

## COMUNE DI FORTE DEI MARMI

*Proprietari:*

Galeotti Giuseppe - Angelini Pierluigi  
Foffa Alfredo - Foffa Laura - Foffa Elisa  
Iacopi R.M.Gilda - Costa Versilia

*Intestazione:*

Piano Attuativo (art.70 della L.R. 1/2005)  
Comparto Urbanistico  
“AT2-A, via Emilia - via Dalla Piccola  
(Caserma dei Carabinieri)”

*Elaborato:*

RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA DI FATTIBILITA'  
ai sensi del DPGR n°53/R del 25.10.2011

Dott. Geologo Alessandro Cortopassi



febbraio 2012

INDICE

<i>PREMESSA</i>	4
<i>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</i>	4
<i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</i>	5
<i>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO - IDROGRAFICO</i>	6
<i>INDAGINI GEOTECNICHE</i>	7
stratigrafia media del lotto	7
caratteristiche fisico-meccaniche medie dei terreni	8
azioni sismiche (D.M. del 14 gennaio 2008)	9
<i>FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO</i>	11
fattibilità idraulica in base al DPRG n° 53/R	11
fattibilità sismica in base al DPRG n° 53/R	12
valutazione della suscettibilità dei terreni a liquefazione	13
fattibilità geologica in base al DPRG n° 53/R	16

FIGURE

COROGRAFIA (scala 1:10.000)	Fig. 1
CARTA GEOLOGICA (scala 1:5.000)	Fig. 2
PLANIMETRIA INDAGINI GEOGNOSTICHE (scala 1:1.000)	Fig. 3
SEZIONE STRATIGRAFICO-TECNICA (scala Vert 1:100/scala orizz 1:200)	Fig. 4
ESTRATTO CARTA DI TUTELA DEL TERRITORIO Tav.24 PAI Toscana Nord	Fig. 5
ESTRATTO CARTA DELLA FRAGILITA' IDRAULICA Tav.4 Piano Complesso degli Interventi del comune di Forte dei Marmi	Fig. 6
CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA ai sensi del DPGR n.53/R del 25 ottobre 2011 (scala 1:5000)	Fig. 7a
CARTA DELLA FATTIBILITA' IDRAULICA ai sensi del DPGR n.53/R del 25 ottobre 2011 (scala 1:5000)	Fig. 7b
CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA ai sensi del DPGR n.53/R del 25 ottobre 2011 (scala 1:5000)	Fig. 8a
CARTA DELLA FATTIBILITA' SISMICA ai sensi del DPGR n.53/R del 25 ottobre 2011 (scala 1:5000)	Fig. 8b
CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA ai sensi del DPGR n.53/R del 25 ottobre 2011 (scala 1:5000)	Fig. 9a
CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA ai sensi del DPGR n.53/R del 25 ottobre 2011 (scala 1:5000)	Fig. 9b

APPENDICI

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT	App. 1
SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO	App. 2
PROSPEZIONE SISMICA IN FORO DOWN-HOLE	App. 3

## **PREMESSA**

Su incarico del Dott. Arch. Marco Bernacca, ai sensi del DPGR n° 53/R del 25 ottobre 2011, è stata redatta la presente relazione geologico tecnica di fattibilità a supporto del Piano Attuativo "AT2-A in via Emilia - via Dalla Piccola", disciplinato dal Piano Complesso di Intervento del comune di Forte dei Marmi (vd. COROGRAFIA di **Fig.1** in scala 1:10.000).

Le considerazioni effettuate nella presente relazione, riguardanti gli aspetti di natura vincolistica e di fattibilità, sono relative esclusivamente al perimetro dell'area delimitato in colore rosso in **Fig.2**.

## **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Il presente studio è stato svolto presa visione della seguente normativa in materia:

- *D.L. n.180/98 convertito, con modificazioni, dalla L. n. 267 del 3.08.1998, recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da dissesti franosi nella regione Campania.*
- *Piano Territoriale di Coordinamento - Provincia di Lucca, svolto ai sensi del D.M. LL. PP. 11 marzo 1988, adottato con delibera del C.P. n. 108 del 18 luglio 2000.*
- *Delibera del Consiglio Regionale n. 230/94 "Provvedimenti sul rischio idraulico ai sensi degli artt. 3 e 4 della L.R. 74/84 - Adozione di prescrizioni e vincoli. Approvazione di direttive" e successive modifiche di cui alla DCR 12/00 (approvazione del PIT).*
- *Delibera del Consiglio Regionale n. 12 del 25 gennaio 2000 - Approvazione del Piano di Indirizzo Territoriale - Art. 7 L.R. 16 gennaio 1995, n. 5.*
- *Legge Regionale 39 del 21 marzo 2000 "Legge Forestale della Toscana" e s. m. e Regolamento 48/R agosto 2003.*
- *Delibera di Giunta Regionale n. 1328 del 20.12.2004 pubblicata sul BURT del 05.01.2005 con la quale si adottano le perimetrazioni delle aree a rischio idrogeologico e geomorfologico molto elevato ed elevato, nonché le relative norme di Piano per il Bacino Regionale Toscana Nord.*
- *Regolamento Urbanistico del Comune di Forte dei Marmi.*
- *L.R. n°1/2005 "Norme per il governo del territorio"*
- *Del. GRT. 431 del 19 giugno 2006 - "Riclassificazione sismica del territorio regionale: Attuazione del D.M. 14.09.2005 e Ord. Pc:m: 3519 del 28.04.2006 pubblicata sulla G.U. dell'11.05.2006".*
- *D.M. del 14 gennaio 2008 - "Norme tecniche per le costruzioni" - pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n°29 del 4 febbraio 2008 con Supplemento Ordinario n°30.*
- *CIRCOLARE 2 Febbraio 2009 n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" (Gazzetta Ufficiale del 26.02.2009 n. 47, supplemento ordinario n. 27).*
- *Piano Strutturale approvato con delibera del C.C. n°14 del 10/02/2009 (pubblic. B.U.R.T. n°14 del 08/04/2009) e successive varianti.*

- *Decreto del Presidente della Giunta regionale n.36/R del 9 luglio 2009 – “Regolamento di attuazione dell’articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico”. (Pubblicazione BURT del 17.07.2009 n. 25).*
- *Variante al Regolamento Urbanistico approvata con Delibera C.C. n°19 del 07 aprile 2010.*
- *Piano Complesso degli Interventi adottato con Delibera del C.C. n. 18 del 14.03.2011 (Pubblicazione BURT del 27.04.2011 n. 17).*
- *DPGR 25 ottobre 2011 n.53/R “Regolamento di attuazione dell’art. 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche”.*

## **INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

L'area di studio è situata nella piana versiliese, nel settore interno del Comune di forte dei Marmi, immediatamente ad ovest dell’autostrada Livorno-Genova. Localmente la morfologia è pianeggiante con quota media del piano di campagna compresa tra 2.4 e 2.6m s.l.m (vd. CTR Regione Toscana in scala 1:2000 - Foglio 21D55).

Dal punto di vista geomorfologico l'evoluzione della Piana è legata all'abbassamento del margine esterno del substrato roccioso Apuano per una serie di strutture di collasso a direzione appenninica, tipiche della tettonica distensiva di età Miocenica e quaternaria che ha interessato tutta la Toscana settentrionale. Le faglie hanno ribassato la parte occidentale di territorio e permesso il rapido colmamento della piana, con alternanze di sedimenti continentali e costieri.

La successione sedimentaria della Piana è legata ai movimenti eustatici del livello medio marino, connessi con le fasi glaciali ed interglaciali. Il Pleistocene superiore è stato caratterizzato da notevoli variazioni sia positive che negative della linea di costa; l’assetto attuale è dovuto alla trasgressione Versiliana, iniziata dopo l’ultimo acme glaciale (18-20000 anni fa), che ha fatto risalire il livello del mare di circa 110 metri.

Dopo la formazione dei primi cordoni dunari paralleli alla costa intorno ai 3000-4000 anni fa cessa l’avanzamento del mare e, grazie all’apporto solido di fiumi e torrenti (accentuato in età Romana dagli estesi disboscamenti), la linea di costa progredisce verso ovest.

Con il definitivo avanzamento della linea di costa si formano così tra i cordoni dunari ed i depositi alluvionali pedecollinari, vaste depressioni in buona parte colmate con depositi limo-argillosi e/o torbosi tutt’ora in fase di consolidazione. Gli specchi d’acqua del Lago di Massaciuccoli a sud e del Lago di Porta a nord rappresentano i luoghi dove non è avuto interrimento totale.

Come evidenziato nella CARTA GEOLOGICA di **Fig.2** in scala 1:5.000 nell'intorno del sito di indagine i sedimenti superficiali sono riconducibili a depositi palustri (**p**), costituiti prevalentemente da limi sabbiosi e torbe, i quali risultano sovrapposti ai depositi sabbiosi eolici e marini (**d**), la cui messa in posto è avvenuta negli ultimi 18.000 anni, i cui affioramenti si rinvenivano diffusamente ad ovest del lotto.

Le indagini effettuate nel lotto, ubicate nella PLANIMETRIA INDAGINI GEOGNOSTICHE in scala 1:1000 di **Fig.3**, hanno evidenziato nel lotto uno spessore dei depositi palustri di 2.15m. Al di sotto di questi depositi sono presenti i depositi sabbiosi di origine marina.

### **INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO - IDROGRAFICO**

Idrogeologicamente il settore di piana in esame è caratterizzato da un acquifero superficiale con sede nei depositi sabbiosi sottostanti i terreni prevalentemente limosi superficiali; tale acquifero può risultare localmente semiconfinato per la presenza di questi depositi poco permeabili superficiali.

In base alle misure piezometriche effettuate nell'area il livello medio della falda è situato a quota -1.4m da piano di campagna ed escursione annua di circa 70cm, con massimi di ricarica autunnali/invernali e minimi estivi.

La falda, in questa area costiera, è alimentata prevalentemente dagli apporti meteorici, la zona di ricarica è ubicabile in corrispondenza della duna eolica, il cui asse segue approssimativamente il prolungamento di viale Morin.

Le sabbie rappresentano un livello permeabile per porosità, variabile in funzione dell'assortimento granulometrico e del grado di addensamento, il coefficiente di permeabilità  $K$  dell'orizzonte sabbioso superiore risulta di circa  $10^{-4/-5}$  m/sec.

Il principale corso d'acqua dell'area è rappresentato dal Fiume Versilia, che scorre circa 400m a nord-est del lotto.

Il Fiume Versilia risulta soggetto alla delimitazione degli ambiti denominati A e B delle prescrizioni e vincoli, secondo quanto esposto nel P.T.C. della Provincia di Lucca ed ai sensi della Deliberazione del Consiglio Regionale n. 230/94 e successive modifiche di cui alla DCR 12/00 (approvazione del PIT). L'intervento in esame ricade esternamente a tali ambiti.

## **INDAGINI GEOTECNICHE**

Per l'individuazione stratigrafica dei terreni e la preliminare caratterizzazione fisico-meccanica, sono state utilizzate numerose indagini geognostiche di archivio effettuate nell'intorno dell'area in oggetto (penetrometrie dinamiche, penetrometrie statiche, stratigrafie di sondaggio e di pozzo), la cui ubicazione è riportata in Fig.2.

I dati a disposizione sono stati integrati mediante esecuzione nel lotto delle indagini di seguito riportate:

- n°1 prova penetrometrica statica CPT pinta fino alla profondità di 8m;
- n°1 sondaggio a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 30m;
- n°1 prospezione sismica in foro down hole fino a profondità di 30m.

Le indagini sopraelencate sono ubicate nella PLANIMETRIA INDAGINI GEOGNOSTICHE in scala 1:1.000 di **Fig.3** ed in Fig.2.

- Lo strumento impiegato per la penetrometria statica è il penetrometro Pagani modello TG63-200, con l'impiego di punta meccanica tipo Begemann e spinta di 200kN; in dettaglio le caratteristiche dello strumento e le correlazioni effettuate sono riportate in **Appendice 1**.
- In **Appendice 2** è riportata la documentazione fotografica relativa al sondaggio a carotaggio continuo ed alle carote estratte durante il sondaggio sistemate in cassette catalogatrici; è riportata inoltre la colonna stratigrafica dei 30m indagati dal sondaggio;
- Lo strumento impiegato per la prospezione sismica down hole è il sismografo AMBROGEO "ECHO24/2002"; in **Appendice 3** sono riportate le caratteristiche della strumentazione ed i risultati ottenuti.

### ***stratigrafia media del lotto***

La stratigrafia dei terreni, ottenuta dall'elaborazione dei dati ricavati dalle indagini effettuate, descritta anche nella SEZIONE STRATIGRAFICO TECNICA di **Fig.4** (scala vert. 1:100/scala orizz. 1:200), è sintetizzata in dettaglio di seguito (vd. **App.2**):

<i>m da p.c.</i>	<i>livello</i>	<i>natura del terreno</i>
0.00 – 1.00	<b>Lsa</b>	Limo sabbioso argilloso
1.00 – 2.15	<b>T</b>	Torba
2.15 – 3.00	<b>So</b>	Sabbia con fustelle organiche
3.00 – 13.10	<b>Slma</b>	Sabbia limosa moderatamente addensata
13.10 – 15.30	<b>Lsa</b>	Limo sabbioso argilloso
15.30 – 28.60	<b>Gsl</b>	Ghiaia sabbioso limosa localmente cementata
28.60 – 30.00	<b>Lgs</b>	Limo con ghiaia sabbioso

In particolare si evidenzia la presenza di un orizzonte costituito da depositi palustri torbosi (spessore circa 2.20m), i quali sono sovrapposti ad uno spesso livello sabbie eoliche e marine; alla profondità di circa 15m si incontrano i depositi ghiaiosi ciottolosi in matrice sabbiosa depositi dal Fiume Versilia.

Tale dato trova conferma dalle indagini sismiche condotte nel lotto, le quali identificano un orizzonte riferibile a depositi a componente ghiaiosa alla profondità di circa 14m.

Analizzato il progetto architettonico attualmente disponibile, si osserva che l'intervento prevede l'edificazione di una struttura adibita a caserma dei carabinieri e di 4 fabbricati di civile abitazione. Vista la presenza di depositi torbosi superficiali per la messa in sicurezza delle nuove strutture si indica di fondare i fabbricati in sabbia, a profondità  $\geq 2.20m$  da p.c attuale.

Qualora i fabbricati di progetto risultino privi di vano interrato, in sede di PdC dovrà essere valutata la necessità di impiegare fondazioni profonde oppure realizzare il miglioramento del terreno fino alla profondità di 2.2m da p.c. attuale.

### ***caratteristiche fisico-meccaniche medie dei terreni***

Le indagini effettuate hanno permesso di individuare le caratteristiche fisico-meccaniche medie dei terreni. Cautelativamente si può assumere:

<b>Livelli stratigrafici</b>	<b>Lsa</b>	<b>T</b>	<b>So</b>	<b>Slma</b>
peso di volume naturale $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	1.80	1.70	1.80	1.85
(N/m <sup>3</sup> )	17652	16671	17652	18142
resistenza statica di punta <b>qc</b> (Kg/cm <sup>2</sup> )	26.67	13.63	33.67	67.48
(N/mm <sup>2</sup> )	2.62	1.34	3.30	6.62
resistenza statica laterale <b>fs</b> (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.88	0.65	0.78	1.16
(N/mm <sup>2</sup> )	0.086	0.064	0.076	0.114
densità relativa <b>Dr</b> (%)	/	/	49	59
coesione non drenata <b>cu</b> (Kg/cm <sup>2</sup> )	0	n.r.	0	0
(N/mm <sup>2</sup> )	0	n.r.	0	0
angolo di attrito interno $\phi=\phi'$ (°)	27	n.r.	29	32
coeff. compressibilità volum. <b>Mv</b> (cm <sup>2</sup> /Kg)	0.015	n.r.	0.007	0.004
(mm <sup>2</sup> /N)	0.15	n.r.	0.07	0.04
Modulo Edometrico <b>Mo</b> (Kg/cm <sup>2</sup> )	70	n.r.	100	200
(N/mm <sup>2</sup> )	6.86	n.r.	9.81	19.61
coeff. di sottofondo unitario vert. <b>Ks1*</b> (Kg/cm <sup>3</sup> )	1.50	n.r.	2.75	4.50
(N/cm <sup>3</sup> )	14.71	n.r.	26.97	44.13

\* il valore del coefficiente di sottofondo unitario verticale  $Ks1$  è espresso per terreni in assenza di falda. Noto il valore di  $ks1$  è possibile determinare il coefficiente di sottofondo **Ks** (verticale e orizzontale) relativo alle fondazioni di progetto tramite la conoscenza del modulo elastico e dei momenti d'inerzia della fondazione.

I valori dei parametri geotecnici sopra indicati costituiscono i valori medi relativi ai livelli stratigrafici presenti in sito, individuati tramite elaborazione di numerose indagini a disposizione in un intorno significativo del sito. Per la determinazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici si rimanda alla relazione geotecnica da redigere ai sensi del *D.M. del 14/01/2008 - Norme tecniche per le costruzioni*.

### **azioni sismiche (D.M. del 14 gennaio 2008)**

Per l'intervento in esame, in base a quanto esposto nel D.M. del 14 gennaio 2008, ai fini della valutazione delle azioni sismiche di progetto è stata valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale.

Nel caso in esame l'azione sismica sulle strutture di progetto è stata definita mediante l'effettuazione di una prospezione sismica in foro down-hole (vd. ubicazione in Fig.2 e 3 e App.3), dalla quale emerge la presenza di depositi superficiali caratterizzati da  $180\text{m/s} < VS30 < 360\text{m/s}$  ricadenti quindi in **categoria C**.

Di seguito si riportano l'accelerazione orizzontale massima  $a_{max}$  attesa al sito ed i relativi i coefficienti sismici orizzontali e verticali, ottenuti considerando per le opere in oggetto:

CLASSE D'USO II – CIVILE ABITAZIONE

<b>Stati limite</b>		<b><math>a_{max}</math> (m/sec<sup>2</sup>)</b>	<b>Kh (%)</b>	<b>Kv (%)</b>
Stati limite di esercizio	SLO	0.637	1.30	0.65
	SLD	0.795	1.62	0.81
Stati limiti ultimi	SLV	1.942	4.75	2.38
	SLC	2.438	5.96	2.98

CLASSE D'USO IV – CASERMA DEI CARABINIERI

<b>Stati limite</b>		<b><math>a_{max}</math> (m/sec<sup>2</sup>)</b>	<b>Kh (%)</b>	<b>Kv (%)</b>
Stati limite di esercizio	SLO	0.851	1.73	0.87
	SLD	1.045	2.13	1.07
Stati limiti ultimi	SLV	2.415	5.91	2.96
	SLC	2.898	8.27	4.14

## **FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO**

In generale la fattibilità rappresenta l'ammissibilità delle trasformazioni fisiche e funzionali del territorio e degli immobili che lo compongono.

Nel presente studio si è proceduto alla determinazione della fattibilità per l'intervento in esame in riferimento agli aspetti di natura geologica, idraulica e sismica, secondo le indicazioni riportate nel DPGR n°53/R del 25.10.2011.

In particolare secondo quanto stabilito dal DPGR n°53/R del 25 ottobre 2011 (allegato A-Direttive per le indagini geologico-tecniche) le condizioni di fattibilità della previsione in esame sono state definite in funzione delle situazioni di pericolosità riscontrate.

### ***fattibilità idraulica in base al DPRG n° 53/R***

Sulla base di quanto esposto nell'allegato A (*Direttive per le indagini geologiche*) del DPGR n°53/R del 25 ottobre 2011, le condizioni di fattibilità idraulica della previsione urbanistica in esame sono state definite in funzione delle situazioni di pericolosità riscontrate per fattori idraulici.

A tal proposito, in base alla "*Carta tutela del territorio - Tav. 24*" allegata al PAI Bacino Toscana Nord adottato con Delibera di Giunta Regionale n. 1328 del 20.12.2004 (pubblicazione BURT del 05.01.2005), di cui si riporta un estratto in **Fig.5**, l'area oggetto di intervento non è interessata dalla zonizzazione di rischio individuata dal Piano di Bacino Regionale Toscana Nord, essendo inserita nelle aree definite "*Ambiti di fondovalle*", esterne alle aree a pericolosità idraulica (P.I.E e P.I.M.E.).

Il quadro di fragilità idraulica del territorio comunale è stato recentemente aggiornato nel corso della redazione del "*Piano Complesso degli Interventi*" del Comune di Forte dei Marmi adottato con Delibera del C.C. n. 18 del 14.03.2011 (Pubblicazione BURT del 27.04.2011 n. 17).

In particolare, i dati a disposizione, in termini di notizie storiche e verifiche idrauliche già realizzate sul Fiume Versilia e sul Fosso Fiumetto, sono stati integrati mediante studio idraulico relativamente al sistema dei fossi minori, quali il Fosso Scialo, il Fosso Fossetto ed il Colatore di sinistra. I risultati dell'indagine hanno consentito la redazione della "*Carta della fragilità idraulica - Tav.4*" allegata al P.C.I., di cui si riporta un estratto in **Fig.6**, dove sono delimitate le aree interessate da fenomeni di esodo con tempi di ritorno  $Tr=20$ anni,  $30$ anni e  $200$ anni. In particolare si evidenzia come il sito

di intervento non risulti interessato da fenomeni di esodo per tempi di ritorno  $T_r \leq 200$ anni.

Per quanto esposto, in riferimento alle indicazioni fornite nel § 2.1-C (*Valutazione di pericolosità*) - allegato A del DPGR n°53/R-2011, si attribuisce al lotto in esame il **grado di pericolosità idraulica medio (I.2)** (vd. **Fig.7a** – CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA ai sensi del DPGR n°53/R-2011 – scala 1: 2000).

Come previsto nel § 3.2.2 (*Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti idraulici*) - allegato A del DPGR n°53/R-2011 “nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica media per gli interventi di nuova edificazione e per le nuove infrastrutture possono non essere dettate condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere idraulico.

Pertanto, in riferimento delle indicazioni del § 3.1 (Condizioni di fattibilità) - allegato A del DPGR n°53/R-2011, si individua la categoria di fattibilità **F2 – fattibilità con normali vincoli** (vd. **Fig.7b** – CARTA DELLA FATTIBILITA' IDRAULICA ai sensi del DPGR n°53/R-2011 – scala 1: 2000).

### ***fattibilità sismica in base al DPRG n° 53/R***

Sulla base di quanto esposto nell'allegato A (*Direttive per le indagini geologiche*) del DPGR n°53/R del 25 ottobre 2011, le condizioni di fattibilità sismica della previsione urbanistica in esame sono state definite in funzione delle situazioni di pericolosità riscontrate per fattori sismici.

Nel caso in esame l'area indagata si colloca in corrispondenza del settore centrale della piana versiliese e risulta caratterizzata da depositi limoso sabbiosi e torbosi superficiali soprastanti depositi sabbiosi eolici e marini.

Per evitare problematiche relative a cedimenti/assestamenti e per la messa in sicurezza delle nuove strutture è stato prescritto di fondare i fabbricati in sabbia, a profondità  $\geq 2.20$ m da p.c attuale.

Pertanto, così come definito nel § 2.B.7 - allegato A del DPGR n°53/R-2011, il sito di intervento ricade potenzialmente nelle *zone suscettibili di instabilità* per attivazione di fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma, quale la liquefazione dei terreni sabbiosi saturi.

Al fine di determinare la pericolosità sismica del sito rispetto al fenomeno della liquefazione si riporta di seguito la verifica alla liquefazione condotta per intervalli di 1m sui terreni sabbiosi a partire dalla profondità di 2.20m da p.c..

**valutazione della suscettibilità dei terreni a liquefazione**

Come previsto nel § 7.11.3.4.3 "Metodologie di analisi" del D.M. del 14 gennaio 2008 nel presente studio la verifica è stata condotta con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza **F1** nella verifica di resistenza alla liquefazione viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione **CRR** (Cyclic Resistance Ratio) e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto **CSR** (Cyclic Stress Ratio).

$$F1 = \frac{CRR * MSF}{CSR}$$

Dove MSF è un fattore correttivo funzione della magnitudo del sisma atteso in sito.

L'Eurocodice 8 suggerisce l'assunzione di un coefficiente di sicurezza a liquefazione  $F1 = 1.25$ .

Per il calcolo di CRR è stato utilizzato il metodo di Robertson e Wride, mentre per il CSR si è fatto ricorso al metodo semplificato di Seed e Idriss.

Cautelativamente la verifica alla liquefazione sismica è stata effettuata per la classe d'uso IV.

valutazione della resistenza disponibile alla liquefazione (CRR)

Il metodo proposto da Robertson e Wride del 1997 permette di valutare la capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) da prove penetrometriche statiche mediante la seguente espressione:

$$CRR = 93 * [(qc1n)cs / 1000]^3 + 0.08$$

con  $(qc1n)cs$  (resistenza alla punta corretta e normalizzata)

Utilizzando i valori di resistenza statica di punta ( $Qc$ ) e resistenza statica laterale ( $Fs$ ) medi derivati dalla prova statica effettuate nel sito si ottiene per profondità crescenti:

profondità (m)	resistenza statica di punta $qc$ (kg/cm <sup>2</sup> )	resistenza statica laterale $fs$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$(qc1n)cs$	<b>CRR</b>
2.2	33.67	0.78	93.50	<b>0,156</b>
3	67.48	1.16	137.97	<b>0,324</b>
4	67.48	1.16	127.33	<b>0,272</b>
5	67.48	1.16	121.16	<b>0,245</b>
6	67.48	1.16	117.53	<b>0,231</b>
7	67.48	1.16	115.46	<b>0,223</b>
8	67.48	1.16	114.39	<b>0,219</b>
9	67.48	1.16	113.99	<b>0,218</b>
10	67.48	1.16	114.06	<b>0,218</b>

valutazione della domanda di resistenza a liquefazione (CSR)

Per la valutazione della variabile CSR è stato fatto riferimento al metodo proposto da Seed e Idriss nel 1971, secondo la quale il parametro CSR è definito dalla seguente espressione:

$$CSR = 0.65 * (a_{max}/g) * (\sigma_v/\sigma'_v) * r_d$$

dove:

$a_{max}$ : accelerazione orizzontale di picco prodotta dal terremoto in superficie (2.415m/sec<sup>2</sup>);

$g$ : accelerazione di gravità (9.81m/sec<sup>2</sup>);

$\sigma_v$ = tensione verticale litostatica totale;

$\sigma'_v$ = tensione verticale litostatica efficace;

$r_d$ = coefficiente di riduzione delle tensioni, espresso per profondità dal piano di campagna  $z \leq 9.15m$  da  $r_d = 1 - 0.00765 * z$  e per  $9.15m \leq z \leq 23m$  da  $r_d = 1.174 - 0.0267 * z$ .

Considerando profondità variabili tra 1 e 10m con intervallo di 1.0m si ottiene:

profondità (m)	CSR
2.2	<b>0,270</b>
3	<b>0,268</b>
4	<b>0,266</b>
5	<b>0,264</b>
6	<b>0,262</b>
7	<b>0,260</b>
8	<b>0,258</b>
9	<b>0,255</b>
10	<b>0,249</b>

valutazione del fattore MSF

Il fattore MSF che tiene conto della magnitudo del sisma atteso in sito, può essere dedotto dalla seguente relazione, valida per valori di magnitudo  $M \leq 7.55$ :

$$MSF = (M/7.5)^{-3.3}$$

$M$  costituisce il valore di magnitudo attesa in sito per tempi di ritorno di 50 anni che per l'area in esame risulta 5.68.

Si ottiene pertanto:

$$MSF = (5.68/7.5)^{-3.3} = \mathbf{2.50}$$

Il coefficiente di sicurezza **F1** risulta pertanto:

<i>profondità (m)</i>	<i>CRR</i>	<i>CSR</i>	<i>F1</i>
2.2	0,156	0,270	<b>1,44</b>
3	0,324	0,268	<b>3,02</b>
4	0,272	0,266	<b>2,56</b>
5	0,245	0,264	<b>2,32</b>
6	0,231	0,262	<b>2,20</b>
7	0,223	0,260	<b>2,14</b>
8	0,219	0,258	<b>2,12</b>
9	0,218	0,255	<b>2,14</b>
10	0,218	0,249	<b>2,19</b>

Considerato che il coefficiente di sicurezza F1 alla liquefazione risulta costantemente superiore a quello minimo definito nell'Eurocodice 8 ( $F1 = 1.25$ ), in riferimento a quanto indicato nel § 2.1-C (*Valutazione di pericolosità*) - allegato A del DPGR n°53/R-2011, si attribuisce al lotto in esame la classe di **pericolosità sismica locale media (S.2)** (vd. **Fig.8a** - CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA ai sensi del DPGR n°53/R-2011 - scala 1:2.000).

In base a quanto esposto § 3.5 (*Criteri generali in relazione agli aspetti sismici*) - allegato A del DPGR n°53/R-2011 "nelle situazioni caratterizzate da pericolosità sismica media non è necessario indicare condizioni di fattibilità specifiche per la fase attuativa o per la valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia".

Pertanto, in riferimento delle indicazioni del § 3.1 (*Condizioni di fattibilità*) - allegato A del DPGR n°53/R-2011, si individua la categoria di fattibilità **F2 - fattibilità con normali vincoli** (vd. **Fig.8b** - CARTA DELLA FATTIBILITA' SISMICA ai sensi del DPGR n°53/R-2011 - scala 1:2.000).

Per la definizione dell'azione sismica sulle strutture di progetto in base al D.M. del 14 gennaio 2008, è stato fatto riferimento alle indagini sismiche effettuate nel lotto, costituite da una prospezione sismica in foro down-hole, dalla quale emerge la presenza di depositi superficiali caratterizzati da  $180\text{m/s} < VS30 < 360\text{m/s}$ .

Si attribuisce pertanto ai terreni di fondazione la **categoria C**.

In fase di PdC, a seguito di stesura della relazione geologica e della relazione geotecnica, da redigere ai sensi del D.M. del 14 gennaio 2008 - "Norme tecniche per le costruzioni", dovranno essere indicati gli accorgimenti progettuali ritenuti necessari per la mitigazione della vulnerabilità geotecnica e sismica delle strutture di progetto. In fase preliminare, per la messa in sicurezza delle nuove strutture si indica fondare i fabbricati in sabbia, alla profondità  $\geq 2.20\text{m}$  da p.c attuale.

**fattibilità geologica in base al DPRG n° 53/R**

Considerando che il sito si colloca in prossimità della piana versiliese sono stati considerati quei processi geomorfologici legati alla dinamica fluviale e marina. Facendo riferimento a quanto emerso dai sopralluoghi effettuati in un intorno significativo del lotto e dalle indagini eseguite in sito emergono elementi di sostanziale stabilità dell'assetto locale, non risultando in atto fenomeni di erosione o di accumulo fluviale, lacustre, marino o eolico.

Poiché non si conoscono nell'area problematiche legate alla subsidenza, considerato che le strutture di fondazione dei nuovi fabbricati dovranno essere impostate in sabbia, mitigando in tal senso la vulnerabilità delle strutture rispetto ai cedimenti, in riferimento a quanto indicato nel § 2.1-C. (*Valutazione di pericolosità*) - allegato A del DPGR n°53/R-2011, si attribuisce al lotto in esame il **grado di pericolosità geologica medio (G.2)** (vd. **Fig.9a** – CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA ai sensi del DPGR n°53/R-2011 – scala 1:2000).

In base a quanto esposto § 3.2.1 (*Criteri generali in relazione agli aspetti geologici*) - allegato A del DPGR n°53/R-2011 “nelle situazioni caratterizzate da pericolosità geologica media le condizioni di attuazione sono indicate in funzione di specifiche indagini da eseguirsi a livello edificatorio al fine di non modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area”.

A tal proposito sono state condotte nel lotto indagini di approfondimento che, unitamente a quelle a disposizione per l'area, hanno consentito di ricostruire la stratigrafia del settore di intervento ed individuare i parametri fisico-meccanici medi dei terreni di fondazione. I dati ottenuti consentiranno in fase di PdC, mediante la stesura della relazione geologica e della relazione geotecnica, da redigere ai sensi del D.M. del 14 gennaio 2008 - “Norme tecniche per le costruzioni”, di individuare le soluzioni progettuali in grado di minimizzare i cedimenti/assestamenti ed annullare i processi di consolidazione dei terreni superficiali, mitigando così la vulnerabilità delle strutture.

Pertanto, in riferimento alle indicazioni del § 3.1 (Condizioni di fattibilità) - allegato A del DPGR n°53/R-2011, si individua la categoria di fattibilità **F2 – fattibilità con normali vincoli** (vd. **Fig.9b** – CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA ai sensi del DPGR n°53/R-2011 – scala 1:2000).

Si rimanda alla fase di PdC per la stesura della relazione geologica e della relazione geotecnica, ai sensi del D.M. del 14 gennaio 2008.

Viareggio, 27.02.2012

Dott. Geol. Alessandro Cortopassi





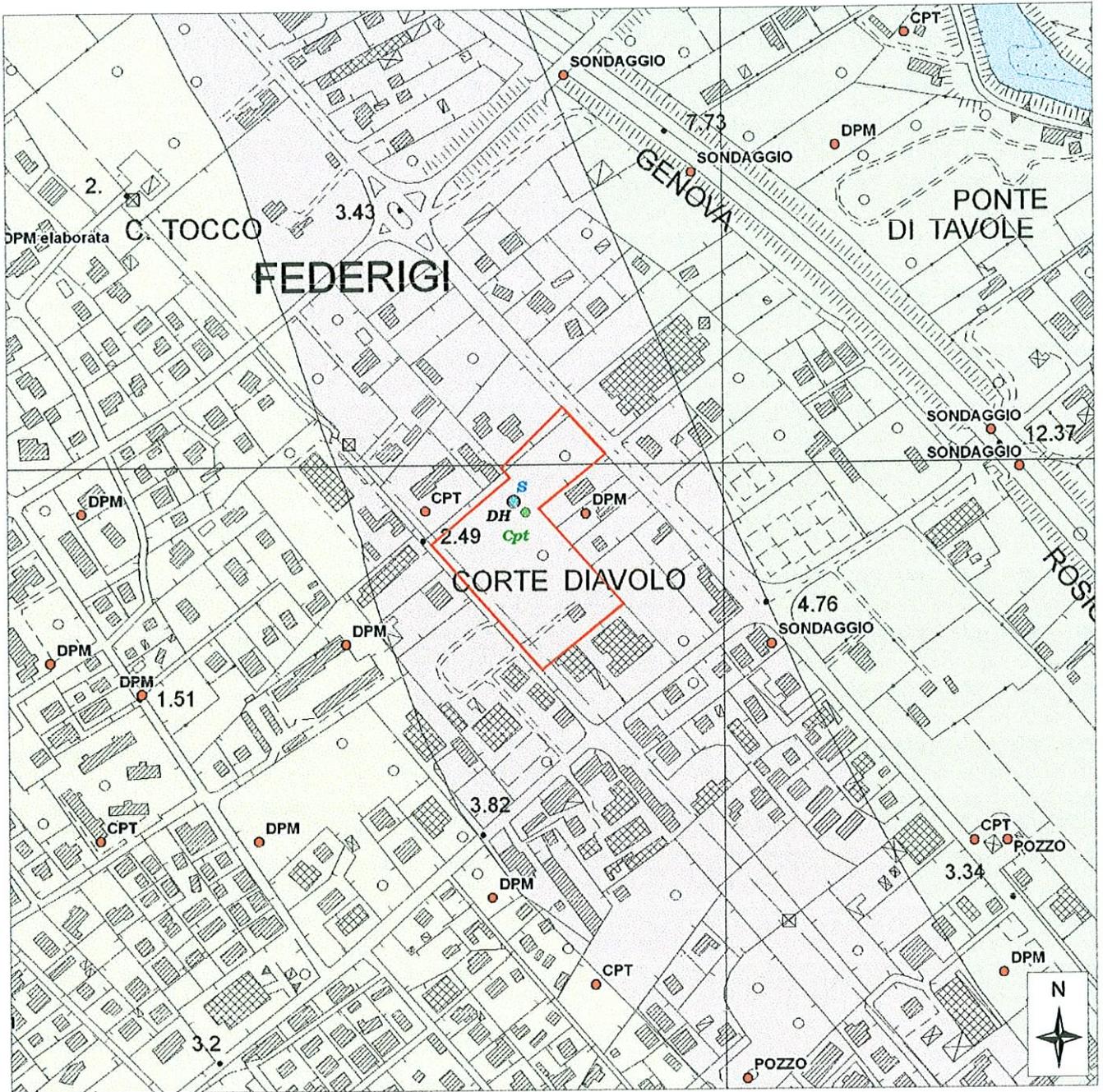


FIG .2 - CARTA GEOLOGICA - scala 1:5000

-  - a - depositi alluvionali recenti: limi sabbiosi, limi e sabbie
-  - p - depositi palustri: limi e limi sabbiosi con livelli torbosi
-  - d - depositi sabbiosi eolici e marini
-  - indagini geognostiche di archivio
-  **Cpt** - prova penetrometrica statica CPT
-  **S** - sondaggio a carotaggio continuo (L=30m)
-  **DH** - prospezione sismica in foro tipo Down-Hole
-  - lotto di studio

Fig.3 - PLANIMETRIA INDAGINI GEOGNOSTICHE - scala 1:1000

- **Cpt** - prova penetrometrica statica CPT
- **S** - sondaggio a carotaggio continuo (L=30m)
- **DH** - prospezione sismica in foro tipo Down-Hole
- ▬ **A-B** - traccia di sezione stratigrafico tecnica
- ▭ (red) - lotto di intervento

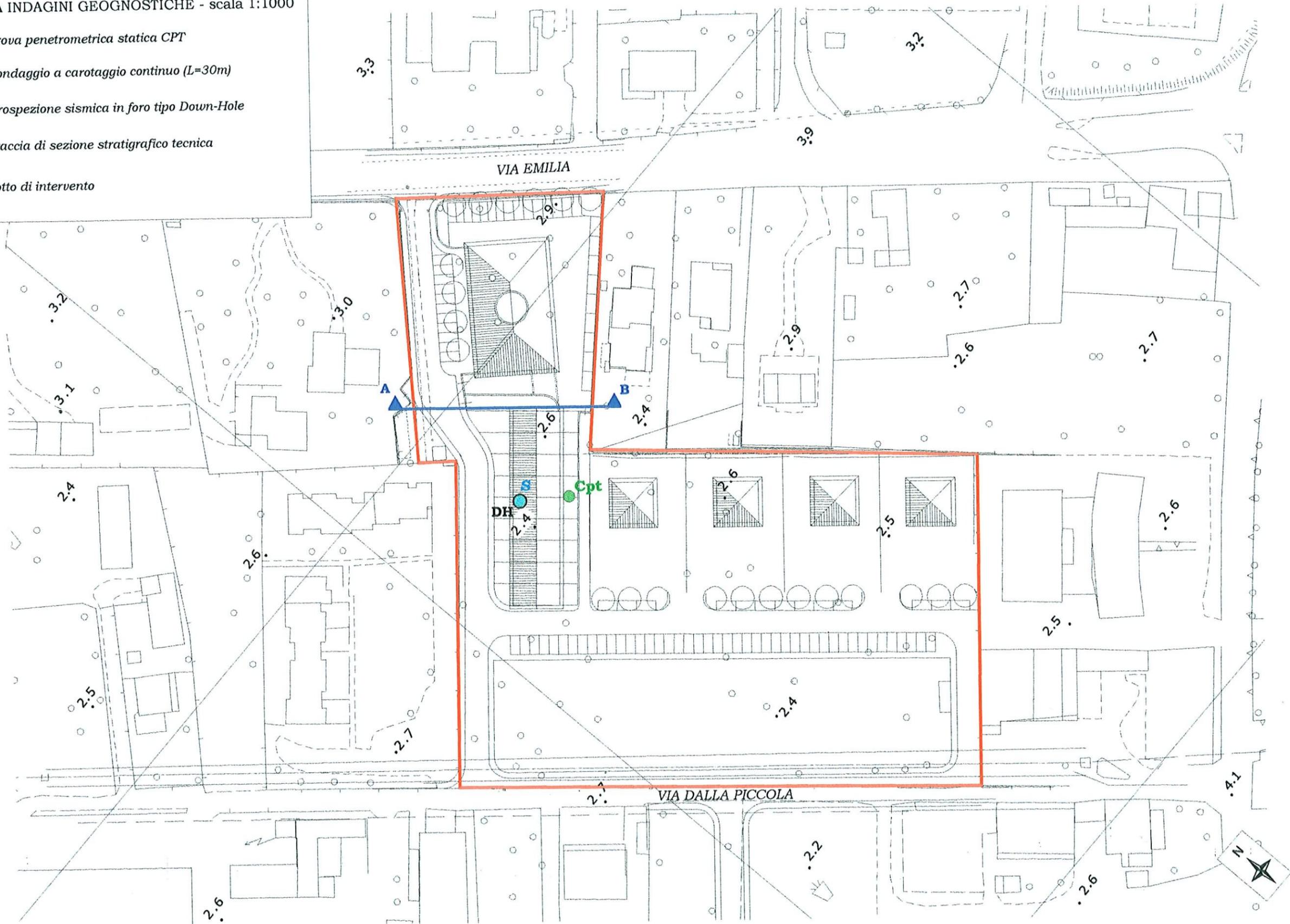
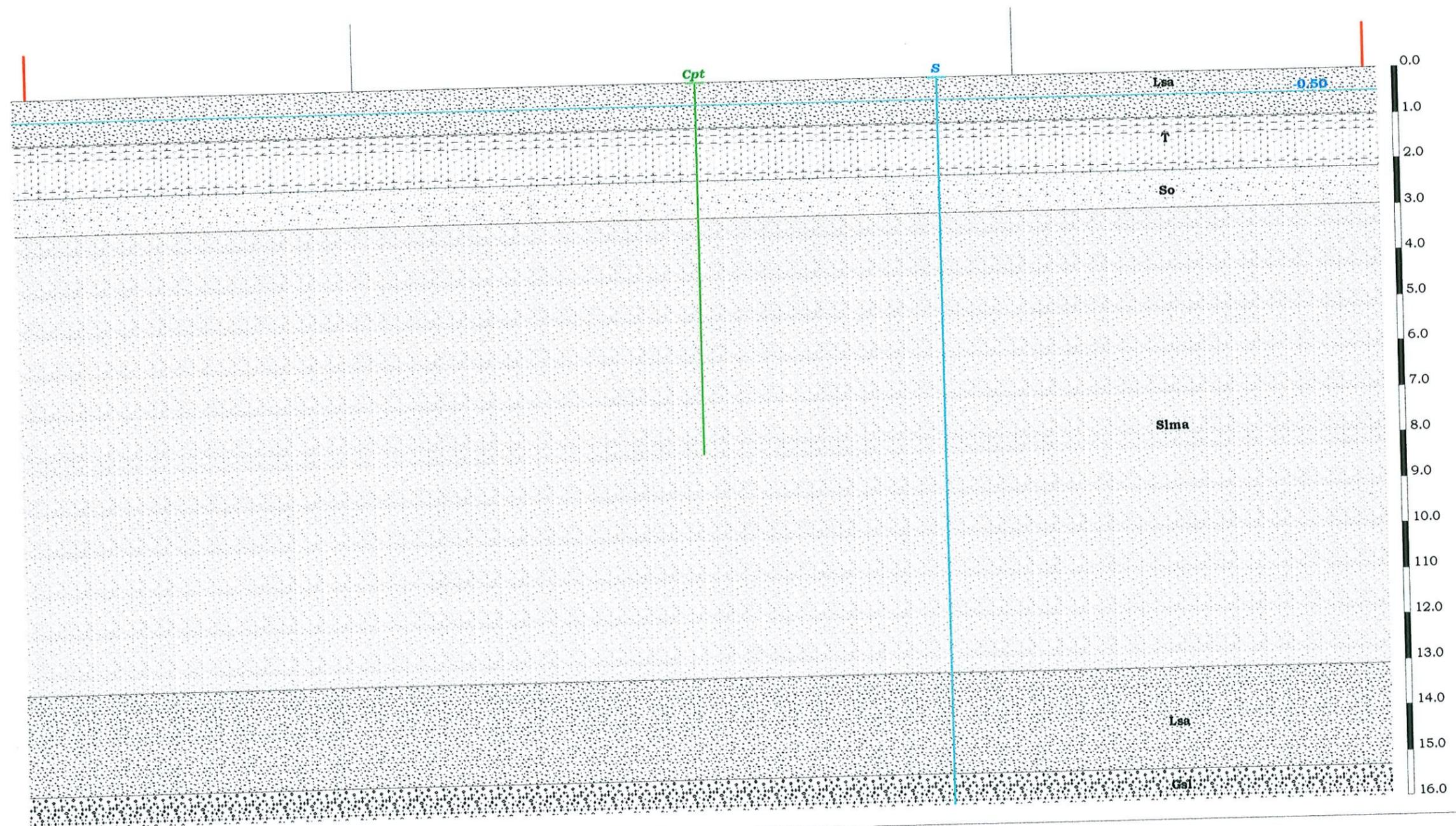


Fig.4 - SEZIONE STRATIGRAFICO TECNICA AB - scala vert 1:100/scla orizz 1:200

-  - Lsa - limo sabbioso argilloso
-  - T - torba
-  - So - sabbia con fustelle organiche
-  - Slma - sabbia limosa moderatamente addensata
-  - Gsl - ghiaie sabbioso limose localmente cementate

-  Cpt - prova penetrometrica statica CPT
-  S-DH - sondaggio a carotaggio continuo (L=30m)/  
prospezione sismica in foro tipo Down-Hole
-  - livello di falda misurato



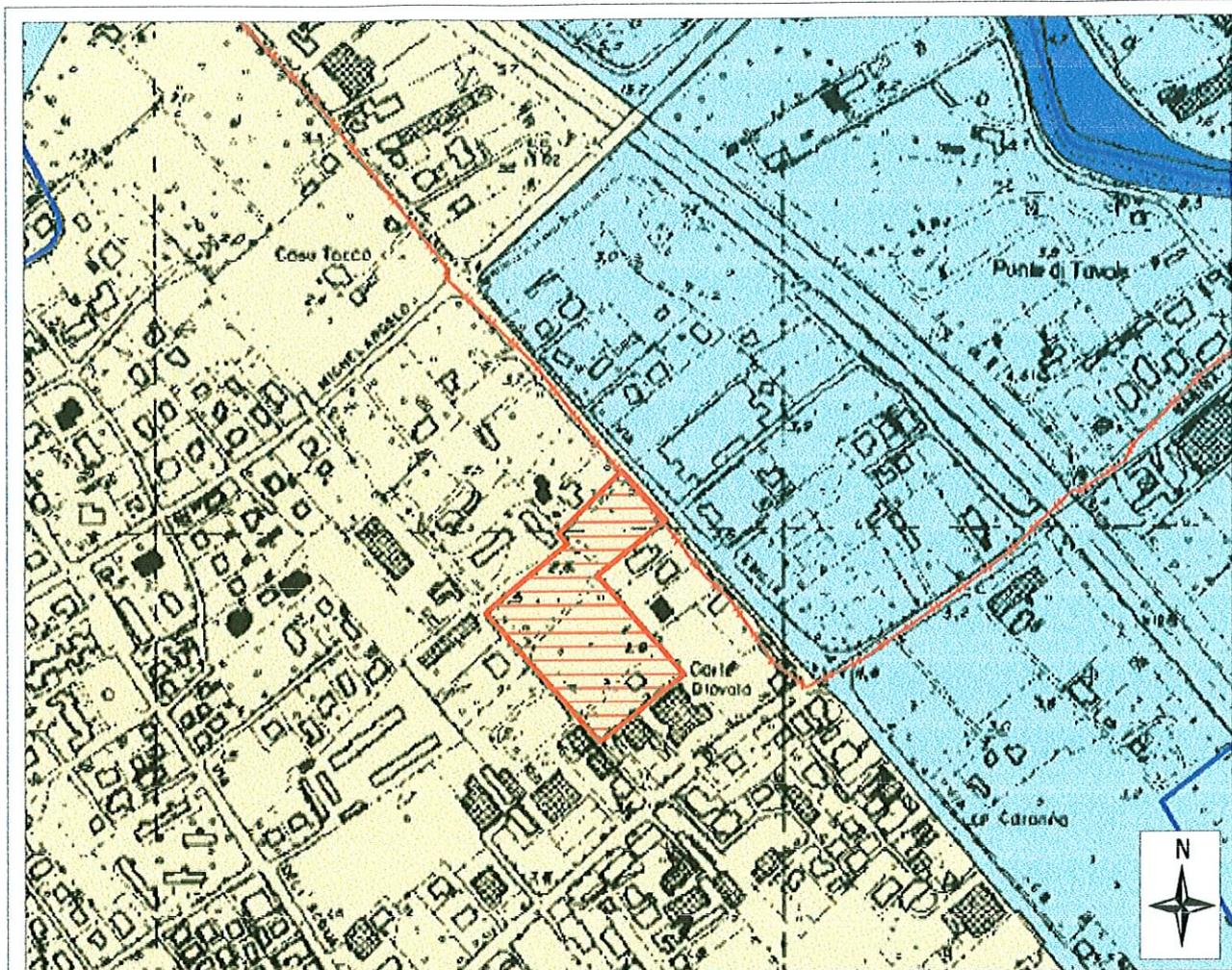
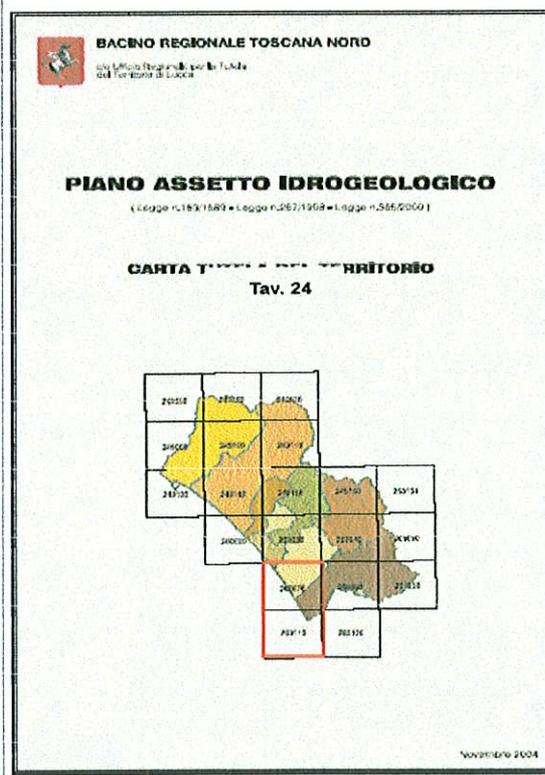
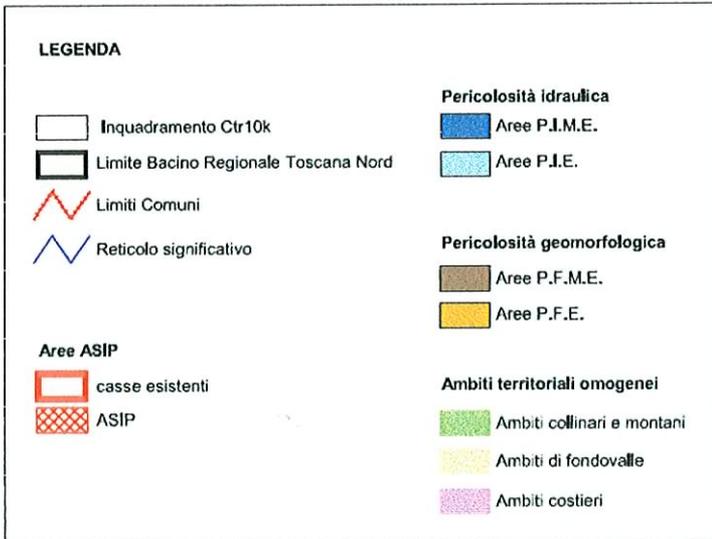


Fig.5 - ESTRATTO CARTA DI TUTELA DEL TERRITORIO-TAVOLA 24 ALLEGATA AL P.A.I. BACINO REGIONALE TOSCANA NORD



AREA IN ESAME



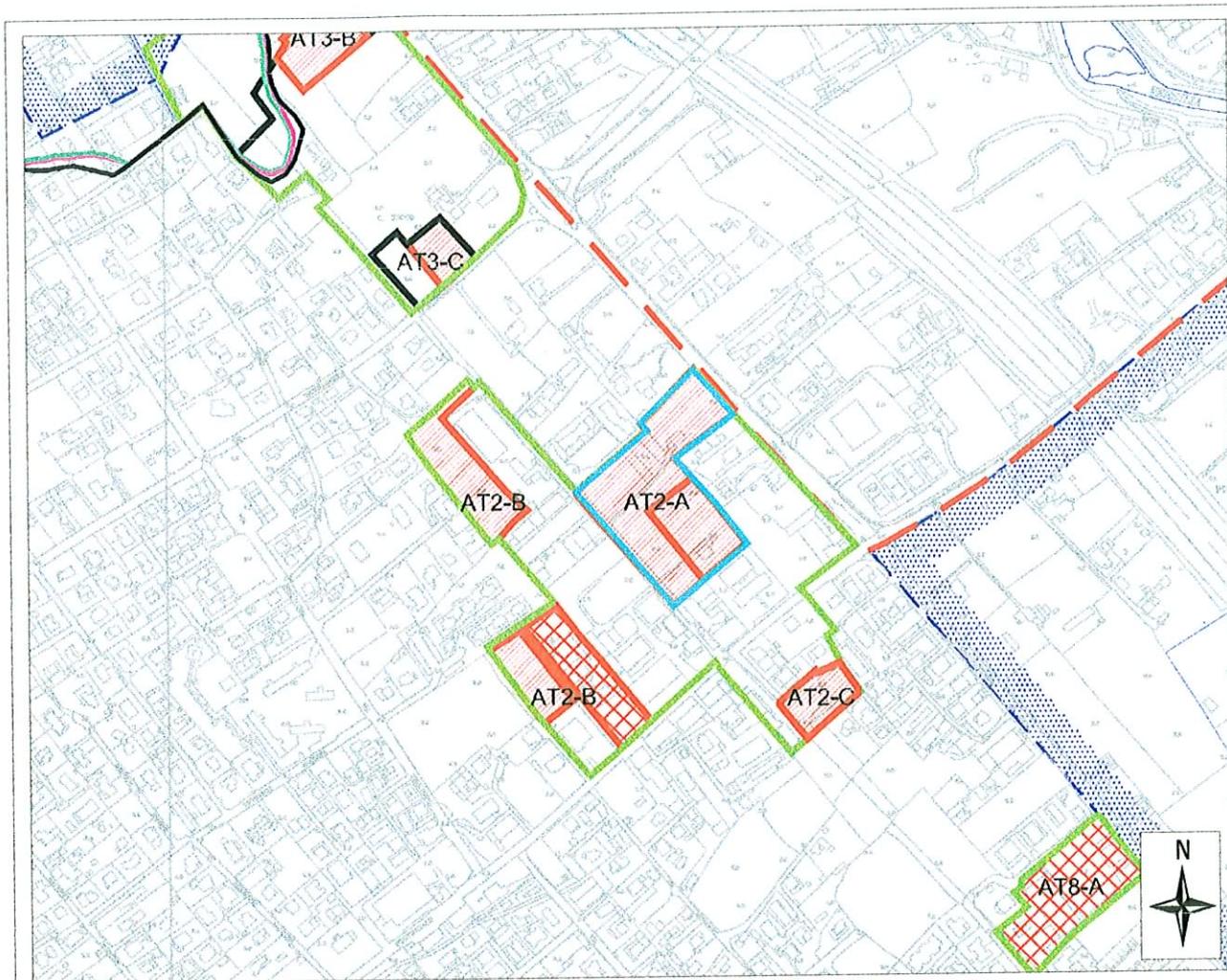
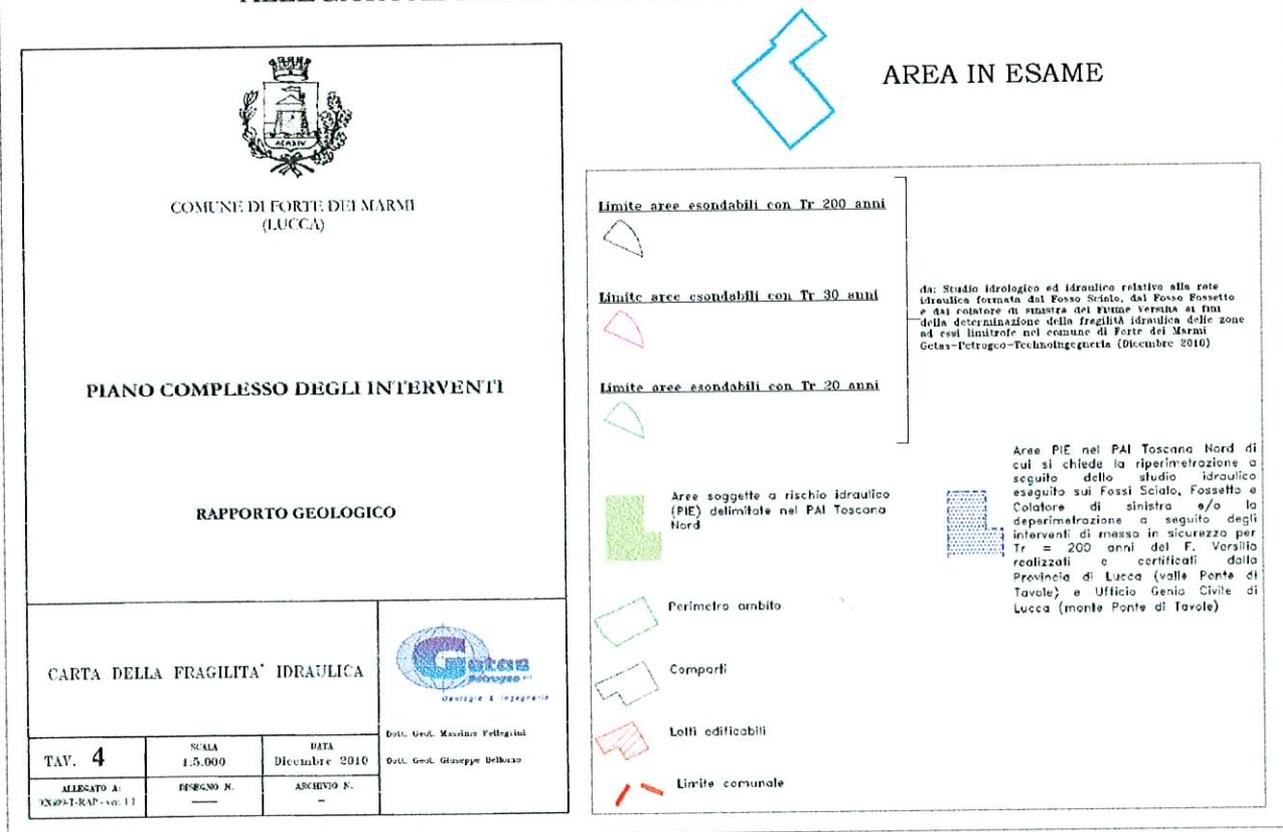


Fig.6 - ESTRATTO CARTA DELLA FRAGILITA' IDRAULICA-TAVOLA 4 ALLEGATA AL PIANO COMPLESSO DEGLI INTERVENTI



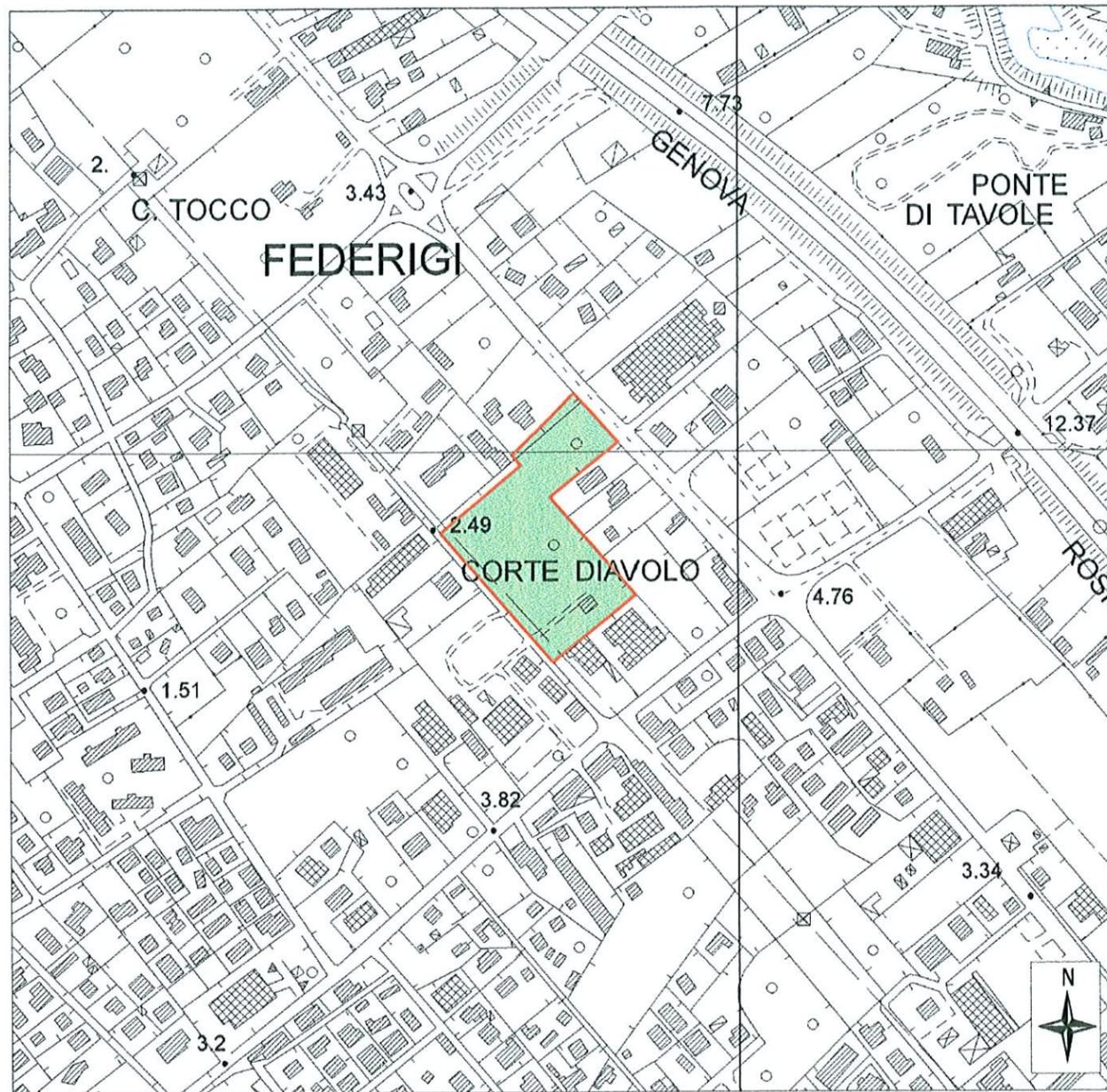
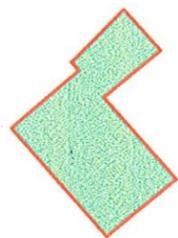


Fig.7a - CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA  
ai sensi del DPGR n.53/R del 25 ottobre 2011 - scala 1:5000



- grado di pericolosità idraulica **I.2**

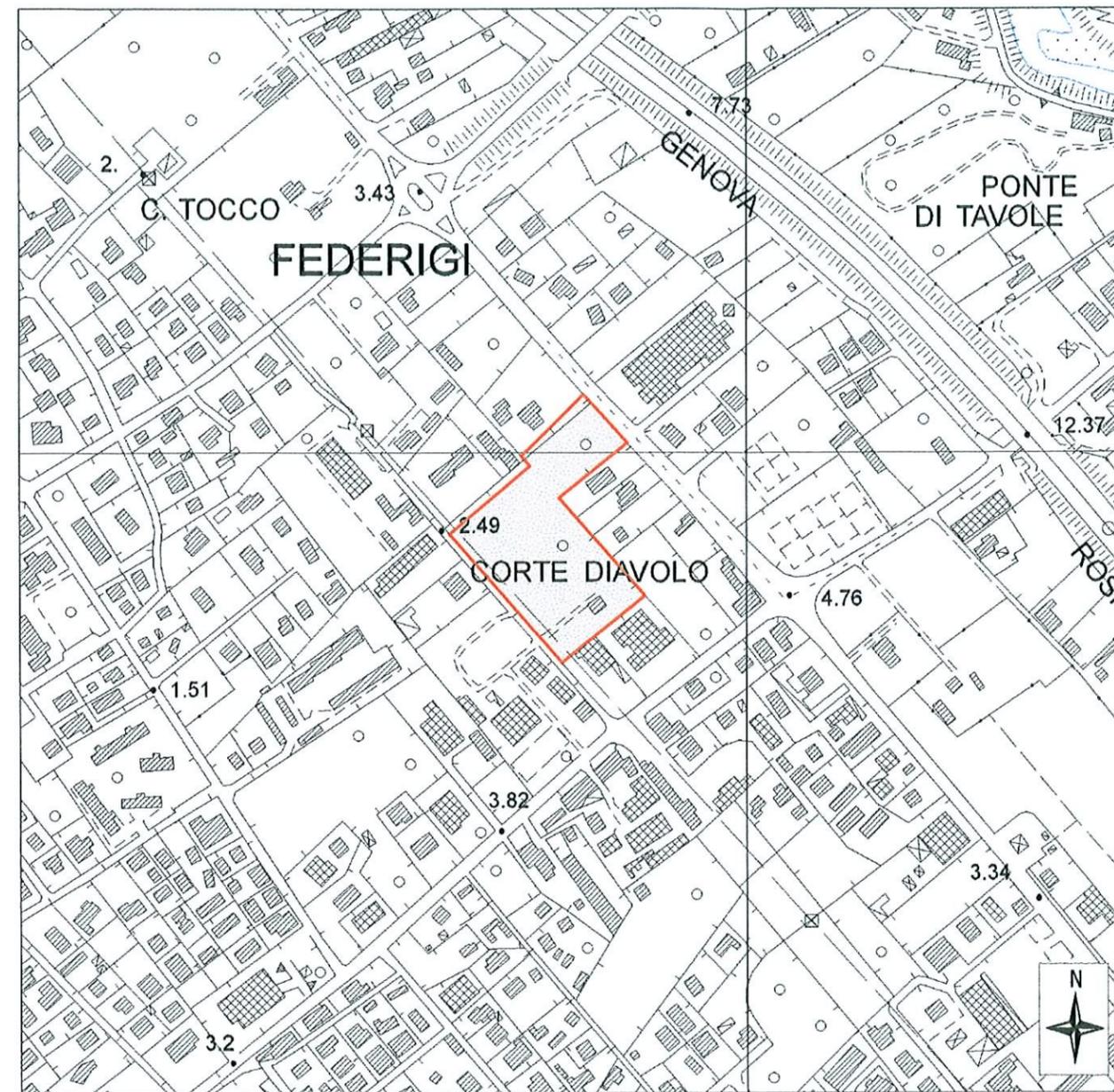


Fig.7b - CARTA DELLA FATTIBILITA' IDRAULICA  
ai sensi del DPGR n.53/R del 25 ottobre 2011 - scala 1:5000



- categoria di fattibilità con normai vincoli **F2**

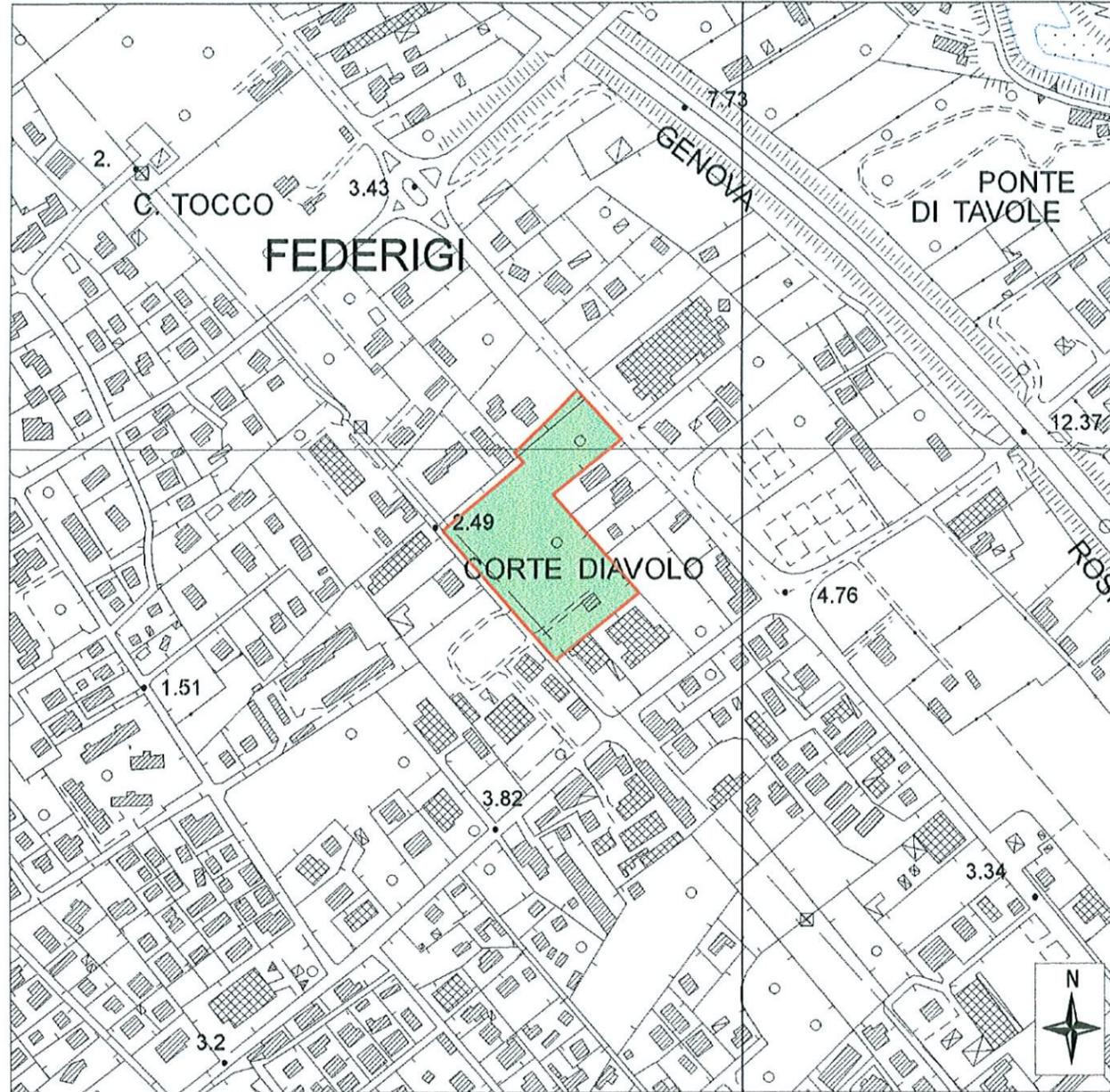
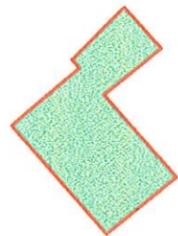


Fig.8a - CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA  
ai sensi del DPGR n.53/R del 25 ottobre 2011 - scala 1:5000



- grado di pericolosità sismica locale **S.2**

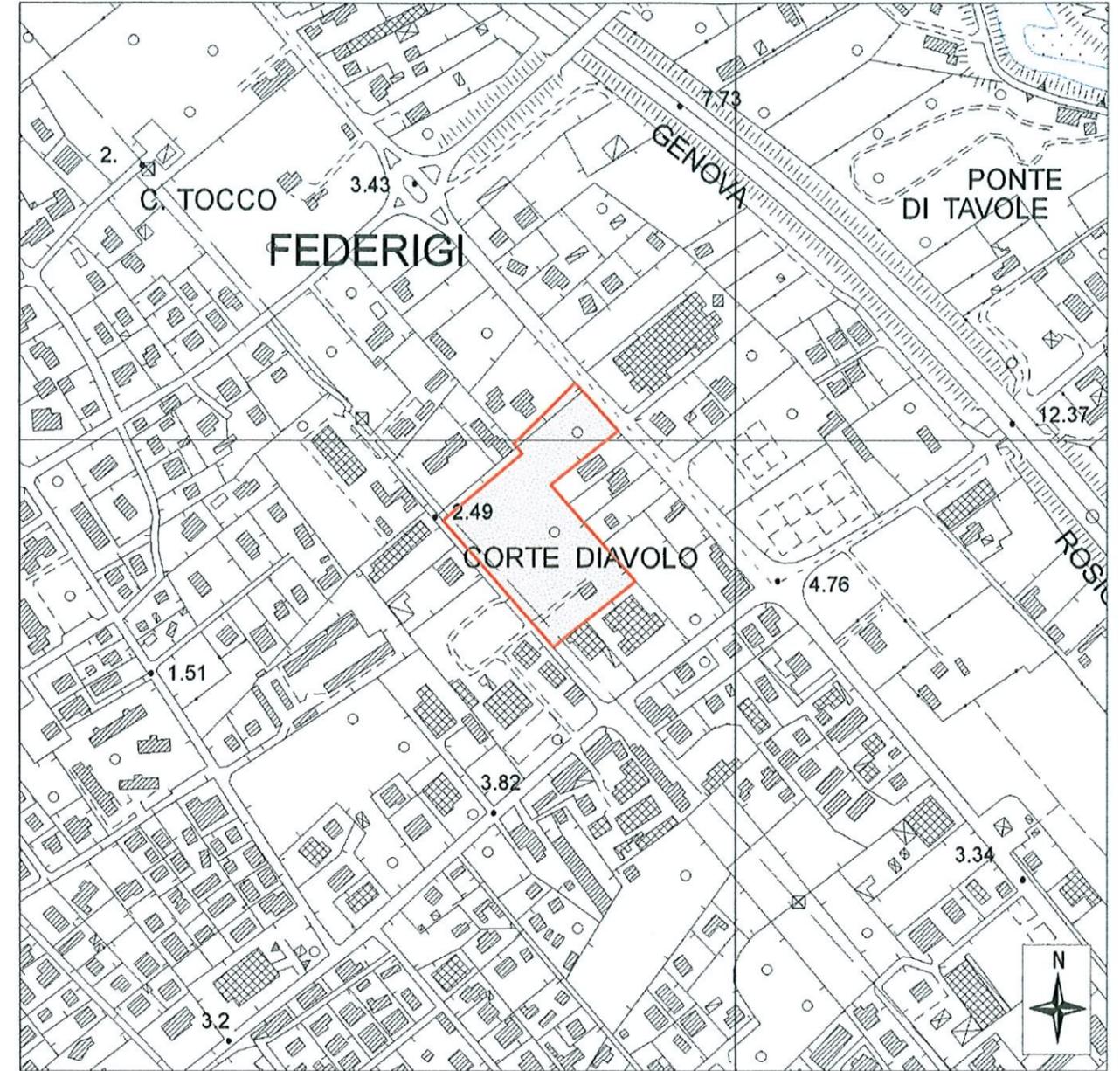


Fig.8b - CARTA DELLA FATTIBILITA' SISMICA  
ai sensi del DPGR n.53/R del 25 ottobre 2011 - scala 1:5000



- categoria di fattibilità con normali vincoli **F2**

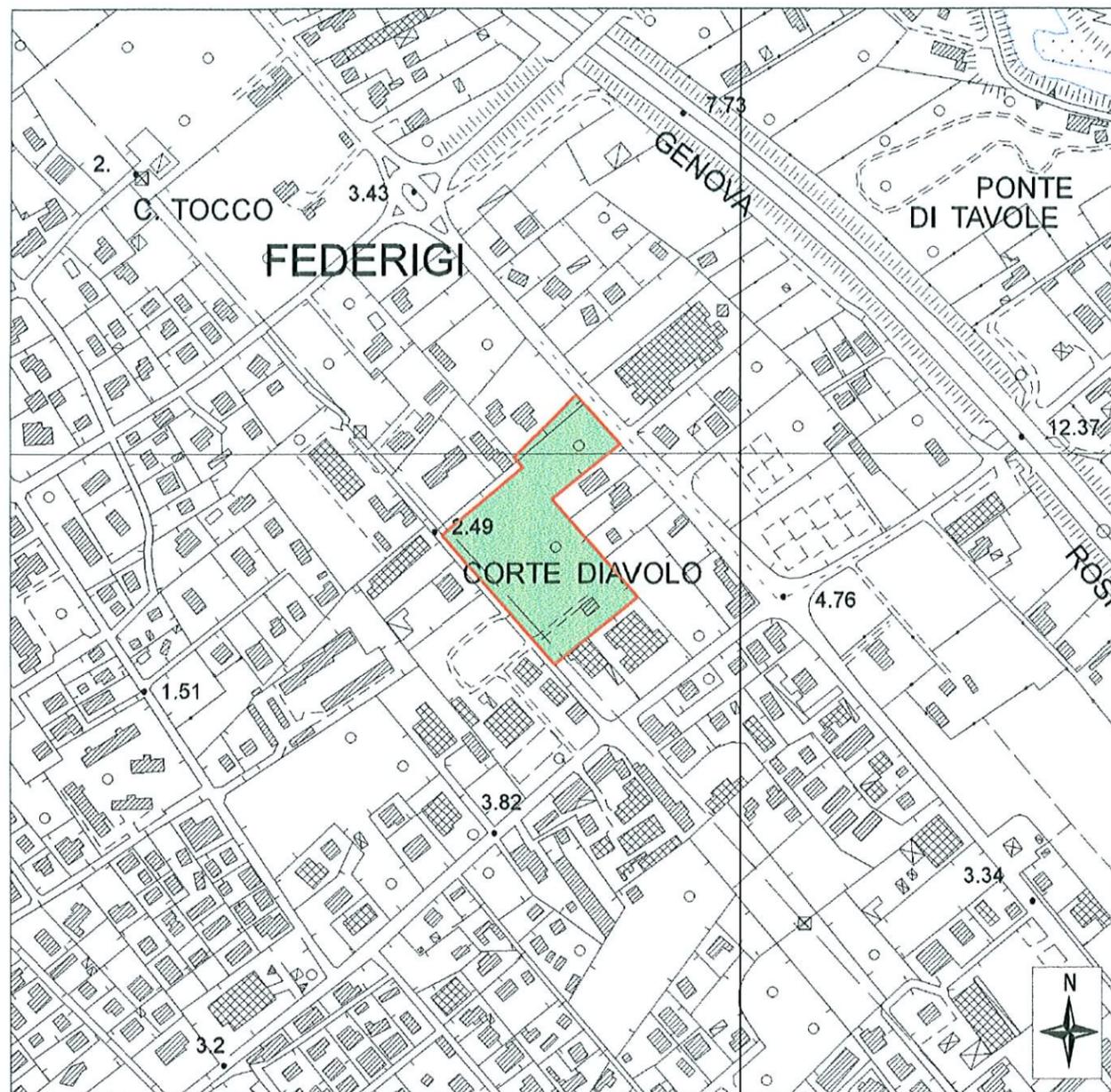
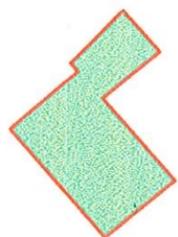


Fig.9a - CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA  
ai sensi del DPGR n.53/R del 25 ottobre 2011 - scala 1:5000



- grado di pericolosità geologica **G.2**

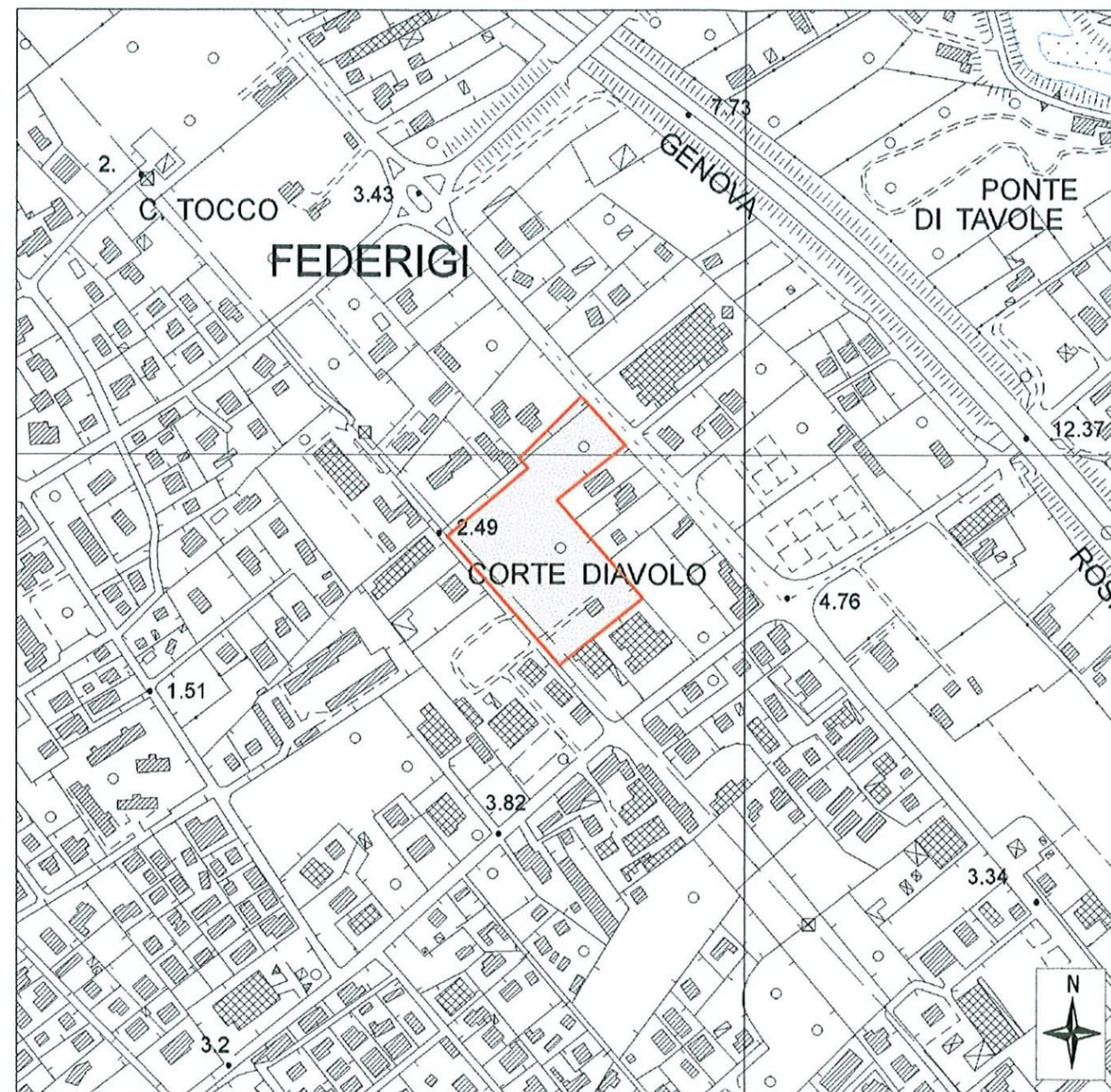


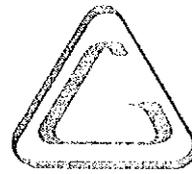
Fig.9b - CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA  
ai sensi del DPGR n.53/R del 25 ottobre 2011 - scala 1:5000



- categoria di fattibilità con normai vincoli **F2**

# APPENDICE 1

**PENETROMETRIA STATICA CPT**



GAIA  
servizi

## RELAZIONE TECNICA

Committente: Geol. Alessandro  
Cortopassi

Località: Forte dei Marmi

Data Indagine: 09/02/2012

Codice lavoro: 120209a

Norma di rif: ASTM D 3441-98

## PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

Dott. Jacopo Martini

GAIA Servizi S.n.c.

Via Lenin 132 - 56017 San Giuliano

Terme (PI) -

Tel./Fax: 050 9910582

e-mail: info@gaiaservizi.com

p. IVA 01667250508

Data elaborazione: 10/02/2012

**GAIA Servizi S.n.c.**  
di Massimiliano Vannozzi & C.  
Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)  
P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

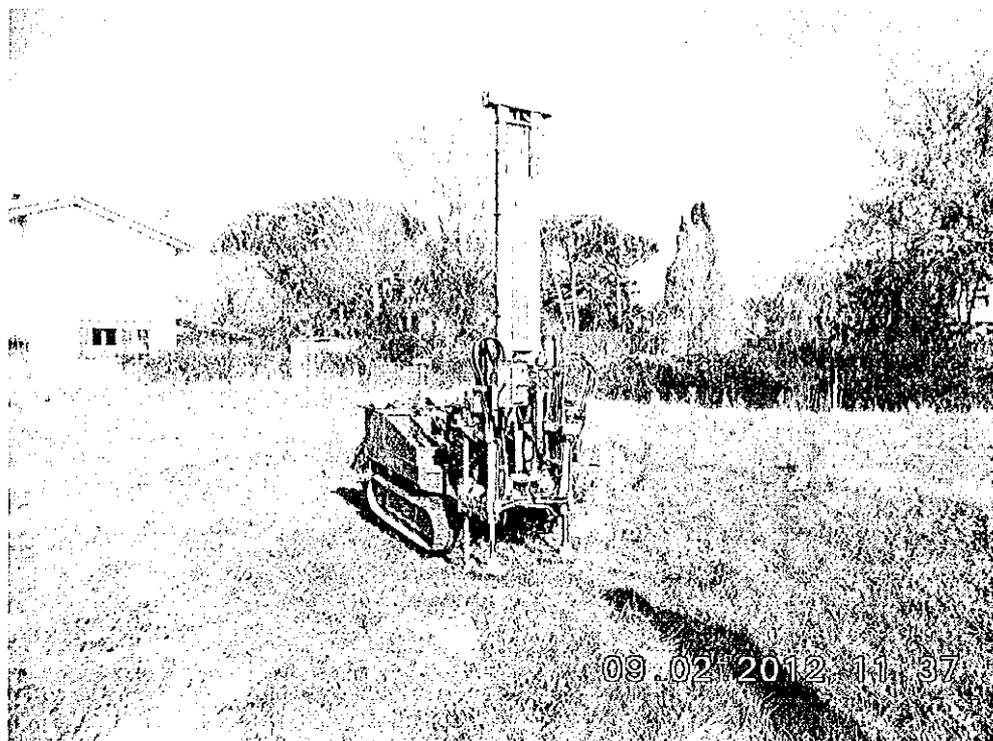


Figura 1. Macchinario per la movimentazione del G3

# LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

**Strumento utilizzato:**

**Strumento utilizzato:**

Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing$  35.7 mm, area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura:  $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ( $\varnothing = 35.7 \text{ mm} - h = 133 \text{ mm} - A_m = 150 \text{ cm}^2$ )
- 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  $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$   
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta:  $q_c \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = ( L_1 ) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale:  $f_s \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = [( L_2 ) - ( L_1 )] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale :  $R_t \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = ( L_t ) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta ( fase 1 )
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto ( fase 2 )
- Terza lettura = 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  $CT$  .

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

## CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N  $\approx$  100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N  $\approx$  100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m<sup>2</sup> = 0,001 MN/m<sup>2</sup> = 0,001 MPa  $\approx$  0,1 t/m<sup>2</sup> = 0,01 kg/cm<sup>2</sup>

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1.000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t/m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>

1 kg/cm<sup>2</sup> = 10 t/m<sup>2</sup>  $\approx$  100 kN/m<sup>2</sup> = 100 kPa = 0,1 MN/m<sup>2</sup> = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg  $\approx$  10 kN

# LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

Valutazioni in base al rapporto:  $F = (q_c / f_s)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 15 \text{ kg/cm}^2$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 30 \text{ kg/cm}^2$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 60 \text{ kg/cm}^2$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60 \text{ kg/cm}^2$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di  $q_c$  e di  $FR = (f_s / q_c) \% :$

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$  di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato ( inalterato ) , per depositi coesivi.



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT** **1**  
 riferimento **120209a**  
 certificato n° **055/12**

Committente: **Geol. Alessandro Cortopassi**  
 Cantiere: **120209a**  
 Località: **Forte dei Marmi - AT2-A**

U.M.: **kg/cm²** Data esec.: **09/02/2012**  
 Data certificato: **10/02/2012**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato: **Falda:**

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm²	kg/cm²	-	%	m	-	-	-	kg/cm²	kg/cm²	-	%
0,20	0,0	0		0,00	0,93	0									
0,40	35,0	49		35,00	1,20	29	3,4								
0,60	20,0	38		20,00	0,60	33	3,0								
0,80	25,0	34		25,00	0,80	31	3,2								
1,00	14,0	26		14,00	1,00	14	7,1								
1,20	15,0	30		15,00	0,87	17	5,8								
1,40	16,0	29		16,00	0,80	20	5,0								
1,60	15,0	27		15,00	0,53	28	3,5								
1,80	11,0	19		11,00	0,47	23	4,3								
2,00	10,0	17		10,00	0,60	17	6,0								
2,20	12,0	21		12,00	0,40	30	3,3								
2,40	16,0	22		16,00	0,53	30	3,3								
2,60	28,0	36		28,00	0,73	38	2,6								
2,80	39,0	50		39,00	1,00	39	2,6								
3,00	34,0	49		34,00	0,60	57	1,8								
3,20	47,0	56		47,00	0,93	51	2,0								
3,40	69,0	83		69,00	1,67	41	2,4								
3,60	51,0	76		51,00	1,60	32	3,1								
3,80	49,0	73		49,00	0,53	92	1,1								
4,00	84,0	92		84,00	1,53	55	1,8								
4,20	87,0	110		87,00	0,80	109	0,9								
4,40	83,0	95		83,00	1,33	62	1,6								
4,60	100,0	120		100,00	2,00	50	2,0								
4,80	84,0	114		84,00	1,00	84	1,2								
5,00	86,0	101		86,00	0,93	92	1,1								
5,20	73,0	87		73,00	1,13	65	1,5								
5,40	95,0	112		95,00	1,27	75	1,3								
5,60	83,0	102		83,00	0,87	95	1,0								
5,80	81,0	94		81,00	0,93	87	1,1								
6,00	67,0	81		67,00	1,27	53	1,9								
6,20	32,0	51		32,00	1,13	28	3,5								
6,40	68,0	85		68,00	1,47	46	2,2								
6,60	58,0	80		58,00	1,40	41	2,4								
6,80	56,0	77		56,00	1,27	44	2,3								
7,00	51,0	70		51,00	0,93	55	1,8								
7,20	56,0	70		56,00	0,67	84	1,2								
7,40	59,0	89		59,00	0,87	68	1,5								
7,60	47,0	60		47,00	1,53	31	3,3								
7,80	61,0	84		61,00	0,80	76	1,3								
8,00	60,0	72		60,00											

H = profondità  
 L1 = prima lettura (punta)  
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
 Lt = terza lettura (totale)  
 CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta  
 fs = resistenza laterale calcolata  
 0,20 m sopra quota qc  
 F = rapporto Begemann (qc / fs)  
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

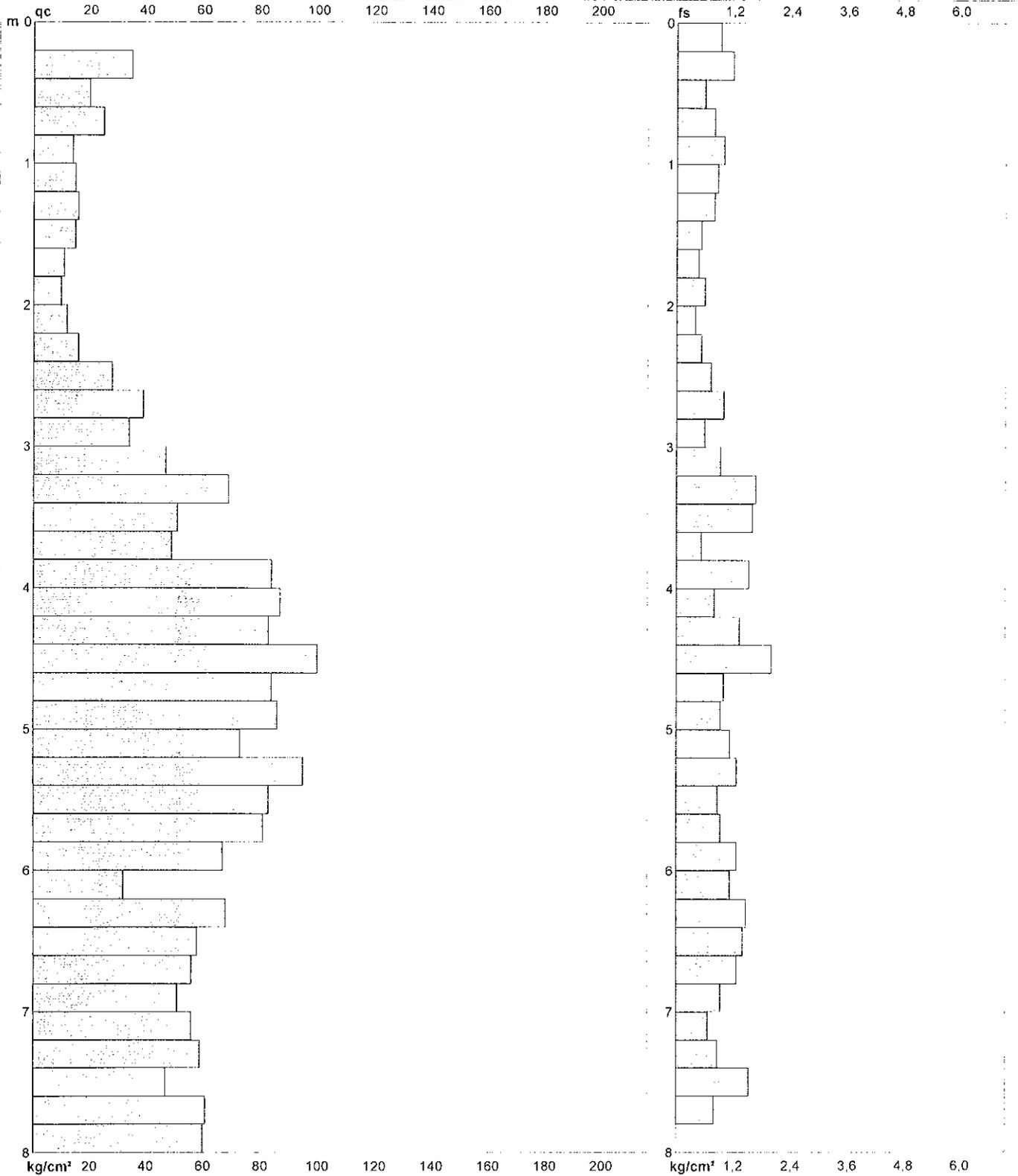
**CPT**

**1**

riferimento **120209a**  
 certificato n° **055/12**

Committente: **Geol. Alessandro Cortopassi**  
 Cantiere: **120209a**  
 Località: **Forte dei Marmi - AT2-A**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **09/02/2012**  
 Scala: **1:40** Data certificato: **10/02/2012**  
 Pagina: **1** Quota inizio:  
 Elaborato: Falda:



Penetrometro: **DPSH (S. Heavy)**  
 Responsabile: **Geol. Jacopo Martini**  
 Assistente: **Dott. Matteo Butteri**

Preforo: **m**  
 Corr astine: **kg/ml**  
 Cod. punta:

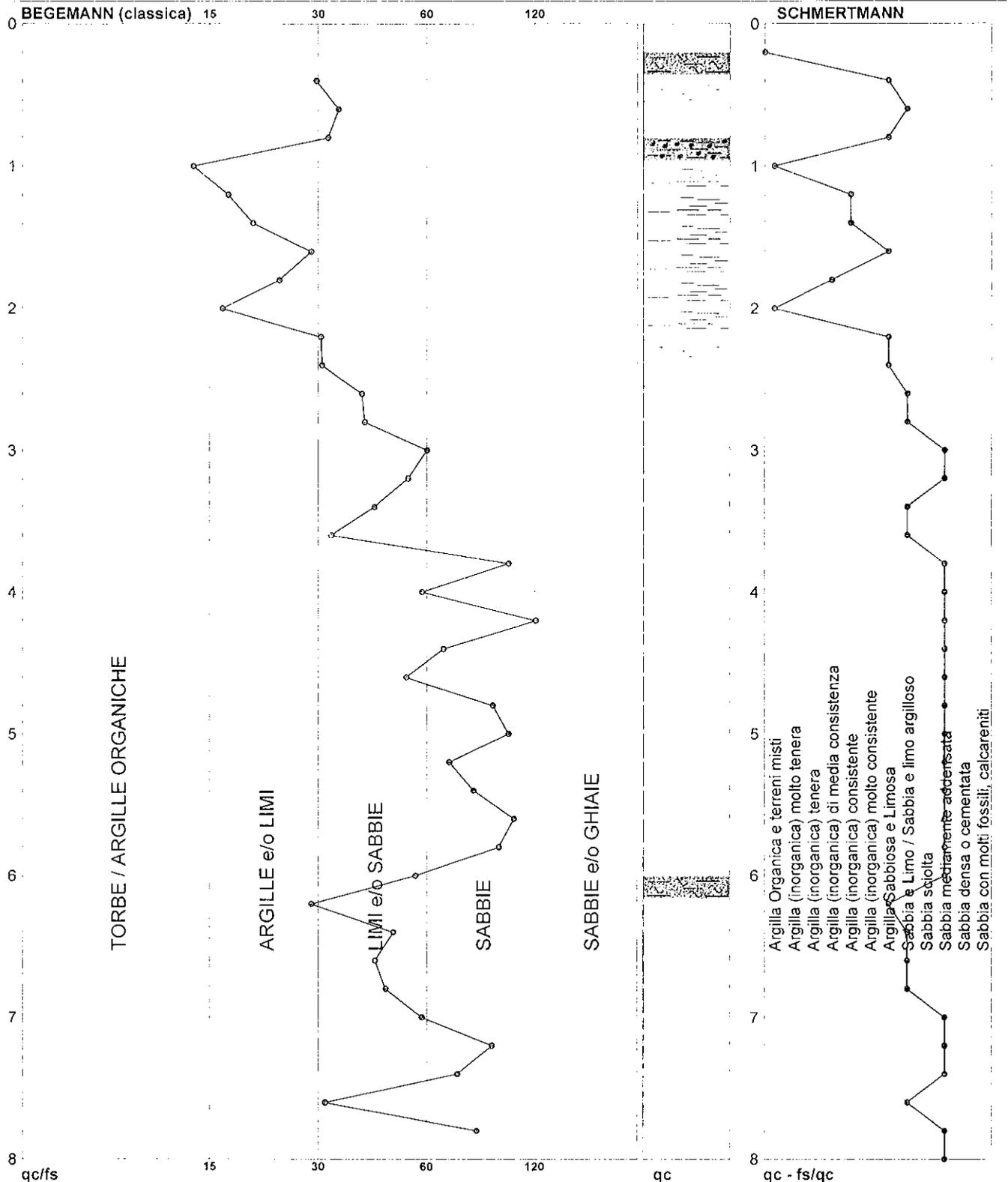
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	<b>120209a</b>
certificato n°	055/12

Committente: Geol. Alessandro Cortopassi  
 Cantiere: 120209a  
 Località: Forte dei Marmi - AT2-A

U.M.: kg/cm<sup>2</sup>  
 Scala: 1:40  
 Pagina: 1  
 Elaborato:  
 Data eseg.: 09/02/2012  
 Data certificato: 10/02/2012  
 Falda:



Torbe / Argille org.	2 punti, 5,13%	Argilla Organica e terreni misti	2 punti, 5,13%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.	9 punti, 23,08%
Argilla e/o Limi	8 punti, 20,51%	Argilla (inorganica) media consist.	1 punto, 2,56%	Sabbia mediamente addensata	18 punti, 46,15%
Limi e/o Sabbie	17 punti, 43,59%	Argilla (inorganica) consistente	2 punti, 5,13%		
Sabbie	12 punti, 30,77%				



## **APPENDICE 2**

**SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO**

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA CASSETTE  
CATALOGATRICI**

**COLONNA STRATIGRAFICA**

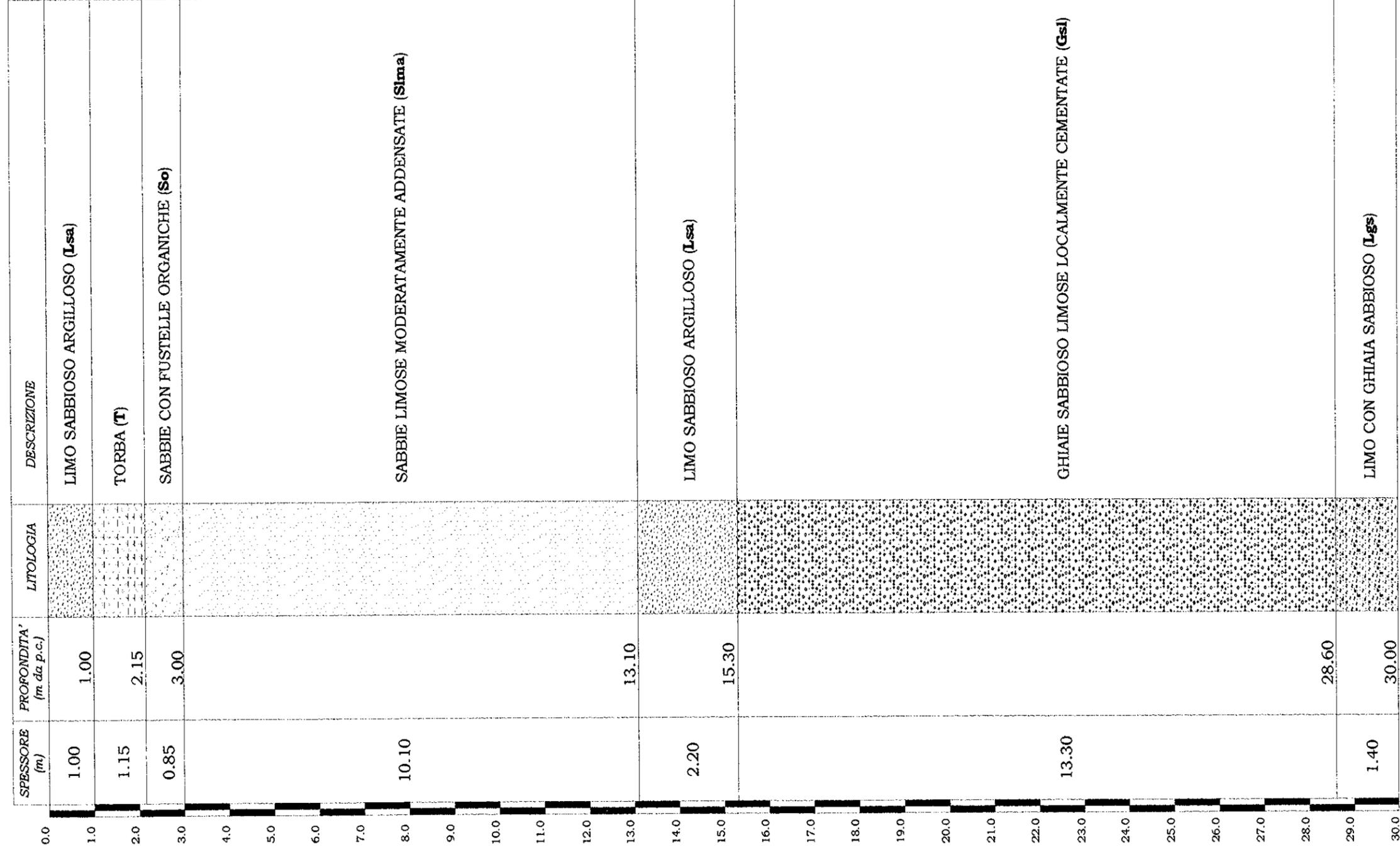
## SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA - CASSETTE CATALOGATRICI



COLONNA STRATIGRAFICA DEL SITO- scala 1:100



## APPENDICE 3

**PROSPEZIONE SISMICA IN FORO DOWN HOLE**



GAIA  
servizi

## RELAZIONE TECNICA

Committente: Geol. Alessandro  
Cortopassi

Località: Forte dei Marmi

Data Indagine: 09/02/2012

Codice lavoro: 120209a

# INDAGINE SISMICA DOWNHOLE IN FORO DI SONDAGGIO

Dott. Jacopo Martini

GAIA Servizi S.n.c.

Via Lenin, 132 - San Giuliano T. (PI)

Tel./Fax. 050 9910582

e-mail: info@gaiaservizi.com

p. iva 01667250508

Data elaborazione: 13/02/2012

**GAIA Servizi S.n.c.**  
di Massimiliano Vannozi & C.  
Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)  
P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167

## Sommario

PREMESSA.....	3
PROSPEZIONI SISMICHE TIPO DOWNHOLE IN FORO DI SONDAGGIO .....	4
RISULTATI DELLE PROVE.....	5
CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008) .....	9

## PREMESSA

Per incarico del Geol. Alessandro Cortopassi, è stata effettuata una campagna geognostica attraverso l'esecuzione di n°1 prospezione sismica tipo downhole in foro di sondaggio, nel Comune di Forte dei Marmi (LU).

Tali indagini sono finalizzate alla ricostruzione della distribuzione e dell'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo, per determinare le principali caratteristiche sismo-stratigrafiche ed elastiche dei terreni.



Figura 1: Indagine sismica Downhole. 11m

Le presenti note illustrano la metodologia delle indagini ed i risultati conseguiti.

## PROSPEZIONI SISMICHE TIPO DOWNHOLE IN FORO DI SONDAGGIO

La prova downhole consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, una sollecitazione orizzontale mediante una sorgente meccanica, e nello studiare il treno d'onde, P e S, che si propagano all'interno del terreno alle varie profondità in direzione verticale, con vibrazioni polarizzate nella direzione di propagazione (onde P), e dirette perpendicolarmente alla direzione di propagazione, polarizzate su un piano orizzontale (onde SH). Mediante tre ricevitori (geofoni) disposti nel terreno, a profondità note, viene valutato l'istante di arrivo del treno di onde P e S, rispetto all'istante in cui vengono indotte le sollecitazioni alla sorgente; dividendo quindi per tali valori la distanza (nota) tra sorgente e ricevitori, si può ricavare la velocità delle onde P e S.

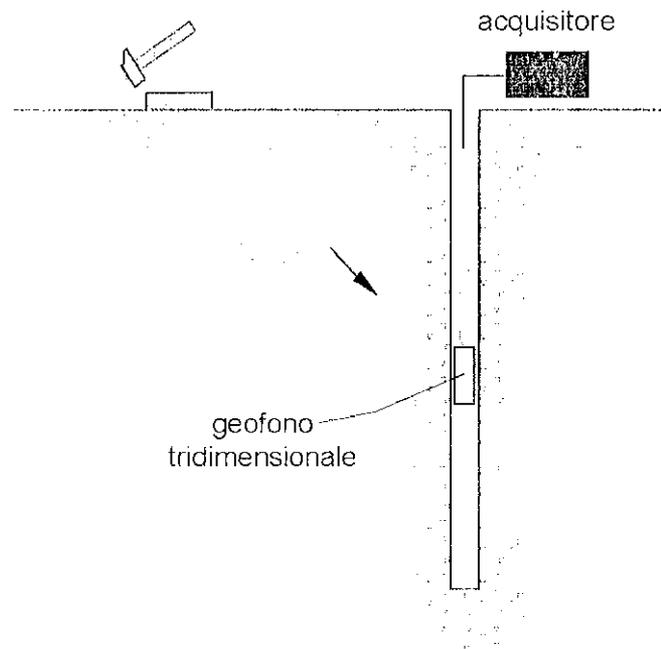


Figura 2: Schema Down Hole

Come sorgenti energizzanti sono stati utilizzati: per le onde P una mazza da 10 kg con piattello di battuta; per le onde SH un parallelepipedo (traversina) di legno percosso sulle estremità opposte da una mazza da 10 kg.

Le sorgenti (onde P ed onde SH) sono state disposte perpendicolarmente ad un raggio uscente dal foro di sondaggio, ad una distanza di circa 3 m.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico AMBROGEO modello Echo 24/2002 a 16 bit.

Una volta determinata con qualche misura di prova l'orientazione assoluta più efficace del sistema per massimizzare l'ampiezza di ricezione dei ricevitori e la registrazione di tracce in opposizione di fase, sono state effettuate misure ogni metro di profondità.

Per quanto riguarda l'interpretazione dei tracciati e la determinazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche, si è proceduto con un'analisi visuale delle registrazioni, individuando direttamente su ciascuna traccia il tempo di primo arrivo o ricorrendo a tecniche d'interpolazione ricercando punti caratteristici (picchi o valli) successivi al primo arrivo quando questo non era chiaramente individuabile.

## INDAGINE SISMICA DOWNHOLE IN FORO DI SONDAGGIO

Mediante un'applicazione su foglio elettronico Excel (vedi tabulati allegati), i tempi letti sono stati quindi corretti in funzione dello scarto di trigger (in più o in meno rispetto al tempo di trigger medio) ed infine corretti in funzione della geometria del sistema (posizione della sorgente rispetto al foro ed alla profondità di acquisizione) attraverso la formula:

$$t^* = \frac{z}{d} \cdot t = \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} \cdot t$$

dove z è la profondità del ricevitore, d è la distanza effettiva tra sorgente e ricevitore, R la distanza superficiale tra sorgente ed il centro del foro, t il tempo determinato dalle tracce di registrazione e t\* il tempo corretto.

Le velocità dei vari strati sono state quindi determinate con la funzione di regressione lineare relativa a ciascuno degli intervalli rettilinei del diagramma tempi di arrivo-profondità, dove ogni punto rappresenta la media dei tempi registrati da entrambi i geofoni (direzione x e direzione y) alla stessa profondità.

### RISULTATI DELLE PROVE

Geometria del sistema di acquisizione:

*distanza foro - sorgente onde SH: m 3*

*distanza foro - sorgente onde P: m 3*

#### **Velocità calcolate**

<b>Profondità da m a m</b>	<b>Vp (m/sec)</b>	<b>Vs (m/sec)</b>	<b>Coefficiente di Poisson <math>\nu</math></b>	<b>Vp/Vs</b>
0- 4	678,6	137,3	0,48	4,944
5-14	780,3	162,4	0,48	4,804
15-30	1216,6	388,0	0,44	3,135

*Vs30 (m/s): 227,36*

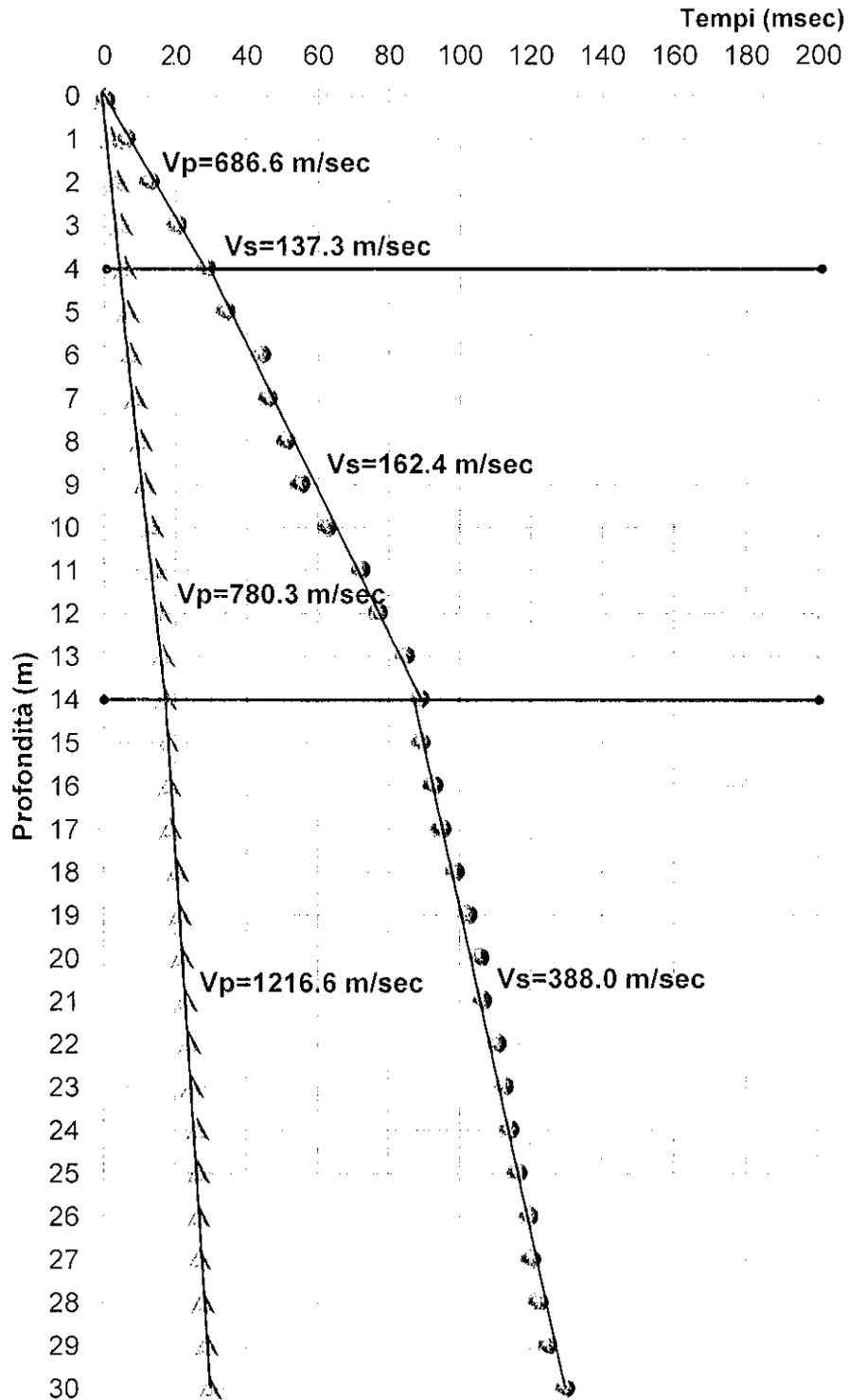
ONDE LONGITUDINALI VP			
Regist.	Profondità (m)	Tempi letti sulle tracce	Tempi corretti
		geofono tempo arrivo (msec)	tempo arrivo corretto (msec)
0p	0,10	3,00	0,10
1p	1,00	5,50	1,74
2p	2,00	6,50	3,61
3p	3,00	6,50	4,60
4p	4,00	7,22	5,78
5p	5,00	7,40	6,35
6p	6,00	8,10	7,24
7p	7,00	9,50	8,73
8p	8,00	11,00	10,30
9p	9,00	12,00	11,38
10p	10,00	14,10	13,51
11p	11,00	14,90	14,37
12p	12,00	16,10	15,62
13p	13,00	16,90	16,47
14p	14,00	17,30	16,92
15p	15,00	18,10	17,75
16p	16,00	18,50	18,18
17p	17,00	18,90	18,61
18p	18,00	20,80	20,52
19p	19,00	21,70	21,43
20p	20,00	22,10	21,86
21p	21,00	23,10	22,87
22p	22,00	24,20	23,98
23p	23,00	25,00	24,79
24p	24,00	26,50	26,30
25p	25,00	26,60	26,41
26p	26,00	26,80	26,62
27p	27,00	27,00	26,83
28p	28,00	28,00	27,84
29p	29,00	29,00	28,85
30p	30,00	30,00	29,85

INDAGINE SISMICA DOWNHOLE IN FORO DI SONDAGGIO

ONDE TRASVERSALI VS					
Regist.	Profondità (m)	Tempi letti sulle tracce	Tempi letti sulle tracce	tempo medio (msec)	Tempi corretti
		Direzione x x	Direzione y y		tempo arrivo corretto (msec)
0s	0,10	8,25	8,25	8,25	0,27
1s	1,00	18,20	18,20	18,20	5,76
2s	2,00	22,50	22,50	22,50	12,48
3s	3,00	28,60	28,60	28,60	20,22
4s	4,00	35,70	35,70	35,70	28,56
5s	5,00	39,67	39,67	39,67	34,02
6s	6,00	49,00	49,00	49,00	43,83
7s	7,00	49,75	49,75	49,75	45,73
8s	8,00	54,46	54,46	54,46	50,99
9s	9,00	57,86	57,86	57,86	54,89
10s	10,00	65,30	65,30	65,30	62,55
11s	11,00	74,63	74,63	74,63	72,00
12s	12,00	79,34	79,34	79,34	76,97
13s	13,00	86,73	86,73	86,73	84,51
14s	14,00	90,70	90,70	90,70	88,69
15s	15,00	90,77	90,77	90,77	89,01
16s	16,00	94,13	94,13	94,13	92,52
17s	17,00	96,22	96,22	96,22	94,76
18s	18,00	100,00	100,00	100,00	98,64
19s	19,00	103,54	103,54	103,54	102,27
20s	20,00	106,91	106,91	106,91	105,73
21s	21,00	107,58	107,58	107,58	106,50
22s	22,00	111,61	111,61	111,61	110,59
23s	23,00	113,63	113,63	113,63	112,68
24s	24,00	114,97	114,97	114,97	114,08
25s	25,00	117,20	117,20	117,20	116,37
26s	26,00	120,35	120,35	120,35	119,56
27s	27,00	121,04	121,04	121,04	120,30
28s	28,00	123,05	123,05	123,05	122,35
29s	29,00	125,73	125,73	125,73	125,06
30s	30,00	130,50	130,50	130,50	129,85

# DOWNHOLE DH1 Forte dei Marmi

TEMPI DI PERCORRENZA CORRETTI



## CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_{sh}$  all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidità sismica, caratterizzate da velocità  $V_{s30}$  (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

- A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
- B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica  $N_{spt} > 50$  nei terreni a grana grossa e coesione non drenata  $c_u > 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec ( $15 < N_{spt} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_u < 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- D) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  inferiori a 180 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $c_u,30 < 70$  kPa nei terreni a grana fina).
- E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con  $V_s > 800$  m/s).

In aggiunta a queste due categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 – Depositati di terreni caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  inferiori a 100 m/s (ovvero  $10 < c_u,30 < 20$  kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

S2 – Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, non classificabile nei tipi precedenti.

## INDAGINE SISMICA DOWNHOLE IN FORO DI SONDAGGIO

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

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

Considerato che i terreni sono caratterizzati da  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec, si iscrive il terreno di fondazione nella categoria di **profilo stratigrafico C**:

*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec ( $15 < N_{spt} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu < 250$  kPa nei terreni a grana fina).*

L'esatta attribuzione ad una specifica categoria di sottosuolo per il sito indagato deve essere accompagnata e valutata in base a considerazioni di carattere litologico, basate sulle conoscenze geologiche del sito.

\*\*\*\*\*

San Giuliano Terme (PI),  
13 febbraio 2012

**GAIA Servizi S.n.c.**

**Dott. Jacopo Martini**

**GAIA Servizi S.n.c.**  
di Massimiliano Vannozzi & C.  
Via Lenin, 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)  
P. IVA 01687250508 N. REA PI - 145167

---

**GAIA Servizi S.n.c.**

Via Lenin, 132 - San Giuliano T. (PI)

Tel./Fax: 050 9910582 e-mail: info@gaiaservizi.com - p. IVA 01687250508