



dr. Paolo Dal Pian

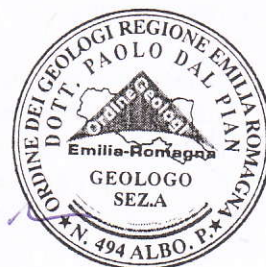
geologo

Relazione geologica geotecnica relativa al progetto di  
sopraelevazione dell'edificio municipale di Sasso Marconi (BO).

Località:  
piazza Martiri della Libertà, 6 in Comune di Sasso Marconi (BO).

Il committente:  
Comune di Sasso Marconi (BO).

Sasso Marconi (BO), 29/05/2009



**PREMESSA**

La presente relazione è stata condotta su incarico del Comune di Sasso Marconi (BO), allo scopo di definire i caratteri geologici e geotecnici dei terreni di fondazione dell'edificio municipale relativamente al progetto di sopraelevazione di quest'ultimo.

Da un'analisi preliminare il fabbricato appare classificabile:

Tipo di costruzione: 3Vita nominale dell'opera  $V_N \geq 100$ anni

Classe d'uso dell'edificio: IV – Funzioni pubbliche e strategiche importanti anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità.

Coefficiente d'uso  $C_u = 2.0$

Pertanto è indispensabile adottare le Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 14/01/2008.

Il Municipio è sito in piazza Martiri della Libertà, 6 in Comune di Sasso Marconi (BO), vedi fig.1-2.

**INQUADRAMENTO GEOLOGICO- GEOMORFOLOGICO**

Con riferimento alle fig.1-2-3-4, la proprietà è posta alla quota di 129.4÷132.4m s.l.m., nell'area urbana di Sasso Marconi.

Morfologicamente l'abitato si localizza nel fondovalle del fiume Reno, in sinistra idrografica, su un ampio terrazzamento di origine fluviale, debolmente inclinato ( $\beta_{medio} = 1.9^\circ$ ) verso l'asse del fiume.

La presenza di tre scarpate di terrazzo definisce 4 ordini di terrazzo all'interno del fondovalle; il Municipio si ubica su quello più occidentale, cioè quello più esterno, quindi più antico.

La sommità scarpata di terrazzo prossima al Municipio si localizza a circa 20m ad Est e risulta morfologicamente poco riconoscibile a causa degli interventi antropici di urbanizzazione (muro di sostegno al margine dell'area sportiva-ricreativa della Parrocchia).

I depositi alluvionali terrazzati in oggetto sono ascrivibili alla Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano; in specifico a AES8 - Subsistema di Ravenna del Pleistocene sup. - Olocene (14 ka - attuale; datazione 14C).

Nei settori intravallivi: ghiaie passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali.

Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille.

Il limite superiore contraddistinto da suoli contenenti frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Il limite inferiore è erosivo sui depositi marini ed alluvionali sottostanti.

La stratigrafia del terrazzo alluvionale in corrispondenza del Municipio è desumibile dalle sezioni geotecniche litostratigrafiche di fig.6-7, derivate dalle indagini geognostiche in sito condotte.

Facendo riferimento alla quota del piano terra del Municipio, la base del terrazzo alluvionale è posta a quota -14.5m.

Si rinviene uno spessore alquanto variabile di terreni di riporto costituiti da pavimentazioni passanti a sabbie limose, sabbie argilloso limose, da sciolti a mediamente addensati, con macerie. Se nel caso della CPT3 è stato possibile accertarne la presenza dall'osservazione delle carote del sondaggio S.3, in CPT1 si è ricorso all'analisi dei dati penetrometrici relativamente ai bassi valori di  $f_s$  e talora di  $q_c$  che in genere contraddistinguono i riporti. In corrispondenza della penetrometria CPT3 il riporto raggiunge la profondità di -3.4m, mentre in CPT1 sembra di -5m. In entrambi i casi la base del riporto risulta essere sottoposta alla quota del piano di fondazione del Municipio riportata negli elaborati/calcoli e nelle tavole del progetto consultato. Peraltro, considerando che il Municipio non denota lesioni riconducibili a



cedimento dei terreni di fondazione, si possono fare le seguenti ipotesi in merito alla presenza di riporto ad una quota inferiore al piano di fondazione:

- A. il piano di fondazione è stato effettivamente realizzato ad una quota inferiore a quanto viene definito nelle tavole di progetto;
- B. il terreno di riporto si estende al di sotto della quota del piano di fondazione solo esternamente al sedime del Municipio, mentre le fondazioni insistono sul terreno in posto.

Non si esclude che i movimenti terra e le ricostruzioni riconducibili agli eventi bellici (bombardamenti e relativi profondi crateri) della II<sup>a</sup> guerra mondiale possano essere causa del notevole spessore dei riporti.

Il terreno in posto riferibile al deposito alluvionale terrazzato è rappresentato da limi argilloso sabbiosi, sabbie argilloso limose, sabbie limose, mediamente addensate. Sono sedimenti riferibili ad ambiente di media energia, cioè ad un modello fluviale braided (a canali intrecciati) a barre trasversali.

È possibile che i depositi di origine fluviale possano essere interdigitati con depositi di detrito di falda o conoide di detrito derivanti dall'erosione dei rilievi collinari posti ad Ovest dell'abitato/terrazzo alluvionale in oggetto.

La base del terrazzo è contraddistinta da un deposito grossolano di 2.6m di spessore: trattasi di ghiaie debolmente ciottolose, ben assortite, arrotondate, da mediamente addensate a molto addensate, in matrice sabbiosa, di colore bruno chiaro, passanti a ciottoli con ghiaia, arrotondati, in matrice sabbiosa, molto addensati.

Sono depositi che rendono conto di elevata energia della corrente fluviale, riconducibile ad ambiente di fondo di canale ed in subordine di barra longitudinale.

Il substrato del terrazzo alluvionale è rappresentato da ADO1 - Formazione di Monte Adone - Membro di Monte Mario del Pliocene medio e sup. - Pleistocene inf.?

La Carta geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo della Regione Emilia-Romagna (SEZIONE 237030 – SASSO MARCONI Edizione 2007 e SEZIONE 237040 – BADOLO Edizione 2007) descrive ADO1 - Formazione di Monte Adone - Membro di Monte Mario: areniti e subordinati conglomerati in strati da medi a molto spessi con stratificazione tabulare, obliqua a grande scala e localmente cuneiforme. La potenza varia da poche decine di metri a circa 350m.

La giacitura della formazione è 45°/NO/6°.

La giacitura di ADO1 si dispone a reggipoggio, cioè in un assetto favorevole alla stabilità di versante dei rilievi posti ad Ovest dell'abitato.

Nessuna faglia od altra dislocazione interessa il sito in esame.

Il sondaggio a carotaggio continuo S.3 realizzato presso il Municipio ha evidenziato al di sotto di 12.60m di profondità la presenza di sabbie limose, talora limi sabbiosi, molto addensati, di colore grigio chiaro, dotati di umidità naturale. Sono presenti rari cogoli, Ø2÷3cm. arenacei a grana media, debolmente cementati, di colore bruno grigiastro.

Inoltre rari livelli di:

- sabbie medie, ben cernite, molto addensate, di colore bruno;
- sabbie medio-fini limose, muscovitiche, molto addensate, di colore grigio con screziature nerastre.

La presenza di rari cogoli all'interno delle carote di perforazione e l'elevato addensamento del deposito (sovracconsolidazione) consente di attribuirlo al substrato e non al terrazzo alluvionale.

Le differenze litologiche tra quanto riportato dalla Carta geologica della RER e le evidenze oggettive del sondaggio S.3 riguardano il grado di cementazione del substrato: nel caso del sondaggio S.3 le sabbie risultano molto addensate, ma non cementate. Tale difformità rispetto alla Carta geologica della RER non stupisce particolarmente, considerando che, se il substrato fosse stato cementato, si sarebbe preservato dall'erosione fluviale, parimenti a quanto è avvenuto, per esempio, nel caso della Rupe di Sasso Marconi, contraddistinta da media-elevata competenza (cementazione).



Si sottolinea che le risultanze della prova geofisica MASW indicano che il substrato non denota un sensibile aumento della velocità delle onde s ( $V_s$ ) con la profondità, evidenza che lascia presumere che ADO1 - Formazione di Monte Adone - Membro di Monte Mario non risulti cementata almeno fino a 30÷40m di profondità.

La Formazione di Monterumici - membro di Cà di Mazza - RUM2 del Pliocene inf. è stratigraficamente sottoposta al substrato (ADO1) del terrazzo alluvionale su cui insiste il Municipio.

RUM2 è caratterizzato da argille, spesso sabbiose, sabbie e arenarie in strati da sottili a molto spessi, di colore grigio, giallastre se alterate. Sono presenti livelli a macrofossili (Gasteropodi e Lamellibranchi) addensati ed intercalazioni di ghiaie e conglomerati in strati spessi e molto spessi, a geometria tabulare e lenticolare. Nelle peliti possono localmente essere presenti livelli di gesso selenitico. Potenza fino a 300m.

I rilievi collinari posti 300m a Nordovest, a Nord di via Castello, sono rappresentati da ADO2 - Formazione di Monte Adone - membro delle Ganzole del Pliocene medio e sup. - Pleistocene inf.?

Si tratta una formazione coeva ad ADO1, probabilmente in eteropia di facies, costituita da areniti fini e subordinate peliti sabbiose, bioturbate, in strati da medi a molto spessi; la geometria è tabulare, cuneiforme e concava. Talora presenti livelli di peliti grigio scure. I macrofossili sono concentrati in letti. La potenza massima è di circa 650m.

170m ad Ovest del Municipio, presso il piede del versante si rinviene una stretta fascia interpretabile come detrito di falda o a3 - Deposito di versante s.l.; è costituito da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici. La genesi può essere dubitativamente gravitativa, da ruscellamento superficiale e/o da soliflusso.

250m a Nordest del Municipio, in corrispondenza di via Castello si rinviene la conoide torrentizia inattiva - i2 sedimentata dal Rio Eva. Trattasi di depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallecole trasversali ai corsi d'acqua, attualmente non soggetti ad evoluzione.

Nella zona in esame e nel territorio circostante non si apprezzano indizi o evidenze di evoluzione morfodinamica attiva che possa interferire con l'opera in progetto.

### INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

La rete idrografica naturale principale è costituita dal fiume Reno posto 500m a Sudest; l'alveo si localizza alla quota di 93m s.l.m., cioè 36m al di sotto del piano seminterrato del Municipio.

In corrispondenza del piede del rilievo posto ad Ovest, il versante è intersecato ortogonalmente dall'alveo canalizzato del rio Eva. Lungo via Castello il rio Eva è stato regimato artificialmente per fare posto alla sede stradale di via Castello; l'alveo è stato spostato in destra idrografica, addossandolo al piede del ripido versante. Inoltre sono state realizzate arginature artificiali (in terra) in modo da renderlo talvolta pensile rispetto a via Castello. In prossimità dell'abitato il rio entra in una angusto cunicolo/galleria, per poi deviare bruscamente in direzione Sud e riemergere a cielo aperto un centinaio di metri a valle. Da qui risulta canalizzato mediante un manufatto a sezione trapezoidale in calcestruzzo che procede parallelamente al piede del versante, immettendosi poi nel rio Gemese.

Il rio Eva è un fosso demaniale, il cui alveo canalizzato dimostra profondità di circa 1,2m e larghezza di 1m. Risulta privo di portata per gran parte dell'anno e solo in occasione delle precipitazioni si attiva il flusso idrico.



Prima che l'alveo fosse canalizzato nel corso degli anni '60, risulta che il rio Eva abbia tracimato a monte del tratto in galleria; il flusso d'acqua ha tra l'altro demolito un tratto di circa 12m di un muro di sostegno nella proprietà di via Castello, 37/1-2. Successivamente si è provveduto al ripristino del muro mediante un'ideale struttura in c.a., dato che il muro preesistente risultava costituito da elementi cementizi prefabbricati privi di armatura interna.

Da una ricerca di archivio condotta presso l'Ufficio Tecnico del Comune di Sasso Marconi risulta che in occasione di consistenti precipitazioni occorse nel 1994, il rio Eva ha tracimato dal suo alveo (canalizzato) in corrispondenza del tratto posto a Sud di via Castello, cioè in prossimità del n.c. 37/1-2 di via Castello.

È presumibile che la mancata manutenzione dell'alveo canalizzato (pulizia dei detriti e della vegetazione) sia una delle cause responsabili del dissesto.

Non si determinò alcuna interazione tra l'esonazione suddetta e l'edificio municipale.

La rete scolante circostante il Municipio è controllata dalle opere idrauliche realizzate per l'urbanizzazione (strade e fognature).

Non sono stati reperite informazioni circa eventuali remoti alluvionamenti del Municipio.

### **INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO**

Il quadro idrogeologico è stato definito mediante l'installazione di n.3 piezometri ( $\varnothing 25\text{mm}$ ) a tubo aperto, completamente fessurati, in corrispondenza delle penetrometrie condotte.

Il sondaggio S.3 è stato attrezzato con un piezometro ( $\varnothing 40\text{mm}$ ) a tubo aperto, fessurato e rivestito di tessuto non tessuto da 4.55m di profondità. I piezometri sono stati ubicati in fig.5.

Inoltre è stato monitorato il pozzo ubicato presso la "Farmacia dei sani", ad Ovest del Municipio, vedi fig.2-5.

Le seguenti tabelle e grafico riassumono i risultati della campagna di monitoraggio piezometrico.

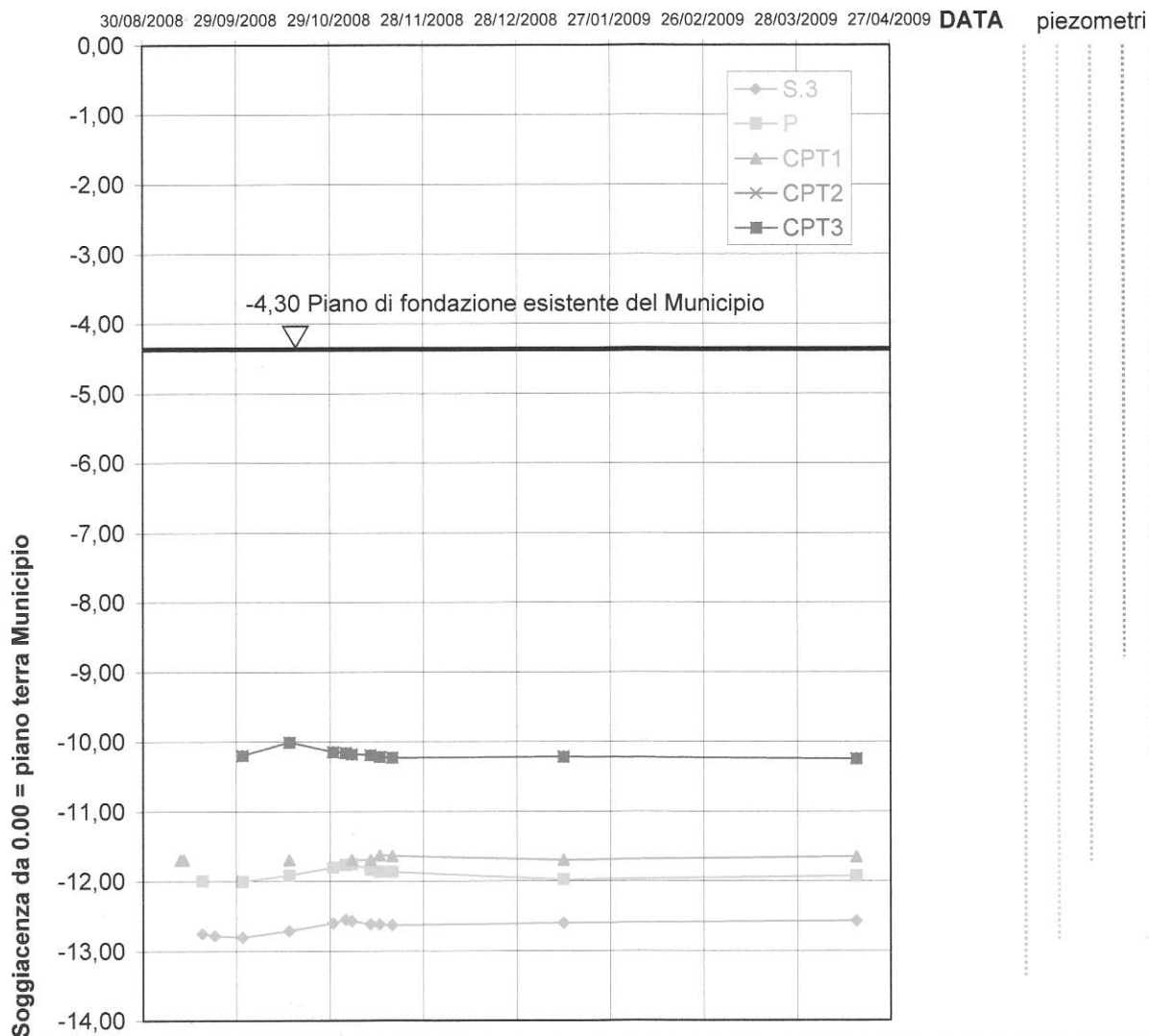


Rif.	Quota p.c. da 0,00 m	Profondità indagata da p.c. m	Profondità piezometro da p.c. m	Soggiacenza dal piano campagna in metri													
				11/09/2008	12/09/2008	18/09/2008	22/09/2008	01/10/2008	16/10/2008	30/10/2008	03/11/2008	05/11/2008	11/11/2008	14/11/2008	18/11/2008	12/01/2009	16/04/2009
CPT1	0,00	12,00	11,70	11,70	11,70	assente	assente	assente	11,70	n.r.	n.r.	11,70	11,70	11,63	11,64	11,70	11,65
CPT2	-0,20	12,00	8,65	assente	assente	assente	assente	assente	assente	n.r.	n.r.	n.r.	assente	assente	assente	assente	assente
CPT3	-1,20	11,60	9,06	assente	assente	assente	assente	9,00	8,81	8,95	8,96	8,98	8,99	9,02	9,03	9,02	9,00
S.3	-1,20	15,00	12,25	n.r.	n.r.	11,55	11,58	11,60	11,51	11,40	11,35	11,37	11,42	11,42	11,43	11,40	11,37
P	70,50?	-	714,38?	n.r.	n.r.	12,50	n.r.	12,51	12,42	12,31	12,27	12,26	12,34	12,37	12,37	12,48	12,43

n.r. = non rilevato

Rif.	Quota p.c. da 0,00 m	Profondità indagata da p.c. m	Profondità piezometro da 0,00 m	Soggiacenza in metri da 0.00 = piano terra Municipio													
				11/09/2008	12/09/2008	18/09/2008	22/09/2008	01/10/2008	16/10/2008	30/10/2008	03/11/2008	05/11/2008	11/11/2008	14/11/2008	18/11/2008	12/01/2009	16/04/2009
CPT1	0,00	12,00	11,70	11,70	11,70	assente	assente	assente	11,70	n.r.	n.r.	11,70	11,70	11,63	11,64	11,70	11,65
CPT2	-0,20	12,00	8,85	assente	assente	assente	assente	assente	assente	n.r.	n.r.	n.r.	assente	assente	assente	assente	assente
CPT3	-1,20	11,60	10,26	assente	assente	assente	assente	10,20	10,01	10,15	10,16	10,18	10,19	10,22	10,23	10,22	10,20
S.3	-1,20	15,00	13,45	n.r.	n.r.	12,75	12,78	12,80	12,71	12,60	12,55	12,57	12,62	12,62	12,63	12,60	12,57
P	70,50?	-	713,88?	n.r.	n.r.	12,00	n.r.	12,01	11,92	11,81	11,77	11,76	11,84	11,87	11,87	11,98	11,93

## CAMPAGNA DI RILEVAMENTO PIEZOMETRICO





Si faccia inoltre riferimento alle sezioni geotecniche litostratigrafiche di fig.6-7 nelle quali è tra l'altro riportata la minima soggiacenza rilevata nel periodo monitorato 11/09/2008 ÷ 16/04/2009.

La stagione estiva del 2008, che ha immediatamente preceduto il periodo di monitoraggio piezometrico, è stata contraddistinta da scarsissime precipitazioni e da temperature elevate. Hanno fatto seguito un autunno 2008 ed un inverno 2008/09 estremamente piovosi, comprendenti anche tre nevicate.

Questo andamento climatico lascia supporre che il massimo innalzamento della falda rilevato nel periodo monitorato possa essere prossimo alla minima soggiacenza assoluta.

Nonostante gli estremi climatici suddetti, l'escursione piezometrica è risultata molto limitata. Solo nel caso di S.3 e P si rileva un debole innalzamento dei livelli piezometrici con l'avanzare dell'autunno 2008, mentre negli altri piezometri i livelli permangono pressoché stabili.

Questa differenza è probabilmente imputabile al fatto che i piezometri S.3 e P penetrano ampiamente all'interno del deposito acquifero di ghiaie, debolmente ciottolose, in matrice sabbiosa, sature, poste alla base del deposito alluvionale terrazzato entro il quale è ospitata la falda freatica.

Al contrario il piezometro CPT1 lambisce il tetto delle ghiaie e la falda, mentre quelli di CPT2-3 si attestano ben al disopra del deposito ghiaioso saturo.

Non è stato possibile spingere più in profondità i piezometri CPT1-2-3 a causa del franamento del foro penetrometrico.

Il piezometro CPT2 è rimasto asciutto per tutto il periodo, mentre CPT3 ha palesato presenza d'acqua solo con l'inizio delle precipitazioni di ottobre 2008; si tratta di una modesta falda temporanea della quale non è nota la profondità. Non si esclude che possa trattarsi di un livello acquifero saturo all'interno del terreno di riporto; da qui l'acqua percola entro il piezometro fino ad attestarsi in prossimità del fondo del piezometro stesso.

Il substrato è costituito da sabbie limose, limi sabbiosi, molto addensati, semilapidei, apparentemente dotati di umidità naturale. Le difficoltà di carotaggio del substrato semilapideo, indotte dall'elevato addensamento, ha fatto sì che il calore prodotto dalla prolungata rotazione del carotiere abbia diminuito il contenuto d'acqua del terreno. Pertanto risulta impossibile asserire con certezza che il substrato sia saturo, anche se si stima che sia improbabile.

Nonostante non si possa redigere una carta piezometrica a causa dell'incertezza della quota del boccaforo del pozzo P della "Farmacia dei sani", appare evidente che la direzione di deflusso della falda è orientata in direzione Sud o forse Sudest.

Questo dato appare in contrasto con la Tav.1 Carta idrogeologica del Quadro Conoscitivo QCGI.2 del Piano Strutturale Comunale del Comune di Sasso Marconi, vedi fig. 4bis in allegato, la quale rende conto di un deflusso in direzione Est. Inoltre la carta idrogeologica riporta per il Municipio una soggiacenza di -5.4m, quando quella misurata in CPT1 risulta di circa -11.65m.

Le difformità non stupiscono dato che la carta idrogeologica del PSC è carente di rilevamenti di pozzi freatici per questa zona specifica.

La direzione di deflusso rilevata dallo scrivente potrebbe essere controllata dall'assetto della giacitura o dalla maggiore permeabilità dei depositi ghiaioso ciottolosi che si rinvengono nell'area Sud del sito indagato.

La zona di alimentazione della falda del terrazzo alluvionale comprende i territori collinari, incolti e boscati posti ad Ovest, dove le acque meteoriche hanno modo di infiltrarsi nel sottosuolo permeabile, dato che non sono impedito dalle pavimentazioni che caratterizzano buona parte dell'area urbanizzata di Sasso Marconi.



Il piano seminterrato dell'edificio municipale si localizza a quote diversificate:

-2.52 ÷ -3.00m,

mentre il massimo innalzamento della superficie piezometrica-freatica rilevato nel periodo di monitoraggio ha raggiunto la quota di -11.63m. Pertanto non sussiste interferenza tra falda freatica ed il piano seminterrato del Municipio.

Le venute d'acqua palesatesi in passato nel piano seminterrato derivavano da acque corrive che pervenivano in corrispondenza degli infissi del cavedio di aerazione della porzione perimetrale interrata del Municipio. Il problema è stato risolto da un adeguato intervento di specifica ristrutturazione/manutenzione.

## CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Al fine di caratterizzare i terreni di fondazione dell'edificio municipale, sono state eseguite diverse indagini geognostiche in sito:

- prove penetrometriche statiche meccaniche CPT;
- sondaggio a carotaggio continuo con esecuzione di prove penetrometriche SPT in foro.

### PROVE PENETROMETRICHE STATICHE MECCANICHE CPT

L'11/09/2008 la GEOSERVICE Indagini geognostiche di Bassi Fabio ha condotto n.3 prove penetrometriche statiche meccaniche (CPT1-2-3), ubicate in fig.5.

È stato utilizzato un penetrometro statico PAGANI TG63/200KN CPT (Cone Penetration Test) che ha permesso di quantificare la qc (resistenza specifica alla punta) e la fs (resistenza specifica al manico).

Trattasi di un penetrometro statico olandese tipo GOUDA (tipo meccanico) le cui caratteristiche sono:

- punta conica meccanica Ø 35.7mm;
- angolo di apertura  $\alpha = 60^\circ$ ;
- area punta  $A_p = 10\text{cm}^2$ ;
- manicotto laterale di attrito tipo "Begemann" (Ø 35.7mm - h 133mm - sup. lat. Am. =  $150\text{cm}^2$ );
- velocità di avanzamento costante  $V = 2\text{cm/sec}$  ( $\pm 0,5\text{cm/sec}$ );
- spinta max nominale dello strumento  $S_{max}$  variabile a seconda del tipo;
- costante di trasformazione (lett.  $\leftrightarrow$  Spinta)  $C_t = \text{spinta (kg)}/\text{lettura di campagna}$ .

fase 1 - resistenza alla punta qc ( $\text{kg/cm}^2$ ) = ( L. punta)  $C_t$  /10

fase 2 - resistenza laterale locale fs ( $\text{kg/cm}^2$ ) = [(L. laterale) - (L. punta)]  $C_t$ /150

fase 3 - resistenza totale Rt (kg) = (L. totale)  $C_t$

qc / fs = rapporto di Begemann

- L. punta = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta (fase 1)
- L. laterale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- L. totale = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

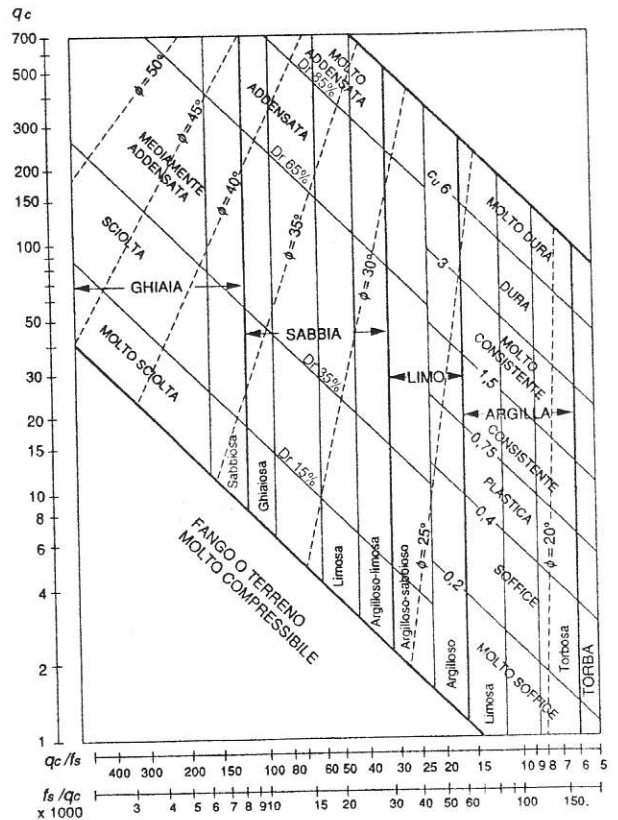
N.B.: la spinta S (kg), corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione  $C_t$ .

N.B.: causa la distanza intercorrente (20cm circa) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale fs viene computata 20cm sopra la punta.





È possibile identificare orientativamente sia il tipo litologico che la consistenza o l'addensamento del terreno, utilizzando il grafico di Searle:



**Searle, I. W., 1979.** *The interpretation of Begemann friction jacket cone results to give soil types and design parameters. Proceedings of 7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, ECSMFE, Brighton, Vol. 2, pp. 265 – 270*

I risultati penetrometrici sono riportati in tabelle, grafici e grafici comparativi posti in allegato. Si ricorda che i parametri geotecnici riportati nelle tabelle penetrometriche sono espressi in termini non drenati (Cu, φ), in quanto derivati da prove penetrometriche che sottopongono il terreno a rapida rottura senza consentirne il drenaggio.

Il terreno è stato suddiviso in strati di 20cm di spessore sulla base delle letture L1 ed L2, per i quali sono stati definiti i valori dei parametri geotecnici nominali (X<sub>n</sub>) sulla base delle seguenti correlazioni.

➤ Il peso di volume naturale γ<sub>nat</sub> è stato elaborato secondo le seguenti correlazioni.

GRANULOMETRIA	CORRELAZIONI	
argille limose limi argillosi	$\gamma_{nat} = 0.0001 * LNq_c + 0.0016$ in kg/cm <sup>3</sup> (AA.VV.)	
limi argilloso sabbiosi sabbie argilloso limose sabbie limose sabbie sabbie ghiaiose	se DR < 35%	se DR > 35%
	$\gamma_{nat} = \frac{0.0319 * Dr + 14.775}{10000}$ in kg/cm <sup>3</sup> (Crow, 2004)	$\gamma_{nat} = \frac{0.03 * Dr + 17}{10000}$ in kg/cm <sup>3</sup> (Crow, 2004 e AA.VV.)
ghiaie sabbiose ghiaie	$\gamma_{nat} = \frac{0.0308 * Dr + 17.973}{10000}$	in kg/cm <sup>3</sup> (Crow, 2004)



- Il peso di volume saturo  $\gamma_{\text{sat}}$  è stato elaborato secondo le seguenti correlazioni.

GRANULOMETRIA	CORRELAZIONI
argille limose limi argillosi	$\gamma_{\text{sat}} = \gamma_{\text{nat}} + 0.00008$ in $\text{kg/cm}^3$ (AA.VV.)
limi argilloso sabbiosi sabbie argilloso limose sabbie limose sabbie sabbie ghiaiose ghiaie sabbiose ghiaie	$\gamma_{\text{sat}} = \gamma_{\text{nat}} + 0.0003$ in $\text{kg/cm}^3$ (AA.VV.)

- La coesione non drenata  $C_u$  è stata elaborata secondo il grafico di Searle
- L'angolo di attrito interno  $\varphi$  è stato elaborato secondo il grafico di Searle.
- La densità relativa  $D_r\%$  è stata elaborata secondo il grafico di Searle.
- Il modulo edometrico  $E$  è stato elaborato secondo la relazione  $E = \alpha q_c$ ; le tabelle ed i dati di Mitchell-Gardner, 1975 e di Sanglerat et al., 1972 identificano il valore di  $\alpha$  in funzione del tipo granulometrico e del valore di  $q_c$ :

terreni coesivi – argille, argille organiche terreni misti – argille sabbiose	$q_c \leq 5 \text{kg/cm}^2$	$\alpha = 5$
	$q_c = 10 \text{kg/cm}^2$	$\alpha = 4$
	$q_c = 15 \text{kg/cm}^2$	$\alpha = 3,3$
	$q_c \geq 20 \text{kg/cm}^2$	$\alpha = 3$
terreni coesivi – argille torbose	$q_c \leq 7 \text{kg/cm}^2$ $q_c / f_s \leq 15$	$W \leq 50\% \quad \alpha = 3$
		$W = 100\% \quad \alpha = 1,5$
		$W = 200\% \quad \alpha = 1$
		$W \geq 300\% \quad \alpha = 0,4$
terreni incoerenti		$\alpha = 3$

I singoli strati di terreno di 20cm di spessore sono stati poi raggruppati in strati omogenei sulla base di consimili caratteristiche granulometriche, di addensamento o di consistenza, riferibili ai campi definiti dal grafico di Searle.

Da una prima elaborazione dei dati di campagna L1 ed L2 delle tre CPT, in base al rapporto di Begemann  $q_c/f_s$ , è emersa la presenza di strati coesivi riferibili ad argille limose e limi argillosi, da consistenti a molto consistenti, anche di spessore considerevole, in alternanza con depositi incoerenti sabbioso limosi.

Una volta realizzato il sondaggio a carotaggio continuo S.3, è stato possibile tarare la granulometria della CPT3 ed estrapolando anche le CPT1-2 sulla stima della reale litologia delle carote. I litotipi coesivi, supposti sulla base delle correlazioni innanzidette, non sono stati rinvenuti in S.3; al contrario sono stati rilevati depositi incoerenti sabbioso limosi.

Per ricondurre il valore di  $q_c/f_s$  alla reale granulometria si è adottato per  $f_s$  (resistenza specifica al manicotto) un coefficiente riduttivo di pari a 0.8x.

Nel contempo NON sono stati modificati i valori di  $L1 = q_c$  (resistenza specifica alla punta).

Si è cercato di distinguere, quando presenti, le fluttuazioni dei parametri nell'ambito di uno stesso campo di addensamento o consistenza, suddividendo lo strato per un ulteriore discrimine.



Ad ogni strato omogeneo sono stati attribuiti i parametri geotecnici caratteristici ( $X_k$ ), concetto introdotto dall'Eurocodice 7: "*Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules*".

Il valore caratteristico  $X_k$ , inteso come una stima cautelativa del parametro geotecnico che influenza l'insorgere dello stato limite in considerazione, dovrà essere utilizzato in qualsiasi tipo di verifica geotecnica, che si tratti di SLU (stati limite ultimi ovvero potenziale presenza di una superficie di rottura) o di SLE (stati limite di esercizio ossia deformazioni di tipo elastico o di consolidazione a prescindere dallo stato di rottura). Lo stesso concetto fa parte della più ampia trattazione agli stati limite (SL), volta ad armonizzare la progettazione strutturale con quella geotecnica.

Allo stato normativo attuale esistono ancora dubbi ed incertezze sulla procedura di determinazione dei valori caratteristici, nonostante che il D.M. 14/01/2008, "*Norme tecniche per le costruzioni*" abbia già adottato il concetto dei valori caratteristici, senza peraltro chiarirne la definizione e determinazione. Neanche la Circolare del 2 febbraio 2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "*Norme tecniche per le costruzioni*" di cui al D.M. 14 gennaio 2008" entra nella specifica procedura.

La Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, pubblicata nel sito della Regione Toscana, con carattere ancora ufficioso, chiarisce alcuni dettagli relativi alla determinazione dei valori caratteristici, ma non offre metodi operativi per la loro determinazione.

Si farà quindi riferimento alla trattazione specifica presentata dal dr. geol. Luca Nori nel Corso di aggiornamento professionale per geologi del 03/04/2009, organizzato dall'Ordine dei Geologi della Regione Emilia-Romagna – Consulta delle Province di Reggio Emilia e Modena "Caratterizzazione geotecnica e parametri di progetto secondo l'EC 7 e 8 ed il D.M. 14 Gennaio 2008 – Nuove norme tecniche per le costruzioni".

Il valore caratteristico  $X_k$  verrà quindi identificato sulla base delle seguenti regole:

- A. Se esiste compensazione spaziale (volume interessato dallo stato limite, o suo spessore in una dimensione, significativamente maggiore della lunghezza delle fluttuazioni nei parametri di resistenza del terreno), allora il valore caratteristico corrisponde al 5° percentile della media ed è generalmente non molto distante dalla media stessa.
- B. Se esiste compensazione strutturale (fondazioni sufficientemente rigide tali da distribuire le sollecitazioni omogeneamente sul terreno), allora il valore caratteristico è lo stesso del precedente caso A.
- C. Se non esiste compensazione strutturale, né compensazione spaziale, allora il valore caratteristico è il 5° percentile della distribuzione statistica del campione, ed è generalmente piuttosto distante dalla media.

Nel caso del Municipio in oggetto sono state adottate fondazioni nastriformi continue, per le quali è plausibile attendersi un comportamento rigido; pertanto si rientra nel caso B per il quale è prevista la procedura relativa alla compensazione strutturale, analoga al caso A.

Di seguito si riporta una sintesi schematica della procedura che è stata adottata per definire i parametri geotecnici caratteristici ( $X_k$ ) riportati nelle tabelle penetrometriche in allegato.



**Procedura per ricavare i valori caratteristici mediante l'analisi statistica per parametri che seguono distribuzione normale ( $\varphi$ ,  $\gamma$ )**

Superficie di rottura grande con compensazione spaziale o strutturale A o B (platea, fondazioni nastriformi non piccole)	I dati sono "non pochi" (orientativamente $n \geq 5$ ) <sup>++</sup>	Si ipotizza media campione = media popolazione (controllando la congruenza!)
		Si applica la formula rigorosa, con distribuzione di Student: $X_k = \bar{x} - t_{0,05}(n-1) \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$ dove: $X_k$ valore caratteristico desiderato $\bar{x}$ valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione $t$ valore della distribuzione di Student ad n-1 gradi di libertà con probabilità $u = 95\%$ (ossia, $1-\alpha = 0.95$ o alternativamente, $\alpha = 0.05$ ) $s$ deviazione standard del campione $n$ numero di dati.
	Il dato è uno solo, o pochi (orientativamente $n < 5$ )	Si ipotizza media campione = valore del singolo dato o media popolazione (controllando la congruenza!)
		Si ipotizza variabilità nota (dati di letteratura o esperienza individuale: six-sigma)
		Si applica la formula opportuna: $X_k = \bar{x} - 1.645 \left( \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$ dove: $X_k$ valore caratteristico desiderato $\bar{x}$ valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione $\sigma$ deviazione standard della popolazione = media dati / COV $n$ numerosità del campione
Superficie di rottura piccola senza compensazione spaziale o strutturale C (pali, piccoli plinti, rottura locale)	I dati sono "non pochi" (orientativamente $n \geq 5$ ) <sup>+</sup>	Si ipotizza media campione = media popolazione (controllando la congruenza!)
		Si applica la formula opportuna: $X_k = \bar{x} - 1.645 * s$ dove: $X_k$ valore caratteristico desiderato $\bar{x}$ valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione $s$ deviazione standard del campione
	Il dato è uno solo, o pochi (orientativamente $n < 5$ )	Si ipotizza media campione = valore del singolo dato o media popolazione (controllando la congruenza!)
		Si ipotizza variabilità nota (dati di letteratura o esperienza individuale: six-sigma)
		Si applica la formula opportuna: $X_k = \bar{x} - 1.645 * \sigma$ $X_k$ valore caratteristico desiderato $\bar{x}$ valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione $\sigma$ deviazione standard della popolazione = media dati * COV



Coefficiente di variazione  $COV = \frac{\sigma}{\mu}$

dove:

$\sigma$  = deviazione standard della popolazione

$\mu$  = media della popolazione

Valori indicativi della variabilità (COV) di alcuni parametri	
PARAMETRO	COV
$\varphi$ sabbie e ghiaie	7 - 10%
$\varphi'$ coesivi	13%
C'	25 - 30%
Cu	20 - 30%
$\varphi$	10% (Schneider 1999)
Cu	40% (Schneider 1999)

<b>Procedura per ricavare i valori caratteristici mediante l'analisi statistica per parametri che seguono distribuzione log-normale (Cu, c', E, altri)</b>	
Superficie di rottura grande con compensazione spaziale o strutturale A o B (platea, fondazioni nastriformi non piccole)	<p>I dati sono "non pochi" (orientativamente <math>n \geq 5</math>)</p> <p>Si ipotizza media campione = media popolazione (controllando la congruenza!)</p> <p>Si applica il metodo conservativo di Angus:</p> $L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} - \frac{t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1)}{\sqrt{n}} * \sqrt{S^2 \left(1 + \frac{S^2}{2}\right)}$ <p>dove:</p> <p><math>\bar{Y}</math> valore medio del dataset con distribuzione lognormale  <math>z</math> distribuzione normale standardizzata  <math>t</math> valore della distribuzione di Student ad <math>n-1</math> gradi di libertà  <math>S</math> deviazione standard del campione  <math>n</math> numero di dati</p>
	<p>Il dato è uno solo, o pochi (orientativamente <math>n &lt; 5</math>)</p> <p>Si ipotizza media campione = valore del singolo dato o media popolazione (controllando la congruenza!)</p> <p>Si ipotizza variabilità nota (dati di letteratura o esperienza individuale: six-sigma)</p> <p>Si applica il metodo di Cox:</p> $L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$ <p>dove:</p> <p><math>\bar{Y}</math> valore medio del dataset con distribuzione lognormale  <math>z</math> distribuzione normale standardizzata  <math>t</math> valore della distribuzione di Student ad <math>n-1</math> gradi di libertà  <math>S</math> deviazione standard del campione  <math>n</math> numero di dati</p>
Superficie di rottura piccola senza compensazione spaziale o strutturale C (pali, piccoli plinti, rottura locale)	<p>I dati sono "non pochi" (orientativamente <math>n \geq 5</math>)</p> <p>Si ipotizza media campione = media popolazione (controllando la congruenza!)</p> <p>Si applica la formula opportuna con un foglio di calcolo: INV.LOGNORM(0.05, media log dati, media SD log dati)</p>
	<p>Il dato è uno solo, o pochi (orientativamente <math>n &lt; 5</math>)</p> <p>Si ipotizza media campione = valore del singolo dato o media popolazione (controllando la congruenza!)</p> <p>Si ipotizza variabilità nota (dati di letteratura o esperienza individuale: six-sigma)</p>
	<p>Si applica la formula opportuna con un foglio di calcolo: INV.LOGNORM(0.05, media SD) con le trasformazioni opportune (★)</p>



★

Formule di trasformazione per trovare il valore caratteristico con distribuzioni log-normali e un singolo dato o pochi dati, piccola superficie di rottura

$$\sigma_{\log n} = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{\sigma_{\text{norm}}^2}{\mu_{\text{norm}}^2}\right)} \quad \mu_{\log n} = \ln(\mu_{\text{norm}}) - \frac{\sigma_{\log n}^2}{2} \quad \text{dove:}$$

$\sigma_{\text{norm}}^2$  = varianza nota da letteratura o da esperienza

$\mu_{\text{norm}}^2$  = valore del singolo dato o della media dei (pochi) dati

Con un foglio di calcolo:  $X_k = \text{INV.LOGNORM}(0.05, \sigma_{\log n}, \mu_{\log n})$

Le sezioni geotecniche litostratigrafiche A-A e B-B di fig.6-7 ricostruiscono schematicamente i terreni indagati, descrivendo:

- la litostratigrafia;
- la resistenza specifica alla punta  $q_c$ ;
- i parametri geotecnici caratteristici  $X_k$ ;
- il massimo innalzamento del livello piezometrico rilevato nel periodo monitorato.

I grafici comparativi delle penetrometrie statiche meccaniche CPT1-2-3 posti in allegato evidenziano le differenze che sussistono tra i terreni medio-fini che caratterizzano la porzione superiore e predominante del terrazzo alluvionale in esame e ne consentono l'analisi.

I dati penetrometrici  $q_c$ ,  $f_s$  ed il loro rapporto  $q_c/f_s$  risultano alquanto dispersi fino a circa -7m da quota 0.00. Questa disomogeneità è dovuta:

- alla presenza di considerevoli spessori di terreni di riporto;
- alla sovraconsolidazione indotta dalla suzione di un taglio presso CPT2;
- ad intrinseche differenze deposizionali/granulometriche e alla storia tensionale dei depositi.

#### Terreni di riporto

Si è rinvenuto uno spessore alquanto variabile di terreni di riporto costituiti da pavimentazioni passanti a sabbie limose, sabbie argilloso limose, da sciolte a mediamente addensate, con macerie. Se nel caso della CPT3 è stato possibile accertarne la presenza dall'osservazione delle carote del sondaggio S.3, in CPT1 si è ricorso all'analisi dei dati penetrometrici; la presenza di picchi di resistenza riconducibili a macerie, valori relativamente ai bassi di  $f_s$  e talora di  $q_c$  in genere contraddistinguono i riporti.

In corrispondenza della penetrometria CPT3 il riporto raggiunge la profondità di -3.4m, mentre in CPT1 sembra di -5m. In entrambi i casi la base del riporto risulta essere sottoposta alla quota del piano di fondazione del Municipio, desunta dagli elaborati/calcoli e dalle tavole del progetto consultato.

Peraltro, considerando che il Municipio non denota lesioni riconducibili a cedimento dei terreni di fondazione, si possono fare le seguenti ipotesi in merito alla presenza di riporto ad una quota inferiore al piano di fondazione:

- A. il piano di fondazione è stato effettivamente realizzato ad una quota inferiore a quanto viene definito negli elaborati/calcoli e tavole di progetto;
- B. il terreno di riporto si estende al di sotto della quota del piano di fondazione solo esternamente al sedime del Municipio, mentre le fondazioni insistono sul terreno in posto.

Non si esclude che i movimenti terra e le ricostruzioni riconducibili agli eventi bellici (bombardamenti e relativi profondi crateri) della II<sup>a</sup> guerra mondiale possano essere causa del notevole spessore dei riporti.



## Suzione

L'analisi dei grafici comparativi posti in allegato identifica in CPT2 un'evidente sovraconsolidazione dei terreni rilevabile da un marcato aumento delle resistenze penetrometriche qc ed fs compreso tra -1 e -5.8m circa di profondità.

La CPT2 è stata realizzata al di sotto della chioma di un tiglio, il cui tronco è localizzato a 4m dalla prova penetrometrica.

La caratteristica forma dei grafici penetrometrici fs e qc di CPT2 e l'esigua distanza tra la prova e l'albero indicano che la sovraconsolidazione è attribuibile al tiglio.

Il fenomeno è denominato "suzione" ed è connesso all'evapotraspirazione provocata dagli alberi, i quali generano una sensibile risalita capillare dell'acqua interstiziale. Gli alberi hanno la necessità di procurarsi l'acqua ed il nutrimento utili per la loro attività vegetativa e pertanto agiscono analogamente ad una pompa, sottraendo acqua al terreno; ciò avviene con maggiore intensità durante la stagione estiva.

Trattandosi di un'azione che provoca risalita d'acqua, la pressione interstiziale assumerà valore negativo, quindi aumenterà la tensione efficace. Si assiste ad una sovraconsolidazione del terreno con diminuzione di volume (ritiro) e subsidenza, ovvero abbassamento del terreno. Si determinano frequentemente lesioni nei fabbricati per suzione indotta dagli alberi, in quanto questi provocano subsidenza del terreno proprio al di sotto delle fondazioni. Qui, infatti, durante la stagione estiva i terreni risultano più umidi poiché l'evaporazione provocata dal sole è impedita dalla presenza degli edifici stessi.

In genere la sovraconsolidazione è rilevabile da un aumento delle resistenze penetrometriche qc ed fs, contrassegnata dal tipico andamento triangolare dei grafici penetrometrici qc ed fs.

Lo spessore dei terreni sottoposti a suzione può anche essere denominato "zona attiva", cioè l'intervallo di profondità in cui si producono variazioni del contenuto d'acqua od umidità del terreno; in questo caso la causa dell'essiccamento è la suzione indotta dal tiglio.

La suzione, pur avendo raggiunto in profondità una quota più bassa di quella del piano di fondazione del Municipio, sembra non avere coinvolto i terreni di fondazione dell'edificio, dato che lo spigolo prospiciente non denota lesioni riconducibili a cedimento dei terreni di fondazione. Ciò non è avvenuto in quanto tutta l'area urbana circostante risulta pavimentata e pertanto il tiglio non ha percepito un particolare eccesso di umidità al di sotto della fondazione e quindi non ha ivi determinato suzione. Si sottolinea che la distanza che intercorre tra il tronco del tiglio ed il Municipio è di 6÷7m, mentre la chioma lo lambisce. Ciò significa che il tiglio è potenzialmente in grado di provocare suzione dei terreni di fondazione del Municipio. Peraltro, da specifici studi di ricercatori francesi, risulta che le radici e la relativa suzione possono raggiungere una distanza dal fusto pari al massimo ad 1.5 volte l'altezza dell'esemplare adulto dell'albero. Nel caso in esame il tiglio (adulto) denota altezza tale da essere potenzialmente in grado di raggiungere i terreni di fondazione del Municipio.

Nel caso si intenda scongiurare a priori la possibilità che in futuro il tiglio provochi lesioni dell'edificio comunale indotte dal cedimento dei terreni di fondazione, occorre abbattere l'albero. Oppure si potrebbero mantenere controllate le murature, le pavimentazioni e le strutture prospicienti il tiglio, in modo che se si determinassero delle setole, lesioni, fuori bolla dei pavimenti, fuori piombo delle murature o dei pilastri, si sarebbe immediatamente in grado di intervenire abbattendo l'albero ed interrompendo così la suzione-essiccamento-cedimento del terreno di fondazione.



## SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO

Il 18/09/2008 la SOGEO s.r.l. ha realizzato un sondaggio a carotaggio continuo (S.3), ubicato in fig.5, utilizzando una sonda ELLETTARI EK200STR.

L'esecuzione del sondaggio si è resa necessaria al fine di:

- tarare l'adiacente penetrometria statica CPT3 ed estrapolando le CPT1-2;
- caratterizzare il deposito ghiaioso ciottoloso che ha arrestato l'avanzamento di tutte le CPT;
- accertare la presenza del substrato al di sotto del deposito alluvionale terrazzato (AES8) su cui insiste il Municipio.

Si riportano in allegato la stratigrafia e le fotografie delle cassette catalogatrici delle carote.

Oltre alle informazioni geotecniche assunte con l'adiacente CPT3, si è cercato di caratterizzare ulteriormente i terreni i terreni medio-fini posti al di sopra di -10.10m dal p.c. di S.3 mediante l'utilizzo del pocket penetrometer e del vane test sulle carote di perforazione.

Il comportamento incoerente dei terreni ha fatto sì che le misurazioni non fossero utilizzabili, in quanto tali strumentazioni sono idonee solo per terreni coesivi o con componente coesiva predominante.

Il sondaggio ha evidenziato, al di sotto di 12.60m di profondità, la presenza di sabbie limose, talora limi sabbiosi, molto addensati, di colore grigio chiaro, dotati di umidità naturale. Sono stati rinvenuti rari cogoli,  $\varnothing 2\div 3$ cm, arenacei a grana media, debolmente cementati, di colore bruno grigiastro. Inoltre rari livelli di:

- sabbie medie, ben cernite, molto addensate, di colore bruno;
- sabbie medio-fini limose, muscovitiche, molto addensate, di colore grigio con screziature nerastre.

La presenza di cogoli all'interno delle carote di perforazione e l'elevato addensamento del deposito (sovracconsolidazione) consente di attribuirlo al substrato e non al terrazzo alluvionale.

Pertanto alla profondità di -12.60m è stato identificato il tetto del substrato; le relative carote sono risultate molto rimaneggiate a causa della difficoltà di carotaggio indotta dall'elevato addensamento e dall'assenza di coesione e di cementazione.

Tutta la perforazione del substrato è avvenuta a secco, utilizzando sempre la massima coppia di potenza disponibile della sonda, in modo da non dilavare e disturbare eccessivamente le carote. La resistenza all'avanzamento del carotiere nel substrato si è mantenuta costante da 12,6m fino a fine sondaggio (15m).

Da queste evidenze, oltre che dalle risultanze della prova SPT della quale si riferirà oltre, si desume il carattere semilapideo del substrato.

## PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE S.P.T.

Nel corso del sondaggio S.3 sono state realizzate due prove penetrometriche dinamiche S.P.T. in foro al fine di caratterizzare il deposito alluvionale ghiaioso-ciottoloso in matrice sabbiosa che ha arrestato le CPT ed il sottostante substrato.

Si tratta della Standard Penetration Test, codificata dalla norma A.S.T.M. Designation D 1586-67; la prova consiste nell'infingere nel terreno, a fondo foro nel corso del sondaggio e con una frequenza di 20/25 colpi al minuto, il campionatore Raymond per mezzo di un martino a sganciamento automatico del peso di 63,5kg, cadente da un'altezza di 76,2cm.

Si rileva il numero di colpi  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  necessario per la penetrazione di tre tratti consecutivi di 15cm. Il valore  $N_{SPT}$  è dato dalla somma di  $N_2 + N_3$ , ottenuti per il II° e per il III° tratto.

Il valore  $N_{SPT}$  è funzione della resistenza penetrometrica e dipende essenzialmente dal grado di addensamento per i terreni incoerenti e dalla consistenza per quelli coesivi.





Si sottolinea che le prove S.P.T. realizzate sono state condotte utilizzando la punta conica chiusa, cioè non è stato utilizzato il campionatore Raymond in ragione della presenza di ghiaia grossa e di ciottoli. Pertanto, in questo caso, il valore  $N_{SPT}$  deve essere ridotto del 30%, secondo le indicazioni di Palmer e Stuart.

Per la medesima ragione è comprensibile che non è stato possibile sia prelevare campioni indisturbati per mezzo di campionatori, sia testare le carote con strumenti quali il pocket penetrometer o lo scissometro.

Entrambe le prove S.P.T. hanno fornito  $N_{SPT}$  da rifiuto, ovvero valori talmente elevati da rendere irrealizzabile il raggiungimento della profondità alla quale rilevare  $N_2$  ed  $N_3$ ; addirittura non si è riusciti neanche a definire il valore  $N_1$  in quanto non si è raggiunto l'affondamento standard di 15cm. Si ritiene che le risultanze (rifiuto) delle S.P.T. siano singolarmente rappresentative del deposito ghiaioso ciottoloso ed del substrato, in quanto la velocità di carotaggio si è mantenuta costante per entrambi i litotipi. Queste le risultanze:

Profondità S.P.T. m	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_{SPT} = N_2 + N_3$	Attribuzione geologica	Descrizione geotecnica-litostratigrafica
10.60	50/7.5cm RIFIUTO	-	-	-	Deposito di base del terrazzo alluvionale AES8 Subsistema di Ravenna	Ghiaie debolmente ciottolose, ben assortite, arrotondate, da mediamente addensate a molto addensate, in matrice sabbiosa, di colore bruno chiaro. Dotate di umidità naturale fino a 11.4m (rif. S.3), poi umide. Da 11.55m (rif. S.3) sature (in falda).
15.00	100/7.0cm RIFIUTO	-	-	-	Substrato ADO1 Formazione di M. Adone Membro di M. Mario	Sabbie limose, talora limi sabbiosi, molto addensati, semilapidei, di colore grigio chiaro, dotati di umidità naturale. Presenti rari cogoli, $\varnothing 2-3$ cm, arenacei a grana media, debolmente cementati, di colore bruno grigiastro. Rari livelli di: - sabbie medie, ben cernite, molto addensate, di colore bruno; - sabbie medio-fini limose, muscovitiche, molto addensate, di colore grigio con screziature nerastre.

Per l'attribuzione dei parametri geotecnici caratteristici  $X_k$  al deposito di base del terrazzo alluvionale ed al substrato non si è potuto ricorrere alle correlazioni abitualmente utilizzate a causa del rifiuto indotto dall'elevato addensamento.

Nel caso del deposito ghiaioso ciottoloso si è ritenuto cautelativo adottare i parametri geotecnici caratteristici  $X_k$  derivanti dalle CPT, ricorrendo alle correlazioni specifiche. Si sono esclusi i valori di resistenza più elevati in quanto riferibili alla presenza di ciottoli e pertanto non rappresentativi del comportamento geotecnico del deposito.

I parametri geotecnici caratteristici  $X_k$  sono riportati nelle tabelle penetrometriche e nelle sezioni geotecniche litostratigrafiche di fig.6-7.

In merito al substrato, per definire:

- $\varphi$  e  $Dr\%$  si è adottato il grafico di Searle, imponendo come tipo granulometrico quello delle sabbie limose e  $Dr = 100\%$ ;
- $\gamma_{nat}$  e  $\gamma_{sat}$  si sono adottate le correlazioni di Crow, 2004 e di AA.VV.;
- E si sono adottate le correlazioni di AA.VV..

I parametri geotecnici caratteristici  $X_k$  sono riportati nelle sezioni geotecniche litostratigrafiche di fig.6-7.

**FONDAZIONI**

Si intende procedere alla sopraelevazione di un piano dell'edificio municipale, il quale è attualmente costituito da tre piani fuori terra e da un piano seminterrato.

Da un'analisi preliminare il fabbricato appare classificabile:

Tipo di costruzione: 3Vita nominale dell'opera  $V_N \geq 100$ anni

Classe d'uso dell'edificio: IV – Funzioni pubbliche e strategiche importanti anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità.

Coefficiente d'uso  $C_u = 2.0$

Pertanto è indispensabile adottare le Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 14/01/2008, come tra l'altro previsto dai recentissimi provvedimenti normativi approvati dal Senato con un emendamento al ddl di conversione del DL 39/2009 per l'Abruzzo, che anticipa dal 30 giugno 2010 al 30 giugno 2009 la scadenza del periodo transitorio, nel corso del quale è possibile applicare anche la normativa tecnica precedente (Decreti Ministeriali 20 novembre 1987, 3 dicembre 1987, 11 marzo 1988, 4 maggio 1990, 9 gennaio 1996 e 16 gennaio 1996, Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche). Pertanto dal 1° luglio 2009 saranno pienamente operative le NTC, e costituiranno l'unica normativa di riferimento per la progettazione.

Sono state reperite le tavole di progetto e la relazione di calcolo delle strutture in cemento armato e delle fondazioni del Municipio, datata 23/03/1968.

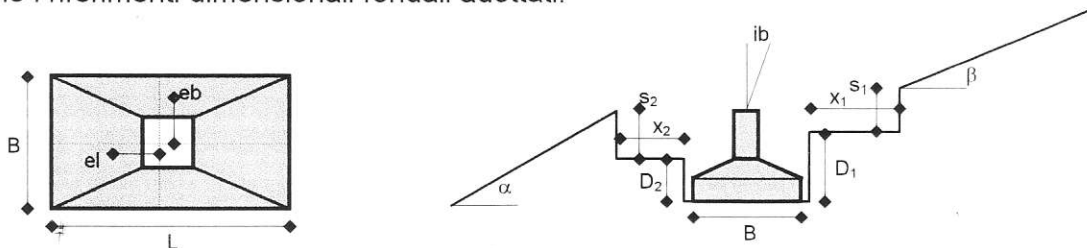
Nella pag.1 della suddetta relazione si legge:

*"...Il terreno di fondazione per quanto è risultato in numerosi scavi effettuati in passato, è costituito da materiale sabbioso compatto, con distribuzione uniforme..."*

Tale sommaria indicazione, si avvicina abbastanza a quella che è la reale litostratigrafia dei terreni di fondazione derivante dalle indagini geognostiche in sito:

alternanze di strati e livelli in lenti di sabbie argilloso limose e limi argilloso sabbiosi, mediamente addensati.

Questi sono i riferimenti dimensionali fondali adottati:



Con riferimento alla pianta delle fondazioni esistenti del Municipio di fig.5:

- Le fondazioni sono di tipo diretto nastriformi continue.
- La lunghezza di fondazione è:  
 $9.75 < L < 34$ m
- La larghezza di fondazione è alquanto variabile da zona a zona:  
 $0.7 < B < 2.1$ m
- Il piano di fondazione sembra essere strato impostato alla quota -4.30m da 0.00 = piano terra del Municipio. Vi è qualche incertezza nel definire se è stata adottata un'unica quota di fondazione dato che la quota del piano interrato non è univoca; le quote delle due porzioni del piano interrato sono -3.00 e -2.52m da 0.00, con dislivello  $\Delta H = 0.48$ m.



Si potrà valutare se procedere ad un saggio presso le fondazioni per accertare la profondità di fondazione realmente adottata in fase esecutiva.

Se si assume un'unica quota del piano di fondazione (-4.30m), allora la profondità di fondazione:

$$1.30 < D < 1.78\text{m.}$$

- Inoltre, sempre a pag.1 della relazione di calcolo delle strutture in cemento armato e delle fondazioni del Municipio del 23/03/1968 viene indicato:  
“...Il carico massimo ammissibile viene fissato, con largo margine di sicurezza, in  $1.5\text{kg/cm}^2$ ...”.  
Peraltro non è nota la procedura di calcolo della Pamm.
- A pag.5 e 7 vengono indicati i carichi di esercizio delle fondazioni:  
 $1.36 < \sigma_{\text{tmax}} < 1.42\text{kg/cm}^2$   
Pertanto la pressione ammissibile massima definita nel progetto è stata rispettata dai carichi di esercizio delle fondazioni.

Da una prima ipotesi dei carichi imposti dalla sopraelevazione in progetto, formulata dall'ing. Andrea Negroni dell'Ufficio Tecnico del Comune di Sasso Marconi, è previsto un incremento dei carichi di esercizio delle fondazioni:

$$\Delta\sigma_{\text{tmax}} = 0.05\text{kg/cm}^2$$

Si tratta di un aumento esiguo, pertanto è prevedibile un modesto cedimento del terreno di fondazione indotto dal sovraccarico in progetto.

Solo il progettista strutturale è al corrente delle caratteristiche dell'opera che specificano i livelli di sicurezza e le prestazioni attese.

I diversi approcci e combinazioni di calcolo scelti dal progettista strutturale, che definiscono gli stati limite ultimi (SLU) e gli stati limite di esercizio (SLE) relativi alle verifiche:

- della capacità portante del terreno di fondazione,
- dello scorrimento della fondazione,
- dei cedimenti,

fanno riferimento alle azioni agenti sulle strutture (pesi e carichi permanenti, sovraccarichi variabili, inclinazione dei carichi, eccentricità, azione sismica, azioni del vento, azioni della neve, azioni della temperatura, azioni eccezionali) ed alle resistenze.

Queste ultime, le resistenze, sono funzione dei parametri geotecnici di resistenza al taglio e di compressibilità del terreno di fondazione, i quali sono stati definiti dallo scrivente nella presente relazione geologica-geotecnica.

#### UTILIZZO DEI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI $X_k$

I parametri geotecnici caratteristici  $X_k$  del terreno di fondazione sono riportati nelle tabelle penetrometriche e nelle sezioni geotecniche litostratigrafiche di fig.6-7, utili per il calcolo e le verifiche:

- della capacità portante del terreno di fondazione,
- dello scorrimento della fondazione,
- dei cedimenti,

sulla base dell'approccio e combinazione di calcolo scelti dal progettista strutturale.

Nelle tabelle penetrometriche e nelle sezioni geotecniche litostratigrafiche di fig.6-7, tra l'altro, è indicato il piano di fondazione, supposto a quota -4.30m (vedi pag.17-18).

I parametri geotecnici sono espressi in termini non drenati ( $C_u$ ,  $\varphi$ ), in quanto derivati da prove penetrometriche che sottopongono il terreno a rapida rottura senza consentirne il drenaggio.



Ai fini del calcolo della capacità portante, il volume (spessore) di influenza di una fondazione comprende il cuneo di portata e le relative spirali logaritmiche ed è definito come valore medio o nominale uguale a:

$1 \div 2 B$  dove:

$B$  = larghezza di fondazione

Il coef. di influenza 1 si adotta per terreni poco addensati o poco consistenti.

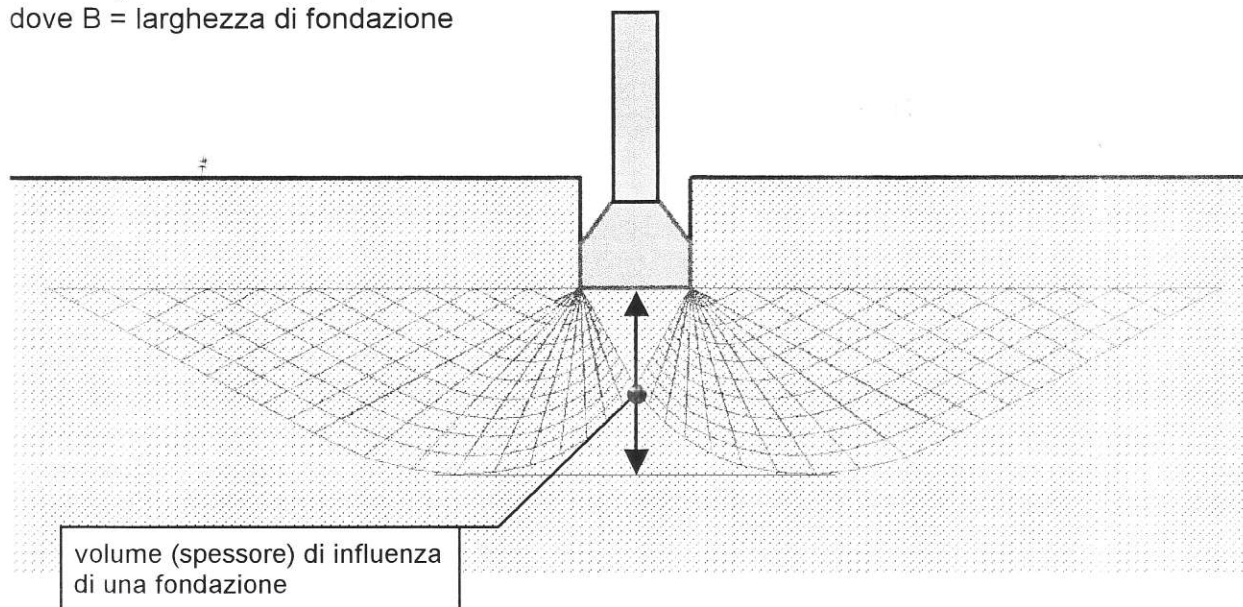
Il coef. di influenza 2 si adotta per terreni molto addensati o molto consistenti.

Uguualmente, secondo Meyerhof and Hanna, 1978 ("Ultimate bearing capacity of foundations...", Canadian geotech. J.), la profondità di influenza della superficie di rottura:

$D_i = B$  (sabbie sciolte e argille)

$D_i = 2B$  (sabbie addensate)

dove  $B$  = larghezza di fondazione



Nel caso del Municipio in oggetto, sulla base delle tavole e degli elaborati-calcoli di progetto, sono state adottate fondazioni nastriformi continue di larghezza  $0.7 < B < 2.1\text{m}$ .

I coefficienti di influenza seguenti sono stati calcolati secondo Meyerhof and Hanna, 1978, interpolando il coef. di influenza sulla base del tipo granulometrico e del relativo addensamento o consistenza.

CPT	Descrizione terreno compreso nel volume di influenza	Coefficiente di influenza	Volume (spessore) di influenza delle fondazioni
1	Sabbie limose, sabbie argilloso limose, da sciolte a mediamente addensate.	1	$0.7 \div 2.1\text{m}$
2	Limi argilloso sabbiosi, sabbie argilloso limose, da mediamente addensati ad addensati.	1.7	$1.19 \div 3.57\text{m}$
3	Sabbie argilloso limose, limi argilloso sabbiosi, mediamente addensati.	1.5	$1.05 \div 3.15\text{m}$

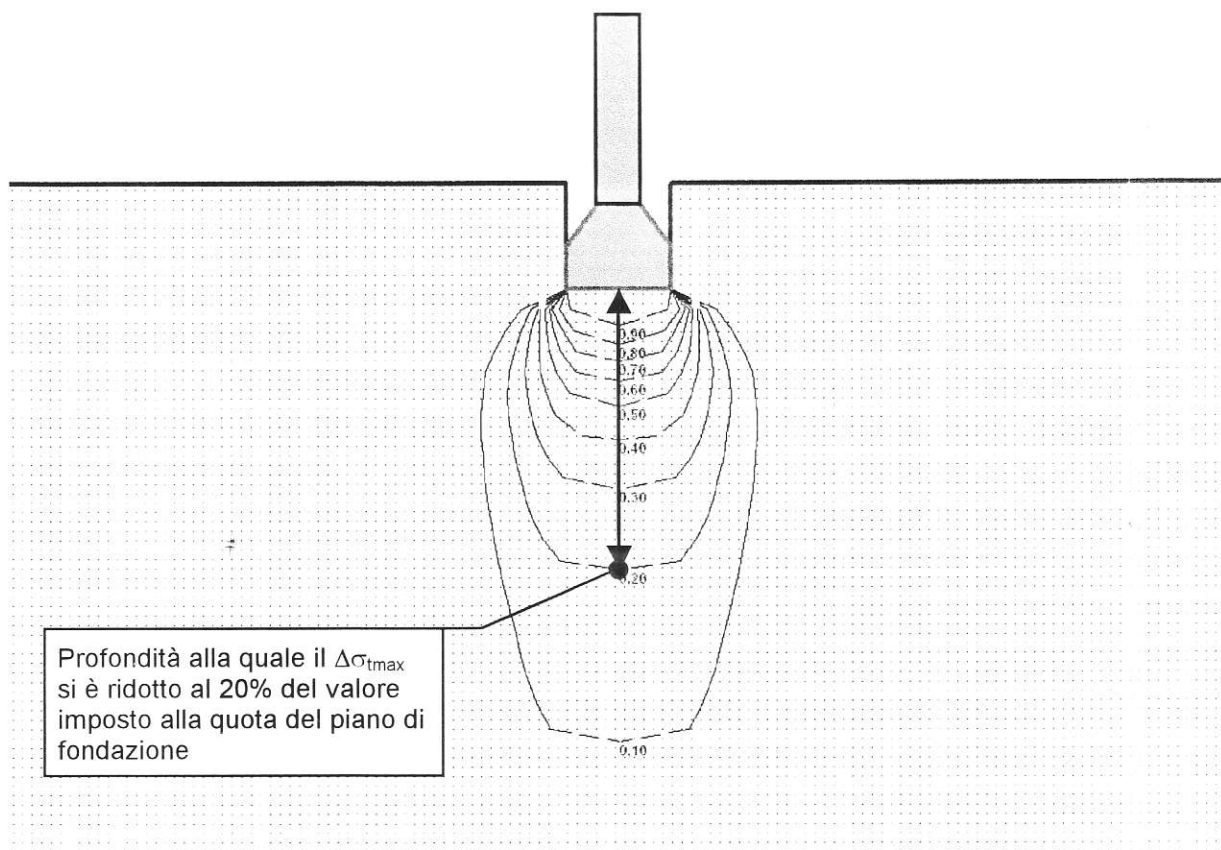
Si considererà la presenza della falda alla quota di massimo innalzamento della superficie piezometrica-freatica rilevata nel periodo di monitoraggio:

-11.63m da quota 0.00 = piano terra Municipio.

Anche la verifica dei cedimenti prevedibili verrà portata a termine utilizzando i parametri geotecnici caratteristici  $X_k$  riportati nelle tabelle penetrometriche e nelle sezioni geotecniche litostratigrafiche di fig.6-7. Ciò avverrà sulla base delle azioni derivanti dall'incremento di carico di esercizio sul piano di fondazione =  $\Delta\sigma_{\text{tmax}}$ .



I cedimenti verranno calcolati fino alla profondità alla quale il  $\Delta\sigma_{tmax}$  si è ridotto al 10%÷20% del valore imposto alla quota del piano di fondazione.



## SISMICITÀ

### Normativa

Si adottano le Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 14/01/2008, come tra l'altro previsto dai recentissimi provvedimenti normativi approvati dal Senato con un emendamento al ddl di conversione del DL 39/2009 per l'Abruzzo, che anticipa dal 30 giugno 2010 al 30 giugno 2009 la scadenza del periodo transitorio, nel corso del quale è possibile applicare anche la normativa tecnica precedente (Decreti Ministeriali 20 novembre 1987, 3 dicembre 1987, 11 marzo 1988, 4 maggio 1990, 9 gennaio 1996 e 16 gennaio 1996, Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche).

Pertanto dal 1° luglio 2009 saranno pienamente operative le NTC, e costituiranno l'unica normativa di riferimento per la progettazione.

Di seguito si espone la sismicità del sito di intervento relativamente alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14 gennaio 2008.

Nel QCGI.07 – Integrazione Zonizzazione Sismica e nel QCGI.08 – Note illustrative alla Zonizzazione Sismica - aggiornamento Maggio 2007 del PSC vigente del Comune di Sasso Marconi vengono condotte analisi geologiche rivolte a stabilire le condizioni di edificabilità, in riferimento all'interazione struttura-substrato, al tipo ed al grado di pericolosità sismica locale.

Lo studio suddivide il territorio comunale in macrozone: l'edificio municipale in oggetto rientra in un'area caratterizzata da limitazione sismica C.

**Storia sismica di Sasso Marconi**

Si fa riferimento a Stucchi et alii. (2007) DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04.

<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/> Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp.38

Il Database Macrosismico Italiano 2004 ha raccolto e organizzato in modo critico i dati macrosismici utilizzati per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04 (2004).

Questi dati provengono da alcuni dataset principali:

I) DOM4.1 (Monachesi e Stucchi, 1997);

II) CFTI versione 2 (Boschi et al., 1997) e, per la finestra temporale 1980-2002, CFTI versione 3 (Boschi et al., 2000);

III) Bollettino Macrosismico ING (BMING);

IV) Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei, Azzaro et al. (2000; 2002).

In aggiunta sono confluiti anche dati provenienti da ricerche storiche e indagini di campo recenti.

Il DBMI04 contiene 58146 osservazioni riferite a 12041 terremoti e 14161 località, 12943 delle quali in Italia. I dati confluiti non erano omogenei quanto a uso della scala macrosismica e soprattutto quanto a riferimento geografico. Una delle principali attività ha riguardato la organizzazione di un riferimento geografico comune, basato sul precedente Catalogo ENEL-ISTAT 1971 delle località abitate italiane (ENEL, 1978), che è stato aggiornato con nuovi dati. Un'altra attività ha riguardato la correzione di errori nella associazione della località alla informazione proveniente dalle fonti. Infine, sono stati risolti alcuni problemi collegati con la classificazione di effetti non espressi in termini di scala macrosismica.

Storia sismica di Sasso Marconi (BO) [44.395, 11.248]

Osservazioni disponibili: 6

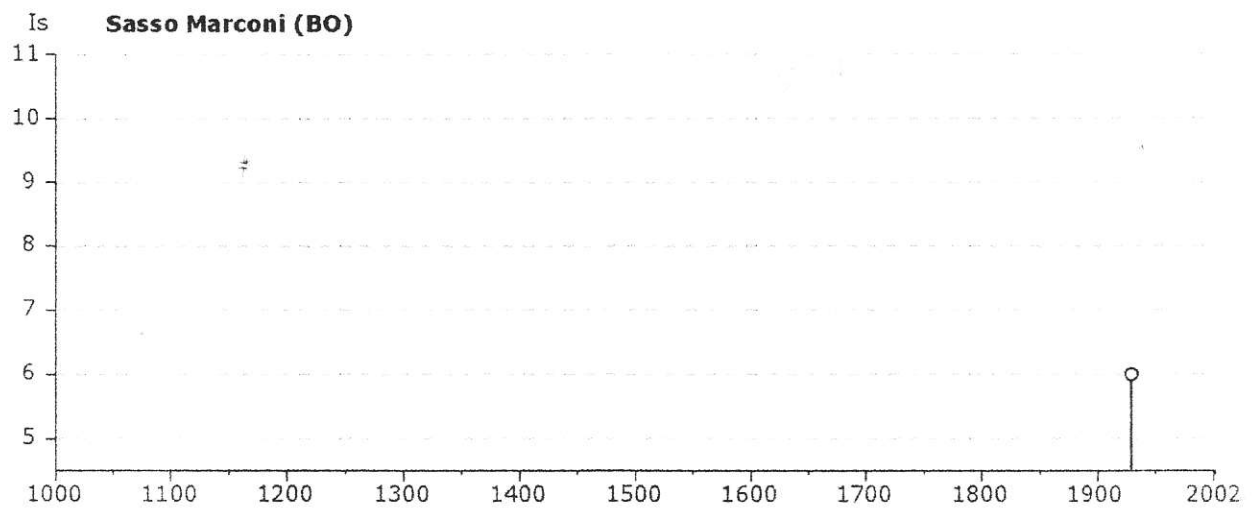
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Io	Mw	Rt	Rt1
6	1929	04	20	01	09	46	Bolognese	7	5.55	CFTI	BOA997
3-4	1957	08	27	11	54		Zocca	6	5.06	DOM	GDTSP
3-4	1987	05	02	20	43	53	Reggiano	6	5.05	DOM	GDTRD
3	1983	11	09	16	29	52	Parmense	6-7	5.10	CFTI	BOA000
2-3	1986	12	06	17	07	19	Bondeno	6	4.56	DOM	GDTRD
NF	1995	08	24	17	27	33	Appennino bolognese	6	4.67	INGVAM	INGVAM

Parametro	Descrizione	Provenienza
NDBMI04	Identificativo del record	
NCPTI04	Identificativo del terremoto	CPTI04 (N)
Anno	Tempo origine: anno	CPTI04 (Anno)
Me	Tempo origine: mese	CPTI04
Gi	Tempo origine: giorno	CPTI04
Or	Tempo origine: ora	CPTI04
Mi	Tempo origine: minuti	CPTI04
Se	Tempo origine: secondi	CPTI04
AE	Denominazione dell'area dei maggiori effetti	CPTI04
Rt	Codice bibliografico dell'elaborato di riferimento (compatto)	CPTI04
Rt1	Codice bibliografico dell'elaborato di riferimento (esplicitato)	
Io	Intensità epicentrale (MCS)	CPTI04
Mw	Magnitudo momento	CPTI04 (Maw)
Is	Intensità al sito (MCS)	



Note:

- NF non avvertito (not felt): in presenza di segnalazione esplicita è equiparabile a  $I = 1$
- i valori di  $I_x$  e  $I_0$ , a differenza di CPTI04, sono qui riportati in originale ovvero non moltiplicati per 10 (es: 6-7 anziché 65, 7 anziché 70);
- per 18 terremoti il valore di  $I_x$  riportato da CPTI04 è leggermente diverso dal valore massimo delle intensità osservate contenute nel database, come conseguenza della revisione dei dataset originali;
- per 46 terremoti  $N_p$  è leggermente diverso da  $N_{p1}$ , come conseguenza della revisione dei dataset originali;
- per i dati provenienti da DOM i parametri  $LocOr$ ,  $LatOr$ ,  $LonOr$  e  $IsOr$  sono quelli contenuti in DOM stesso e non quelli forniti dallo studio originale.



La storia sismica di Sasso Marconi (BO) riporta come intensità massima al sito:  
 $I_{s_{max}} = 6(\text{MCS})$ .

Il grado della scala MCS (Mercalli - Cancani - Sieberg), essendo basato sugli effetti osservabili del terremoto, è valutabile con semplicità ed immediatezza, ma fornisce una stima relativa circa la violenza del terremoto.

La Magnitudo (M) richiede tempi tecnici per la valutazione, ma rappresenta una misura assoluta e confrontabile.

Nonostante la differenza concettuale tra energia erogata ed intensità degli effetti, è ragionevole aspettarsi che, a parità di condizioni, all'aumentare della Magnitudo debba aumentare anche il valore della scala MCS.

Per terremoti superficiali dell'Appennino centrale esiste infatti la seguente relazione empirica tra Magnitudo e scala MCS:

$$M = 0,40 I + 1,69$$

dove

M = magnitudo, a cui fa riferimento la scala Richter

I = intensità massima, a cui fa riferimento la scala MCS - Mercalli Cancani Sieberg

Nel nostro caso  $I_{s_{max}} = 6(\text{MCS})$ :

$$M = 0,40 \cdot 6 + 1,69 = 4,09 \text{ (Richter)}$$

Riassumendo, la storia sismica di Sasso Marconi (BO) riporta come intensità massima al sito:

$I_{s_{max}} = 6(\text{MCS})$  a cui compete Magnitudo  $M = 4,09$  (Richter)



## Liquefazione

La liquefazione del terreno è un fenomeno caratterizzato da un improvviso collasso-cedimento con forte decremento della resistenza al taglio dei terreni e temporaneo aumento delle pressioni interstiziali. Si determina in seguito a sollecitazione sismica e solamente in terreni costituiti da sabbie con poco fine, sciolte, in falda.

Le penetrometrie ed il sondaggio a carotaggio continuo condotti non hanno identificato terreni potenzialmente liquefacibili, ovvero sabbie con poco fine, sciolte, in falda.

Quanto appena asserito concorda con quanto riporta la Relazione Geologica del Quadro Conoscitivo del PSC vigente del Comune di Sasso Marconi, il quale, relativamente alla liquefazione, recita:

*“...Per il fondovalle del F. Reno, la pericolosità sismica si concentra attorno ad una valutazione dell'amplificazione locale (funzione soprattutto dello spessore e delle caratteristiche meccaniche dei sedimenti alluvionali), e sulla questione della possibile liquefazione dei sedimenti in cui può essere incastrata la fondazione di possibili edifici di progetto. Per la questione della liquefazione occorre precisare che tutte le prove di repertorio censite, indicano l'assenza delle condizioni fondamentali perché si verifichi un tale grave inconveniente. Infatti la tessitura dei sedimenti rinvenuti in condizioni di saturazione è sempre tale da non poter produrre fenomeni di liquefazione (che sono poi processi reologici connessi all'aumento della pressione interstiziale).*

*Non si hanno a Sasso Marconi registrazioni storiche di questi processi. La presenza di sabbie è sempre accompagnata o da ciottoli e limi, o da un fuso granulometrico (variazione del diametro dei granuli) così disperso da offrire buone garanzie. Inoltre lo stesso esiguo spessore degli strati sabbiosi, per lo più associati a ghiaie, offre margini di sicurezza considerevole.*

*In sostanza la ricerca delle condizioni di suscettibilità alla liquefazione dei sedimenti, da effettuarsi in fase di POC per i nuovi insediamenti, dovrà essere eseguita solamente dopo aver analizzato con cura la successione alluvionale e verificato che le sabbie sature, eventualmente presenti con potenze significative (maggiori di 60 centimetri), non ricadano nelle condizioni richiamate nelle recentissime “Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni”.*

Si fa riferimento alle:

"Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008

7.11.3.4 Stabilità nei confronti della liquefazione

7.11.3.4.1 Generalità

*Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.*

*Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.*

*In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.*

7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

*La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:*

- 1. eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;*
- 2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;*
- 3. profondità media stagionale della falda superiore a 15m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
- 4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa;*



5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

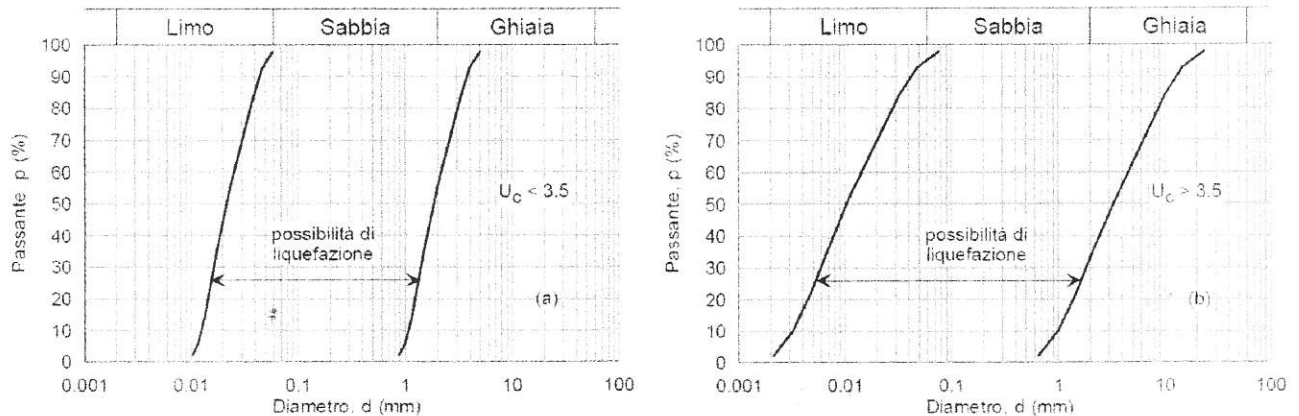


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Quando le condizioni 1 e 2 non risultino soddisfatte, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 3, 4 e 5.

Facendo riferimento al suddetto paragrafo 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione - punto 1 ("Norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008), nel quale si dice che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5, nel caso in esame la storia sismica di Sasso Marconi (BO) riporta come intensità massima al sito Magnitudo  $M = 4.49$  (Richter).

Da ciò si evince che l'intensità massima prevista al sito non è sufficientemente elevata da produrre liquefazione delle sabbie con poco fine, sciolte, in falda, che peraltro non sono state identificate dalle indagini in sito condotte.

Tale evidenza depone a sfavore della liquefazione, considerando quanto viene riportato dalle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008 al paragrafo

#### 7.11.3.4.3 Metodologie di analisi

Quando nessuna delle condizioni del § 7.11.3.4.2 risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Parimenti si esprime la Delibera regionale progr. n.112 del 2 maggio 2007 della Regione Emilia Romagna nell'allegato A3 paragrafo 1 punto 1 a pag.29:

#### 1. CASI IN CUI SI PUÒ ESCLUDERE CHE SI VERIFICHINO FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

La probabilità che nei terreni sabbiosi saturi si verifichino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla se si verifica almeno una delle seguenti condizioni<sup>15</sup>:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
2. ....

<sup>15</sup> Vedi anche Linee Guida AGI, 2005

Da cui si evince che sono suscettibili alla liquefazione strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, cioè un contesto litostratigrafico non riscontrato nel sito in oggetto.

 **$V_{s,30}$  e caratterizzazione dei sottosuoli**

In base al capitolo 3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE delle Norme Tecniche per le Costruzioni - Decreto Ministeriale 14/01/2008, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3.

In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

**Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

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

Per le cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definite al § 3.2.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni - Decreto Ministeriale 14/01/2008.

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo<sup>1</sup>, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità.

<sup>1</sup> Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso.

Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica



dinamica (Standard Penetration Test)  $N_{SPT,30}$  (definito successivamente) nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente  $c_{u,30}$  (definita successivamente) nei terreni prevalentemente a grana fina.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definite al § 3.2.3 delle NTC.

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 di seguito indicate (Tab.3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

**Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.**

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

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,30}$  è definita dall'espressione

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [\text{m/s}].$$

La resistenza penetrometrica dinamica equivalente  $N_{SPT,30}$  è definita dall'espressione

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}.$$

La resistenza non drenata equivalente  $c_{u,30}$  è definita dall'espressione

$$c_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{c_{u,i}}}.$$

Nelle precedenti espressioni si indica con:

- $h_i$  spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30m di profondità;
- $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- $N_{SPT,i}$  numero di colpi  $N_{SPT}$  nell'i-esimo strato;
- $c_{u,i}$  resistenza non drenata nell'i-esimo strato;
- N numero di strati compresi nei primi 30m di profondità;
- M numero di strati di terreni a grana grossa compresi nei primi 30m di profondità;
- K numero di strati di terreni a grana fina compresi nei primi 30m di profondità.



Nel caso di sottosuoli costituiti da stratificazioni di terreni a grana grossa e a grana fina, distribuite con spessori confrontabili nei primi 30m di profondità, ricadenti nelle categorie da A ad E, quando non si disponga di misure dirette della velocità delle onde di taglio si può procedere come segue:

- determinare  $N_{SPT,i}$  limitatamente agli strati di terreno a grana grossa compresi entro i primi 30m di profondità;
- determinare  $c_{u,i}$  limitatamente agli strati di terreno a grana fina compresi entro i primi 30m di profondità;
- individuare le categorie corrispondenti singolarmente ai parametri  $N_{SPT,i}$  e  $c_{u,i}$ ;
- riferire il sottosuolo alla categoria peggiore tra quelle individuate al punto precedente.

Nel sito in oggetto le indagini geognostiche (geotecniche) hanno raggiunto la profondità di 15m dal piano campagna, cioè non hanno raggiunto 30m di profondità dal piano di fondazione a causa dei considerevoli costi che si sarebbero dovuti sostenere. Tuttavia hanno raggiunto e caratterizzato il substrato per 2.4m.

Si è allora ricorsi ad un'indagine geofisica mediante tecnica MASW attiva (Multichannel Analysis of Surface Waves), eseguita dalla ditta IGB s.n.c. il 24/09/2008 al fine di ottenere la classificazione del tipo di sottosuolo sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio verticali ( $V_s$ ) entro i primi 30m di profondità, in ottemperanza a quanto riportato nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" (pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento ordinario n. 30).

Lo scrivente ha fornito alla IGB s.n.c. la pianta del Municipio, le tabelle ed i grafici penetrometrici, la stratigrafia del sondaggio e le sezioni geotecniche litostratigrafiche di fig. 6-7 utili per la taratura dell'indagine geofisica.

La descrizione della metodologia della MASW attiva ed il rapporto dei dati sperimentali e dei risultati dell'analisi prodotti dalla IGB s.n.c. sono riportati in allegato.

Di seguito si riporta un estratto relativo alle conclusioni:

*"... la media ponderata dei valori di velocità delle onde S ( $V_{S30}$ ), nei primi 30 m di profondità dal piano campagna, risultata pari a **489 m/s**, colloca il sottosuolo in classe **B**.*

*Considerando invece la media ponderata dei valori di velocità delle onde S ( $V_{S30}$ ), nei primi 30 m di profondità a partire dal piano di fondazione (- 5.00 m da p.c. attuale) dell'edificio oggetto d'intervento, essa risulta pari a **573 m/s**, e colloca il sottosuolo ancora in classe **B**.*

*Il valore di  $V_{S30}$  comunque ottenuto è da riferirsi alla verticale di terreno posta in corrispondenza del punto mediano dell'allineamento sismico effettuato....*

***Vs30 [m/s] nei primi 30m dal piano campagna.....489***  
***Vs30 [m/s] nei primi 30m dal piano di fondazione (- 5.00m da p.c. attuale).....573***

*Questo sito è classificabile secondo una delle classi A, B, C, D, E o S1 (terreno alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).*

*Questo sito non è suscettibile alla liquefazione e non è caratterizzato da argille sensitive.*

***Categoria di suolo.....B"***

**Amplificazione stratigrafica**

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo **B, C, D** ed **E** i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $F_o$  e  $T^*_C$  relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V seguente, nelle quali:

- $g$  = accelerazione di gravità;
- il tempo è espresso in secondi;
- $a_g$  = 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.

In allegato alle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T^*_C$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Tabella 3.2.V – *Espressioni di  $S_s$  e  $C_c$* 

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*_C)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*_C)^{-0,35}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^*_C)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T^*_C)^{-0,40}$

**Condizioni topografiche**

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.IV):

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

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



In base alla morfologia della zona ed alla pendenza media ( $\beta = 1.9^\circ = 3.4\%$ ) del territorio circostante, il sito in oggetto rientra nella categoria T1.

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30m.

### Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab. 3.2.VI, in funzione delle categorie topografiche definite in § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

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

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove  $S_T$  assume valore unitario.

### Determinazione dei parametri sismici

Tipo di costruzione: 3 Vita nominale dell'opera  $V_N \geq 100$ anni

Classe d'uso dell'edificio: IV – Funzioni pubbliche e strategiche importanti anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità.

Coefficiente d'uso  $C_u = 2.0$

Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R = V_N \cdot C_u$

Di seguito verranno calcolati i parametri sismici ipotizzando vita nominale dell'opera:

$V_N = 100$ anni e  $V_N = 250$ anni

Latitudine 44.3943

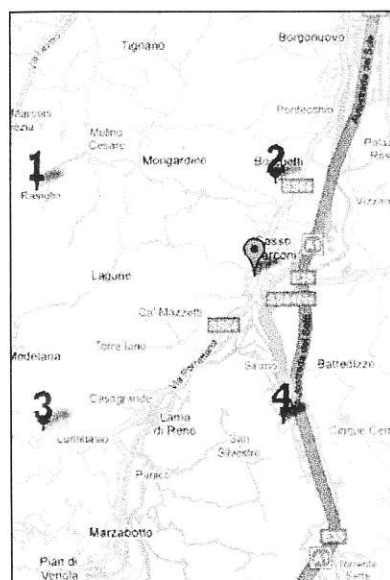
Longitudine 11.2448



Sito in oggetto



Vertici della maglia di appartenenza

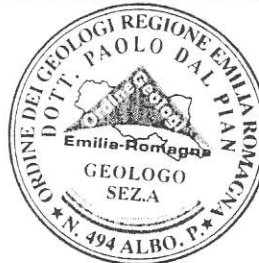




Vita nominale 100 anni				
Stato Limite	Tr anni	$a_g$ g	Fo	$T_c^*$ s
Operatività (SLO)	120	0,100	2,490	0,284
Danno (SLD)	201	0,121	2,490	0,288
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0,249	2,524	0,315
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,268	2,539	0,318
Periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R$ :	200			

Vita nominale 250 anni				
Stato Limite	Tr anni	$a_g$ g	Fo	$T_c^*$ s
Operatività (SLO)	301	0,140	2,483	0,291
Danno (SLD)	503	0,168	2,477	0,296
Salvaguardia vita (SLV)	2475	0,268	2,539	0,318
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,268	2,539	0,318
Periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R$ :	500			

Sasso Marconi (BO), 29/05/2009



dr. geol. Paolo Dal Pian



# ALLEGATI



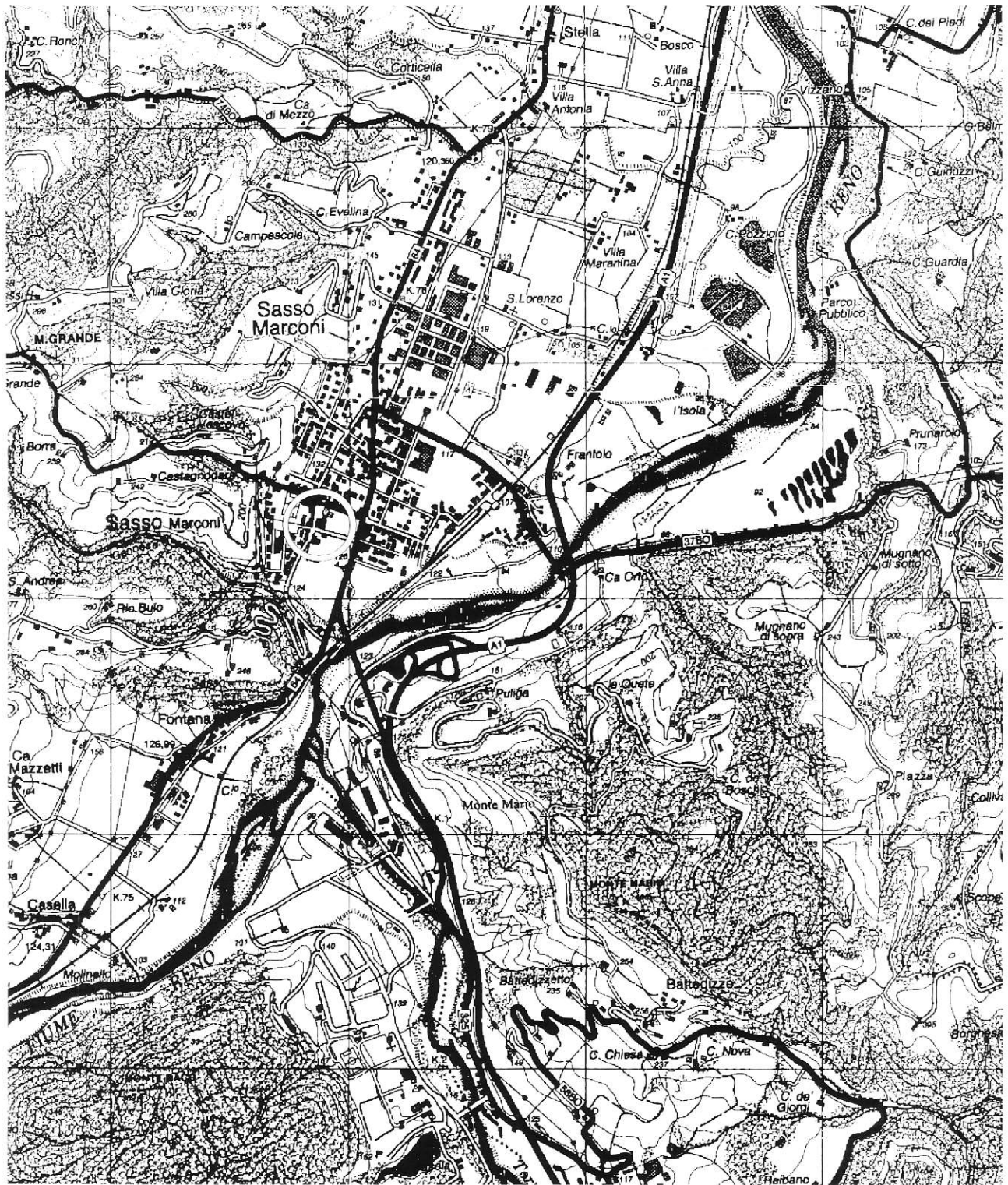
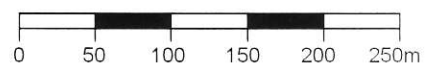


Fig.1 ESTRATTO CARTA TECNICA REGIONALE

scala 1:25.000



Ubicazione del sito



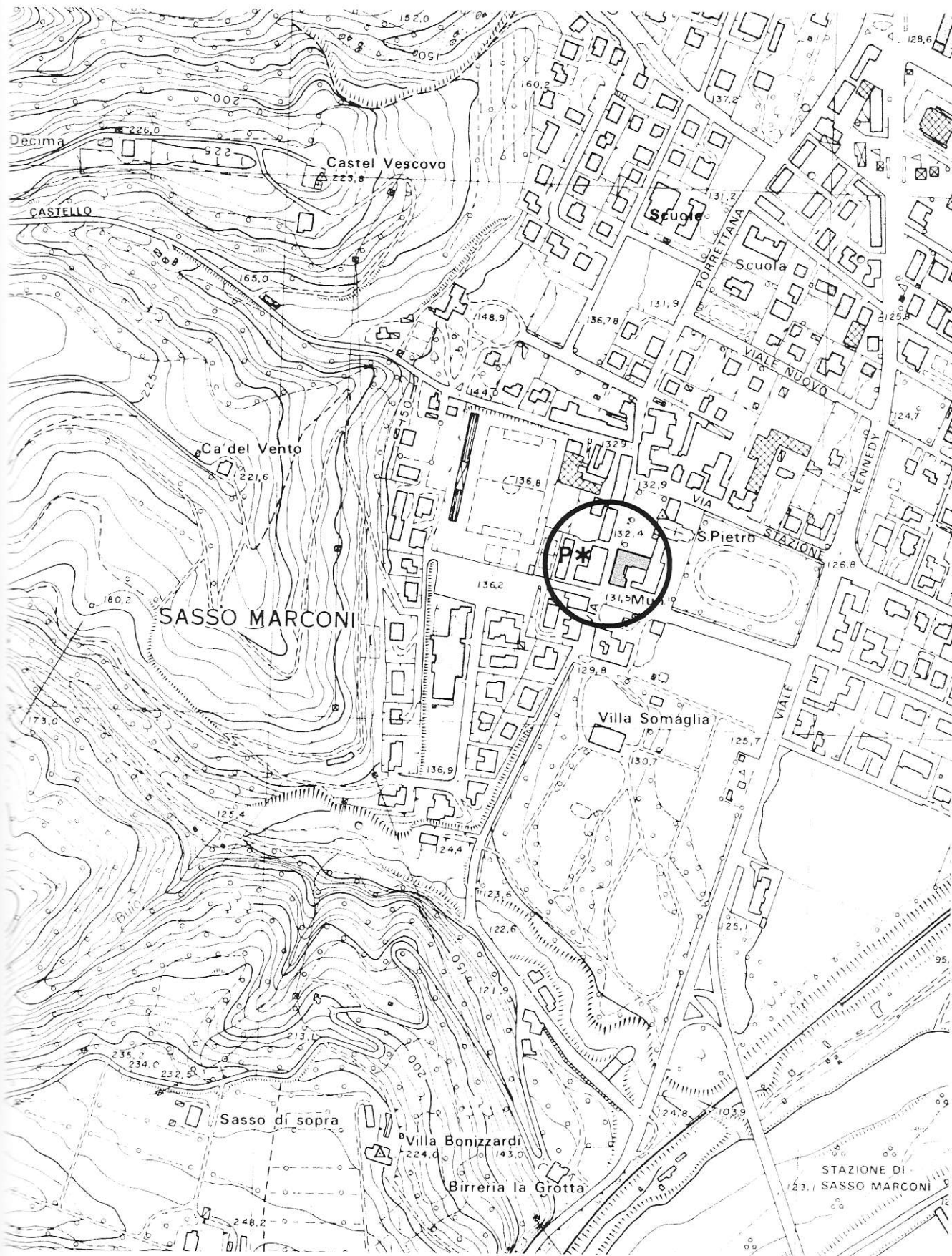


Fig.2 ESTRATTO CARTA TECNICA REGIONALE

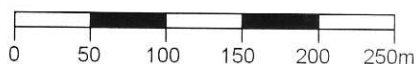
scala 1:5.000

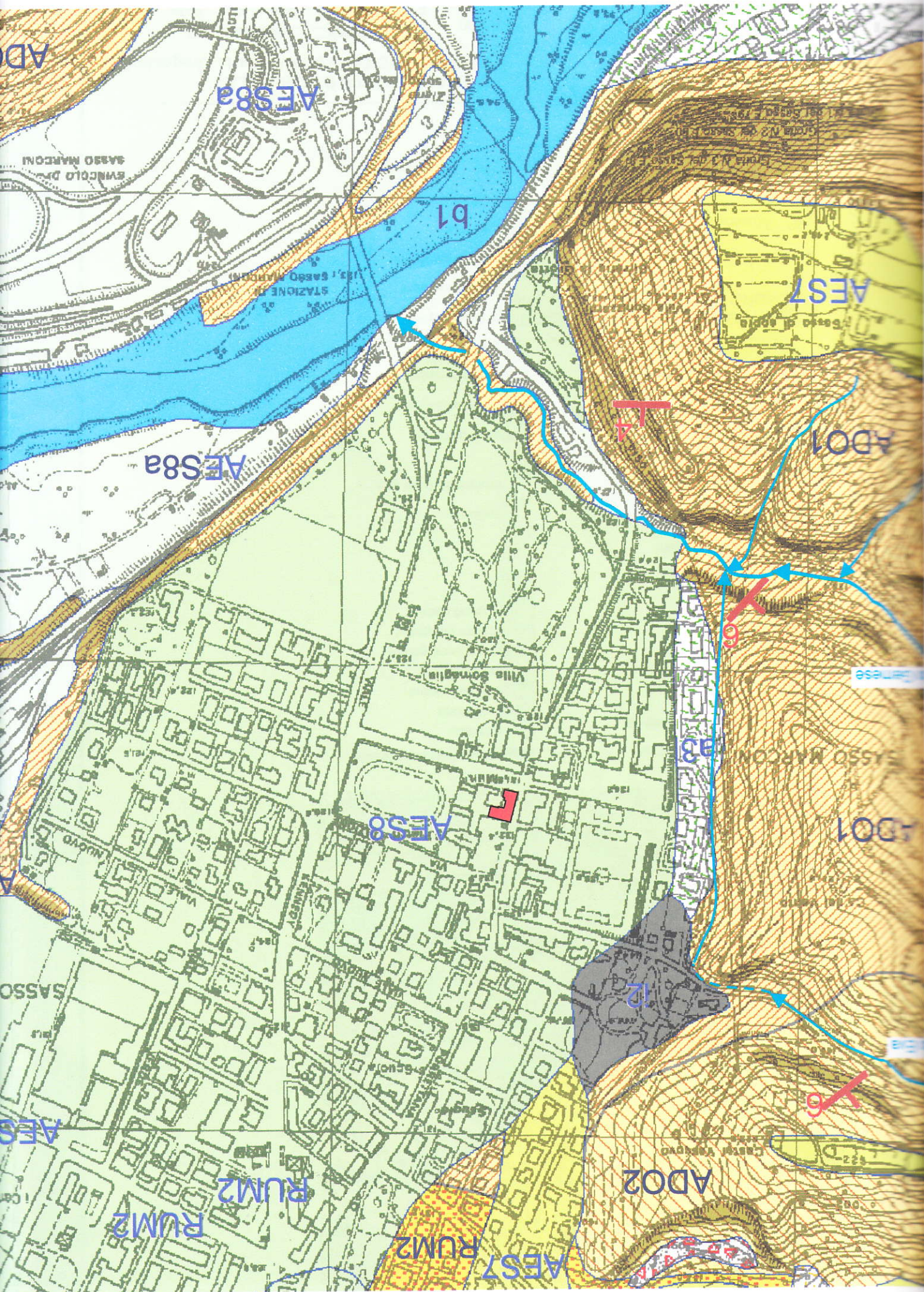
N



Municipio

P\* Pozzo Farmacia dei Sani







DEPOSITI QUATERNARI CONTINENTALI

a3 - Deposito di versante s.l. Deposito costituito da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici. La genesi può essere dubitativamente gravitativa, da ruscellamento superficiale e/o da soffiasso.



b1 - Deposito alluvionale in evoluzione Ghiaie, talora embricate, sabbie e limi argillosi di origine fluviale, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale.



i2 - Conoidi torrenziali inattiva Depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, in corrispondenza dello sbocco di valli e valliicole trasversali ai corsi d'acqua, attualmente non soggetti ad evoluzione.



SUCCESSIONE NEOGENICO - QUATERNARIA DEL MARGINE APPENNINICO PADANO

AEs8 - Subintema di Ravenna Nei settori intravallivi ghiaie passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille. Limite superiore dato da suoli contenenti frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Limite inferiore erosivo sui depositi marini e alluvionali sottostanti.

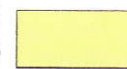


AEs8a - Unità di Modena Nei settori intravallivi ghiaie prevalenti organizzate in 2 ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille. Limite superiore sempre affiorante dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro privo di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive.



Età post-romana (IV-VI sec. d.C. - Attuale; datazione archeologica).

AEs7 - Subintema di Villa Verucchio Ghiaie sovrastate da limi più o meno sabbiosi, organizzate in alcuni ordini di terrazzi intravallivi. Limite inferiore erosivo e discordante sui sottostanti depositi marini.



Pleistocene sup. (per posizione stratigrafica).

AD02 - Formazione di Monte Adone - membro delle Ganzole Areniti fini e subordinate peliti sabbiose bioturbate in strati da medi a molto spessi; geometria tabulare, cuneiforme e concava. Talora presenti livelli di peliti grigio scure. Macrofossili concentrati in letti. Potenza massima di circa 650m.



Pliocene medio e sup. - Pleistocene inf.?

AD01 - Formazione di Monte Adone - Membro di Monte Mario Areniti e subordinati conglomerati in strati da medi a molto spessi con stratificazione tabulare, obliqua a grande scala e localmente cuneiforme. Potenza da poche decine di metri a circa 350 m.



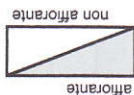
Pliocene medio e sup. - Pleistocene inf.?

RUM2 - Formazione di Monterumici - membro di Cà di Mazza Argille, spesso sabbiose, sabbie e arenarie in strati da sottili a molto spessi, di colore grigio, giallastre se alterate; sono presenti livelli a macrofossili (Gasteropodi e Lamellibranchi) addensati. Intercalazioni di ghiaie e conglomerati in strati spessi e molto spessi a geometria tabulare e lenticolare. Nelle peliti possono localmente essere presenti livelli di gesso selenitico. Potenza fino a 300 m.

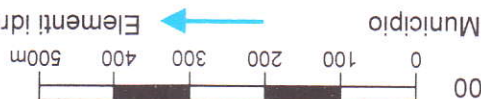


Pliocene inf.

Giacitura degli strati.



Rappresentazione cartografica delle unità.

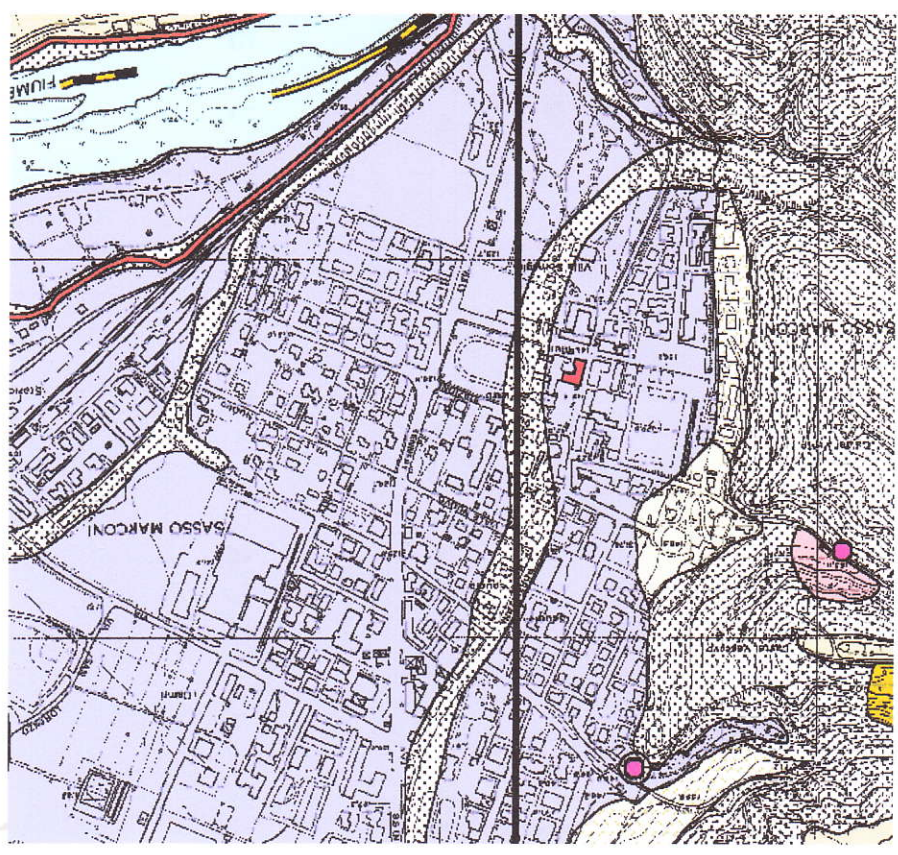


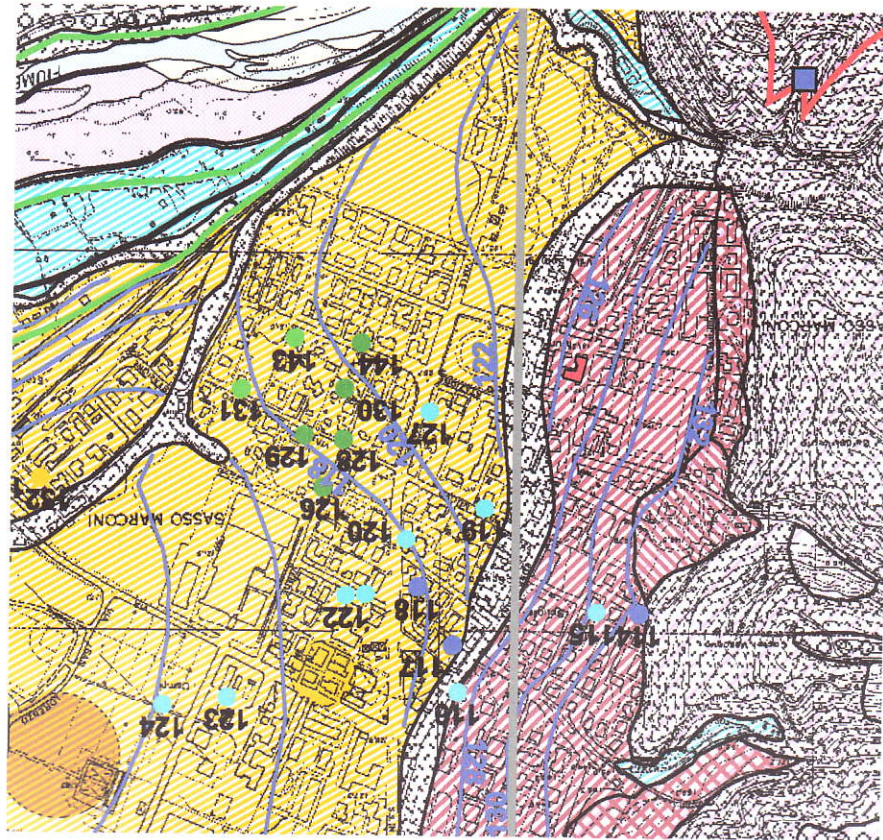
**Fig.4 PIANO STRUTTURALE COMUNALE**  
**QUADRO CONOSCITIVO QCGI.1 TAV.1 Dissesti di versante**

Scala 1:10.000

Municipio

- |                          |                                 |
|--------------------------|---------------------------------|
|                          | Edifici e manufatti vari        |
|                          | Strade e infrastrutture lineari |
|                          | Bersagli vari                   |
| <b>Archivio bersagli</b> |                                 |
|                          | Dissesti superficiali diffusi   |
|                          | Non determinata                 |
|                          | Molto bassa                     |
|                          | Bassa                           |
|                          | Media                           |
|                          | Alta                            |
|                          | Elevata                         |
|                          | Estremamente elevata            |
|                          | Fascia bicontenaria             |
|                          | Frana a geometria ignota        |
|                          | Erosione piena ordinata         |
|                          | Erosione spondale               |
- 
- |  |                      |
|--|----------------------|
|  | Alveo piena ordinata |
|  | Terrazzi alluvionali |
|  | Conoidi alluvionali  |
|  | Terrazzi pensili     |
|  | Depositi versante    |
|  | Scarpare             |
|  | Fascia bicontenaria  |
- Subsistemi morfologici di Fondovalle**
- Pericolosità dissesti versante**





- Sorgenti e zone di tutela**
- Zone protezione (DL 152/99)
  - Zone di rispetto (PTCP art. 5.3)
  - Fasce tutela fiumi (PTCP)
  - Fasce pertinenza fiumi (PTCP)
  - Sorgenti non potabili (numero)
  - Sorgenti potabili ed incerte (numero)

- Subsistemi idrogeologici di Fondovalle**
- Alveo morbida
  - Piene ordinarie
  - Barra vegetata
  - Barra non vegetata
  - Alluvioni connesse
  - Conoidi connesse
  - Alluvioni indirettamente connesse
  - Conoidi indirettamente connesi
  - Alluvioni non connesse
  - Conoidi alluvionali
  - Terrazzi pensili
  - Depositi piede versante
  - Scarpate

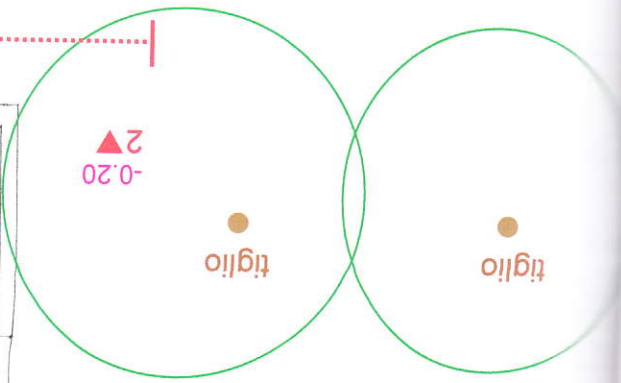
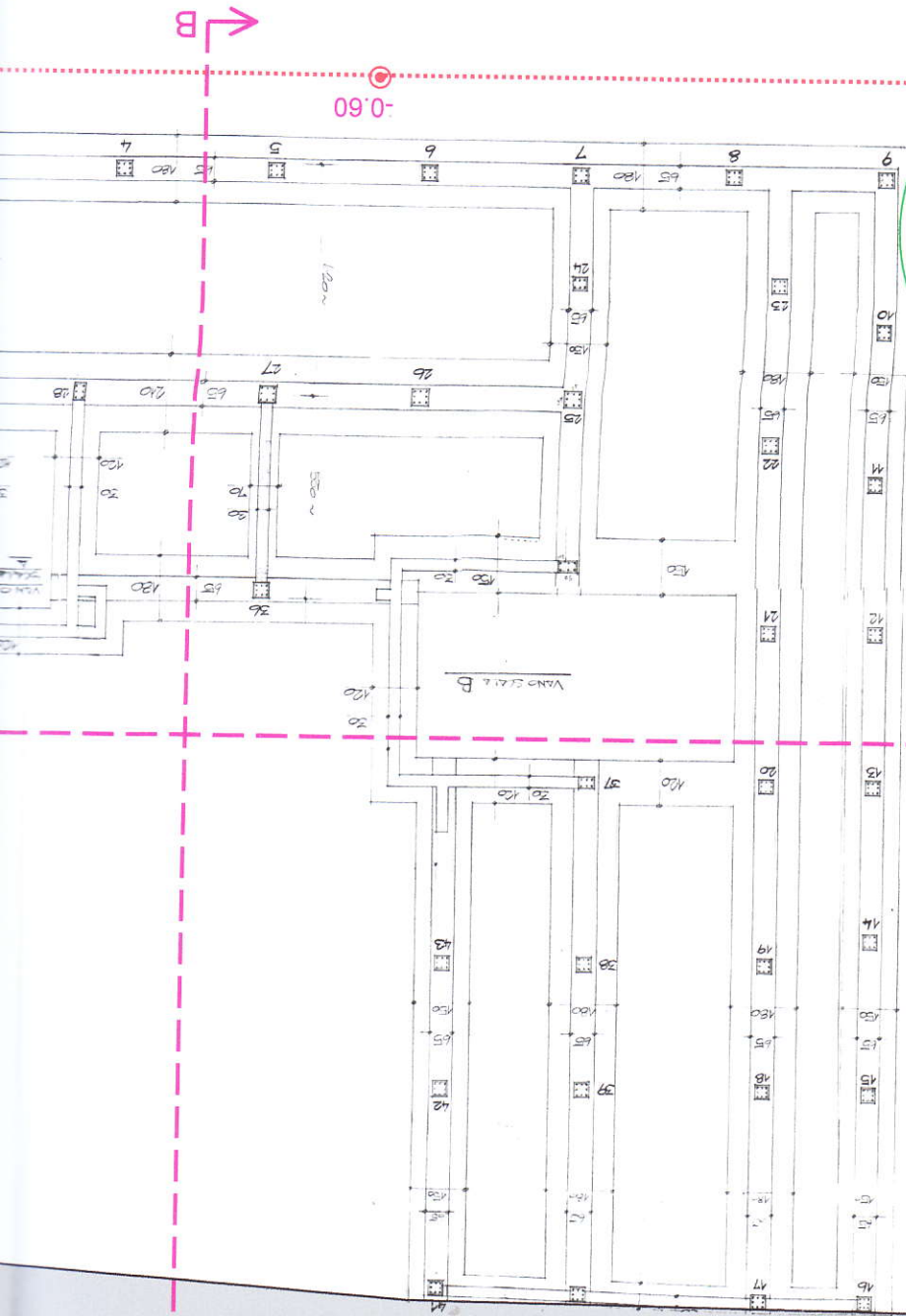
- Pozzi freschi (num.) e limiti ingegneristici**
- Non determinato
  - Problemi strutturali
  - Scostigliati vani interati
  - Problemi interati
  - Problemi sottopassi, gallerie
  - Problemi scavi impegnativi
  - Problemi grandi opere

- Idrogeologia fondovalle**
- isopiezometriche (metri slm)
  - Centri di pericolo idrogeologici
  - Espandimento liquami
  - Allevamento equino
  - Depuratori
  - Stoccaggio sale
  - Distributori carburanti
  - Stoccaggio idrocarburi
  - Ind. cromature
  - Ind. chimica
  - Cimiteri

Fig.4bis PIANO STRUTTURALE COMUNALE  
 QUADRO CONOSCITIVO QCGI.2 TAV.1 Carta idrogeologica  
 Scala 1:10.000  
 Municipio

V I A P O R R E T T A N A

P I A Z Z A  
M A R T I R I  
D E L L A  
I B E R A Z I O N E



▲ 0.00

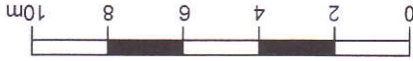
▲ -0.20

-0.60

P\*

Fig.5 PIANTA DI PROGETTO DELLE FONDAZIONI DEL MUNICIPIO

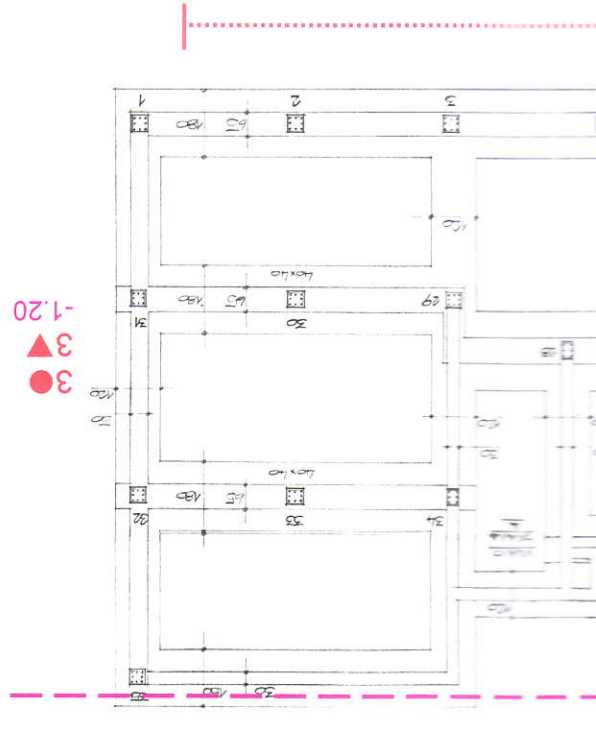
Scala 1:200  
 Quota piano campagna dal piano terra = 0.00 del Municipio



- 1▲ Penetrometria statica meccanica e piezometro CPT3.
- 3● Sondaggio a carotaggio continuo e piezometro S.3.
- P\* Pozzo "Farmacia dei sani"
- Punto mediano dello stendimento in corrispondenza del quale è riferito il valore di VS30 ottenuto dalla prova MASW.

Traccia sezione geofisica MASW

Sezione geotecnica litostratigrafica A-A



V I A D E L M E R C A T O





Fig.6 SEZIONE GEOTECNICA LITOSTRATIGRAFICA A-A

scala 1:100

Penetrometria statica meccanica e piezometro CPT2



Grafico penetrometrico CPT (qc - profondità)

Sondaggio a carotaggio continuo S.3



Numero dei colpi della Standard Penetration Test

Peso di volume naturale caratteristico

$\gamma_{nat\ k}$

Peso di volume saturo caratteristico

$\gamma_{sat\ k}$

Coesione non drenata caratteristica

$c_{uk}$

Angolo di attrito interno caratteristico

$\phi_k$

Densità relativa caratteristica

$D_r_k$

Modulo edometrico caratteristico

$E_k$

Piano di fondazione esistente



Superficie freatica e



livello piezometrico



alla minima soggiacenza rilevata nel periodo monitorato

(11/09/2008 - 16/04/2009)

Piezometro a tubo aperto



a mediamente addensati, con macerie.

alternanze di sabbie limose, sabbie argillose limose, da sciolti

in lastriato di arenaria con sottotondo sabbioso, passante ad

Riparto: pavimentazione in asfalto o in ciottolato cementato o

Limite argillose sabbiosi, mediamente addensati, con rare

sabbie argillose limose, mediamente addensate, da dotati di

umidità naturale ad umidi.

Limite argillose limose, sabbie limose, mediamente

addensate, da dotati di umidità naturale ad umidi. Presenti

rare lenti sottili di limi argilloso sabbiosi, mediamente

addensati, dotati di umidità naturale e rarissime sabbie

limose e sabbie, sciolte, da umide a molto umide.

Ghiaie debolmente ciottolose, ben assortite, arrotondate, da

mediamente addensate a molto addensate, in matrice

sabbiosa, di colore bruno chiaro. Dotate di umidità naturale

fino a 11,4m (rif. S.3), poi umide. Da 11,55m (rif. S.3) sature

(in falda).

Ciottoli con ghiaia, arrotondati, in matrice sabbiosa, molto

addensati, saturi (in falda - rif. S.3).

SUBSTRATO:

FORMAZ. DI MONTE ADONE - MEMBRO DI MONTE MARIO - ADO1

Sabbie limose, talora limi sabbiosi, molto addensati,

semilapidati, di colore grigio chiaro, dotati di umidità naturale.

Presenti rari cogoli, Ø2+3cm, arenacei a grana media,

debolmente cementati, di colore bruno grigiastro.

Rari livelli di:

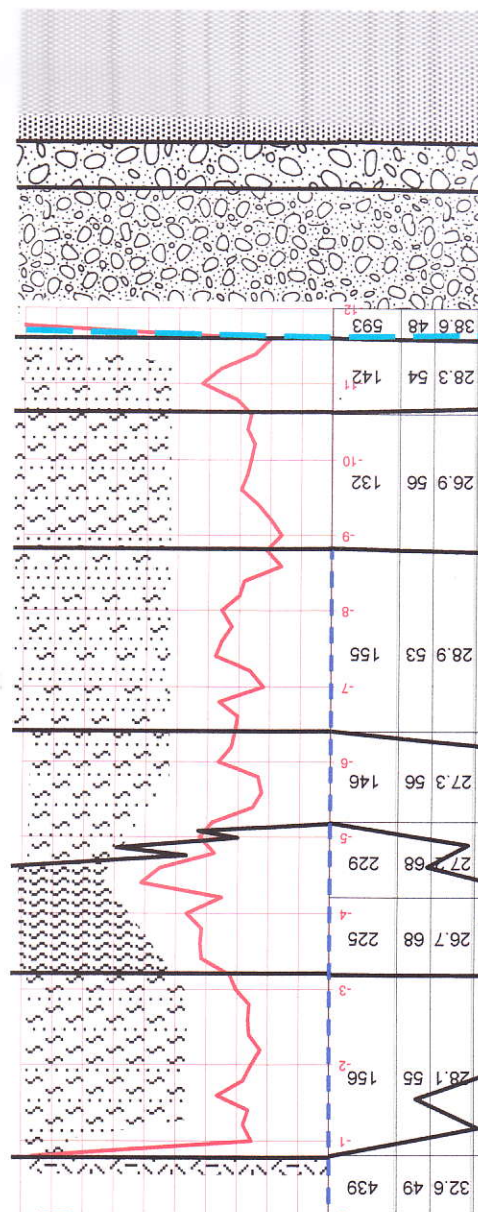
sabbie medie, ben perme, molto addensate, di colore bruno,

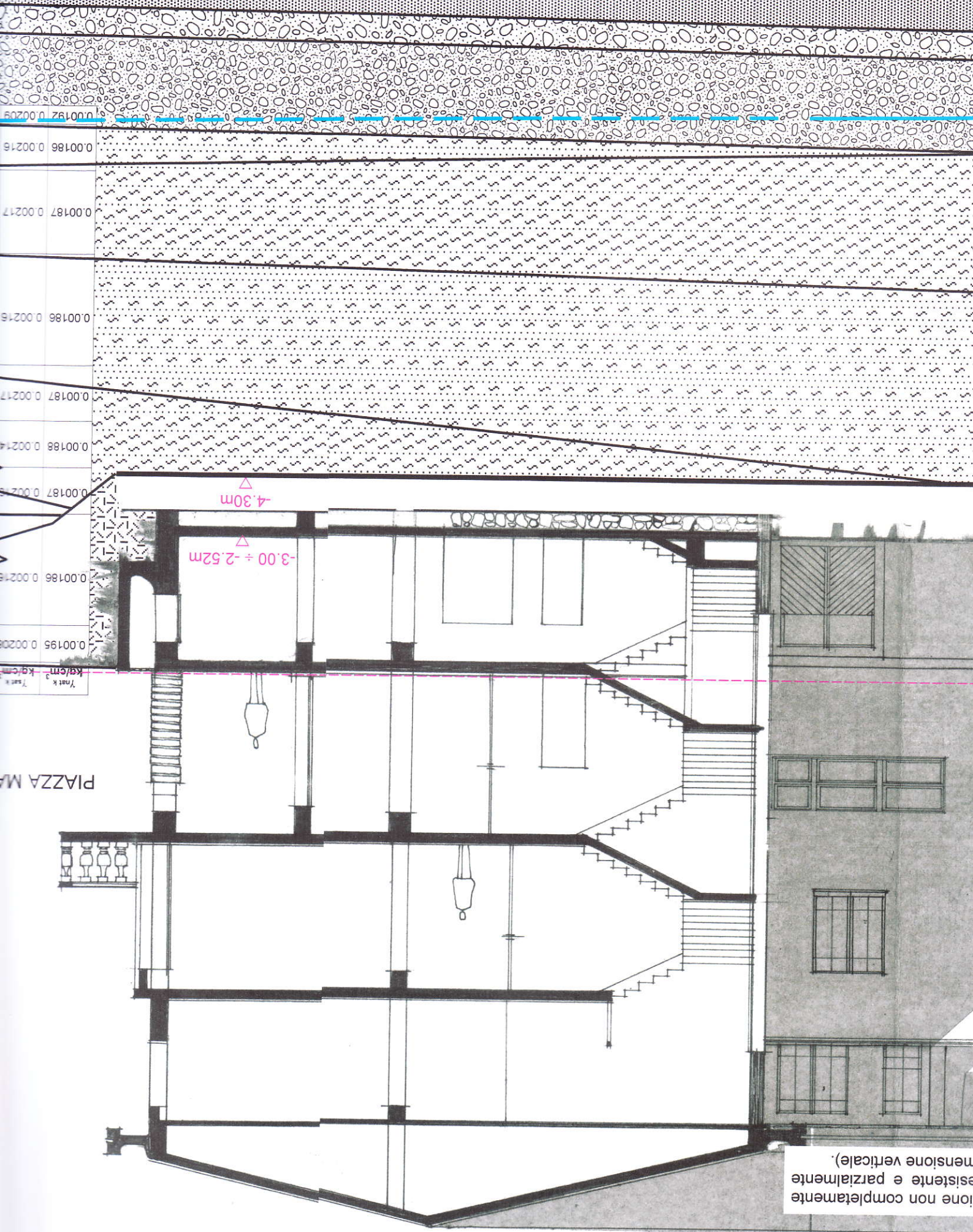
sabbie medio-fini limose, muscovitiche, molto addensate, di

colore grigio con scarsezze arenastre.

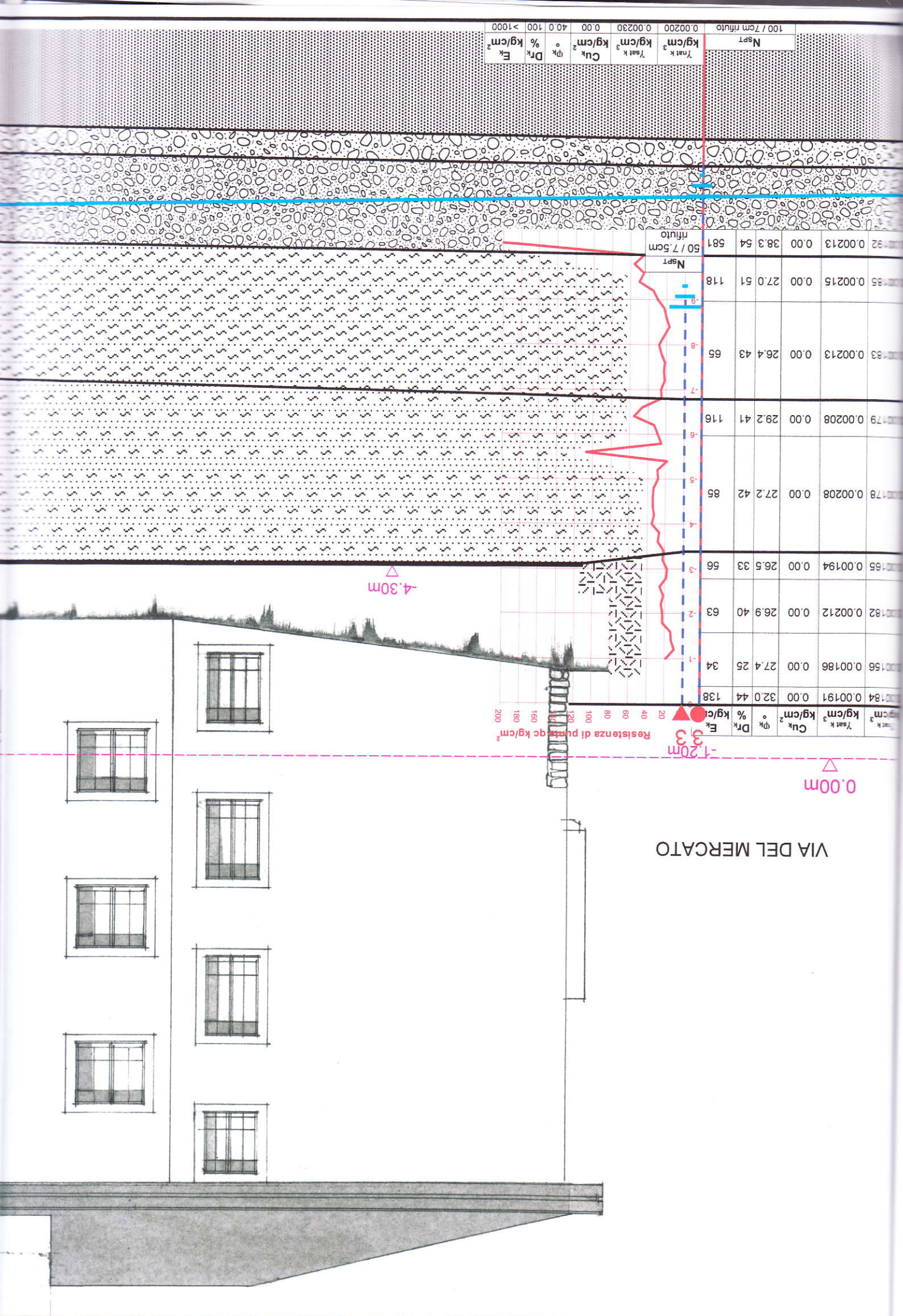


RI DELLA LIBERAZIONE  
 -0.20m  
 Resistenza di punta qc kg/cm<sup>2</sup>  
 0.00m





ione non completamente  
sistente e parzialmente  
ensione verticale).



Profondità (m)	N <sub>spt</sub>	γ <sub>sat</sub> (kg/cm <sup>3</sup> )	C <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	φ <sub>k</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	E <sub>s</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00 - 0.50	581	38.3	54	0.00	0.00213	0.00
0.50 - 1.00	118	27.0	51	0.00	0.00215	0.00
1.00 - 1.50	65	26.4	43	0.00	0.00213	0.00
1.50 - 2.00	116	29.2	41	0.00	0.00208	0.00
2.00 - 2.50	85	27.2	42	0.00	0.00208	0.00
2.50 - 3.00	56	26.5	33	0.00	0.00194	0.00
3.00 - 3.50	63	26.9	40	0.00	0.00212	0.00
3.50 - 4.00	34	27.4	25	0.00	0.00186	0.00
4.00 - 4.50	138	32.0	44	0.00	0.00191	0.00

VIA DEL MERCATO

0.00m

-1.20m

-4.30m

Resistenza di punta qc kg/cm<sup>2</sup>

200  
180  
160  
140  
120  
100  
80  
60  
40  
20

Fig.7 SEZIONE GEOTECNICA LITOSTRATIGRAFICA B-B

scala 1:100

Penetrometria statica meccanica e piezometro CPT1.

Grafico penetrometrico CPT (qc – profondità)

Peso di volume naturale caratteristico  $\gamma_{nat\ k}$

Peso di volume saturo caratteristico  $\gamma_{sat\ k}$

Coessione non drenata caratteristica  $Cu_k$

Angolo di attrito interno caratteristico  $\phi_k$

Densità relativa caratteristica  $Dr_k$

Modulo edometrico caratteristico  $E_k$

Piano di fondazione esistente

Superficie freatica e

livello piezometrico

alla minima soggiacenza rilevata nel periodo monitorato

(11/09/2008 – 16/04/2009)

Piezometro a tubo aperto

Riparto: pavimentazione in asfalto o in ciottolato cementato o in lasticato di arenaria con sottofondo sabbioso, passante ad alternanze di sabbie limose, sabbie argillose limose, da sciolti a mediamente addensati, con macerie;

DEPOSITO ALLUVIONALE TERRAZZATO

Limite argilloso sabbiosi, mediamente addensati, con rare sabbie argillose limose, mediamente addensate, da dotati di umidità naturale ad umidi.

Limite argilloso sabbiosi, addensati (sovraconsolidati dalla suzione del tiglio), dotati di umidità naturale.

Sabbie argillose limose, sabbie limose, mediamente addensate, da dotati di umidità naturale ad umidi. Presenti rare lenti sottili di limi argilloso sabbiosi, mediamente addensati, dotati di umidità naturale e rarissime sabbie limose e sabbie, sciolte, da umide a molto umide.

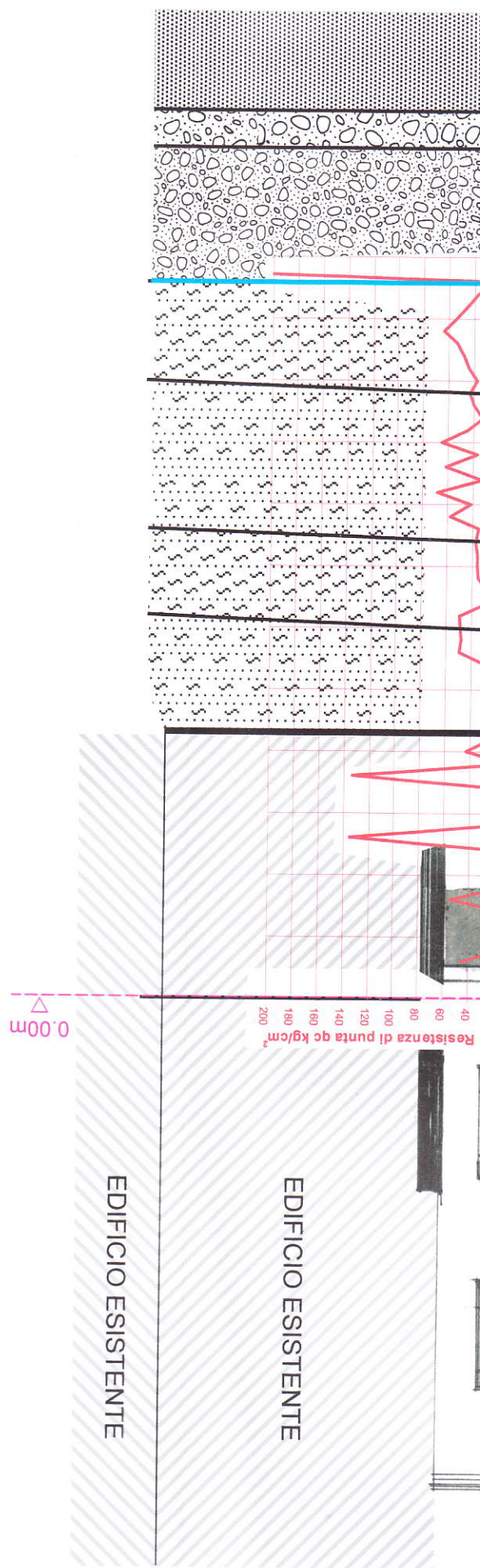
Ghiaie debolmente ciottolose, ben assortite, arrotondate, da mediamente addensate a molto addensate, in matrice sabbiosa, di colore bruno chiaro. Dotate di umidità naturale fino a 11,4m (rif. S.3), poi umide. Da 11,55m (rif. S.3) sature (in falda).

Ciottoli con ghiaia, arrotondati, in matrice sabbiosa, molto addensati, saturi (in falda - rif. S.3).

SUBSTRATO:

FORMAZ. DI MONTE ADONE – MEMBRO DI MONTE MARIO – ADO1

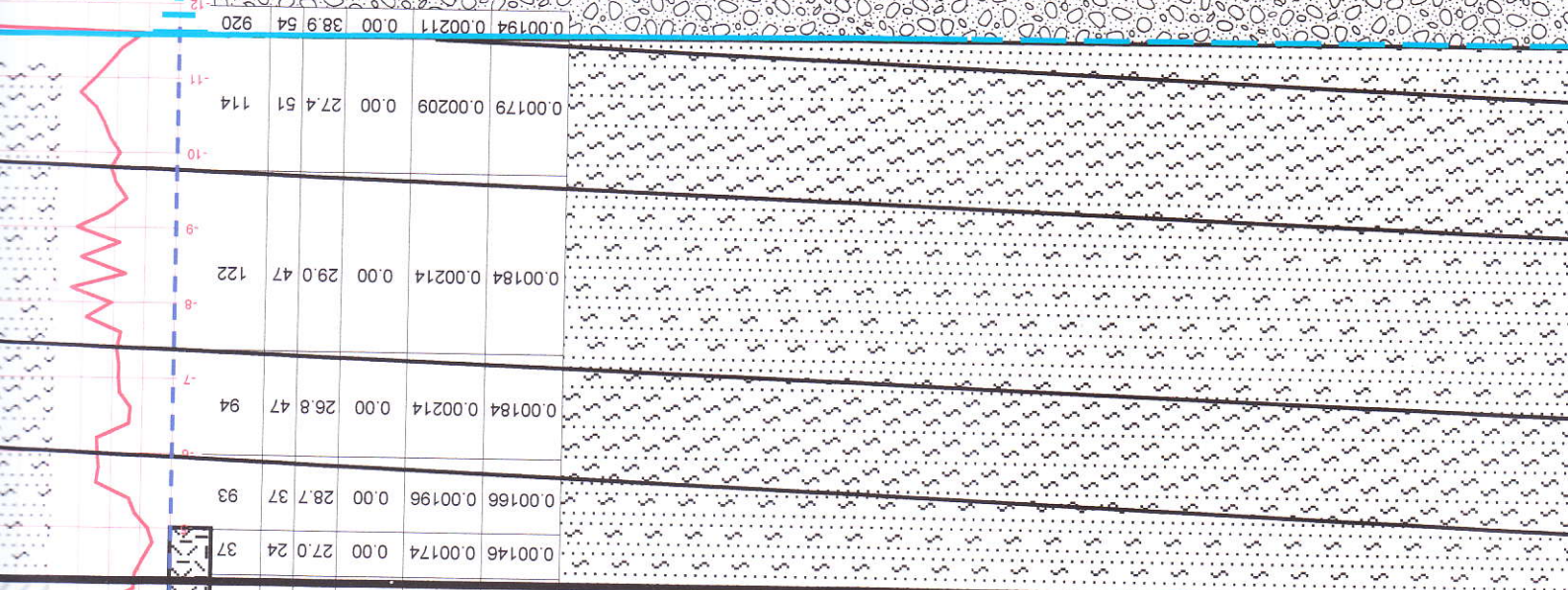
Sabbie limose, talora limi sabbiosi, molto addensati, semilapidei, di colore grigio chiaro, dotati di umidità naturale. Presenti rari cogoli,  $\varnothing 2+3cm$ , arenacei a grana media, debolmente cementati, di colore bruno grigiastro. Rari livelli di: sabbie medie, ben cernite, molto addensate, di colore bruno; sabbie medio-fini limose, muscovitiche, molto addensate, di colore grigio con screziature nerastre.



Prospetto-sezione non completamente conforme all'esistente e parzialmente fuori scala (dimensione verticale).

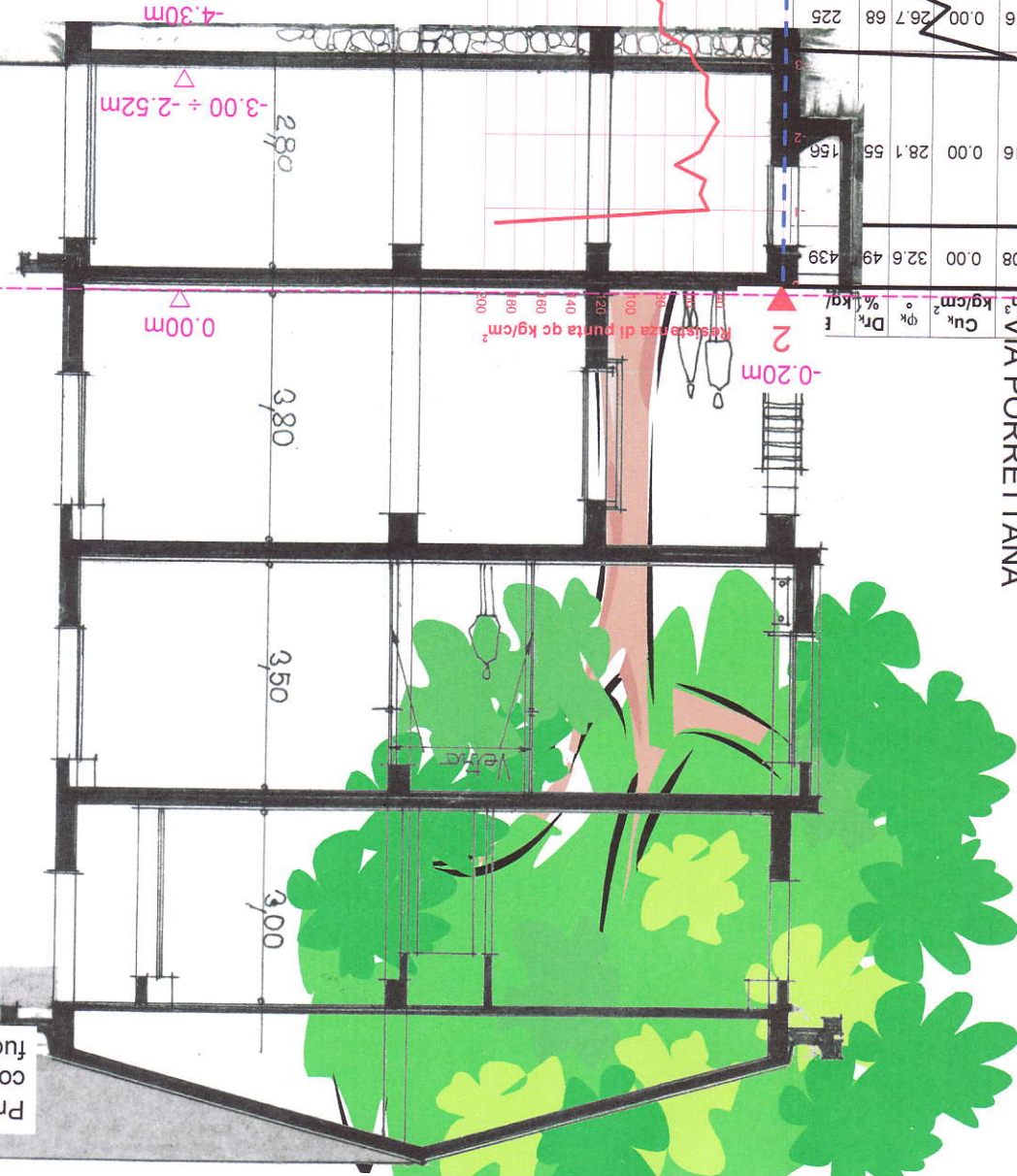
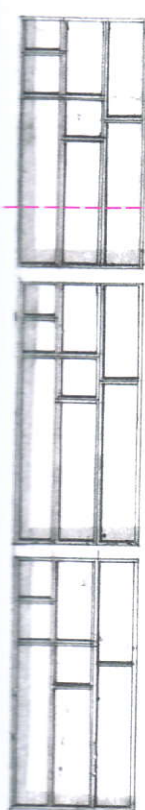


$\gamma_{nat}$ kg/cm <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ kg/cm <sup>3</sup>	$Cu_k$ kg/cm <sup>2</sup>	$D_k$ %	$E_k$ kg/cm <sup>2</sup>	$R_{s,0}$	$R_{s,i}$	$R_{s,e}$	$R_{s,t}$	$R_{s,r}$	$R_{s,tot}$	$R_{s,0}$	$R_{s,i}$	$R_{s,e}$	$R_{s,t}$	$R_{s,r}$	$R_{s,tot}$
0.00178	0.00192	0.00	28.3	37	116											
0.00152	0.00182	0.00	24.5	23	21											
0.00160	0.00190	0.00	28.2	26	60											
0.00146	0.00174	0.00	27.0	24	37											
0.00166	0.00196	0.00	28.7	37	93											
0.00184	0.00214	0.00	26.8	47	94											
0.00184	0.00214	0.00	29.0	47	122											
0.00179	0.00209	0.00	27.4	51	114											
0.00194	0.00211	0.00	38.9	54	920											



Resistenza d

Prospetto-section  
conforme all'esist.  
fuori scala (dime



VIA PORETTANA

Ynat k <sub>3</sub>	Ynat k <sub>2</sub>	Cuk	φk	Drk	ε	kg/cm <sup>3</sup>	%	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00195	0.00208	0.00	32.6	49	439						
0.00186	0.00216	0.00	28.1	55	156						
0.00187	0.00216	0.00	26.7	68	225						
0.00188	0.00214	0.00	27.2	68	229						
0.00187	0.00217	0.00	27.3	56	146						
0.00186	0.00216	0.00	28.9	53	155						
0.00187	0.00217	0.00	26.9	56	132						
0.00186	0.00216	0.00	28.3	54	142						
0.00192	0.00209	0.00	38.6	48	593						

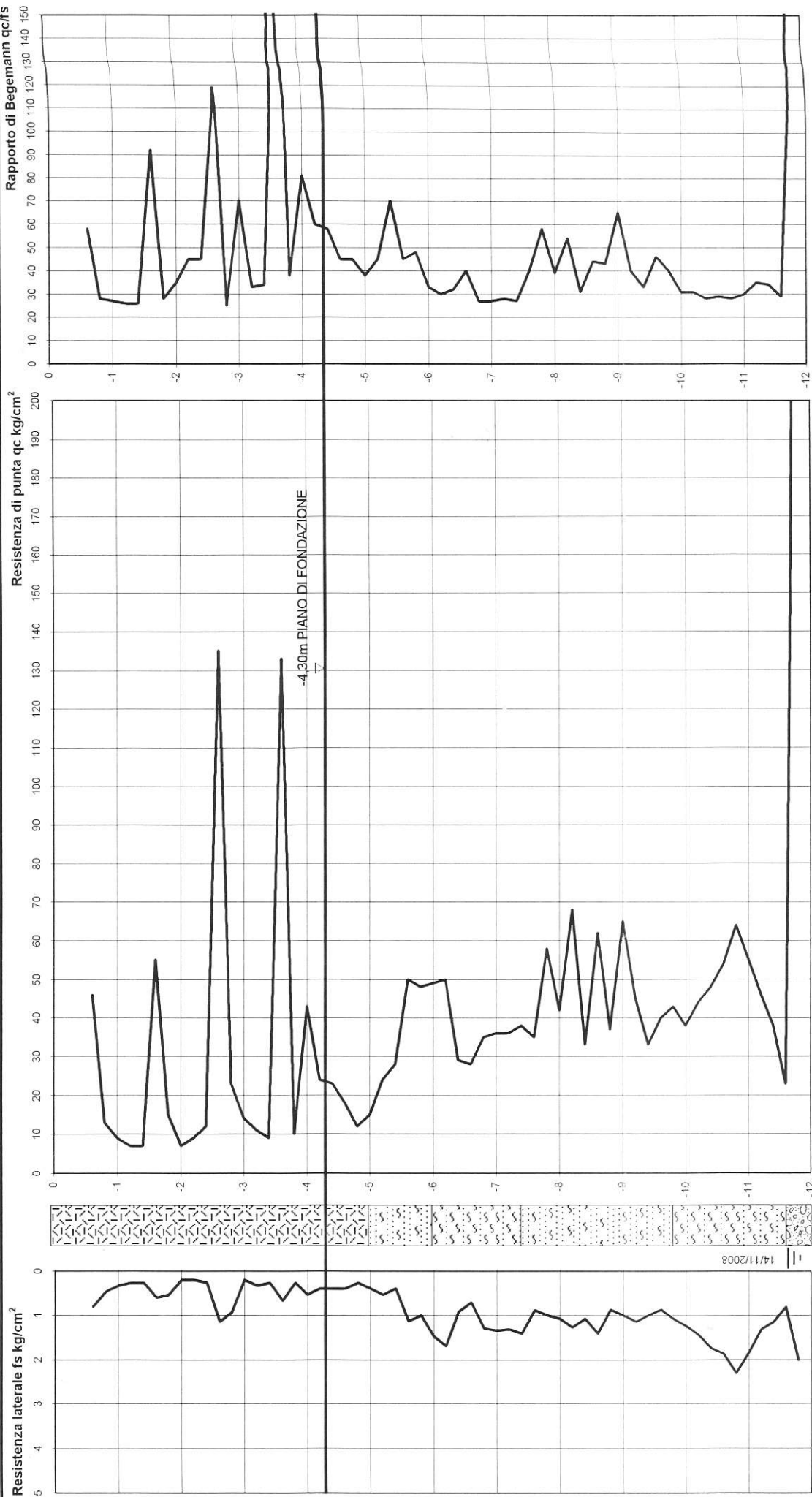






# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA CPT1

Committente: Comune di Sasso Marconi  
 Cantiere: sopraelevazione edificio municipale  
 Località: Piazza dei Martiri della Liberazione, 6  
 Comune: Sasso Marconi (BO)  
 Data: 11/09/2008  
 Quota p.c. da 0,00 = piano terra: 0,00m  
 Minima soggiacenza livello piezometrico da p.c. CPT nel periodo 11/09/08 ÷ 16/04/09: -11,63m (14/11/08)  
 Profondità piezometro da p.c. CPT: -11,70m





# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA CPT2

Committente: Comune di Sasso Marconi  
 Cantiere: sopraelevazione edificio municipale  
 Località: Piazza dei Martiri della Liberazione, 6  
 Comune: Sasso Marconi (BO)

Data: 11/09/2008  
 Quota p.c. da 0,00 = piano terra: -0,20m  
 Minima soggiacenza livello piezometrico da p.c. CPT nel periodo 11/09/08 , 16/04/09: assente  
 Profondità piezometro da p.c. CPT: -8,65m

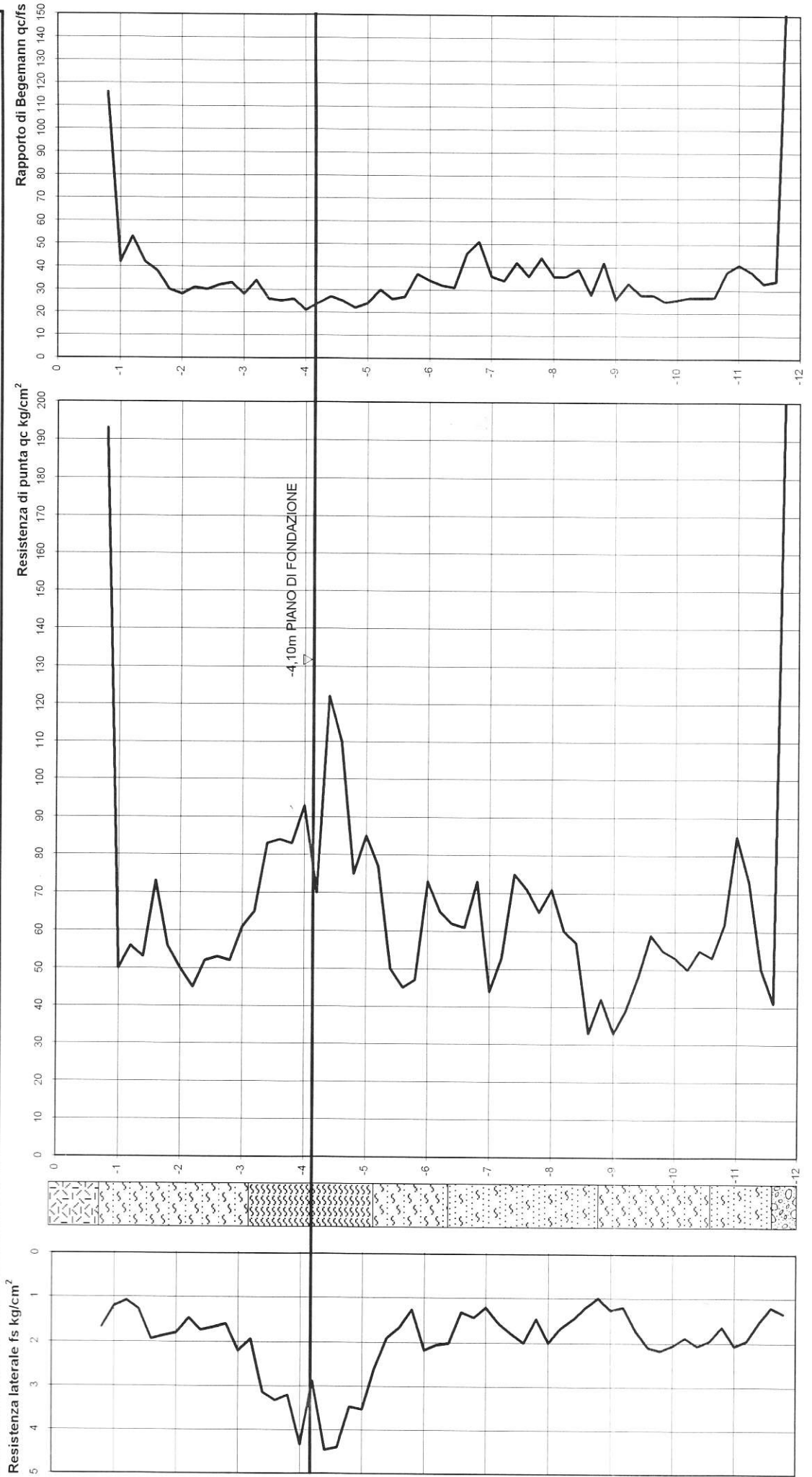
LEGENDA

M = macerie,  
 T = torbe, AT = argille torbose, A = argille, AL = argille limosa LA = limi argillosi,  
 LAS = limi argilloso sabbiosi,  
 SAL = sabbie argilloso limose, SL = sabbie limose, S = sabbie,  
 SG = sabbie ghiaiose, GS = ghiaie sabbiose, G = ghiaie, C = ciottoli, B = blocchi

Prof. da m	Prof. a m	L1 kgf/10	L2 kgf/10	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	qc/fs	$\gamma_{nat n}$ kg/cm <sup>3</sup>	$\gamma_{sat n}$ kg/cm <sup>3</sup>	$Cu_n$ kg/cm <sup>2</sup>	$\phi_n$ °	$Dr_n$ %	$E_n$ kg/cm <sup>2</sup>	Colonna stratigrafica	Tipo litologico	$\gamma_{nat k}$ kg/cm <sup>3</sup>	$\gamma_{sat k}$ kg/cm <sup>3</sup>	$Cu_k$ kg/cm <sup>2</sup>	$\phi_k$ °	$Dr_k$ %	$E_k$ kg/cm <sup>2</sup>	Piano di fondazione	Fall.
-10	-10,2	50	81	50	1,88	27	0,00188	0,00218	0,00	27	60	150		LAS mediamente addensate/i								
-10,2	-10,4	55	83	55	2,07	27	0,00188	0,00218	0,00	27	62	165		LAS mediamente addensate/i	0,00187	0,00217	0,00	26,9	56	132		
-10,4	-10,6	53	84	53	1,95	27	0,00188	0,00218	0,00	27	60	159		LAS mediamente addensate/i								
-10,6	-10,8	62	91	62	1,64	38	0,00187	0,00217	0,00	30	57	186		SAL mediamente addensate/i								
-10,8	-11	85	110	85	2,07	41	0,00188	0,00218	0,00	31	62	255		SAL mediamente addensate/i								
-11	-11,2	73	104	73	1,95	38	0,00188	0,00218	0,00	30	60	219		SAL mediamente addensate/i	0,00186	0,00216	0,00	28,3	54	142		
-11,2	-11,4	50	79	50	1,53	33	0,00187	0,00217	0,00	28	56	150		SAL mediamente addensate/i								
-11,4	-11,6	41	64	41	1,20	34	0,00185	0,00215	0,00	28	51	123		SAL mediamente addensate/i								
-11,6	-11,8	232	250	232	1,33	174	0,00196	0,00226	0,00	42	53	696		GS mediamente addensate/i								
-11,8	-12	450	470	450			0,00221	0,00229	0,00	42	80	1350		GS addensate/i	0,00192	0,00209	0,00	38,6	48	593		
-12	-12,2																					
-12,2	-12,4																					
-12,4	-12,6																					
-12,6	-12,8																					
-12,8	-13																					
-13	-13,2																					
-13,2	-13,4																					
-13,4	-13,6																					
-13,6	-13,8																					
-13,8	-14																					
-14	-14,2																					
-14,2	-14,4																					
-14,4	-14,6																					
-14,6	-14,8																					
-14,8	-15																					
-15	-15,2																					
-15,2	-15,4																					
-15,4	-15,6																					
-15,6	-15,8																					
-15,8	-16																					
-16	-16,2																					
-16,2	-16,4																					
-16,4	-16,6																					
-16,6	-16,8																					
-16,8	-17																					
-17	-17,2																					
-17,2	-17,4																					
-17,4	-17,6																					
-17,6	-17,8																					
-17,8	-18																					
-18	-18,2																					
-18,2	-18,4																					
-18,4	-18,6																					
-18,6	-18,8																					
-18,8	-19																					
-19	-19,2																					
-19,2	-19,4																					
-19,4	-19,6																					
-19,6	-19,8																					
-19,8	-20																					

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA CPT2

Committente: Comune di Sasso Marconi  
Cantiere: sopraelevazione edificio municipale  
Località: Piazza dei Martiri della Liberazione, 6  
Comune: Sasso Marconi (BO)  
Data: 11/09/2008  
Quota p.c. da 0,00 = piano terra: -0,20m  
Minima soggiacenza livello piezometrico da p.c. CPT nel periodo 11/09/08 ÷ 18/11/08: assente  
Profondità piezometro da p.c. CPT: -8,65m

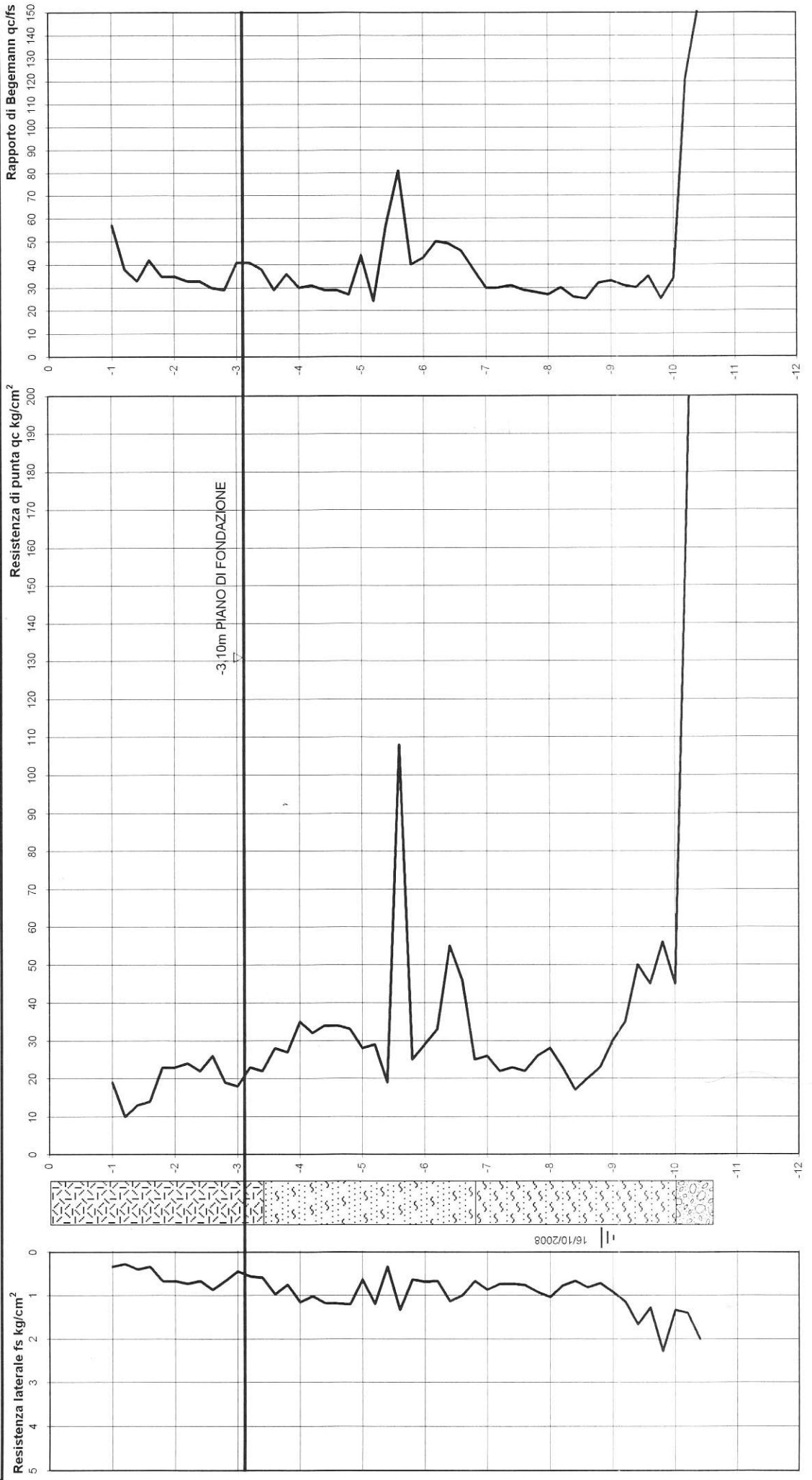






# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA CPT3

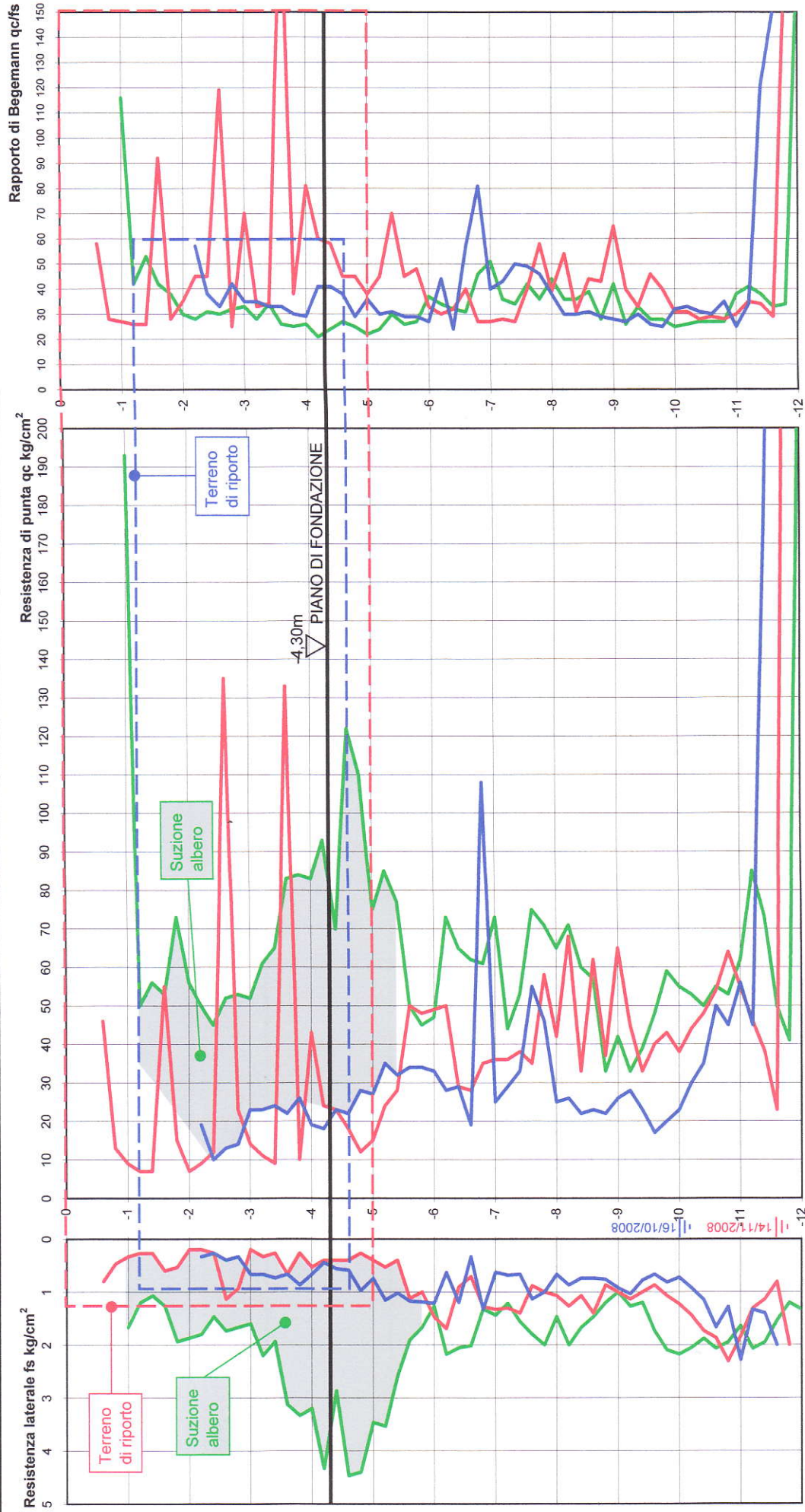
Committente: Comune di Sasso Marconi  
 Cantiere: sopraelevazione edificio municipale  
 Località: Piazza dei Martiri della Liberazione, 6  
 Comune: Sasso Marconi (BO)  
 Data: 11/09/2008  
 Quota p.c. da 0,00 = piano terra: -1,20m  
 Minima soggiacenza livello piezometrico da p.c. CPT nel periodo 11/09/08 ÷ 18/11/08: -8,81m (16/10/08)  
 Profondità piezometro da p.c. CPT: -9,06m



# COMPARAZIONE CPT 1 - 2 - 3

Committente: Comune di Sasso Marconi  
 Cantiere: sopraelevazione edificio municipale  
 Località: Piazza dei Martiri della Liberazione, 6  
 Comune: Sasso Marconi (BO)  
 Data: 11/09/2008

Quota 0 dei grafici = quota 0,00m = piano terra Municipio  
 Minima soggiacenza livello piezometrico da p.c. CPT nel periodo 11/09/08 ÷ 16/04/09: **-11,63m (14/11/08)**; **assente**; **-10,01m (16/10/08)**  
 Profondità piezometro da 0,00: **-11,70m -8,85m -10,23m**





COMMITTENTE: COMUNE DI SASSO MARCONI

PERFORAZIONE: S.3

LOCALITÀ : Piazza Martiri della Libertà, 6 - angolo via del Mercato – Sasso Marconi

DATA : 18/09/20

CANTIERE : Sopraelevazione edificio municipale

QUOTA : 131m s.l.m.

Progetto: \_\_\_\_\_ Certif.: \_\_\_\_\_ Rev.: \_\_\_\_\_ Operat. Claudio Zanzani Resp.: geol. Paolo Dal Pian

Profondità (m)	Colonna Stratigrafica (AGI)	Campioni		Carotaggio				Installazioni Piezometri			R.Q.D.	Descrizione		
		Tipo	Numero	Profondità (m)	%				Profondità (m)	Schema			Note	
					20	40	60	80						
0.8	[Pattern: Diagonal lines]												Pavimentazione in asfalto con sabbia con macerie, asciutti.	
1.6													Riporto: sabbie limose, di colore bruno scuro, rare macerie.	
3.4													Riporto: sabbie fini limose, di colore bruno scuro, naturali con rari piccoli frammenti di macerie. Da 2.9m sabbie argilloso limose.	
4.55	[Pattern: Dotted]								4.55				Alternanze di sabbie argilloso limose, con ghiaia in tracce, da sciolte a mediamente compatte, giallastro, da dotati di umidità naturale.	
6.8													Da 5.2 a 5.4m sabbie limose, sciolte.	
														Da 6.0 a 6.4m sabbie limose, mediamente compatte, molto umide.
8.0														Limi argillosi, debolmente sabbiosi, bruno scuro, dotati di umidità naturale.
8.7														Limi argilloso sabbiosi, mediamente compatte, giallastro, umidi.
9.1	[Pattern: Wavy lines]												Limi argilloso sabbiosi, con frammenti mediamente addensati, di colore bruno scuro.	
9.5													Limi sabbiosi, debolmente ghiaiosi, bruno giallastro, dotati di umidità naturale.	
9.8													Limi argilloso sabbiosi, debolmente ghiaiosi, giallastro, dotati di umidità naturale.	
													Limi sabbiosi, debolmente ghiaiosi, mediamente compatte.	

**LEGENDA:**

**PG** Campionatore a pareti grosse  
**S** Campionatore a pareti sottili Shelby  
**O** Campionatore a pistone Osterberg  
**D** Campionatore rotativo Denison  
**M** Campionatore rotativo Mazier

**RILIEVO LIVELLO FALDA (H<sub>2</sub>O)**

Profondità foro (m)	Profondità rivestim. (m)	Sera		Mattino	
		GG	H	GG	H

Data: \_\_\_\_\_

Descrizione	Pocket Penetrometer (kg/cm <sup>2</sup> )	Torvane (kg/cm <sup>2</sup> )	S.P.T. punta conica chiusa		Vane (MPa)			Metodo di Perforazione	Tipo di Carotiere	Rivestimento	Livello piezometrico	Data	Note
			N <sub>1</sub>	H (m)	Max.	Res.	Profondità (m)						
			N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>									
<p>...ndo sabbioso, passante a</p> <p>...otate di umidità naturale con</p> <p>...o giallastro, dotate di umidità</p> <p>...ni.</p> <p>...limi argilloso sabbiosi, con</p> <p>...e addensati, di colore bruno</p> <p>...umidi.</p> <p>...colore bruno, molto umide.</p> <p>...e addensate, di colore bruno,</p> <p>...iamente addensati, di colore</p> <p>...addensati, di colore bruno</p> <p>...ne argillosa abbondante,</p> <p>...giallastro, umidità naturale.</p> <p>...iamente addensati, di colore</p> <p>...iamente addensati, di colore bruno</p> <p>...ati, bruno giallastri, umidità naturale.</p>								CAROTAGGIO CONTINUO A SECCO	SEMPLICE L = 3m Ø = 101mm	NO			



9/2008

m s.l.m.

Approv.: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

LEGENDA:	
<b>PG</b>	Campionatore a pareti grosse
<b>S</b>	Campionatore a pareti sottili Shelby
<b>O</b>	Campionatore a pistone Osterberg
<b>D</b>	Campionatore rotativo Denison
<b>M</b>	Campionatore rotativo Mazier

RILIEVO LIVELLO FALDA (H <sub>2</sub> O)					
Profondità foro (m)	Profondità rivestim. (m)	Sera		Mattino	
		GG	H	GG	H

Descrizione Stratigrafica	Pocket Penetrometer (kg/cm <sup>2</sup> )	Tonvane (kg/cm <sup>2</sup> )	S.P.T. punta conica chiusa		Vane (MPa)			Metodo di Perforazione	Tipo di Carotiere	Rivestimento	Livello piezometrico	Data	Note				
			N <sub>1</sub> N <sub>2</sub> N <sub>3</sub>	H (m)	Max.	Res.	Profondità (m)										
<p>lam. addensati, bruno giallastri, umidità naturale.</p> <p>e, ben assortite, arrotondate, da</p> <p>o addensate, in matrice sabbiosa, di</p> <p>a 11.4m, poi umida. Da 11.55m satura</p>				10.60				CAROTTAGGIO CONTINUO A SECCO, DA 10.8m UTILIZZATA ACQUA A TRATTI  SEMPLICE L = 3m Ø = 101mm	NO	11.55m ──── ────	18/09/08						
<p>in matrice sabbiosa, molto addensati,</p>			Rifiuto 50/7.5cm	11.05													
<p>iosì, molto addensati, di colore grigio</p> <p>arenacei a grana media, debolmente</p> <p>astro.</p>				15.00													
<p>molto addensate, di colore bruno;</p> <p>uscovitiche, molto addensate, di colore</p> <p>re.</p>			Rifiuto 100/7cm	15.45													

Il terreno carotato è molto rimaneggiato a causa della difficoltà di carotaggio indotta dall'elevato addensamento e dall'assenza di coesione e di cementazione. La resistenza all'avanzamento del carotiere si è mantenuta costante da 12,6m fino a fine sondaggio.

12.6m

15.0m

Sondaggio S.3

Località: Via Martiri della Libertà, 6 angolo via del Mercato – Sasso Marconi (BO)

Data: 18/09/2008



Cassa 1 da 0.0 a -5.0m

1 2 3 4 5



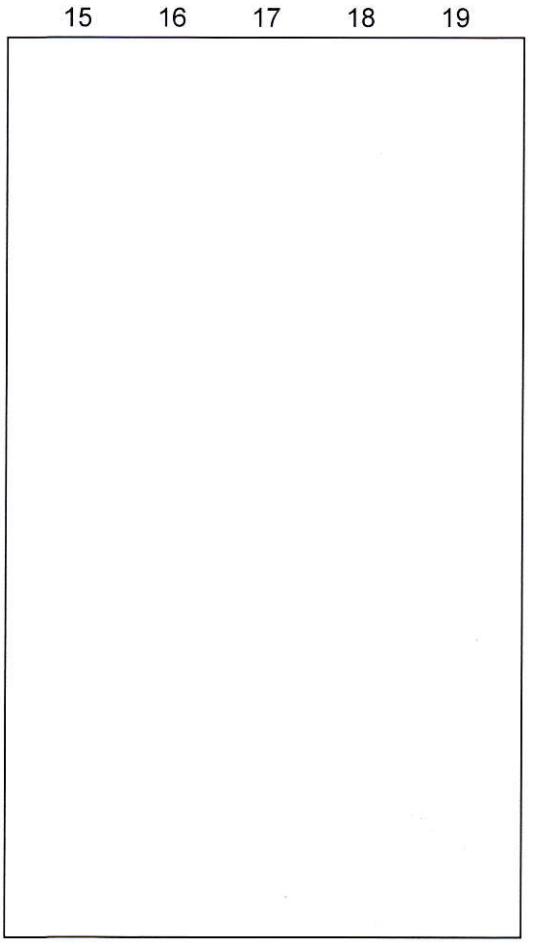
Cassa 2 da -5.0 a -10.0m

6 7 8 9 10



Cassa 3 da -10.0 a -15.0m

11 12 13 14 15



Cassa 4 da -15.0 a -20.0m

16 17 18 19 20

# COMUNE DI SASSO MARCONI

PROVINCIA DI BOLOGNA

***Determinazione della categoria di suolo di fondazione  
dei terreni costituenti il sito di via Martiri della Libertà, 6***



I.G.B. SNC  
Via Calzolari 30/A  
40128 Bologna  
Tel 0516311300  
Fax 0516311303  
P.I. e C.F.: 0268957120



Dott. Geol. Stefano Maggi  
Dott. Geol. Alessandra Borghini



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

**SOMMARIO**.....

2	IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO	3
3	PREMESSE	4
4	DESCRIZIONE DELLE INDAGINI	5
4.1	Metodologia MASW ATTIVA (Multichannel Analysis of Surface Waves)	5
4.1.1	Introduzione generale	5
4.1.2	Onde superficiali di Rayleigh (onde R)	5
4.1.3	Tecnica MASW ATTIVA : procedura e strumentazione utilizzata	6
5	ACQUISIZIONE DATI	9
6	RISULTATI	10



*Handwritten signature or scribble.*

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

---

## 2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

- Il presente documento viene identificato con il numero **48.2008** rev. n° 1;
- Le indagini ed il lavoro svolto sono stati coordinati dal Dott. Geol. **Stefano Maggi** e dal Dott. Geol. **Alessandra Borghini**;
- Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. **Stefano Maggi** e dal Dott. Geol. **Alessandra Borghini** in data **25/09/2008**;
- Il documento si compone di n° { TC }11 fogli e da n° **12** pagine di allegati.

Redazione del documento

Approvazione del documento



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

### 3 PREMESSE

Su incarico del Dott. Geol. Paolo Dal Pian, in data 25/09/2008, è stata effettuata un'indagine geofisica mediante tecnica MASW attiva, nel territorio del comune di Sasso Marconi (BO), in via Martiri della Libertà, 6 angolo via del Mercato. Presso il sito in questione è in progetto la sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale ivi presente. L'indagine pertanto è stata eseguita al fine di ottenere la classificazione del tipo di suolo sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio verticali (Vs) entro i primi 30 m di profondità, in ottemperanza a quanto riportato nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" (pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento ordinario n. 30).

L'acquisizione è stata condotta tramite sismografo a 24 canali modello *DOLANG JEA 24* con scarico dei dati direttamente su p.c. I parametri di campionamento utilizzati nella presente indagine sono riportate in tabella 1.

Modello	Risoluzione	n° canali	n° campioni	Velocità di campionamento	Intervallo di campionamento	Frequenza di campionamento	Unità di alimentazione
JEA 24	24 bit	24	2048	2000 microsec.	4096 ms	500 Hz	24 volt gel battery MOM unit

**Tabella 1 - Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata**

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

## 4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

### 4.1 Metodologia MASW ATTIVA (*Multichannel Analysis of Surface Waves*)

#### 4.1.1 Introduzione generale

La tecnica MASW venne introdotta per la prima volta nell'ambito della comunità geofisica e geotecnica agli inizi del 1999. La *Multichannel Analysis of Surface Waves* è un metodo sismico mediante il quale è possibile costruire un profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) in relazione alla profondità ( $V_s$  versus *profondità*), attraverso l'analisi delle onde superficiali tipo Rayleigh (onde  $R$ ). Tale tecnica permette quindi di ottemperare a quanto previsto nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", secondo il quale i terreni, su cui devono essere eseguite opere edili di una certa rilevanza, devono essere classificati sulla base del parametro  $V_{s30}$ . La classificazione prevista per i terreni comprende cinque categorie definite da una simbologia alfanumerica da  $A$  ad  $E$  e successive integrazioni  $S1$  e  $S2$ . A ciascuna di queste categorie corrisponde una valutazione quantitativa della risposta sismica dei terreni sottoposti ad una accelerazione sismica attesa, predefinita per ciascuna classe. Il parametro  $V_{s30}$  rappresenta la media ponderata dei valori di velocità delle onde di taglio

$S$  nei primi 30 metri di sottosuolo indagato e viene espressa matematicamente dalla seguente equazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}}$$

dove  $V_{s30}$  : velocità media ponderata delle onde di taglio "S";  
 $h_i$  : spessore dello strato esimo;  
 $v_i$  : velocità delle onde di taglio "S" nello strato esimo.

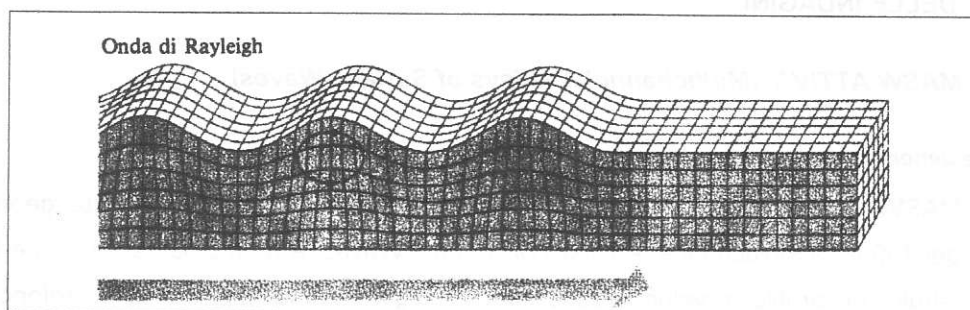
#### 4.1.2 Onde superficiali di Rayleigh (onde $R$ )

Esistono diversi tipi di onde superficiali, oltre alle già citate onde di Rayleigh ( $P+S_v$ ), si conoscono le onde di Love ( $Sh$ ) e le onde di Lamb. Le onde di Rayleigh rappresentano la componente principale delle onde superficiali e sono generate dall'interazione tra onde di compressione (o di volume)  $P$  e onde di taglio verticali  $S_v$  ogniquale si è in presenza di una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Le onde  $R$  si propagano alla superficie libera (vedi Fig. 1) con un moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte alla profondità di  $\lambda/2\pi$  (dove  $\lambda$  è la lunghezza d'onda). L'ampiezza di tale spostamento decresce secondo una legge esponenziale, pertanto diviene rapidamente trascurabile con la profondità.

L'utilizzo delle onde superficiali di tipo Rayleigh per la costruzione di un profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  è giustificato da una serie di fattori:

- La percentuale di energia convertita in onde  $R$  è nettamente predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione di onde  $P$  (7%) e onde  $S$  (26%);

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).



**Figura 1 - Modalità di propagazione delle onde R**

- il metodo d'analisi basato sulle onde *R* non è limitato, al contrario del metodo basato sulla rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità;
- buona risoluzione, a differenza della tecnica a riflessione;
- la propagazione delle onde di *Rayleigh*, anche se influenzata dalla  $V_p$  (velocità delle onde di compressione *P*) e dalla densità del mezzo, è funzione innanzitutto della  $V_s$  che rappresenta appunto il parametro fondamentale per la caratterizzazione geotecnica di un sito;
- la tecnica in questione è inoltre particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

Tenuto conto dei fattori sopraelencati, l'elemento fondamentale che permette l'impiego di tecniche basate sulle onde superficiali, in questo caso la tecnica *MASW* e le onde *Rayleigh*, è una caratteristica chiamata *dispersione*. La dispersione è una proprietà delle onde superficiali che consiste nella deformazione di un treno d'onde dovuta alla variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per le onde *R* questa variazione si manifesta solo all'interno di un mezzo stratificato. In altre parole, ipotizzando una variazione di densità del terreno in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga con una differente velocità (velocità di fase), e quindi con una diversa lunghezza d'onda; questa proprietà si chiama appunto dispersione.

La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda  $\lambda$  (e quindi per una certa frequenza  $\nu$ ) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di  $\lambda/2$  (anche se recenti studi hanno posto questo limite a  $\lambda/2.5$ ). Inoltre, la velocità delle onde *R* ( $V_r$ ) è pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ).

Secondo quanto detto appare chiaro come la costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di *Rayleigh*, sia una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

#### **4.1.3 Tecnica MASW ATTIVA : procedura e strumentazione utilizzata**

La procedura *MASW* si può sintetizzare in tre stadi successivi e distinti:

- acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

- ❑ costruzione della curva di dispersione : grafico velocità di fase  $V_r$  – frequenza  $\nu_r$
- ❑ inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale della  $V_s$  (si veda fig. 5 nel rapporto in allegato).

La prima fase viene effettuata direttamente in campagna generando un treno di onde superficiali mediante l'utilizzo di una sorgente sismica attiva, quale generalmente una mazza battente, e uno stendimento lineare di geofoni ricevitori (vedi Fig. 2). L'indagine svolta nel presente lavoro è stata condotta utilizzando la strumentazione DOLANG JEA 24 descritta nelle premesse.

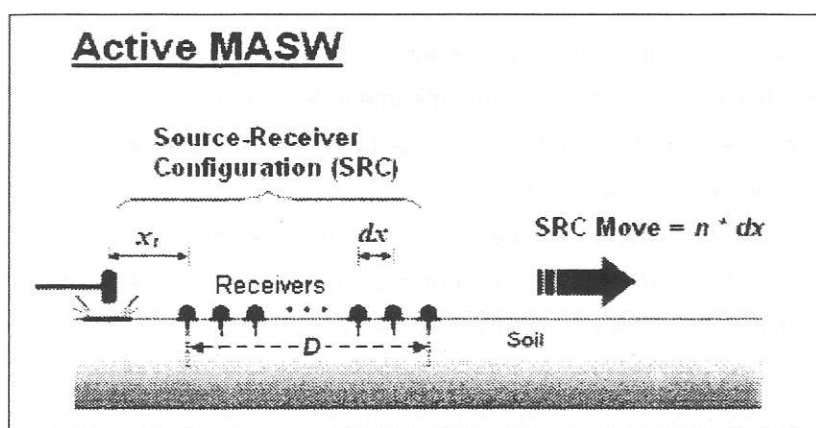


Figura 2 - MASW ATTIVA : stendimento lineare e sorgente attiva

I dati così acquisiti in campagna vengono quindi elaborati utilizzando il software in nostra dotazione "MASW by Vitantonio Roma". In particolare mediante il software si procede alla lettura dei dati acquisiti (*common-shot gather*) e al calcolo dello spettro nel dominio frequenza – numero d'onda (spettro f-k). Quindi, dallo spettro f-k è possibile estrarre la curva di dispersione apparente sperimentale (si veda fig. 2 nel rapporto in allegato) mediante una doppia trasformata di Fourier applicata al campo di moto misurato nel dominio spazio - tempo. Sulla curva di dispersione sperimentale viene effettuato il cosiddetto *Picking* (si veda fig. 3 nel rapporto in allegato), cioè la selezione dei punti che, nell'interpretazione dell'utente, appartengono ad un certo *modo* di propagazione dell'onda superficiale di *Rayleigh*. L'identificazione ed il *Picking* della curva di dispersione sono un'operazione di importanza cruciale. I punti sperimentali ottenuti mediante l'operazione di *Picking* effettuata a partire dalla curva di dispersione apparente sperimentale, devono coincidere il più possibile con le curve teoriche numeriche descritte di seguito.

La curva di dispersione apparente numerica (si veda fig. 4 nel rapporto in allegato) si ottiene in maniera identica alla procedura usata per ottenere la curva di dispersione sperimentale, con l'unica diversità che riguarda la maniera in cui si calcola lo spettro del campo di moto. Mentre nella procedura sperimentale si applica una doppia trasformata di Fourier nella procedura numerica si applica una sola trasformata di Fourier. La curva di dispersione effettiva (si veda fig. 4 nel rapporto in allegato) si ottiene con un metodo alternativo proposto da Lai e Rix (Lai, 1998).

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

L'ultimo passo da affrontare è l'inversione della curva di dispersione precedentemente costruita. Questa operazione viene effettuata grazie all'utilizzo di una potente tecnica di ottimizzazione basata su algoritmi genetici. Il risultato finale è quello di ottenere il profilo verticale della velocità delle onde di taglio  $V_s$ .

Il grado di incertezza del profilo di  $V_s$  finale dipende dai seguenti fattori:

- incertezza associata alle misure sperimentali: è rappresentata dall'intervallo di variazione della velocità di fase apparente sperimentale ad una determinata frequenza. Tale range di variazione viene assegnato a ciascun punto sperimentale nella fase di Picking (fig. 3 nel rapporto in allegato);
- propagazione dell'incertezza nel modello di simulazione numerica;
- errore relativo o distanza tra curve di dispersione sperimentale e numeriche teoriche (apparente/effettiva). L'errore relativo è un indicatore oggettivo della sovrapposizione tra curva di dispersione sperimentale e teorica numerica.

Generalmente un errore relativo tra curva sperimentale e teorica inferiore al 10% indica il raggiungimento di un buon risultato con un profilo di  $V_s$  valido da un punto di vista progettuale. A parità di errore relativo l'utente può scegliere il profilo di  $V_s$  sulla base della migliore sovrapposizione visiva tra le curve sperimentale e teorica.

L'elaborazione dei dati acquisiti nel sito in questione è riportata in dettaglio nel rapporto d'indagine allegato alla presente relazione.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

## 5 ACQUISIZIONE DATI

L'indagine geofisica condotta nel presente lavoro è stata effettuata mediante l'esecuzione di n° 1 stendimento sismico (profilo) la cui ubicazione è riportata nella tavola grafica in allegato. Per acquisire i dati è stata utilizzata la tecnica **MASW** descritta al paragrafo 4.1, impiegando la strumentazione *Dolang JEA 24* descritta precedentemente.

Nella sottostante tabella vengono riportate sinteticamente le caratteristiche tecniche del profilo sismico effettuato:

Identificazione	Lunghezza (m)	Passo intergeofonico (m)	Orientazione	N° Geofoni (verticali)	Dist. Punto di scoppio-1° geofono	Passo campionamento (ms)
Profilo 1	36	1.5	N-S	24	1.5	2

## 6 RISULTATI

L'indagine geofisica effettuata in data 24.09.2008, con la tecnica MASW attiva, ha consentito di ricostruire il quadro sismico del sottosuolo dell'area indagata fino alla massima profondità d'indagine raggiunta. L'analisi del modello sismico ottenuto evidenzia la presenza di **6 sismostrati** più il semispazio infinito. Nella sottostante tabella sono riportate le profondità e ed i valori di Vs dei **sismostrati individuati** (si veda fig. 5 nel rapporto in allegato).

Sismostrato	Profondità (m)	Vs (m/s)
1	0.00 – 3.00	319.37
2	3.00 – 7.50	301.86
3	7.50 – 9.50	353.25
4	9.50 – 13.50	558.99
5	13.50 – 22.50	669.36
6	22.50 – 35.50	701.23
7 (semispazio infinito)	35.50 – ∞	766.33

Sulla base di quanto riportato in tabella, la media ponderata dei valori di velocità delle onde S ( $V_{S30}$ ), nei primi 30 m di profondità dal piano campagna, risultata pari a **489 m/s**, colloca il sottosuolo in classe **B**.

Considerando invece la media ponderata dei valori di velocità delle onde S ( $V_{S30}$ ), nei primi 30 m di profondità a partire dal piano di fondazione (- 5.00 da p.c. attuale) dell'edificio oggetto d'intervento, essa risulta pari a **573 m/s**, e colloca il sottosuolo ancora in classe **B**.

Il valore di  $V_{S30}$  comunque ottenuto è da riferirsi alla verticale di terreno posta in corrispondenza del punto mediano dell'allineamento sismico effettuato.

In allegato è presentato il rapporto dettagliato dell'indagine effettuata.



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

---

## ALLEGATI

- Rapporto indagine geofisica eseguita (n° 11)
- Tavola con ubicazione indagine (n° 1)



# Rapporto indagine geofisica eseguita mediante tecnica MASW

**Autore: I.G.B. SNC**

**Commessa: 48-2008**

**Committente: Dott. Geol. PAOLO DAL PIAN**

**Sito: Via Martiri della Libertà – Sasso Marconi (BO)**

**Data: 25/09/2008**

Software: Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

## 1 – Dati Sperimentali

Numero di ricevitori.....24  
 Numero di campioni temporali.....3.26787e-312  
 Timestep di acquisizione ..... 2 ms  
 Numero di ricevitori utilizzati per l'analisi.....24  
 L'intervallo di tempo considerato per l'analisi inizia a ..... 0 ms  
 L'intervallo di tempo considerato per l'analisi termina a..... 4094 ms  
 I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

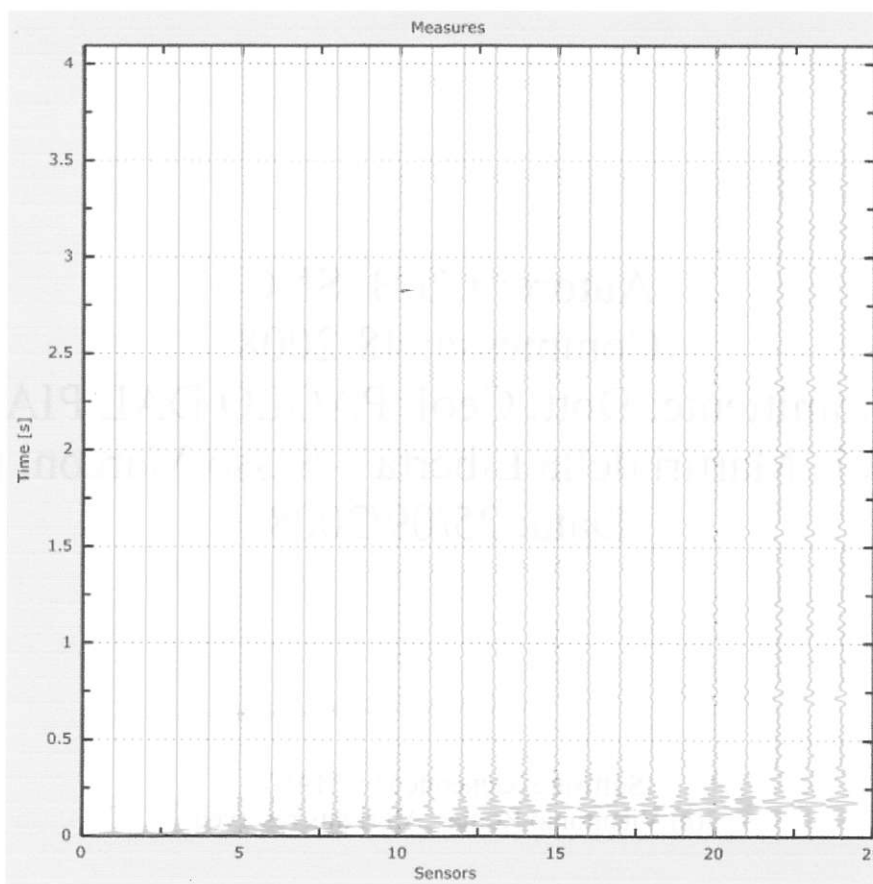


Figura 1: Tracce sperimentali

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

## 2 – Risultati dell'analisi

Frequenza finale..... 50Hz  
Frequenza iniziale..... 2Hz

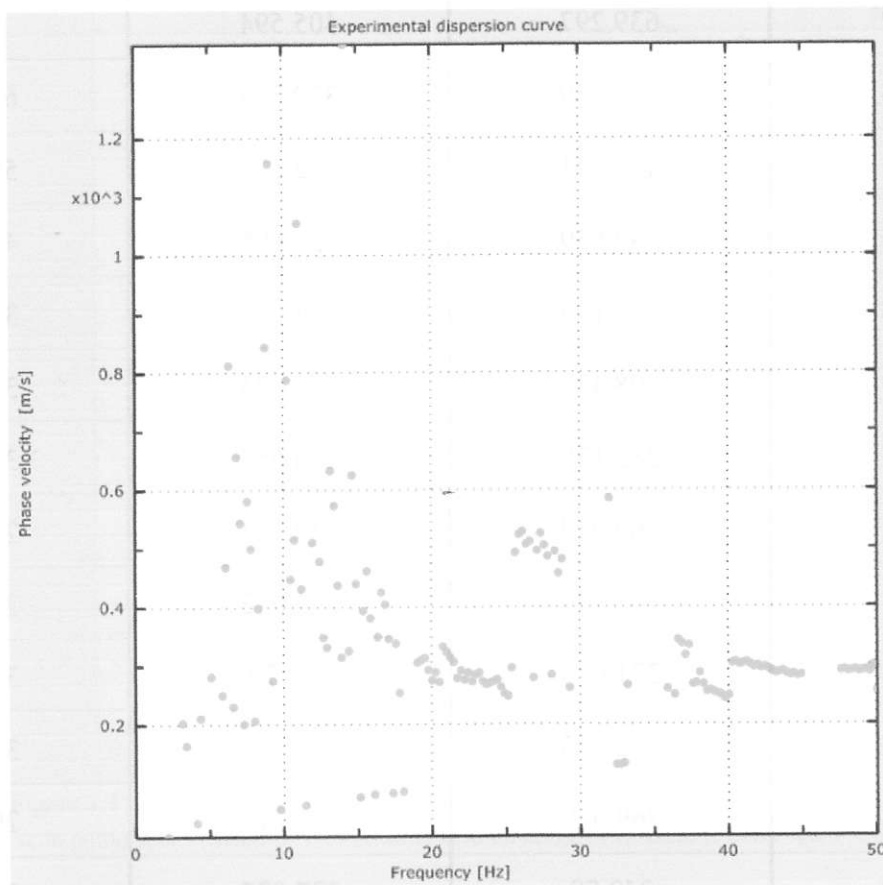


Figure 2: Curva di dispersione apparente sperimentale

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

### 3 – Curva di dispersione

Tabella 1: Picking della curva di dispersione sperimentale (valori numerici riportati graficamente in fig. 3)

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
7.52282	639.297	405.594	873
10.8195	523.759	379.335	668.182
13.2371	471.241	342.573	599.909
15.8745	389.839	334.696	444.982
17.6328	345.199	316.314	374.084
20.4899	308.437	266.423	350.451
22.9075	282.178	250.667	313.689
25.435	269.049	240.164	297.933
28.6218	263.797	234.912	292.682
32.6878	271.674	242.79	300.559
36.4241	342.573	324.192	360.954
37.9625	269.049	245.416	292.682
39.7208	242.79	227.035	258.545
40.5999	305.811	292.682	318.94
42.6878	290.056	276.926	303.185
44.7758	279.552	266.423	292.682
47.3032	287.43	271.674	303.185

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

49.5011	287.43	271.674	303.185
---------	--------	---------	---------

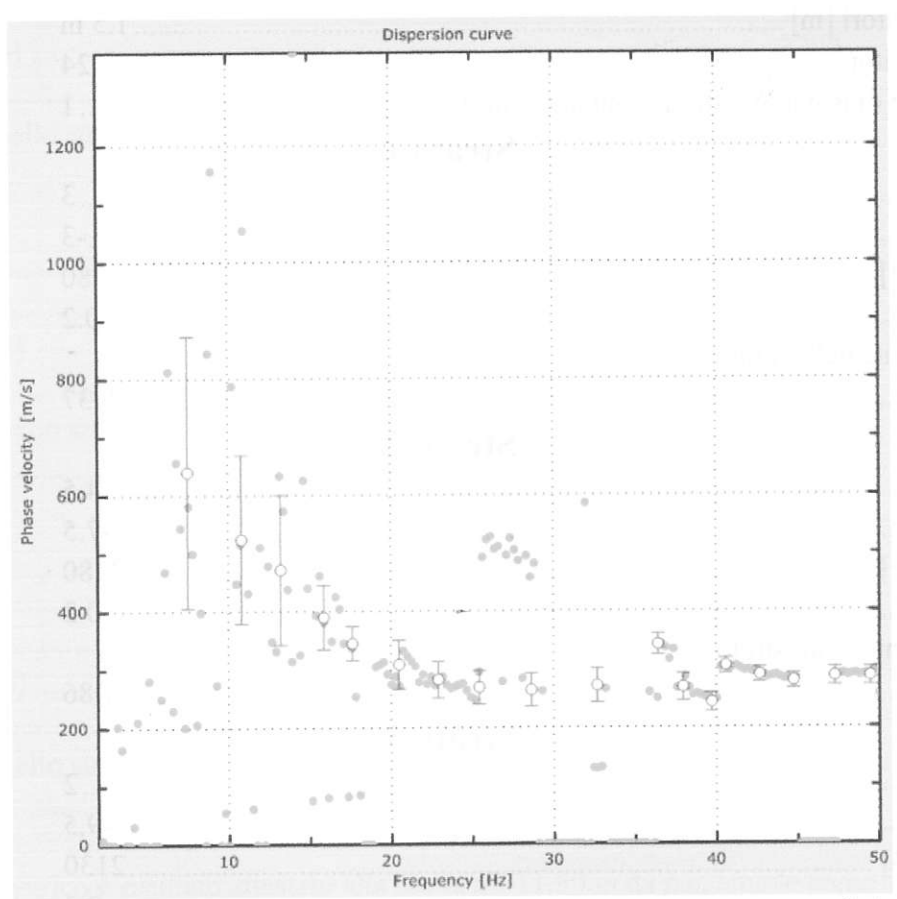


Figura 3: Picking della curva di dispersione sperimentale (rappresentazione grafica).  
 A ciascun punto sperimentale in verde è assegnato un range di variazione della velocità di fase



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

## 4 – Profilo del terreno

Numero di strati (escluso semispazio) .....	7
Spaziatura ricevitori [m] .....	1.5 m
Numero di ricevitori.....	24
Numero di modi di Rayleigh (modo fondamentale).....	1

### Strato 1

h [m].....	3
z [m] .....	-3
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1580
Poisson .....	0.2
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s] .....	319.37

### Strato 2

h [m].....	4.5
z [m] .....	-7.5
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2180
Poisson .....	0.2
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s] .....	301.86

### Strato 3

h [m].....	2
z [m] .....	-9.5
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2130
Poisson .....	0.2
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s] .....	353.25

### Strato 4

h [m].....	4
z [m] .....	-13.5
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2160
Poisson .....	0.48
Falda presente nello strato	
Vs fin.[m/s] .....	558.99



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

### Strato 5

h [m].....	9
z [m].....	-22.5
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2200
Poisson.....	0.48
Falda presente nello strato	
Vs fin.[m/s] .....	669.36

### Strato 6

h [m].....	13
z [m].....	-35.5
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2200
Poisson.....	0.48
Falda presente nello strato	
Vs fin.[m/s] .....	701.23

### Strato 7

h [m].....	0
z [m].....	-00
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2200
Poisson.....	0.48
Falda presente nello strato	
Vs fin.[m/s] .....	766.33

Il livello piezometrico è risultato attestato alla quota di -11.50 m da p.c. attuale come da misura effettuata in data 18/09/2008. Tale rilievo è stato eseguito nel foro di sondaggio attrezzato con piezometro situato nelle immediate vicinanze del profilo sismico.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

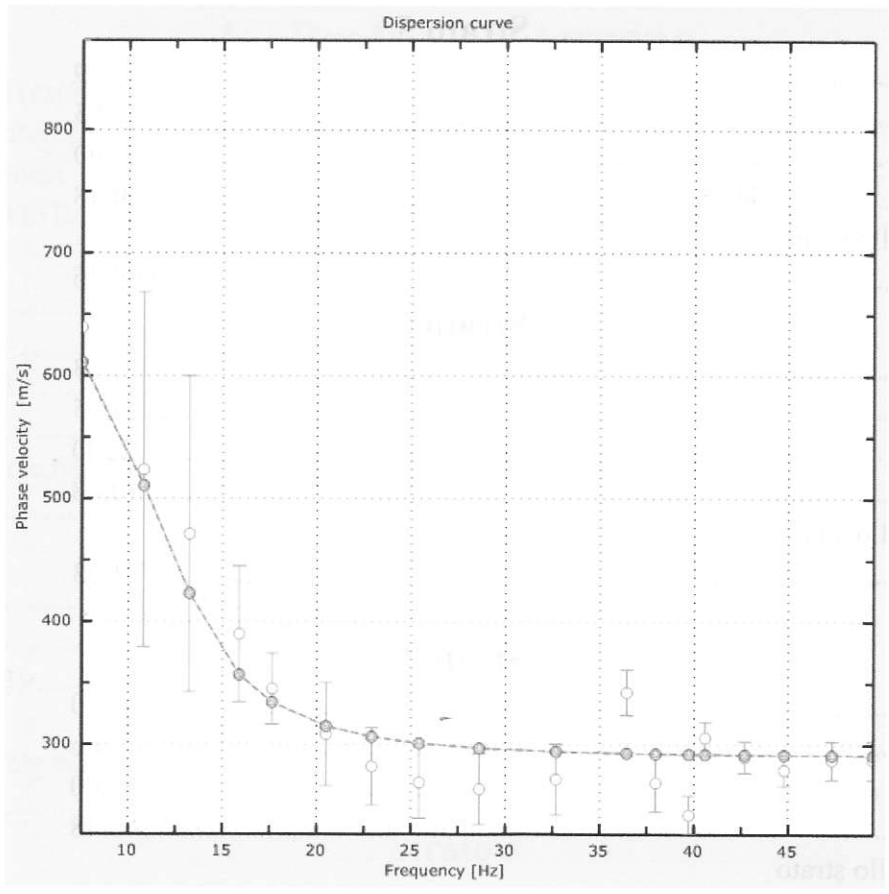


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (Picking - verde), modo fondamentale di Rayleigh (linea azzurra), curva teorica numerica effettiva (linea rossa), curva teorica numerica apparente (linea blu).

Errore relativo tra curva sperimentale e teorica numerica (apparente ed effettiva) è risultato pari a: 8%.



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

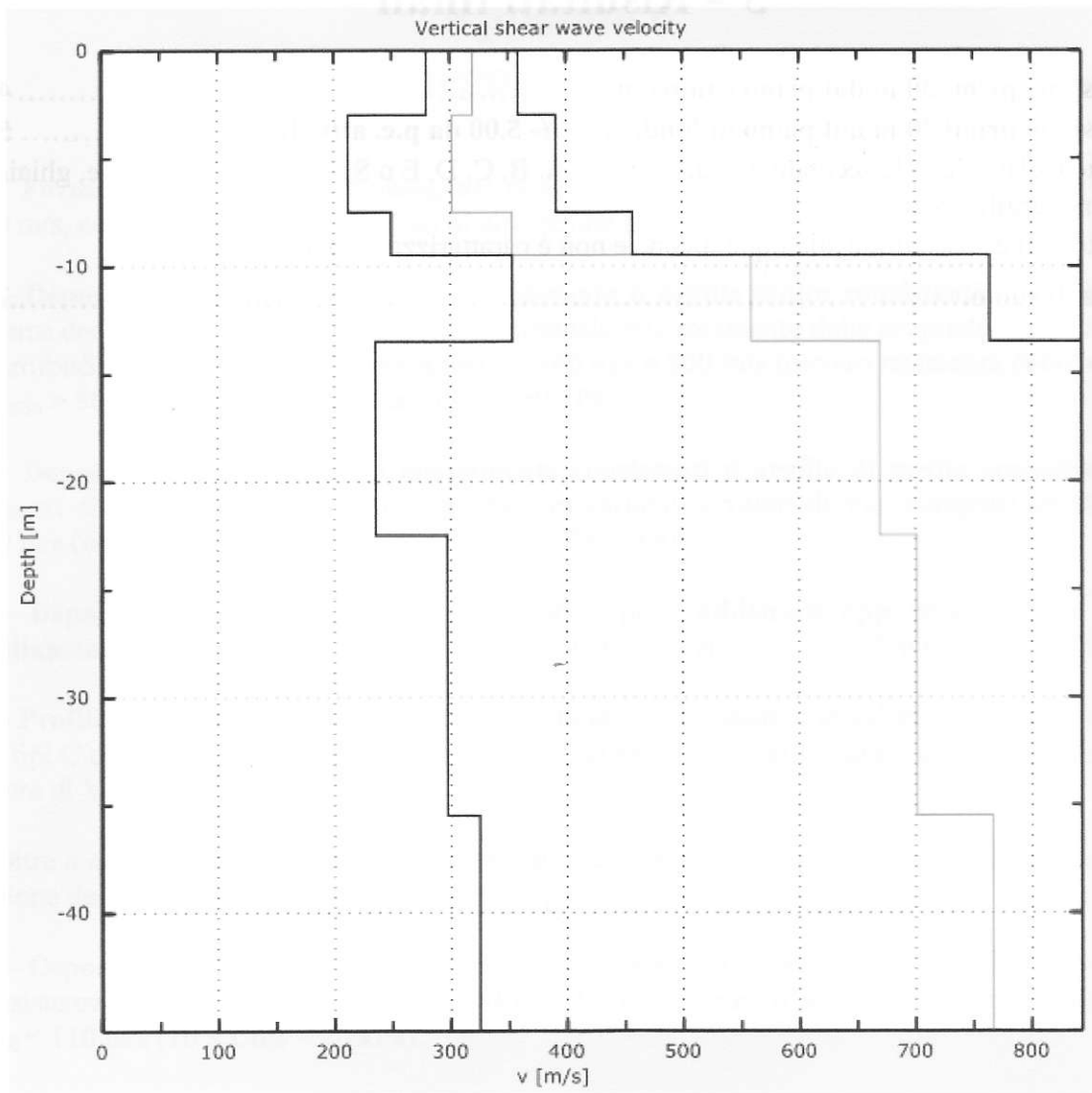


Figura 5: Profilo verticale delle Vs riferito al punto mediano dell'allineamento sismico

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW a corredo del progetto di sopraelevazione o ampliamento dell'edificio municipale sito in via Martiri della Libertà, 6 nel comune di Sasso Marconi (BO).

## 5 – Risultati finali

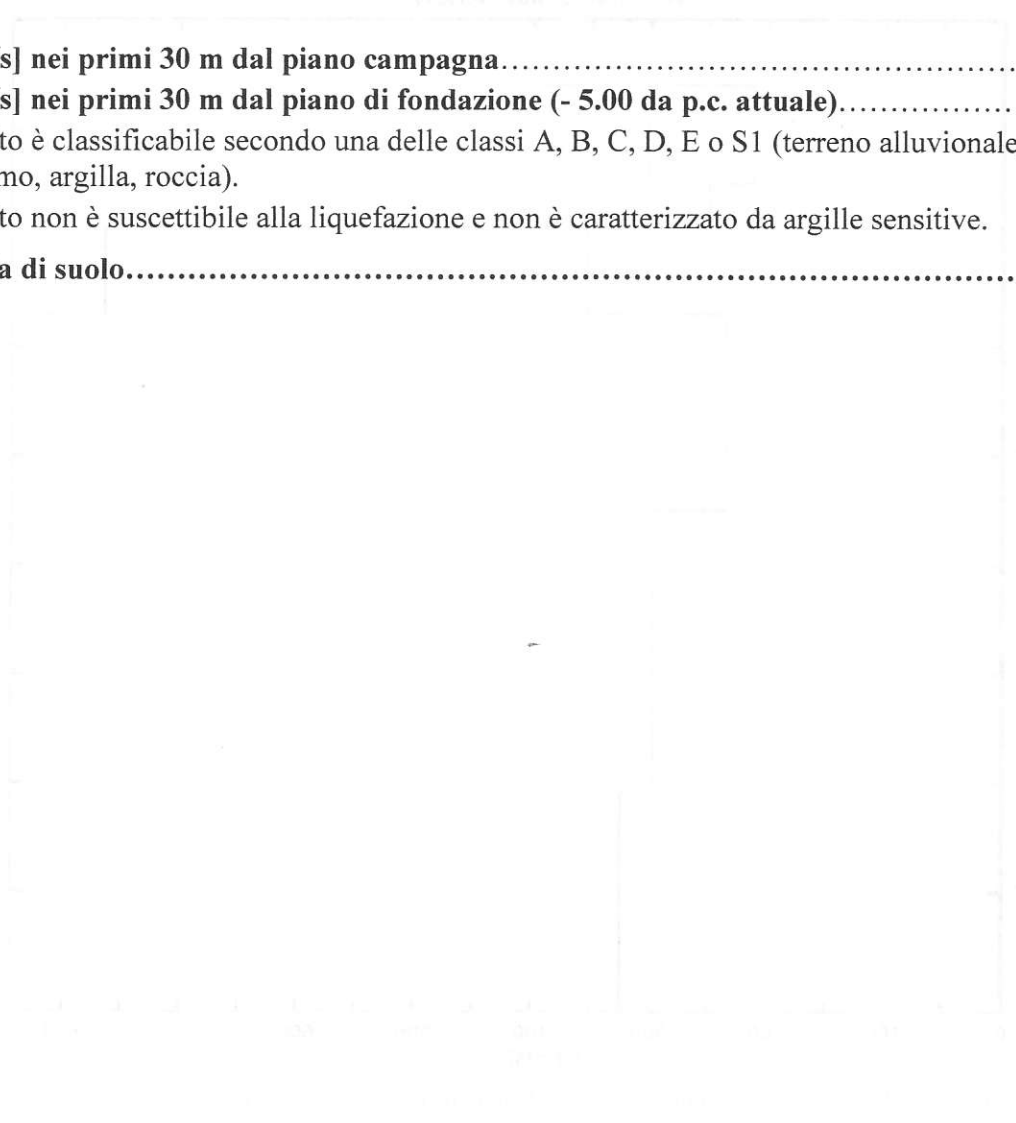
**Vs30 [m/s] nei primi 30 m dal piano campagna..... 489**

**Vs30 [m/s] nei primi 30 m dal piano di fondazione (- 5.00 da p.c. attuale)..... 573**

Questo sito è classificabile secondo una delle classi A, B, C, D, E o S1 (terreno alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Questo sito non è suscettibile alla liquefazione e non è caratterizzato da argille sensitive.

**Categoria di suolo.....B**



## Appendice

### Categorie di suolo

**A – Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi** caratterizzati da valori di  $V_{S30}$  superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiali di spessore massimo pari a 5 m.

**B – Depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti**, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica  $N_{SPT30} > 50$ , o coesione non drenata  $Cu_{30} > 250$  kPa).

**C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente consistenti o argille di media consistenza**, con spessori di diverse decine di metri, con spessori variabili e valori di  $V_{S30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT30} > 50$ , o  $70 < Cu_{30} > 250$  kPa).

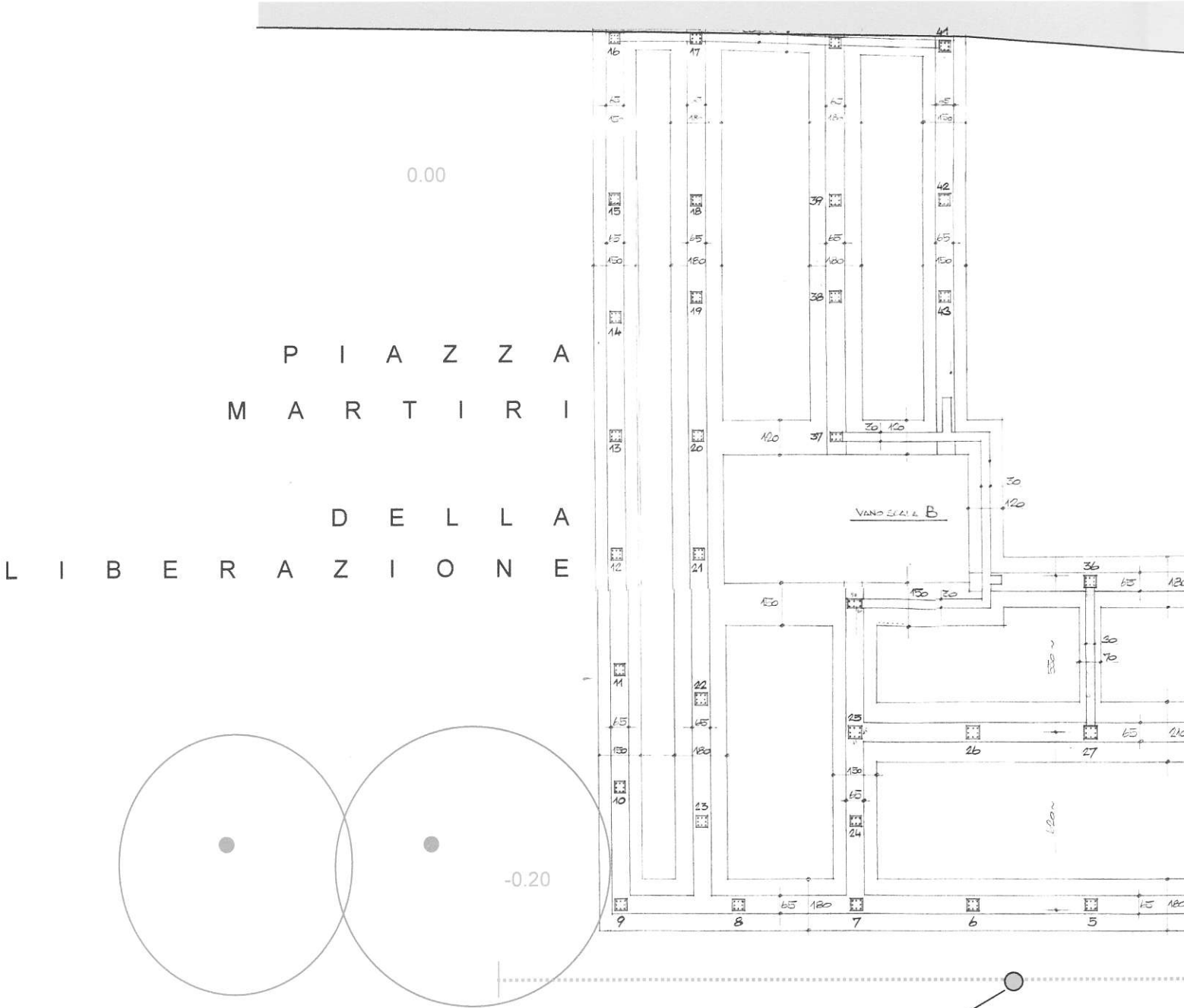
**D - Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti** con valori di  $V_{S30} < 180$  m/s (ovvero  $N_{SPT30} < 15$ , o  $Cu_{30} < 70$  kPa).

**E – Profili di terreno costituiti d strati superficiali alluvionali**, con valori di  $V_{S30}$  simili a quelli dei tipi C e D e spessore compreso tra i 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale rigido con valore di  $V_{S30} > 800$  m/s.

Oltre a queste categorie se ne definiscono altre 2, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare.

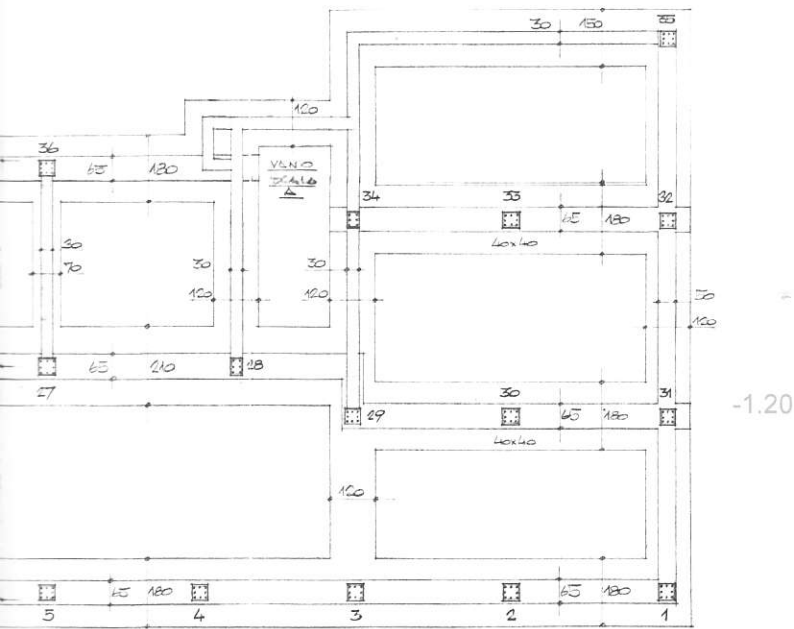
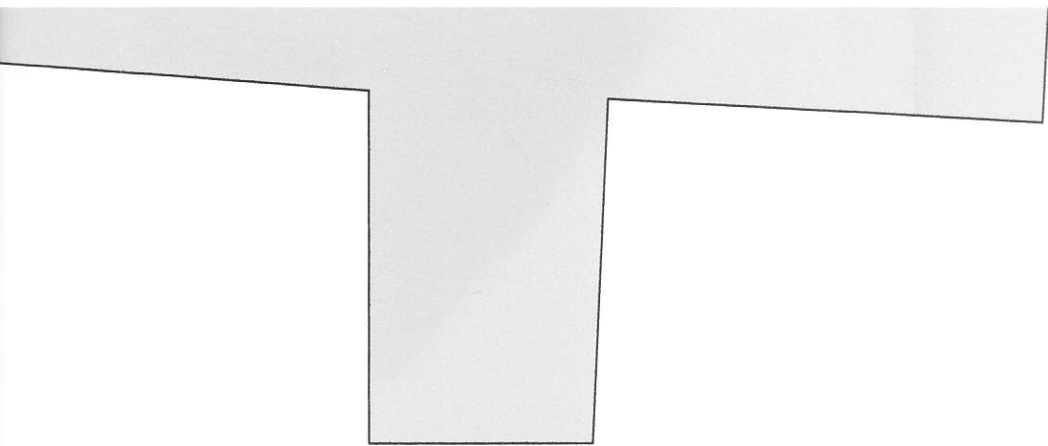
**S1** – Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille e limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ( $PI > 40$ ) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di  $V_{S30} < 110$  m/s ( $10 < Cu_{30} < 20$  kPa).

**S2** – Depositi di terreno soggetti a liquefazione, argille sensitive, o qualsiasi altra categoria non classificabile nei tipi precedenti.



V I A P O R R E T T A

Punto mediano dello stendimento in corrispondenza del quale è riferito il valore di Vs30 ottenuto.

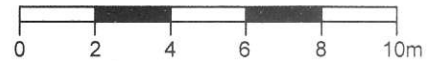


V I A D E L M E R C A T O

T A N A

**UBICAZIONE INDAGINE SISMICA ESEGUITA**

Scala 1:200



-1.20 Quota piano campagna dal piano terra = 0.00 del Municipio

----- Traccia sezione geofisica MASW