

**MARCO TOSCHI**  
**G E O L O G O**

Via Pesciatina, 1560/A – Picciorana Lucca  
Telefono/Fax 0583 469588 Mobile 347 4842326  
P. IVA: 01746700465 e-mail: marco.toschi@iol.it

COMUNE DI CAPANNORI

---

INDAGINI GEOLOGICHE DI SUPPORTO ALLA VARIANTE AL REGOLAMENTO  
URBANISTICO PER LA SISTEMAZIONE ESTERNA AREA PUBBLICA VIA DI CARRAIA

---

PROPRIETA': Holding Immobiliare s.r.l.

Relazione Tecnica

Marzo 2019

## Indice

PREMESSA .....	3
1. – OGGETTO DELLA VARIANTE .....	3
2. – QUADRO NORMATIVO VIGENTE .....	3
3. - CARATTERI GEOLOGICI GENERALI .....	5
3.1- Geologia .....	5
3.2 - Idrogeologia .....	6
4. – GEOGNOSTICA.....	7
5 - CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICO-GEOTECNICA .....	7
6 - ANALISI SISMICA DEL TERRENO .....	8
7. - VALUTAZIONI SULLA PERICOLOSITA' IDRAULICA DELL'AREA .....	8
8. - VALUTAZIONI RELATIVE AGLI EFFETTI CONNESSI ALL'IMPERMEABILIZZAZIONE .....	9
DEL SUOLO .....	9
9. - CONCLUSIONI .....	10

## Tavole

- Corografia
- Carta geologica
- Carta della pericolosità geomorfologica
- Carta della pericolosità idraulica
- Carta della pericolosità sismica
- Carta delle categorie di sottosuolo
- Cartografia della pericolosità da alluvione fluviale e costiera (PGRA Distretto Appennino Settentrionale)

## Allegati

1. Tabulati e diagrammi delle prove penetrometriche
2. Elaborazione prospezione sismica MASW

## PREMESSA

Su richiesta del progettista, Arch. Riccardo Ricci e per conto di Holding Immobiliare s.r.l. sono state eseguite indagini dirette ad individuare le condizioni che garantiscono la fattibilità degli interventi di trasformazione previste dalla Variante Urbanistica in oggetto, in ottemperanza alle normative vigenti in materia ed in particolare:

- L.R. 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio).
- D.P.G.R. n. 53/R del 25 ottobre 2011 - Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche.
- Variante generale al Regolamento Urbanistico vigente approvato definitivamente con Del C.C. n. 46 del 06/07/2016

Le indagini geologiche hanno lo scopo di individuare le condizioni che garantiscono la fattibilità degli interventi di trasformazione e sono effettuate in conformità a quanto prescritto dalle direttive tecniche contenute nell'allegato A del Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 in materia di indagini geologiche.

## 1. – OGGETTO DELLA VARIANTE PIANO ATTUATIVO

L'intervento urbanistico in esame, al cui progetto redatto Arch. Riccardo Ricci si rimanda per maggiori dettagli, riguarda , la realizzazione di parco giochi in Via di Carraia con la previsione di una viabilità di accesso carrabile e pedonale verso proprietà Holding Immobiliare.

## 2. – QUADRO NORMATIVO VIGENTE

### 2.1 – Quadro di pericolosità secondo il R.U.

Il Consiglio Comunale ha approvato definitivamente la Variante generale al Regolamento Urbanistico vigente, con Delibera C.C. n. 46 del 06/07/2016. Successivamente è stata adottata la Variante parziale al Regolamento Urbanistico ai sensi dell'art. 34 LR 65/2014 con Delibera C.C. n. 8 del 30/01/2018. Sulla base degli studi condotti a supporto, l'area in oggetto è stata inserita nelle seguenti classi di pericolosità previste dalla normativa:

#### **Classe G2: pericolosità geomorfologica MEDIA**

Aree in cui sono presenti elementi geomorfologici, litologici, giaciture e litotecnici dalla cui valutazione risulta una propensione al dissesto media.

#### **Classe I.2: pericolosità idraulica MEDIA**

Aree interessate da allagamenti per eventi con  $200 < T_r \leq 500$  anni.

### **Classe S.2: pericolosità sismica locale MEDIA**

Zone stabili con substrato lapideo affiorante o subaffiorante ma con pendenza superiore a 15°; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3, ovvero non caratterizzati da forti contrasti di impedenza sismica (generalmente corrispondenti alle categorie di sottosuolo B o C), ad esempio depositi alluvionali della pianura, depositi detritici su roccia alterata o su depositi fluviolacustri.

Dall'analisi dello strumento urbanistico risulta che l'area oggetto di intervento non ricade all'interno degli ambiti fluviali o tra le aree di pertinenza fluviale. Risulta esterna agli ambiti territoriali interessati da allagamenti e/o dei transiti per tempi di ritorno 30 e 200 anni.

### **2.2 – Quadro di pericolosità secondo il PGRA Distretto Appennino Settentrionale**

Con le delibere del Comitato Istituzionale n. 231 e 232 del 17 dicembre 2015 è stato adottato il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del bacino del fiume Arno con apposizione delle misure di salvaguardia. Successivamente con delibera del Comitato Istituzionale n. 235 del 3 marzo 2016 il Piano è stato definitivamente approvato. Infine con la pubblicazione in Gazzetta Ufficiale n. 28 del 3 febbraio 2017 è avvenuta l'approvazione del Piano di gestione del rischio di Alluvioni del Distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale. La zona rientra nelle aree a pericolosità da alluvione media P2.

### **2.3 – Fattibilità dell'intervento secondo le disposizioni del R.U.**

Le classi di fattibilità dell'intervento in esame sono ottenute attraverso una matrice di correlazione tra diverse possibili tipologie d'intervento e le classi di pericolosità che caratterizzano l'area sulla quale s'interviene. Dall'analisi di tre diversi abachi di correlazione (uno riguardante la fattibilità geomorfologica, uno la fattibilità idraulica ed uno la fattibilità sismica) si ottiene:

#### **FATTIBILITÀ GEOMORFOLOGICA E GEOTECNICA II (intervento 5<sup>1</sup> e 11<sup>2</sup>):**

Sono prescritte indagini di approfondimento da condursi ai sensi della normativa tecnica vigente sia nel caso di intervento diretto, sia nel caso di Piano Complesso di intervento e di Piano Attuativo. In particolare le indagini di supporto alla progettazione edilizia dovranno essere estese all'intorno geologicamente significativo e pervenire alla definizione del modello geologico di riferimento, comprensivo della relativa caratterizzazione stratigrafico-geotecnica e idrogeologica, nelle aree di pianura o, dell'individuazione degli elementi, geomorfologici, litologico-tecnici, giacaturali e idrogeologici, nelle aree di versante,

---

<sup>1</sup> Verde pubblico attrezzato e impianti sportivi pubblici o di uso pubblico senza coperture e manufatti accessori.

<sup>2</sup> Viabilità privata a raso e piazzali privati a raso.

per le opportune verifiche di sicurezza, dei possibili fenomeni di ritiro e rigonfiamento dei terreni argillosi per variazioni di umidità del suolo, nonché nei casi di interventi su pendio (G2) a valutazioni di stabilità del pendio medesimo. Nel caso di volumetrie interrato dovranno essere valutate le prevedibili sottospinte idrauliche e gli effetti di eventuali emungimenti connessi agli scavi sotto falda. E' inoltre prescritto, al fine di evitare ruscellamenti selvaggi e/o fenomeni erosivi concentrati, che le acque meteoriche afferenti alle superfici modificate vengano adeguatamente raccolte e regimate, tenuto anche conto delle disposizioni di cui all'art. 51 delle NTA.

**FATTIBILITA' IDRAULICA I (intervento 18<sup>3</sup> e 1<sup>4</sup>):**

Nessuna prescrizione specifica.

**FATTIBILITÀ SISMICA I (intervento 5 e 11):**

Nessuna prescrizione specifica, fatto salvo il rispetto del D.P.G.R. 36/R/2009 e del D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni (NTC2008) e relative eventuali future modifiche ed integrazioni, ove richiesto.

**1.4 – Fattibilità dell'intervento secondo le disposizioni della Legge Regionale n. 41 del 24 luglio 2018**

Con riferimento all'articolo 13 – “Infrastrutture lineari o a rete”, l'intervento in esame è da considerare consentito in quanto non in contrasto con il dettato normativo posto dall'articolo sopracitato di seguito riportato:

*comma 2. Nuove infrastrutture a sviluppo lineare e relative pertinenze possono essere realizzate nelle aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali.*

**3. - CARATTERI GEOLOGICI GENERALI**

L'area in esame si trova nel settore centrale della Piana di Lucca; dal punto di vista topografico si colloca su terreni pianeggianti posti ad una quota di circa 13 metri s.l.m..

**3.1- Geologia**

La Piana di Lucca, dal punto di vista geologico, è caratterizzata dalla presenza di un orizzonte di "ciottoli, ghiaie e sabbie addensate", di considerevole spessore, sede di una

---

<sup>3</sup> Aree a verde pubblico e a parco senza creazione nuovi volumi edilizi.

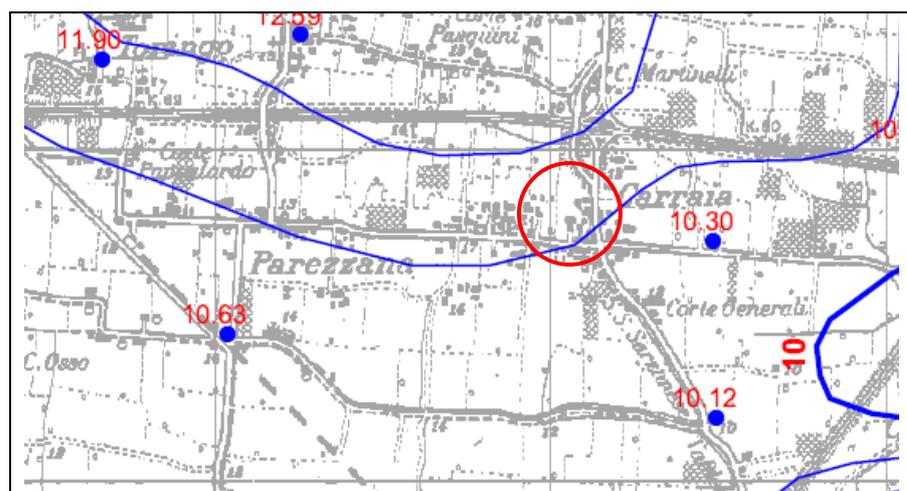
<sup>4</sup> Nuove infrastrutture, compresi i parcheggi con estensione superiore a 500 mq e/o in fregio ai corsi d'acqua.

ricca falda idrica, depositato dal Fiume Serchio al di sopra di più antichi sedimenti lacustri prevalentemente argillosi (depositi dei Cicli fluvio lacustri pleistocenici e quaternari). Al di sopra di tale livello prevalentemente ciottoloso vi è, in tutta la Piana, una copertura di depositi alluvionali a granulometria fine (sabbie, limi, argille), di spessore variabile, ma generalmente crescente da nord verso sud.

### 3.2 - Idrogeologia

La piana di Lucca è caratterizzata da un acquifero alluvionale costituito dai depositi fluviali del Pleistocene superiore-Olocene che sovrastano i depositi impermeabili del ciclo fluvio-lacustre. Tale acquifero, costituito dai depositi sabbioso-ghiaioso si estende per tutta la pianura con spessori variabili che aumentano andando da nord verso sud. Le condizioni stratigrafiche della pianura fanno sì che la falda idrica si presenti con caratteristiche freatiche nella porzione in cui l'orizzonte ghiaioso-sabbioso, che costituisce l'acquifero, non risulta confinato verso l'alto da terreni impermeabili. Tale situazione si verifica nella parte centro-settentrionale della pianura, mentre nella porzione centro-meridionale, per la presenza in copertura dei depositi prevalentemente limoso-argillosi, la falda acquifera acquista caratteristiche di semiartesianità e di artesianità a mano a mano che si procede da Nord verso Sud.

Dalla carta piezometrica riportata nella pagina seguente (v. figura), redatta dallo Studio Nollèdi nell'ambito delle attività previste dal progetto Europeo LIFE denominato "Serial Wellfir", la piezometrica locale staziona intorno a 11 metri s.l.m. (corrispondente a 2.0 metri al di sotto del p.c.). Secondo ulteriori dati piezometrici derivanti da monitoraggi effettuati nella piana nel corso degli anni, si può ritenere che il livello di falda oscilla mediamente tra 0.5 e 2.50 metri al di sotto del piano campagna nell'area in esame.



*"Carta piezometrica Piana di Lucca, maggio 2007" (fuori scala)*

#### 4. – GEOGNOSTICA

Sulla base dell'assetto geologico e geomorfologico descritto si è ritenuto adeguato riferirci a n. 2 prove penetrometriche statiche (CPT) eseguite in area limitrofa caratterizzata dal medesimo contesto geologico-stratigrafico. Lo strumento utilizzato è un penetrometro statico-dinamico Pagani Geotechnical Equipment modello TG63/200 da 20 t di spinta. Maggiori specifiche tecniche sono riportate in Allegato.

#### 5 - CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICO-GEOTECNICA

I risultati delle prove penetrometriche sopra citate, confrontati con i risultati di altre indagini eseguite in un significativo intorno, hanno consentito di ricostruire il seguente profilo stratigrafico da considerare omogeneo alla scala di intervento. Nel dettaglio si ha:

metri: 0.0÷1.4  
**Argilla limosa compatta, pedogenizzata**

metri: 1.4÷4.8  
**Argille limosa soffice**

metri: 4.8÷6.4  
**Argilla sabbioso-limosa plastica**

metri: 6.4÷6.8  
**Sabbie, ghiaie e ciottoli a matrice sabbiosa mediamente addensata**

Sulla base dell'indagine considerata si propone il seguente MODELLO GEOTECNICO costituito da quattro unità geotecniche per le quali si individuano, mediante una stima ragionata e cautelativa, i seguenti parametri medi:

##### **Da m 0.0 a m 1.4: UNITA' GEOTECNICA "A"**

$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$   
 $C_u = 0.55 \text{ Kg/cmq}$   
 $\varphi' = 22^\circ$   
 $c' = 0.02 \text{ Kg/cmq}$   
 $mv = 0.020 \text{ cmq/kg}$

##### **Da m 1.4 a m 4.8: UNITA' GEOTECNICA "B"**

$\gamma = 1.80 \text{ t/mc}$   
 $C_u = 0.30 \text{ Kg/cmq}$   
 $\varphi' = 15^\circ$   
 $c' = 0.05 \text{ Kg/cmq}$   
 $mv = 0.031 \text{ cmq/kg}$

**Da m 4.8 a m 6.4: UNITA' GEOTECNICA "C"**

$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$   
 $C_u = 0.45 \text{ Kg/cmq}$   
 $\varphi' = 26^\circ$   
 $c' = 0.00 \text{ Kg/cmq}$   
 $mv = 0.025 \text{ cmq/kg}$

**Da m 6.4 a m 6.8: UNITA' GEOTECNICA "D"**

$\gamma = 2.00 \text{ t/mc}$   
 $\varphi' = 32^\circ$   
 $c' = 0.00 \text{ Kg/cmq}$   
 $mv = 0.004 \text{ cmq/kg}$

I parametri geotecnici indicati per i vari orizzonti sono di seguito specificati:

**$\gamma$ : peso di volume**  
 **$mv$ : coefficiente di compressibilità volumetrica**

Parametri di resistenza al taglio a lungo termine (espressi in termini di tensioni efficaci):

**$\varphi'$  angolo di resistenza a taglio efficace**  
 **$c'$  coesione consolidata drenata**

Parametri di resistenza al taglio a breve termine (espressi in termini di tensioni totali):

**$C_u$ : coesione non drenata**

## 6 - ANALISI SISMICA DEL TERRENO

Il Comune di Capannori, ai sensi dell'Allegato 1 della Del. 421 del 26/05/2014 (Aggiornamento della classificazione sismica regionale) è stato confermato nella Zona sismica 3. Sulla base dell'indagine geofisica di tipo sismico MASW effettuata per conto dello scrivente in area limitrofa (v. allegato) il valore della Vsequivalente determinato risulta pari a 338 m/s.. Tale assetto sismostratigrafico individua una zona suscettibile di amplificazione sismica, ovvero dove il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche.

## 7. - VALUTAZIONI SULLA PERICOLOSITA' IDRAULICA DELL'AREA

Facendo riferimento agli studi idrologico-idraulici condotti a supporto della Variante Generale al Regolamento Urbanistico, l'area in esame non risulta inondabile da eventi con tempo di ritorno  $Tr=200$  anni.

## 8. - VALUTAZIONI RELATIVE AGLI EFFETTI CONNESSI ALL'IMPERMEABILIZZAZIONE DEL SUOLO

Su richiesta del Progettista, Arch. Riccardo Ricci sono state effettuate valutazioni idrologiche ed idrogeologiche per valutare e dimensionare gli accorgimenti tecnico-progettuali mirati al contenimento dell'impermeabilizzazione del suolo, così come prescritto all'Art. 51 delle N.T.A., tenendo conto delle differenze d'estensione delle superfici impermeabili e semipermeabili tra la situazione ante e post-operam.

Secondo quanto si evince dagli elaborati grafici, al cui progetto si rimanda per maggiori dettagli, l'intervento interessa un'area originariamente a verde, avente una superficie pari a circa 900 m<sup>2</sup>. La trasformazione del coefficiente di deflusso deriva dalla realizzazione delle pavimentazioni della viabilità (in asfalto) e dei percorsi pedonali, oltre alla pavimentazione i mattonelle in gomma.

Allo stato modificato le superfici saranno pertanto così ripartite:

Aree impermeabili ( $\emptyset = 1.0$ ) superficie = **450 m<sup>2</sup>**

Considerato che, nel caso di specie, si rende necessario contenere l'entità media delle portate scaricate entro il limite massimo coincidente con quello fornito dall'area nella situazione pre-intervento, valutato tenendo conto di una pioggia oraria con tempo di ritorno ventennale (art. 51.5 delle N.T.A.), si dovrà provvedere alla individuazione di volumetrie di ritenzione idrica per le acque provenienti dalle superfici scolanti.

Per la determinazione delle volumetrie da ritenere si fa riferimento alle "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme 1 LSPP" sviluppate nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla D.G.R.T. 1133/2012, i cui risultati sono stati pubblicati sul sito della Regione nell'anno 2014; si assume valevole, per la zona indicata, 51.45 mm di pioggia con un tempo di scroscio orario. Possiamo calcolare la portata proveniente dalle superfici indicate facendo riferimento alla formula razionale:

$Q = 0.2778 \times j \times S \times h / t$  dove:

Q = portata in m<sup>3</sup>/s  
j = coefficiente di deflusso  
S = superficie trasformata in Km<sup>2</sup>  
h = l'altezza di pioggia nel tempo t  
t = tempo di scroscio in ore

Sostituendo tutti i valori nell'espressione sopra citata otteniamo:

portata ammessa:

Q= 1,28 l/s

portata stato modificato:

Q= 6,43 l/s

L'incremento di portate da contenere risulta essere:

$$Q_{\text{eccesso}} = Q_{\text{mod}} - Q_{\text{amm}} = 5,14 \text{ l/s}$$

Considerando un tempo di scroscio di 1 ora, sarà necessario individuare sul lotto un sistema d'accumulo avente un volume non inferiore a:

**Volume da ritenere  $V = 18,5 \text{ m}^3$**

Come concertato col progettista, Arch. Riccardo Ricci, le portate in eccesso provenienti dalle aree trasformate saranno stoccate mediante la messa in opera di una tubazione di raccolta e ritenzione avente **diametro interno e sviluppo tali da garantire la capacità sopra indicata**; la condotta sarà dotata di pozzetto di raccolta con bocca tarata o, in alternativa, di impianto di sollevamento costituito da elettropompa sommergibile, dotato di valvola per la regolazione della portata in uscita, in entrambi i casi tale da non eccedere il valore pre-intervento.

Si ritiene pertanto il sistema così progettato adeguato in ossequio alle disposizioni imposte dal regolamento Urbanistico.

## 9. - CONCLUSIONI

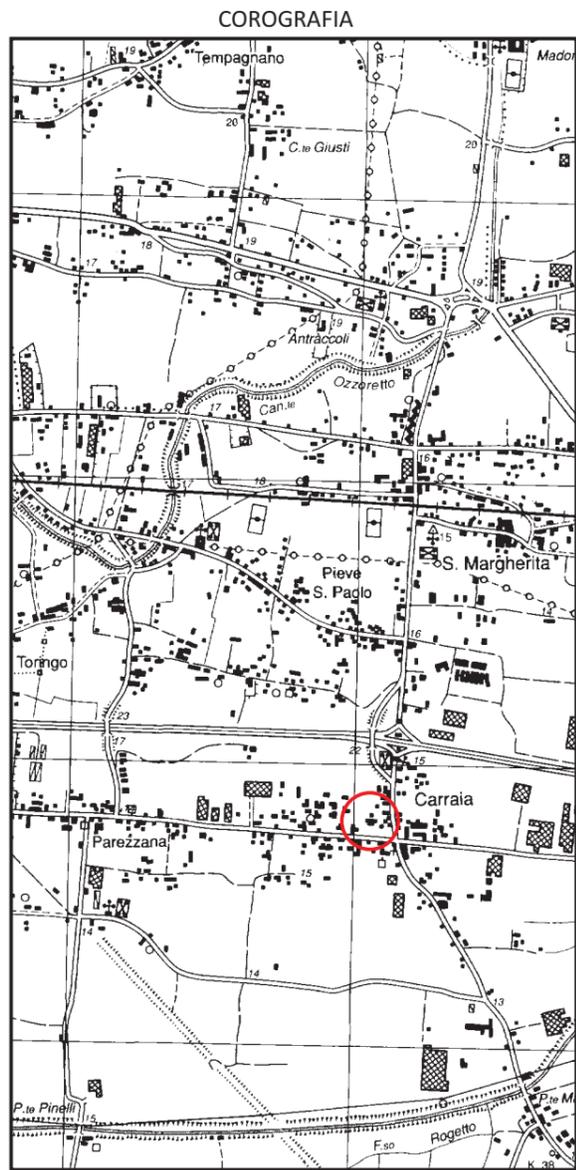
Gli approfondimenti in questa sede effettuati escludono che siano intervenute modifiche rispetto al quadro conoscitivo di riferimento sia dal punto di vista geomorfologico, idraulico e sismico.

Il presente studio ha permesso di confermare le classi di pericolosità individuate dal Regolamento Urbanistico; le destinazioni urbanistiche previste dalla variante, inoltre, non comportano cambiamenti delle condizioni di fattibilità.

Tali approfondimenti consentono altresì di esprimere parere favorevole circa la fattibilità delle opere di trasformazione proposte.

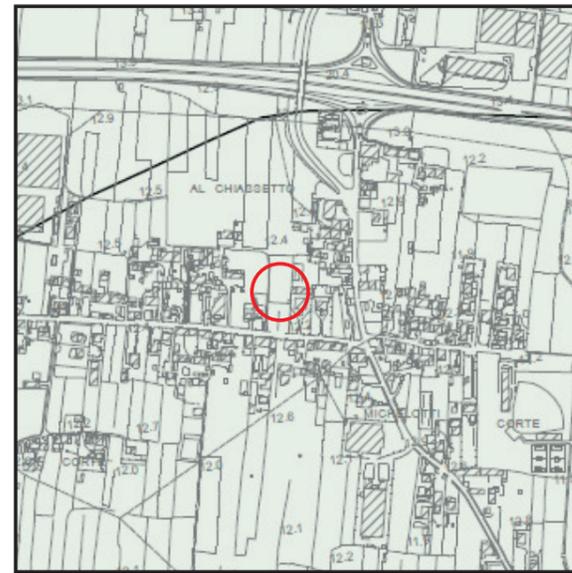
Lucca, 7 marzo 2019

Geol. Marco Toschi



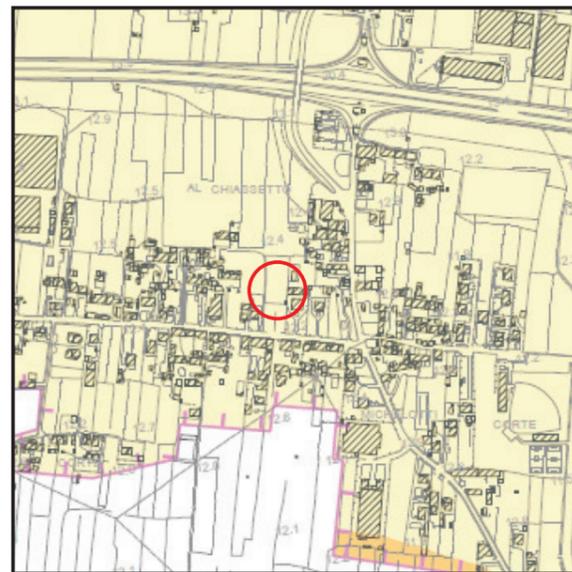
○ Area oggetto di studio

**CARTA GEOLOGICA**  
Regolamento Urbanistico approvato Comune di Capannori  
Tavola A1 centro



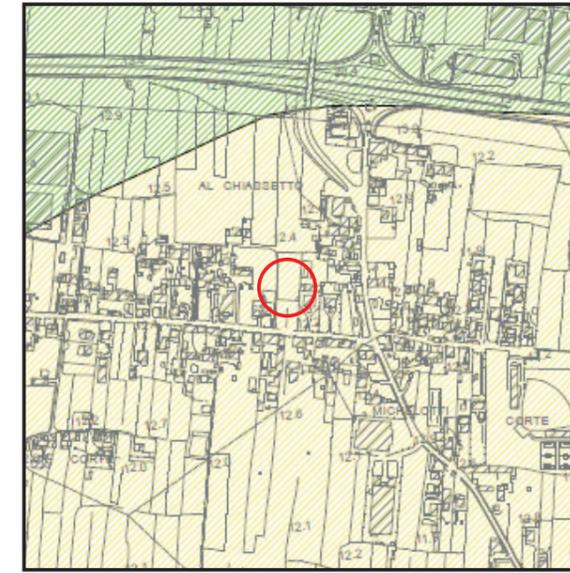
**e** Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati: sabbie e limi prevalenti

**CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA**  
Regolamento Urbanistico approvato Comune Capannori  
Tavola B5 centro



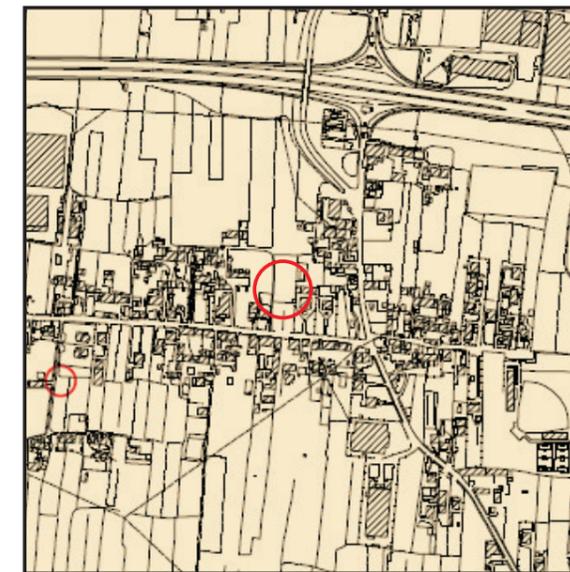
**S2** Classe S2: Pericolosità sismica locale MEDIA

**CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA**  
Regolamento Urbanistico approvato Comune Capannori  
Tavola B3 centro



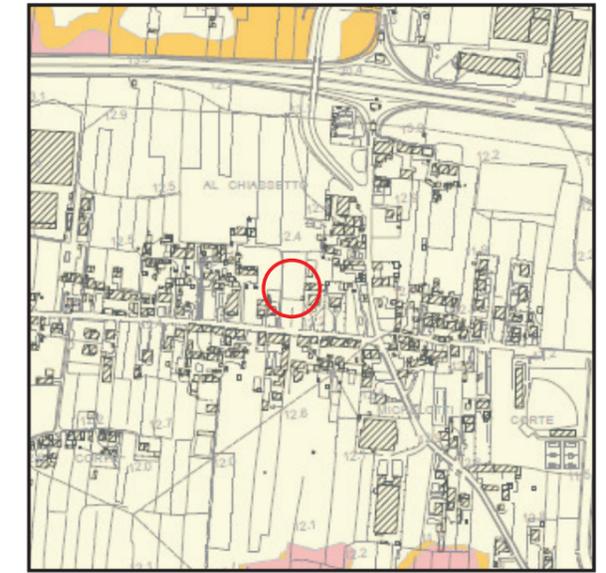
**G1** Classe G1: Pericolosità geomorfologica BASSA  
**G2** Classe G2: Pericolosità geomorfologica MEDIA

**CARTA DELLE CATEGORIE DI SOTTOSUOLO**  
Regolamento Urbanistico approvato Comune Capannori  
Tavola A7 centro



**C** Aree con suolo di fondazione tipo C ipotizzate sulla base di dati stratigrafici e misure di rumore sismico

**CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA**  
Regolamento Urbanistico approvato Comune Capannori  
Tavola B4 centro



**I2** Classe I2: Pericolosità idraulica MEDIA  
**I3** Classe I3: Pericolosità idraulica ELEVATA  
**I4** Classe I4: Pericolosità idraulica MOLTO ELEVATA

**CARTOGRAFIA DELLA PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE FLUVIALE E COSTIERA**  
PGRA Distretto Appennino Settentrionale  
Stralcio 219



**P1** Classe P1: Pericolosità da alluvione BASSA  
**P2** Classe P2: Pericolosità da alluvione MEDIA  
**P3** Classe P3: Pericolosità da alluvione ELEVATA

TABULATI E DIAGRAMMI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

## PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

**CPT 1**

2.010496-056

- committente : Geol. Marco Toschi  
 - lavoro : indagini geognostiche  
 - località : Pieve S'Paolo  
 - note :

- data : 10/05/2007  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : 2,43 m da quota inizio  
 - pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	0,33	----	3,60	6,0	9,0	6,0	0,13	45,0
0,40	15,0	20,0	15,0	0,67	22,0	3,80	5,0	7,0	5,0	0,20	25,0
0,60	14,0	24,0	14,0	0,60	23,0	<b>4,00</b>	7,0	10,0	7,0	0,27	26,0
0,80	12,0	21,0	12,0	0,53	22,0	4,20	4,0	8,0	4,0	0,27	15,0
<b>1,00</b>	13,0	21,0	13,0	0,53	24,0	4,40	5,0	9,0	5,0	0,47	11,0
1,20	10,0	18,0	10,0	0,67	15,0	4,60	18,0	25,0	18,0	0,20	90,0
1,40	10,0	20,0	10,0	0,67	15,0	4,80	19,0	22,0	19,0	0,47	41,0
1,60	7,0	17,0	7,0	0,47	15,0	<b>5,00</b>	6,0	13,0	6,0	0,20	30,0
1,80	8,0	15,0	8,0	0,40	20,0	5,20	4,0	7,0	4,0	0,20	20,0
<b>2,00</b>	6,0	12,0	6,0	0,33	18,0	5,40	7,0	10,0	7,0	0,33	21,0
2,20	5,0	10,0	5,0	0,27	19,0	5,60	6,0	11,0	6,0	0,40	15,0
2,40	5,0	9,0	5,0	0,20	25,0	5,80	10,0	16,0	10,0	0,67	15,0
2,60	7,0	10,0	7,0	0,33	21,0	<b>6,00</b>	15,0	25,0	15,0	1,33	11,0
2,80	7,0	12,0	7,0	0,27	26,0	6,20	63,0	83,0	63,0	1,73	36,0
<b>3,00</b>	5,0	9,0	5,0	0,20	25,0	6,40	222,0	248,0	222,0	2,67	83,0
3,20	5,0	8,0	5,0	0,27	19,0	6,60	380,0	420,0	380,0	-----	----
3,40	5,0	9,0	5,0	0,20	25,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -  
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
 - punta meccanica tipo Begemann  $\varnothing = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
 - manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

## PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

**CPT 2**

2.010496-056

- committente : Geol. Marco Toschi  
 - lavoro : indagini geognostiche  
 - località : Pieve S'Paolo  
 - note :

- data : 10/05/2007  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : 2,43 m da quota inizio  
 - pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	0,53	----	3,60	5,0	8,0	5,0	0,20	25,0
0,40	14,0	22,0	14,0	0,27	52,0	3,80	4,0	7,0	4,0	0,20	20,0
0,60	16,0	20,0	16,0	0,87	18,0	<b>4,00</b>	6,0	9,0	6,0	0,27	22,0
0,80	13,0	26,0	13,0	0,60	22,0	4,20	5,0	9,0	5,0	0,27	19,0
<b>1,00</b>	15,0	24,0	15,0	0,73	20,0	4,40	4,0	8,0	4,0	0,13	30,0
1,20	15,0	26,0	15,0	0,53	28,0	4,60	5,0	7,0	5,0	0,20	25,0
1,40	12,0	20,0	12,0	0,80	15,0	4,80	7,0	10,0	7,0	0,33	21,0
1,60	9,0	21,0	9,0	0,67	13,0	<b>5,00</b>	20,0	25,0	20,0	0,33	60,0
1,80	7,0	17,0	7,0	0,53	13,0	5,20	6,0	11,0	6,0	0,20	30,0
<b>2,00</b>	7,0	15,0	7,0	0,40	17,0	5,40	5,0	8,0	5,0	0,20	25,0
2,20	8,0	14,0	8,0	0,47	17,0	5,60	5,0	8,0	5,0	0,27	19,0
2,40	6,0	13,0	6,0	0,33	18,0	5,80	9,0	13,0	9,0	0,20	45,0
2,60	7,0	12,0	7,0	0,27	26,0	<b>6,00</b>	11,0	14,0	11,0	0,60	18,0
2,80	6,0	10,0	6,0	0,33	18,0	6,20	8,0	17,0	8,0	1,40	6,0
<b>3,00</b>	9,0	14,0	9,0	0,47	19,0	6,40	34,0	55,0	34,0	1,47	23,0
3,20	7,0	14,0	7,0	0,27	26,0	6,60	120,0	142,0	120,0	1,73	69,0
3,40	5,0	9,0	5,0	0,20	25,0	6,80	286,0	312,0	286,0	----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -  
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
 - punta meccanica tipo Begemann  $\varnothing = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
 - manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

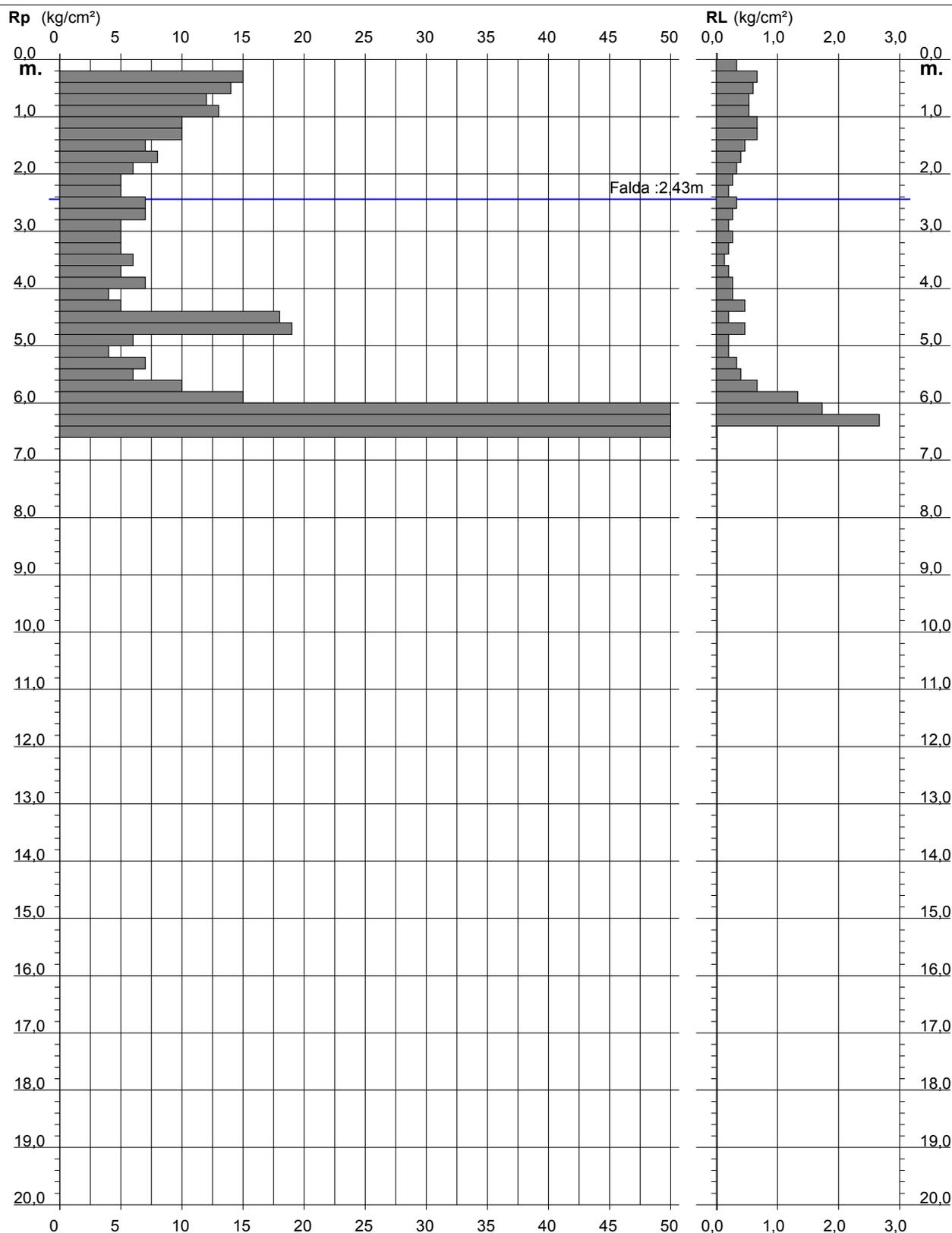
# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

**CPT 1**

2.010496-056

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagini geognostiche  
- località : Pieve S'Paolo

- data : 10/05/2007  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 2,43 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100

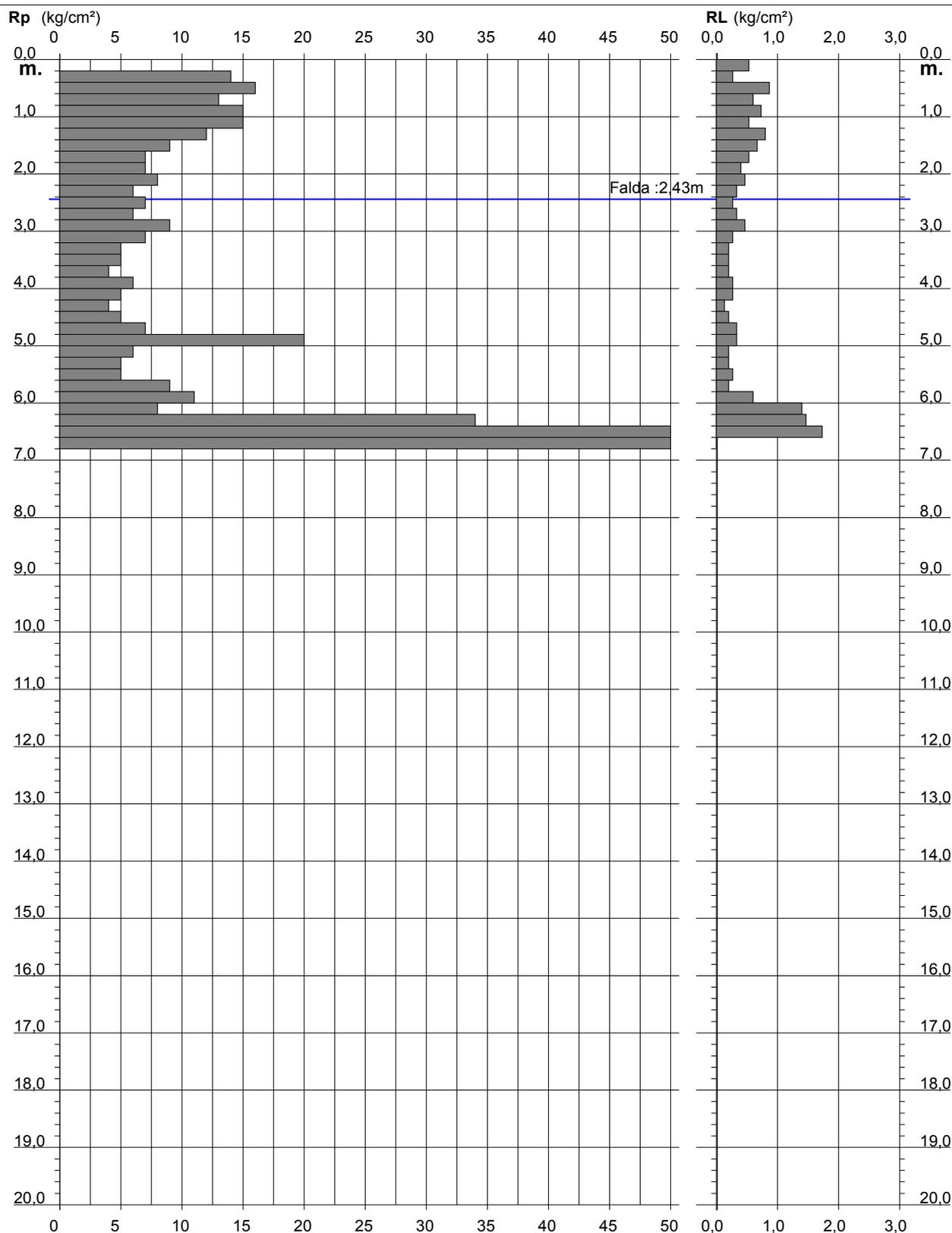


**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
DIAGRAMMA DI RESISTENZA****CPT 2**

2.010496-056

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagini geognostiche  
- località : Pieve S'Paolo

- data : 10/05/2007  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 2,43 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100



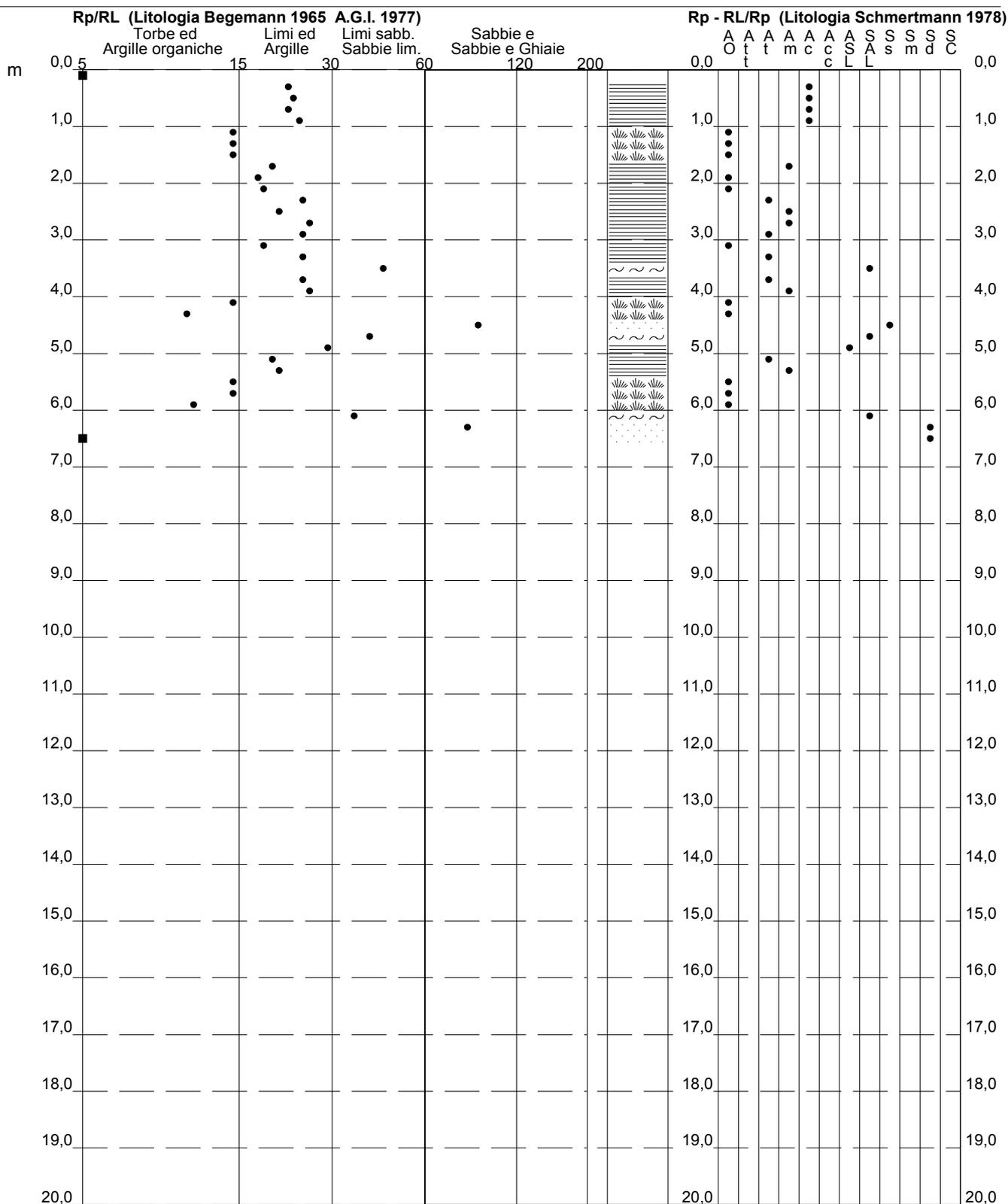
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
 VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

**CPT 1**

2.010496-056

- committente : Geol. Marco Toschi  
 - lavoro : indagini geognostiche  
 - località : Pieve S'Paolo  
 - note :

- data : 10/05/2007  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : 2,43 m da quota inizio  
 - scala vert.: 1 : 100



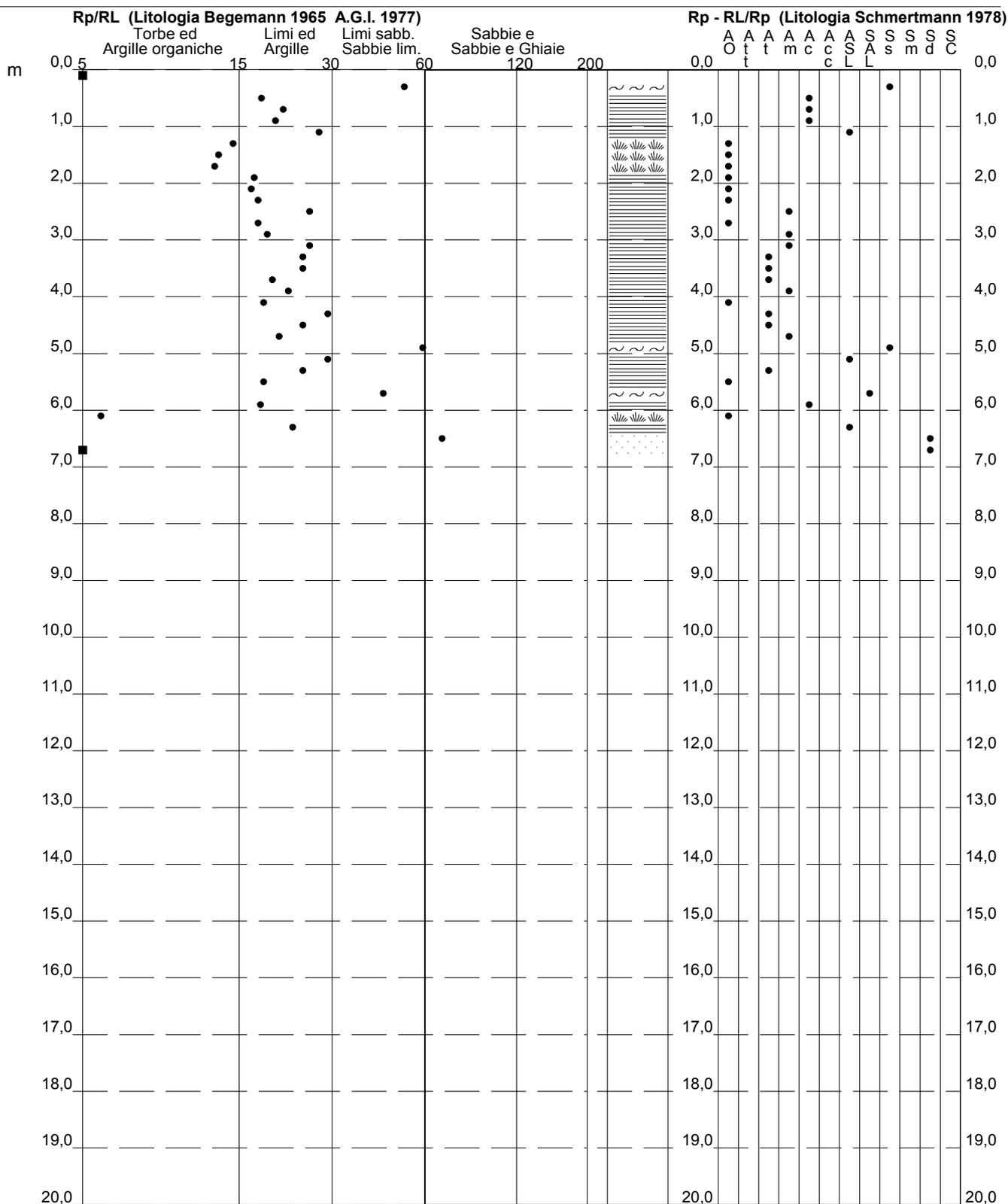
# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

**CPT 2**

2.010496-056

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagini geognostiche  
- località : Pieve S'Paolo  
- note :

- data : 10/05/2007  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 2,43 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100







ELABORAZIONE INDAGINE MASW

Geognostica

Monitoraggio  
idrogeologico



Geofisica

Indagini  
ambientali

**Località d'indagine: Carraia - Capannori (LU)**

**data: 14 / 03 / 2011**



indagine: MASW

strumentazione: Ambrogeo Echo 12/24 2002

software di elaborazione: WinMASW 4.1 std

per la geOLUK s.r.l.,

l'Amministratore

geOLUK s.r.l.  
GEOGNOSTICA E GEOFISICA  
www.geoluk.com info@geoluk.com

sede legale: Via Nericci, 176 Sant'Anna 55100 Lucca  
sede operativa: Via San Marco, 224 - 55100 Lucca - sede legale: Via Nericci, 176 55100 Lucca  
codice fiscale e numero di iscrizione al registro delle imprese di Lucca: 02069440465  
R.E.A. Lucca n. 194371 - capitale sociale € 10.000,00 i.v.  
tel 393 9371580 - fax 0583 956364 - [www.geoluk.com](http://www.geoluk.com) - [info@geoluk.com](mailto:info@geoluk.com)

## INDICE

1. Premessa.....	3
1.1. Introduzione al metodo.....	3
2. Acquisizione.....	4
2.1.1. Strumentazione impiegata.....	4
3. Elaborazione.....	5
4. Conclusioni.....	7

## ALLEGATI e FIGURE

Sismogramma acquisito in campagna  
Spettro di velocità e curva di dispersione e picking  
Profilo verticale delle Vs  
Determinazione parametro  $V_{s30}$   
Esempio di modello stratigrafico

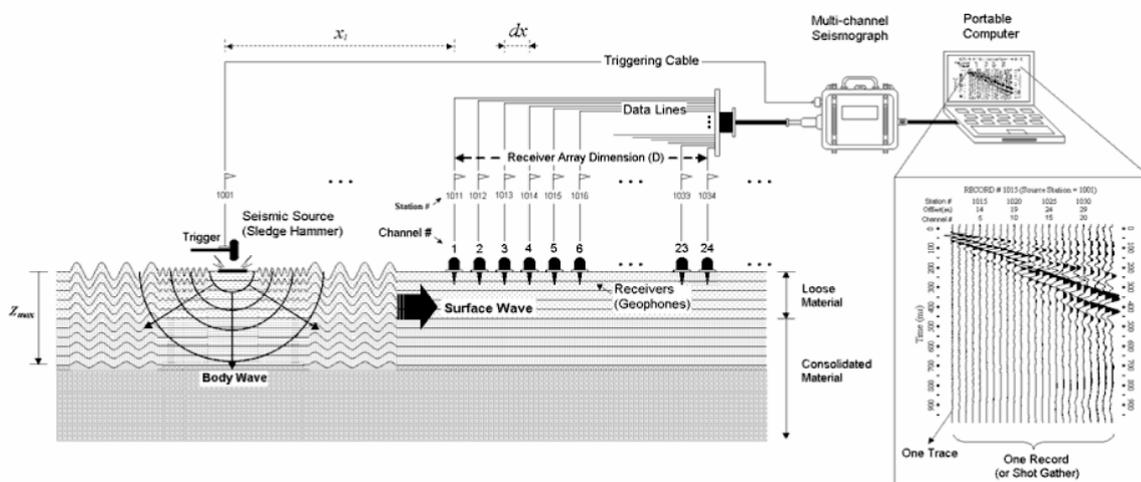
# 1. Premessa

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto del sito in esame, ubicato in via Tazio Nuvolari 53, in località Carraia, a Capannori (LU), è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW utili a definire il profilo verticale della  $V_s$  (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo a quanto riportato nelle Norme Tecniche per le Costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005); queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) entro i primi 30m di profondità.

## 1.1. Introduzione al metodo

La Metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) adottata per il presente lavoro è una tecnica di investigazione sismica non invasiva del sottosuolo di tipo attivo, presentata nel 1999 in seguito agli studi effettuati dal Kansas Geological Survey (Park et al., 1999). Attraverso l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh questa tecnica mira a ricostruire un profilo sismostratigrafico in onde di taglio lungo la verticale in asse col centro dello stendimento (profilo  $V_s$ -z).



**Figura 1.** Illustrazione della tecnica di indagine eseguita (SurfSeis – Active Masw, 2006)

La propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più una unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie

lunghezze d'onda (fenomeno detto della dispersione in frequenza). Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.

Come tutte le tecniche di investigazione del sottosuolo, anche il M.A.S.W. presenta dei limiti nella sua applicabilità e dei vantaggi che devono essere tenuti ben presente nel momento in cui si pianifica e commissiona una campagna di investigazione geofisica. Brevemente i principali limiti della metodologia sono la necessità di operare in condizioni geologiche particolari (strati circa piano paralleli e lateralmente isotropi), la necessità di disporre di una taratura stratigrafica di riferimento fino alla profondità di interesse per ottimizzare il modello finale e la necessità di effettuare lo stendimento su superfici che non presentino brusche irregolarità morfologiche (salti, scalini...)

Per contro, i principali vantaggi della metodologia sono per esempio, a parità di profondità di investigazione, la possibilità di lavorare in ambienti con ingombri limitati, oppure al fine di poter ottimizzare il modello sismostratigrafico finale la possibilità di intervenire attivamente nel software di elaborazione in virtù delle conoscenze geologiche/geotecniche dell'area indagata. Inoltre, la tecnica M.A.S.W riesce, come ad es. il downhole, a rilevare il fenomeno dell'inversione di velocità.

## **2. Acquisizione**

### **2.1.1. Strumentazione impiegata**

#### *Hardware*

L'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 24 canali (mod. Echo 12-24 della Ambrogeo), collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz.

Di seguito vengono brevemente elencate le caratteristiche tecniche del sismografo:

- Registrazione a 24 canali
- Impedenza di ingresso 20 Kohm
- Range dinamico: 93 dB
- Conversione A/D a 16 bit
- Intervallo di campionamento selezionabile a: 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1000, 30000 ms
- Guadagno 10 dB – 100 dB, passo 1 dB
- Tensione di saturazione +/- 2,3 V

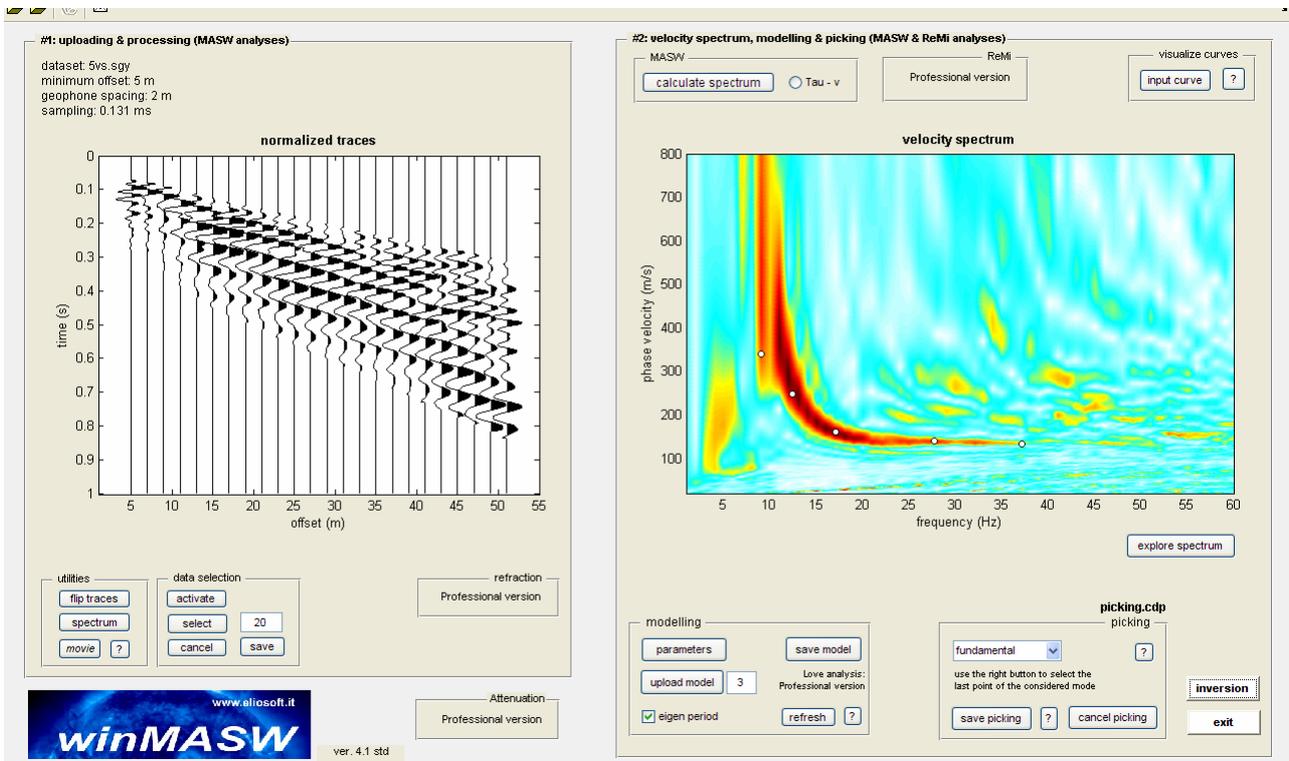
- Distorsione 0,01%
- Campionamento 130 ms
- Filtro passa basso da 50 a 950 Hz, passo 1 Hz
- Alimentazione 12V

## Software

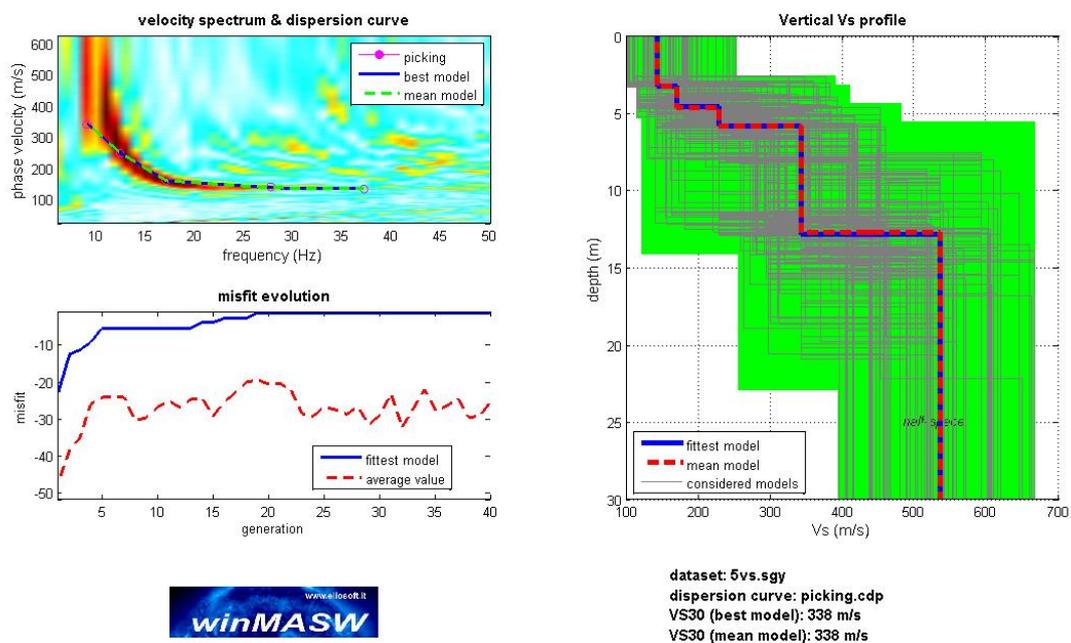
Per la registrazione in campagna del segnale sismico è stato utilizzato il software Ambrogeo v 7.1.1 Segy mentre, per le analisi dei dati acquisiti, è stato adottato il software *winMASW* 4.1.1 Std.

## 3. Elaborazione

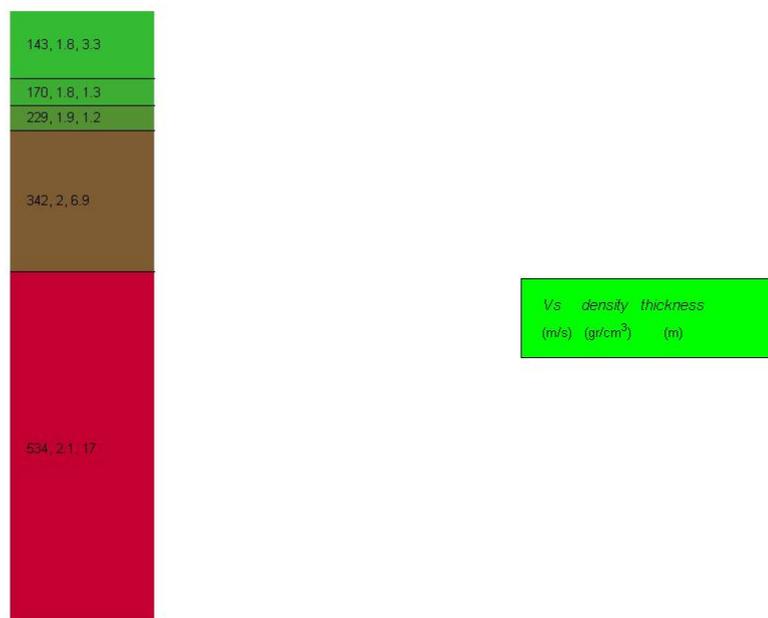
I dati *MASW* sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) e stimare quindi il valore del parametro  $V_{s30}$  utile alla classificazione del terreno (determinazione della categoria di sottosuolo).



**Fig. 2.** Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato.



**Fig. 3.** Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione "piccate" e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale  $V_s$  identificato. In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici* – Dal Moro et al., 2007).



**Fig. 4.** Colonnina sismo-stratigrafica di massima del sito. Per ciascun strato indicate VS, densità (stimate) e spessori.

## 4. Conclusioni

Dall'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh, a partire da dati di sismica attiva (MASW) e in riferimento alla ricostruzione stratigrafica (modello di partenza) ricavabile dalle indagini puntuali a taratura messe a disposizione dalla Committenza, è stato elaborato un profilo sismostratigrafico della  $V_s$  monodimensionale al di sotto del centro dello stendimento effettuato.

Sulla base dei dati disponibili viene pertanto fornito il calcolo della  $V_{s,30}$  - a partire dal piano campagna attuale - secondo le modalità di calcolo indicate nella Normativa vigente (D.M. 14/1/2008) "Norme Tecniche per le costruzioni":

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

dove:

$h_i$  = 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;

$N$  = numero di strati compresi nei 30m di profondità.

$$V_{s,30} = 338 \text{ m/s}$$

Tuttavia si ricorda che, sempre in ottemperanza alla Normativa, per la determinazione della  $V_{s,30}$  si deve far riferimento alla profondità di imposta delle fondazioni previste nel progetto: 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.