11e-004
1.20		Sabbia	1350	1350	0.165	0.000	41	17	0.007143	4.1330	1.11e-001
1.40		Lina argilloso	1933	1933	0.304	1.000	0	0	0.013333	1.5333	9.53e-003
1.60		Argilla compatta	1921	1921	0.453	2.163	0	0	0.013665	1.7150	1.13e-003
1.80		Argilla liscia	1933	1933	0.806	1.000	0	0	0.003135	2.4111	1.15e-003
2.00		Lina argilloso	1346	1346	0.114	1.675	0	0	0.009950	2.1333	1.62e-001
2.20		Ghiaia	1350	1350	0.953	0.000	46	90	0.003319	3.4000	3.32e-001
2.40		Argilla liscia	1933	1933	0.996	1.000	0	0	0.003333	2.4000	6.01e-003
2.60		Argilla media	1913	1913	1.034	0.650	0	0	0.013333	1.5333	3.96e-004
2.80		Sabbia	1350	1350	1.071	0.000	35	56	0.009669	3.7000	7.99e-001
3.00		Argilla compatta	1913	1913	1.143	0.700	0	0	0.013714	1.4000	2.31e-004
3.20	FALDA	Argilla compatta	1909	909	1.101	0.633	0	0	0.019474	1.2667	1.94e-004
3.40		Ghiaia	1350	350	1.119	0.000	37	74	0.007407	6.7500	3.45e-001
3.60		Sabbia	1350	350	1.138	0.000	34	58	0.009384	3.4000	7.40e-001
3.80		Ghiaia	1350	350	1.155	0.000	36	71	0.007374	6.3500	3.54e-001
4.00		Argilla molto	1914	914	1.171	0.350	0	0	0.013797	1.9000	1.74e-003
4.20		Sabbia	1350	350	1.189	0.000	30	35	0.019608	1.7000	3.14e-001
4.40		Argilla compatta	1913	913	1.435	0.700	0	0	0.013714	1.4000	1.31e-004
4.60		Sabbia	1350	350	1.451	0.000	33	51	0.003853	3.8330	3.81e-001
4.80		Sabbia	1350	350	1.513	0.000	31	36	0.013167	1.5115	6.09e-001
5.00		Sabbia	1350	350	1.537	0.000	33	51	0.003333	4.0000	1.09e-001
5.20		Sabbia	1350	350	1.571	0.000	31	39	0.011696	2.8330	6.07e-001
5.40		Argilla liscia	1945	945	1.609	1.613	0	0	0.006134	3.1500	1.76e-003
5.60		Ghiaia	1350	350	1.643	0.000	40	130	0.001756	11.0750	4.14e-001

SICArchitettura

ex stabilimento Alfa Massermann - Sasso Marconi (BO)

CP 5

13042005

Prof m	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Stima V/CU kg/cm2	FC %	DR %	Mv cm2/Kg	K ori Kg/cm3	Perm cm/sec	
0.00		Argilla organica t. mist.	1334	1334	0.151	0.303	0	0	0.011003	1.3000	1.50e-005
		Argilla compatta									
			1916	1916	0.457	0.761	0	0	0.011237	1.3000	1.00e-004
1.40		Lino argilloso									
1.80			1936	1936	0.555	1.500	0	0	0.011301	1.7333	1.30e-001
3.00		Argilla compatta	1910	1910	0.573	0.950	0	0	0.014510	1.7000	4.41e-005
3.40		Argilla linaia	1933	1933	0.651	1.200	0	0	0.003333	1.4000	1.00e-003
	FALDA										
		Argilla linaia									
4.00			1930	930	0.706	1.167	0	0	0.003571	1.3333	1.00e-003
4.10		Sabbia	1350	350	0.713	0.000	34	40	0.013605	2.4500	5.10e-001
4.40		Sabbia	1350	350	0.740	0.000	37	66	0.002130	4.0500	1.13e-001
		Argilla compatta									
			1913	913	1.051	0.624	0	0	0.036017	1.3333	1.04e-004
7.30		Lino argilloso									
8.00		Ghiaia	1350	350	1.069	1.350	0	0	0.011346	1.8000	1.11e-001
			1350	350	1.137	0.000	40	100	0.001339	17.6113	3.26e-001
8.30											

SILORCHITATTURA

ex stabilimento Alfa Wassermann - Sasso Marconi (BO)

CP 6

130-1306

Prof mt	Strati	Tipologia	Gamma kg/m <sup>3</sup>	Gamma' kg/m <sup>3</sup>	Stima V <sub>CL</sub> kg/cm <sup>2</sup>	Stima V <sub>CL</sub> kg/cm <sup>2</sup>	DR %	Mv cm <sup>2</sup> /Kg	K <sub>ortiz</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	Parm cm/sec
0.30		Argilla organica/t. mist	1831	1831	0.150	0.300	0	0.011111	1.1000	1.71e-005
1.00		Argilla organica/t.	1900	1900	0.133	0.500	0	0.011111	1.0000	1.97e-006
1.10		Argilla compatta	1926	1926	0.227	1.000	0	0.016667	1.0000	1.00e-004
1.20		Argilla compatta	1911	1911	0.341	0.300	0	0.011361	1.3000	9.79e-005
1.40		Sabbia	1850	1850	0.453	0.000	39	0.001000	4.0167	4.61e-001
1.60		Sabbia	1850	1850	0.450	0.000	37	0.011346	0.7000	5.78e-001
2.10		Argilla liscia	1941	1941	0.523	1.500	0	0.006150	3.1000	3.00e-004
2.30		Argilla molto compatta	1931	1931	0.606	1.125	0	0.011638	2.2500	1.31e-004
3.40		Sabbia	1750	1750	0.643	0.000	15	0.011339	2.4000	4.04e-001
4.30		Argilla molto compatta	1931	1931	0.733	1.125	0	0.011331	2.2750	1.53e-005
4.30	FALDA									
5.10		Argilla molto compatta	1931	1931	0.733	1.050	0	0.014331	1.1000	1.43e-005
6.40		Argilla compatta	1916	1916	1.001	0.750	0	0.011417	1.5167	1.30e-005
7.00		Argilla compatta	1911	1911	1.058	1.050	0	0.014331	1.1000	1.67e-005
8.10		Argilla compatta	1911	1911	1.147	0.750	0	0.011339	1.5333	3.30e-005
9.10		Argilla	1850	1850	1.113	0.000	41	0.001000	17.6333	3.36e-001



SILCARBITETTURA

ex stabilimento Alfa Wassermann - Sasso Marconi (BO)

CPT 7

130-2007

Prof mt	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Stigma' VCU kg/cm2	Stigma' VCU kg/cm2	FI %	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz Kg/cm2	Parm cm/sec
0.40		Argilla organica t. mista	1334	1334	0.375	0.375	0	0	0.011111	1.3000	6.90e-005
		Argilla compatta									
			1317	1317	0.459	0.775	0	0	0.030711	1.5500	8.47e-005
1.40											
1.60	FALDA	Sabbia	1850	850	0.478	0.000	37	65	0.011434	1.2000	1.57e-001
2.20		Argilla mista	1314	914	0.511	0.715	0	0	0.013733	1.4500	1.61e-004
3.10		Argilla limosa	1313	913	0.551	1.350	0	0	0.009511	1.1000	4.69e-005
		Argilla compatta									
			1309	909	0.749	0.633	0	0	0.039471	1.1667	1.18e-004
5.60											
5.80		Argilla compatta	1316	916	0.781	1.000	0	0	0.014667	1.3000	3.73e-004
6.10		Argilla compatta	1313	913	0.804	0.800	0	0	0.011409	1.5000	3.51e-005
6.50		Limo argilloso	1340	940	0.141	1.415	0	0	0.011696	1.3000	6.15e-005
6.80		Ghiaia	1850	850	0.159	0.000	40	33	0.005720	1.6500	1.98e-001
6.90		Ghiaia									
7.60			1250	850	0.217	0.000	43	100	0.005109	16.1115	4.13e-001

SILarchitetture

ex stabilimento Alfa Wassermann - Sasso Marconi (BO)

CP 8

130-2003

Prof mt	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Stima VCU kg/cm2	Stima VCU kg/cm2	F <sub>1</sub> %	DR %	Mu cm2/Kg	K oriz Kg/cm3	Perm cm/sec
0.30		Argilla organica t. mista	1226	1226	0.151	0.322	0	0	0.000793	1.3500	1.10e-006
1.30		Argilla compatta	1913	1913	0.343	0.600	0	0	0.001409	1.6000	5.16e-005
2.30		Argilla compatta	1916	1916	0.331	1.000	0	0	0.016667	2.0000	3.73e-004
3.30		Argilla compatta	1904	1904	0.410	0.950	0	0	0.017397	1.9000	1.49e-004
4.30		Argilla linessa	1933	1933	0.453	1.000	0	0	0.003333	2.4000	1.12e-003
5.30		Argilla linessa	1903	913	0.477	1.050	0	0	0.009514	1.1000	1.33e-005
6.30		Argilla compatta	1900	910	0.405	0.950	0	0	0.014510	1.7000	4.41e-005
7.30		Argilla linessa	1943	943	0.514	1.550	0	0	0.006450	3.1000	1.71e-003
8.30		Argilla compatta	1933	933	0.607	1.200	0	0	0.019965	2.4000	6.13e-004
9.30		Argilla compatta	1901	911	0.663	0.867	0	0	0.003829	1.7333	1.01e-004
10.30		Argilla compatta	1934	934	0.775	1.017	0	0	0.010613	2.4333	1.53e-004
11.30		Argilla compatta	1900	900	0.793	0.950	0	0	0.004510	1.7000	4.41e-005
12.30		Sabbia	1350	350	0.310	0.000	33	40	0.016000	2.0000	3.96e-001
13.30		Grigia	1350	350	0.161	0.000	44	100	0.001660	13.3000	3.10e-001