



COMUNE DI  
CAMPI BISENZIO

# COMUNE DI CAMPI BISENZIO

(Città Metropolitana di Firenze)

## PROGETTO ESECUTIVO INERENTE I LAVORI DI RESTAURO DEL PALAZZO PRETORIO E LOCALI CONNESSI DA DESTINARE A UFFICI COMUNALI



Responsabile unico del procedimento: *Arch. Mario Berni*

Geologo: *Dott. Gianni Focardi*

ELABORATO

H

OGGETTO

RELAZIONE GEOLOGICA/GEOTECNICA  
E CAMPAGNA INDAGINI

SCALA

DATA

Dicembre 2021

**COMUNE DI CAMPI BISENZIO**

TITOLO PROGETTO:

**LAVORI DI RESTAURO DEL PALAZZO PRETORIO**

UBICAZIONE:

**Piazza Giacomo Matteotti**

---

COMMITTENTE:

**Comune di Campi Bisenzio**

---

PROGETTISTI:

**Arch. Leonardo Biagi , Ing. Stefano Bertagni**

---

TITOLO ELABORATO:

**RELAZIONE GEOLOGICA**

IL GEOLOGO:

**Geol. Gianni Focardi**  
N. 659 O.d.G. della Toscana



DATA DOCUMENTO:

**12 Novembre 2019**

CODIFICA INTERNA:

**10gt19**

---

## INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. LE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ DELL'AREA .....	3
2.1 PERICOLOSITA' GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA .....	3
2.2 PERICOLOSITA' IDRAULICA .....	3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....	4
3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE .....	4
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO LOCALE.....	5
4. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO .....	5
5. LA CAMPAGNA D'INDAGINI DA PROGETTO.....	6
5.1 LA PROVA PENETROMETRICA .....	6
5.2 LE INDAGINI SISMICHE .....	8
6. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO .....	9
7. CARATTERISTICHE SISMICHE LOCALI.....	10
8. LE CONDIZIONI DI FATTIBILITA' .....	11
8.1 FATTIBILITA' GEOLOGICA .....	12
8.2 FATTIBILITA' IDRAULICA.....	12

## FIGURE

- Fig. 1: Corografia;  
Fig. 2: Carta della Pericolosità Geologica da Piano Strutturale;  
Fig. 3: Carta della Pericolosità Idraulica da Piano Strutturale;  
Fig. 4: Carta Geomorfologica da Piano Strutturale;  
Fig. 5: Carta Geologica, Tecnica e dei dati di base da Piano Strutturale;  
Fig. 6: Carta Idrogeologica da Piano Strutturale;  
Fig. 7: Carta della Vulnerabilità degli acquiferi da Piano Strutturale.

## ALLEGATI

- Allegato 1: Pericolosità PGRA;  
Allegato 2: Reticolo Idrografico e di Gestione;  
Allegato 3: Prova Penetrometrica statica effettuata da società Geognostica Fiorentina S.r.l.;  
Allegato 4: Indagine sismica effettuata da società Geognostica Fiorentina S.r.l.

## 1. PREMESSA

Il presente lavoro espone i risultati dello studio geologico di supporto alla valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio denominato "Palazzo Pretorio" e ubicato a Campi Bisenzio, nella Piazza Giacomo Matteotti (vedi la corografia di fig.1). Contestualmente, si prevede la realizzazione di un nuovo ascensore pertinenziale da realizzare nella parte tergale dell'edificio, su di una corte esterna. Per l'espletamento dell'incarico sono state determinate le caratteristiche geomorfologiche e geologiche dell'area tramite il rilevamento di campagna della zona in esame e di un intorno ritenuto significativo. Le informazioni acquisite in campagna sono state inoltre integrate con i dati derivanti dall'esame delle Indagini geologico-tecniche di supporto al Piano Strutturale.

Per lo studio delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche e sismiche locali è stata eseguita una campagna geognostica e geofisica con la realizzazione di n.1 prova penetrometrica ed indagini geofisiche.

Il presente lavoro è redatto in ottemperanza alle seguenti normative:

- Decreto Ministeriale 17.01.2018 - Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Consiglio Superiori dei Lavori Pubblici -Istruzione per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018. Circolare del 27 luglio 2018;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale n.42 del 20/02/2018
- DPGRT 9/07/2009 n° 36/R -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;
- D.P.G.R.T 25 ottobre 2011 n° 53/R – Regolamento di attuazione dell'art. 62 della L.R. 3 gennaio 2005 n.1 in materia di indagini geologiche;

- Strumento Urbanistico vigente.

Con riferimento alle NTC 2018 i contenuti della presente relazione rispettano quanto previsto all'art. 6.2.1 "Caratterizzazione e modellazione geologica del sito" e pertanto comprende, "sulla base di specifici rilievi ed indagini, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, la struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche". Inoltre, secondo quanto riportato all'art 6.2.2 "della definizione del piano delle indagini, della caratterizzazione e della modellazione geotecnica è responsabile il Progettista"; pur tuttavia si fornisce nel presente elaborato anche una modellazione geotecnica sulla scorta degli elementi acquisiti.

## 2. LE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ DELL'AREA

Per l'analisi delle condizioni di pericolosità geologica ed idrogeologica è stata esaminata la cartografia di supporto al Piano Strutturale.

### 2.1 PERICOLOSITA' GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

Nella Carta della pericolosità geologica e idrogeologica di supporto al P.S. (vedi fig.2) , la zona è posta in **classe 3 a g-i di pericolosità (medio-bassa)** per le problematiche geologiche (g) e per la presenza di una falda superficiale (i).

Le Perimetrazioni redatte dal P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeomorfologico del Bacino dell'Arno) suddividono il territorio del Bacino del fiume Arno in quattro classi di pericolosità (P.F.1 moderata, P.F. 2 media , P.F. 3 elevata e P.F. 4 molto elevata) in funzione della Pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante (frane, erosione etc.). L'area di progetto **non** ricade però nelle zone a pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica del PAI.

### 2.2 PERICOLOSITA' IDRAULICA

Dalla consultazione della carta della pericolosità idraulica di supporto al Piano Strutturale (vedi fig.3), la zona è posta in **classe 3 a di pericolosità (medio-**

## **bassa).**

Per quanto riguarda la pericolosità PGRA, l'area risulta ricadere in classe di **pericolosità da alluvione bassa P.1** (*aree inondabili con eventi di ritorno superiori a 200 anni*) come riportato in allegato 1.

## 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

### 3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE

Il territorio comunale di Campi Bisenzio si inserisce all'interno del Sistema della Piana di Firenze-Prato-Pistoia, a sua volta facente parte del settore centrale della pianura del medio Valdarno.

La suddetta Piana è compresa fra i rilievi dei Monti della Calvana – Monte Morello a Nord, e il Monte Albano a Sud. La piana rappresenta una depressione lacustre villafranchiana, il cui paleo-invaso, poggiante su un substrato roccioso con formazioni appartenenti al Dominio Ligure s.l. e alla Falda Toscana, è stato colmato da depositi fluvio-lacustri.

Il bacino presenta una profondità che va da circa 500-550 m dal piano campagna, nella zona compresa tra Campi Bisenzio e Calenzano fino a valori non superiori ai 50 m in corrispondenza dell'abitato di Firenze, con valori intermedi di circa 400-450 m in corrispondenza del settore compreso fra Prato e Pistoia. Il substrato della depressione lacustre in oggetto presenta una natura variabile in funzione delle diverse litologie affioranti lungo le i margini della pianura fluvio-lacustre. In corrispondenza della porzione centrale del bacino, il substrato è costituito da calcari marnosi appartenenti alla Formazione di Monte Morello associati ad elementi del complesso ofiolitico e ad arenarie dell'Unità Cervalora.

I depositi fluvio-lacustri di riempimento del bacino sono costituiti da argille limose, talvolta leggermente sabbiose, con livelli di lignite e torba. Sono presenti strati e/o lenti di ghiaie in matrice limosa, che si intercalano agli orizzonti prevalentemente argillosi, con uno spessore decrescente spostandosi dal margine della piana verso il centro.

## 3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO LOCALE

L'area di progetto si instaura in un contesto urbano e pressoché pianeggiante, ad una quota del piano di campagna di circa 39 metri s.l.m..

Gli unici dislivelli sensibili presenti riguardano il resede esterno dove sarà realizzato il nuovo ascensore e che si sviluppa ad una quota inferiore di circa 0,6 metri; in prossimità del sedime di progetto sono evidenti sottoservizi connessi al sistema fognario (fosse biologiche ecc..)

Dalla carta geomorfologica di supporto al P.S (vedi fig.4) non risulta censito alcun elemento significativo per un congruo intorno. L'edificio di progetto non presenta quadri fessurativi di rilievo.

Dal punto di vista geologico, come riportato da carta geologica tecnica e dei dati di base di supporto al P.S. (vedi fig.5), l'area risulta essere composta da depositi fluviali recenti ed attuali costituiti da sedimenti a granulometria variabile da argille e limi a sabbie e ghiaie. In superficie prevalgono sedimenti fini da argille limose e limi sabbiosi.

## 4. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO

Con riferimento al censimento dei corsi d'acqua di cui al reticolo idrografico secondo la LR 79/2012 aggiornata con DCRT 20/2019 (vedi allegato 2), l'area di progetto risulta distante 120 metri circa dal Fiume Bisenzio.

Indicazioni circa la circolazione freaticometrica locale derivano dalla Carta idrogeologica di supporto al Piano Strutturale (vedi fig.6). La quota del tetto della falda risulta compresa tra 36 m s.l.m. e 37 m s.l.m., quasi in corrispondenza del piano di campagna, con deflusso principale delle acque verso sud - ovest.

L'acquifero è stato classificato a vulnerabilità alta dalla cartografia di supporto al Piano Strutturale (vedi fig.7) in quanto *"acquifero libero in materiali alluvionali a granulometria da medio-fine a fine, con scarse caratteristiche idrogeologiche e di emungimento. Localmente sono presenti livelli più grossolani con estensione areale limitata- La superficie della falda è prossima al piano di campagna. La protezione è scarsa, a causa del modesto spessore presente"*.

L'area di progetto è inoltre esterna alle zone di rispetto e di tutela assoluta attorno

pozzi potabili ad uso acquedottistico ai sensi del D.P.R. 236/88.

## 5. LA CAMPAGNA D'INDAGINI DA PROGETTO

Come precedentemente accennato in premessa, per la determinazione delle caratteristiche litotecniche e sismiche dell'area sono state eseguite:

- n.1 prova penetrometrica statica;
- Indagini sismiche MASW e HVRS.

Entrambe le indagini sono state effettuate dalla società Geognostica Fiorentina s.r.l. in data 25 Settembre 2019.

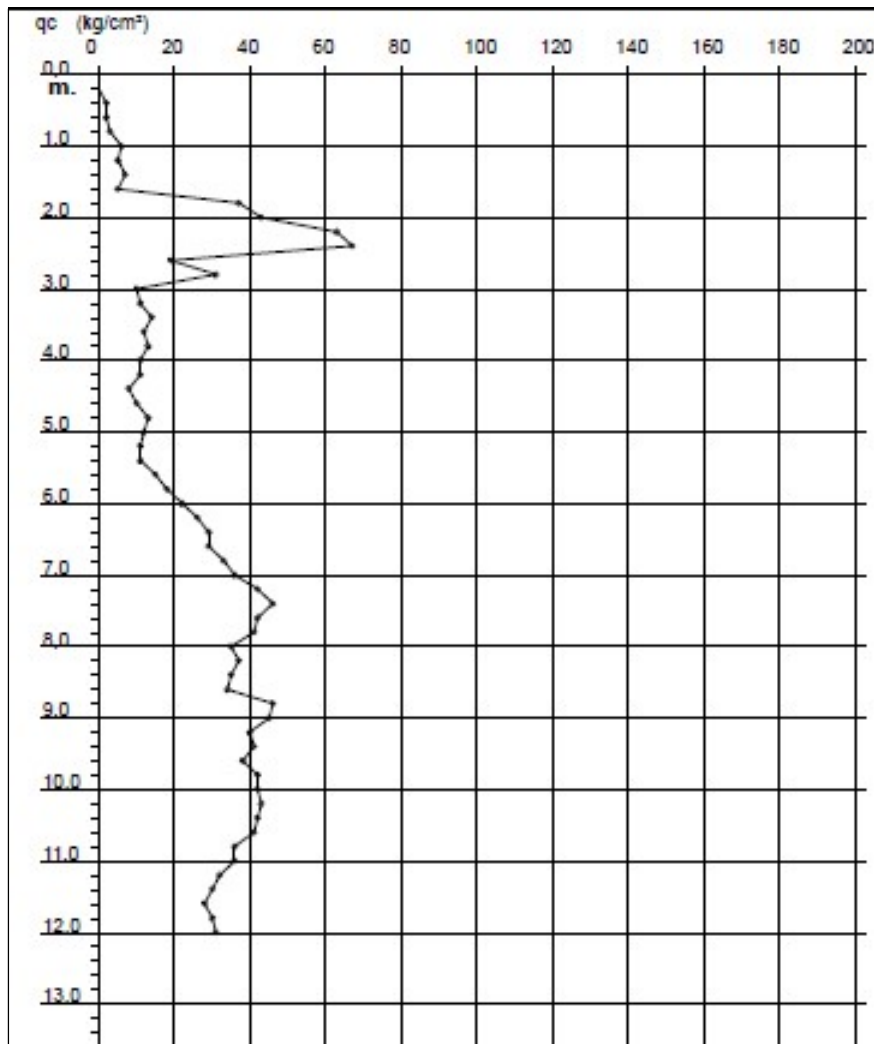
### 5.1 LA PROVA PENETROMETRICA

La prova penetrometrica statica CPT è stata è stata spinta fino alla profondità di 12 m dal locale p.c.. Nell'immagine seguente estratta dal certificato di prova (vedi all.3) è presente più nel dettaglio la sua ubicazione che corrisponde ad un'area a prato.





Il diagramma di resistenza della prova è riportato di seguito:



Dai valori di resistenza si possono dedurre le seguenti considerazioni:

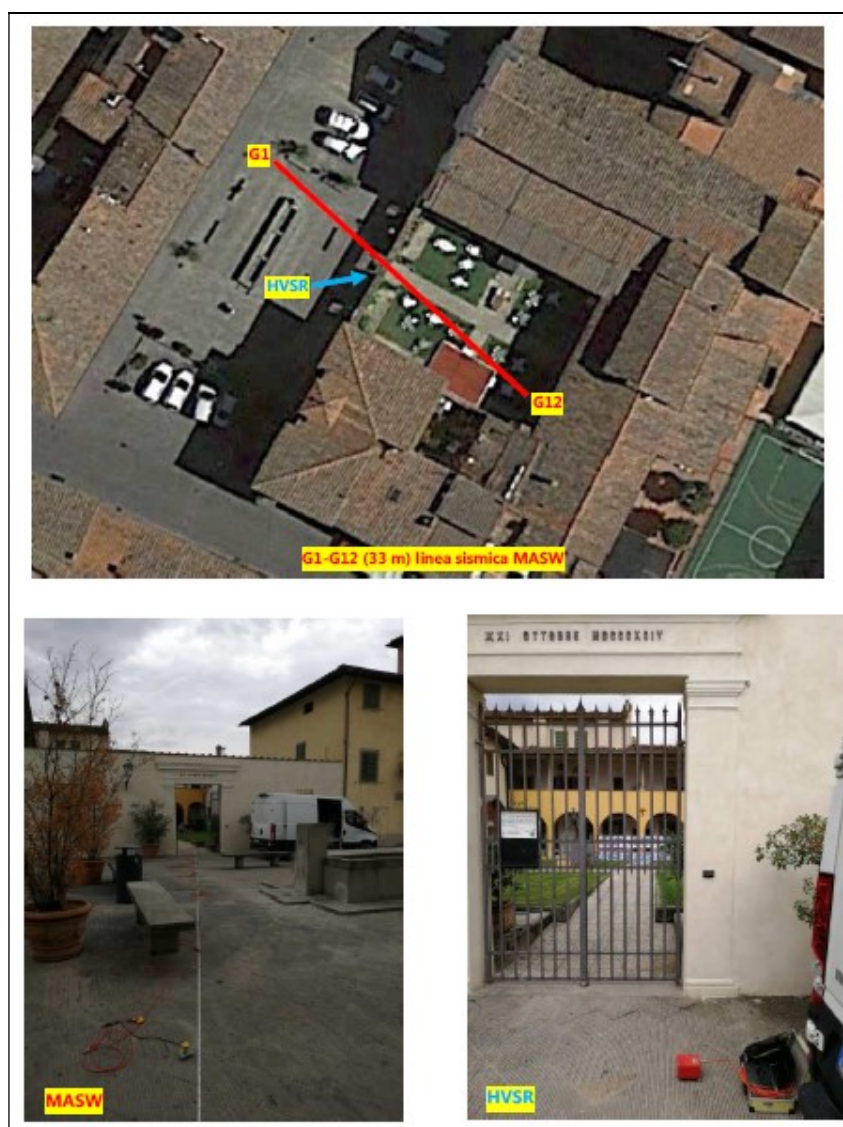
- in superficie e fino a circa 1,6 metri di profondità vi sono litotipi limoso argillosi ( i primi decimetri corrispondenti a terreno vegetale).
- segue una modesta lente (spessore circa 1 metro) di terreni consistenti che potrebbero essere costituiti da ghiaie o pregresse testimonianze antropiche.
- per profondità maggiori si riscontrano litologie omogenee costituite da limi argillosi e argille organiche, di mediocre consistenza fino alla profondità di circa 5,5 metri.

## 5.2 LE INDAGINI SISMICHE

E' stata eseguita una campagna geofisica con analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame, ed in particolare i valori di velocità delle onde di taglio, così come previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

Insieme all'indagine MASW è stato effettuato un rilievo di microtremori (vibrazioni ambientali) con stazione singola HVSR (Horizontal Vertical Spectral Ratio).

La loro ubicazione è riportata nell'illustrazione seguente ripresa dal report di prova.

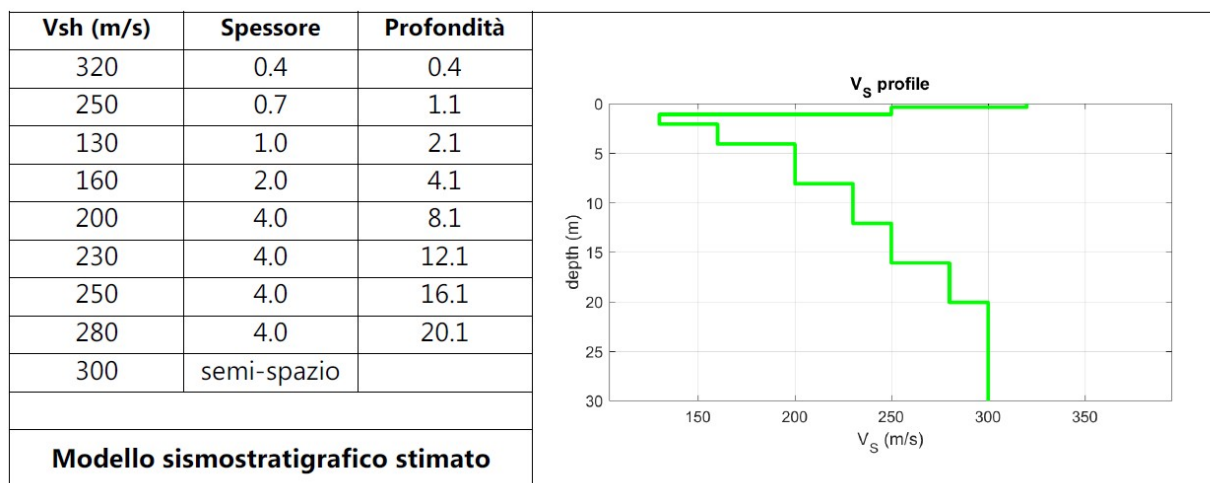


# Studio Geologico Focardi di Focardi Gianni

Per il dettaglio delle attrezzature e metodi impiegati si rimanda alla relazione sismica riportata in allegato 4.

Dai risultati ottenuti dalla prova HVSR non risultano evidenti picchi di frequenza statisticamente significativi.

Nella Tabella e nella figura sottostanti vengono riportati gli spessori e le relative velocità Vs:



L'analisi della dispersione delle onde superficiali ha consentito di stimare il profilo verticale della Vs e di conseguenza del parametro Vs,eq (corrispondente in questo caso alla Vs30) che risulta essere pari a **240 m/s**, considerando come riferimento il piano campagna.

## 6. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Le indagini effettuate hanno consentito di verificare le caratteristiche geologiche di zona e la locale successione litostratigrafica. Il quadro litostratigrafico che ne è emerso è risultato piuttosto coerente in relazione agli esiti dei dati bibliografici.

I terreni sono costituiti da depositi alluvionali a composizione prevalentemente limoso argillosa. Solo a profondità prossime alla superficie si potrebbe riscontrare una modesta lente (spessore indicativo del metro) di ghiaie; non si può escludere tuttavia che i valori riscontrati dalla penetrometria possano derivare anche da pregresse testimonianze antropiche.

Riguardo al modello geotecnico si suggeriscono le seguenti indicazioni:

1. i litotipi che interagiscono con l'edificio sono i limi argillosi prevalenti.
2. anche per il nuovo ascensore si assumono le medesime condizioni considerando pure la necessità di approfondire il piano di posa a profondità maggiori delle eventuali preesistenze interrato (fosse biologiche ecc..)
3. al terreno di fondazione (limi argillosi) si attribuiscono i seguenti valori dei principali parametri geotecnici:

Peso di volume	$\gamma = 19,0 \text{ kN/mc}$
Coesione drenata	$c' = 0 \text{ kPa}$
Angolo d'attrito interno drenato	$\Phi' = 25^\circ$
Coesione non drenata	$c_u = 50 \text{ kPa}$
Modulo edometrico	$E_{ed} = 4.000 \text{ kPa}$

Il livello di falda si potrà assumere al piano di fondazione.

## 7. CARATTERISTICHE SISMICHE LOCALI

Sulla base del profilo sismostratigrafico ottenuto, con risultati delle prove che indicano un valore di Vs30 a partire dal piano di campagna corrispondente a **240** m/s, il sito risulta compatibile con la **categoria di sottosuolo C** con riferimento alla tabella 3.2.II delle NTC 2018.

Categorie di sottosuolo (NTC 2018 - Tabella 3.2.II)	
Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Per quanto riguarda la prova HVSR si ribadisce che non risultano evidenti picchi di frequenza statisticamente significativi.

In riferimento alle caratteristiche topografiche locali si attribuisce una **categoria topografica T1** (superfici pianeggianti).

## 8. LE CONDIZIONI DI FATTIBILITA'

Ai sensi del DPGR 53/R del 2011 le condizioni di attuazione delle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali, possono essere differenziate secondo le seguenti categorie di fattibilità:

### **Categoria F1: fattibilità senza particolari limitazioni**

*Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.*

### **Categoria F2: fattibilità con normali vincoli**

*Si riferisce alle previsioni urbanistiche e infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia delle indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.*

### **Categoria F3: fattibilità condizionata**

*Si riferisce alle previsioni urbanistiche e infrastrutturali per le quali, ai fini dell'individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti d'indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei progetti edilizi.*

### **Categoria F4: fattibilità limitata**

*Si riferisce alle previsioni urbanistiche e infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza che vanno individuati e definiti in sede di redazione del medesimo regolamento urbanistico, sulla base di studi, dati da attività di monitoraggio e verifiche atte a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.*

## 8.1 FATTIBILITA' GEOLOGICA

Si definisce una categoria di fattibilità geologica FG3: fattibilità condizionata.

Si raccomanda un controllo geologico in fase di scavo per l'approntamento del piano fondale dell'ascensore per la verifica del superamento di eventuali coltri superficiali di terreno riportato.

## 8.2 FATTIBILITA' IDRAULICA

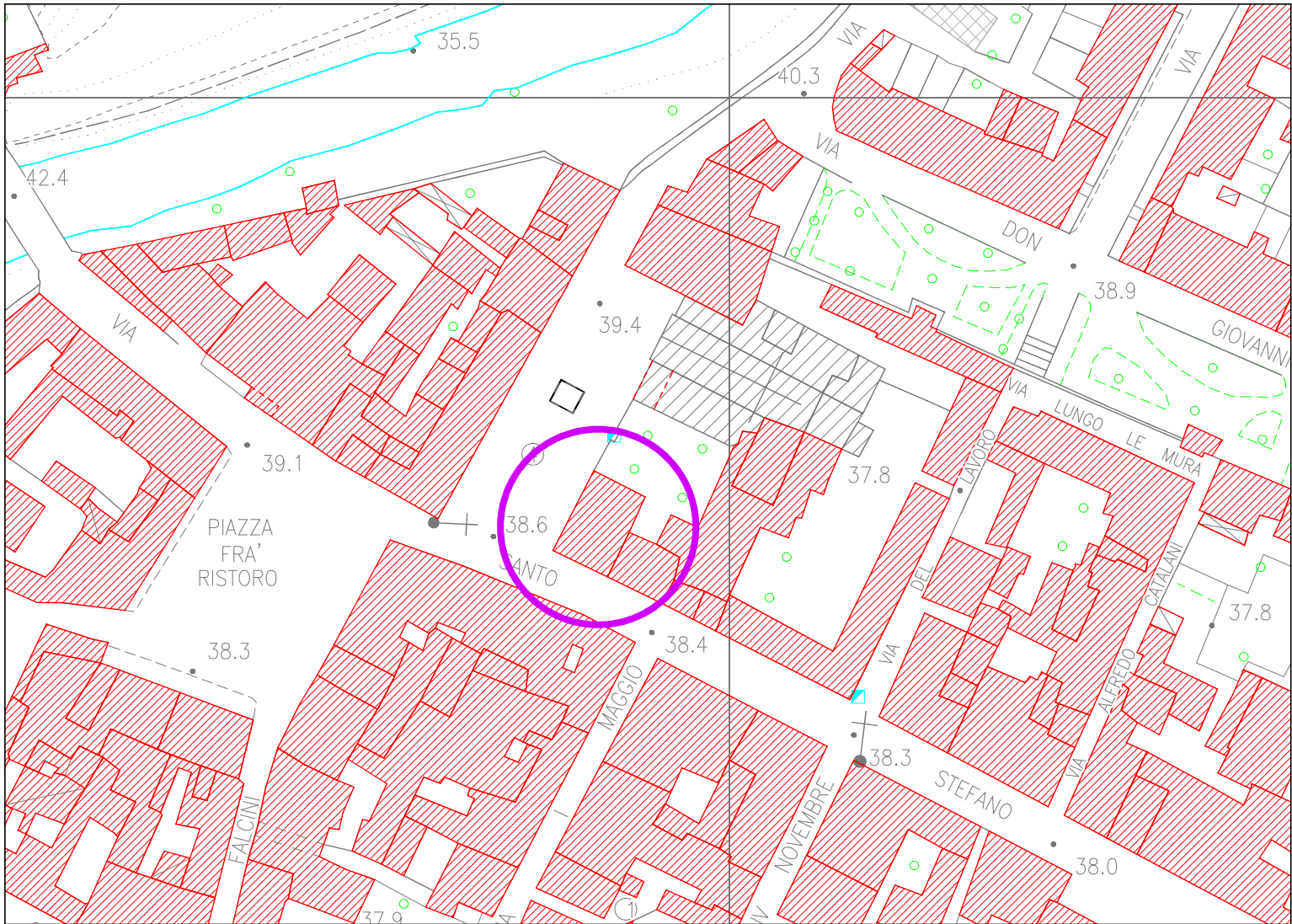
Dalla cartografia di supporto al Piano Strutturale l'area di studio rientra in classe di pericolosità idraulica 3a. Prendendo però in considerazione la cartografia più aggiornata riportata dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno, l'area risulta ricadere in classe di pericolosità da alluvione bassa P.1 (*aree inondabili con eventi di ritorno superiori a 200 anni*).


Pertanto si definisce una categoria di fattibilità idraulica FI1: fattibilità senza particolari limitazioni.

Sesto Fiorentino, 12 Novembre 2019

# Fig. 1 - Corografia

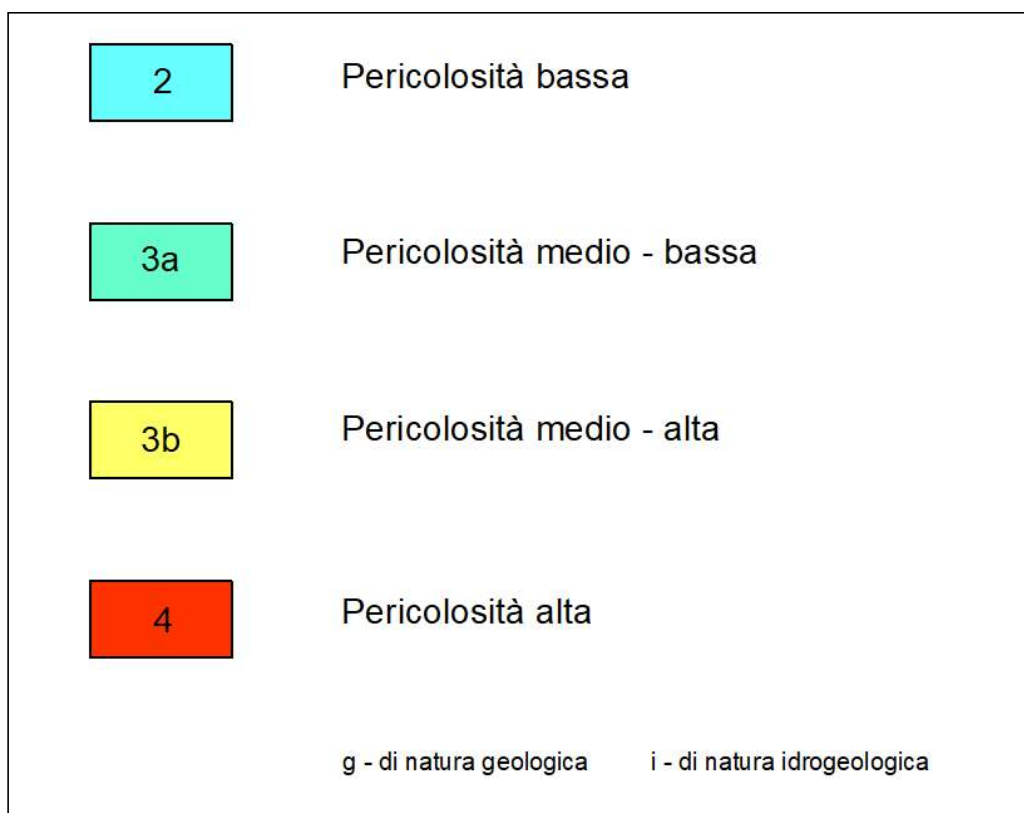
Estratto da CTR scala 1:2000



 AREA  
DI PROGETTO

# Fig. 2 - Carta della Pericolosità Geologica

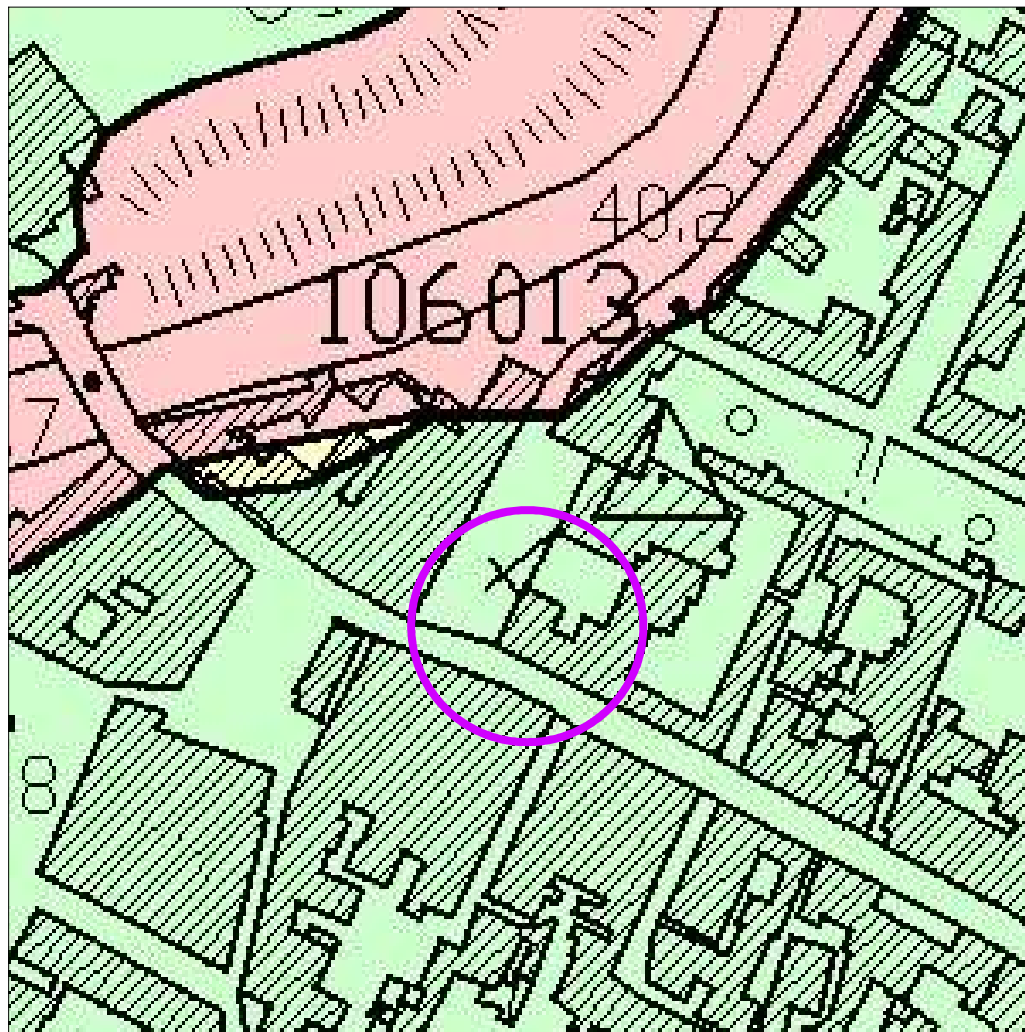
Estratto non in scala da Piano Strutturale





# Fig. 3 - Carta della Pericolosità Idraulica

Estratto non in scala da Piano Strutturale



2	Pericolosità bassa
3a	Pericolosità medio - bassa
3b	Pericolosità medio - alta
4	Pericolosità alta

# Fig. 4 - Carta Geomorfológica

Estratto non in scala da Piano Strutturale

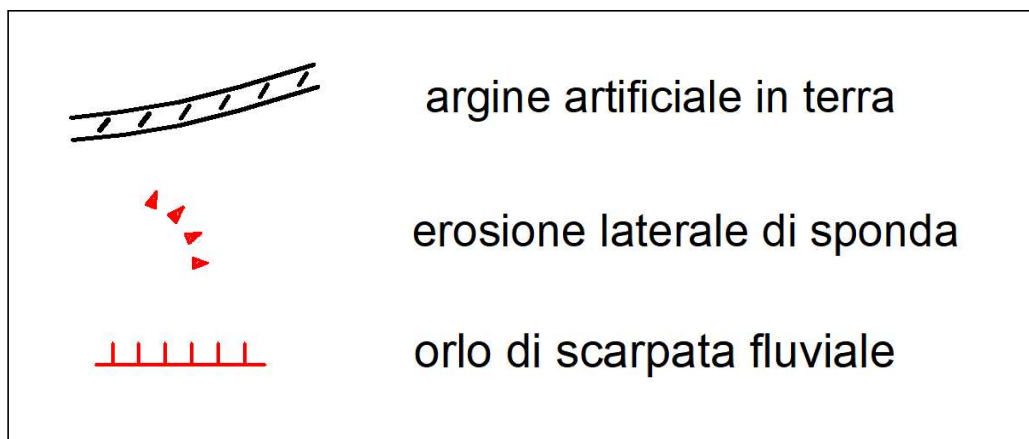
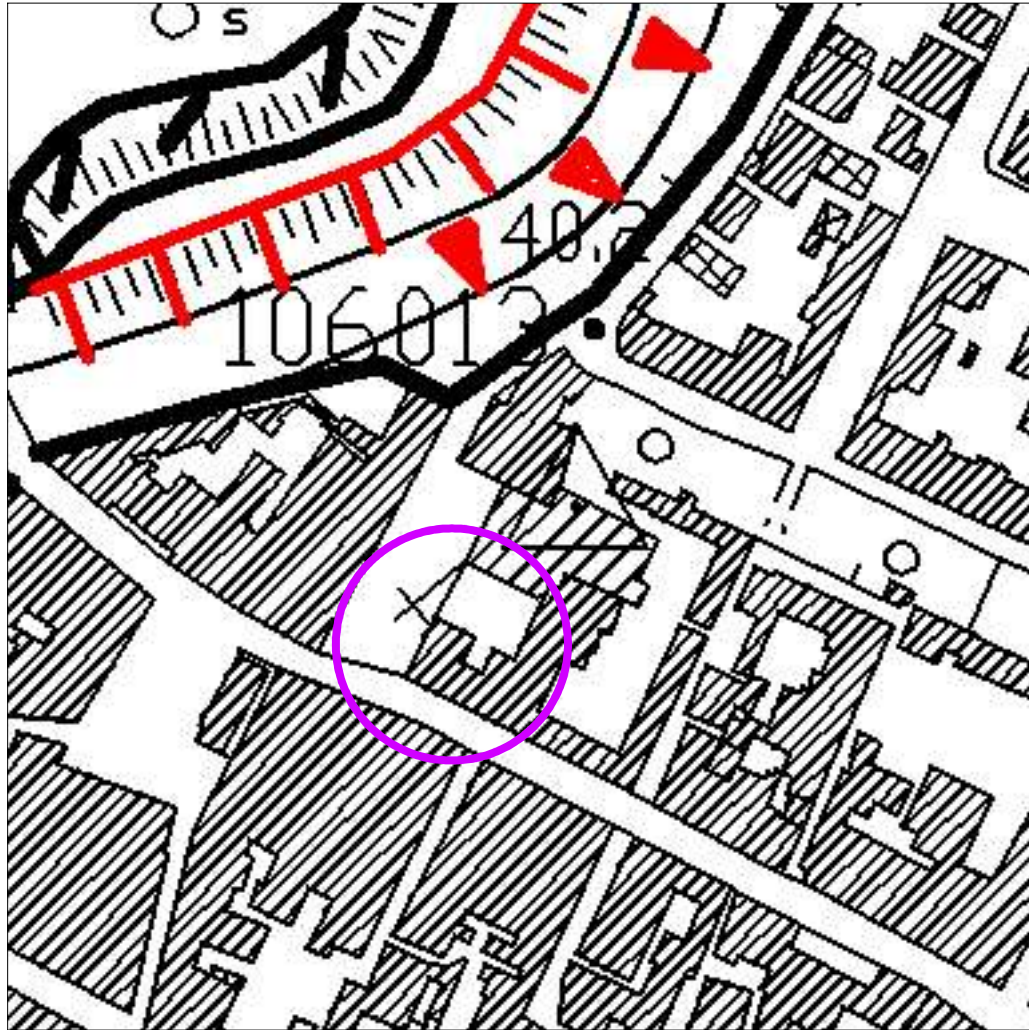
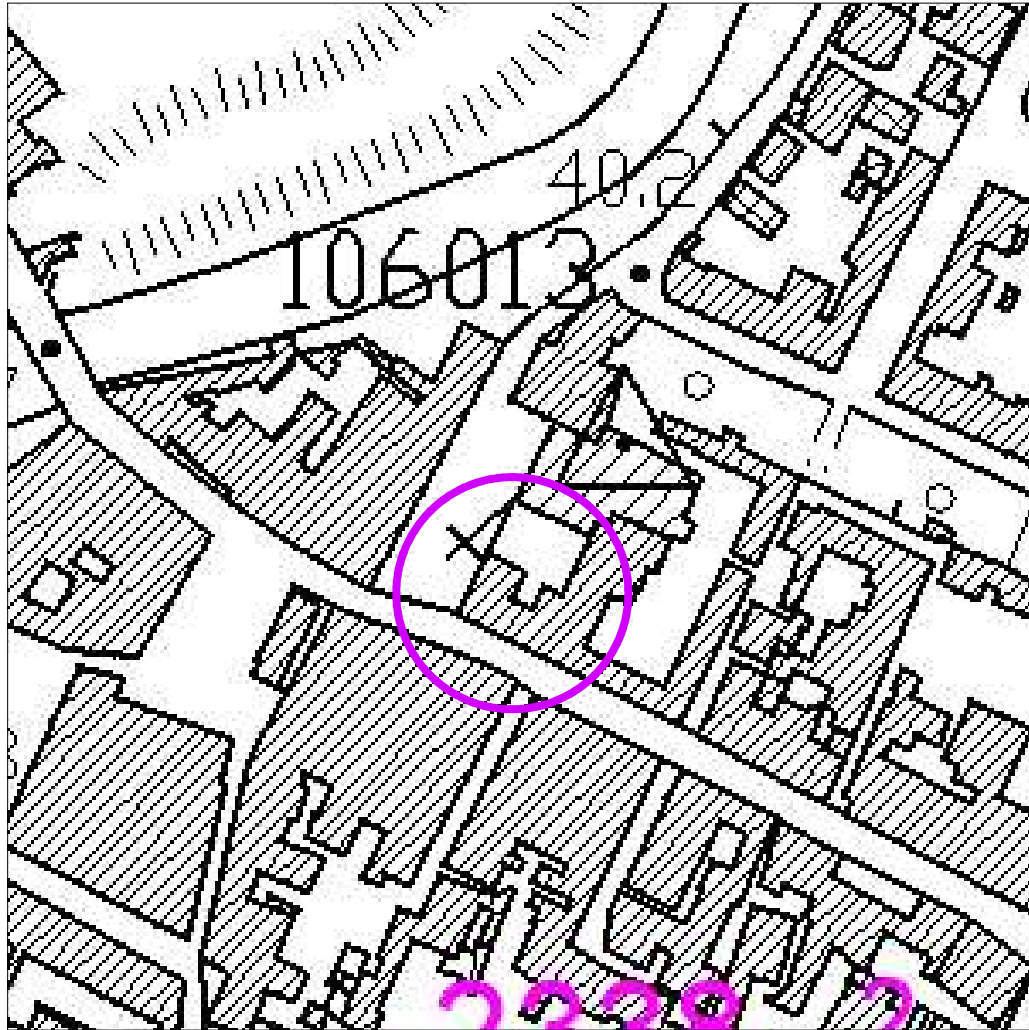


Fig. 5 - Carta Geologica, Tecnica e dei dati di base

Estratto non in scala da Piano Strutturale



a

DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI E ATTUALI:

depositi fluviali costituiti da sedimenti a granulometria variabile da argille e limi a sabbie e ghiaie; in superficie prevalgono sedimenti fini da argille limose a limi sabbiosi. (Olocene)

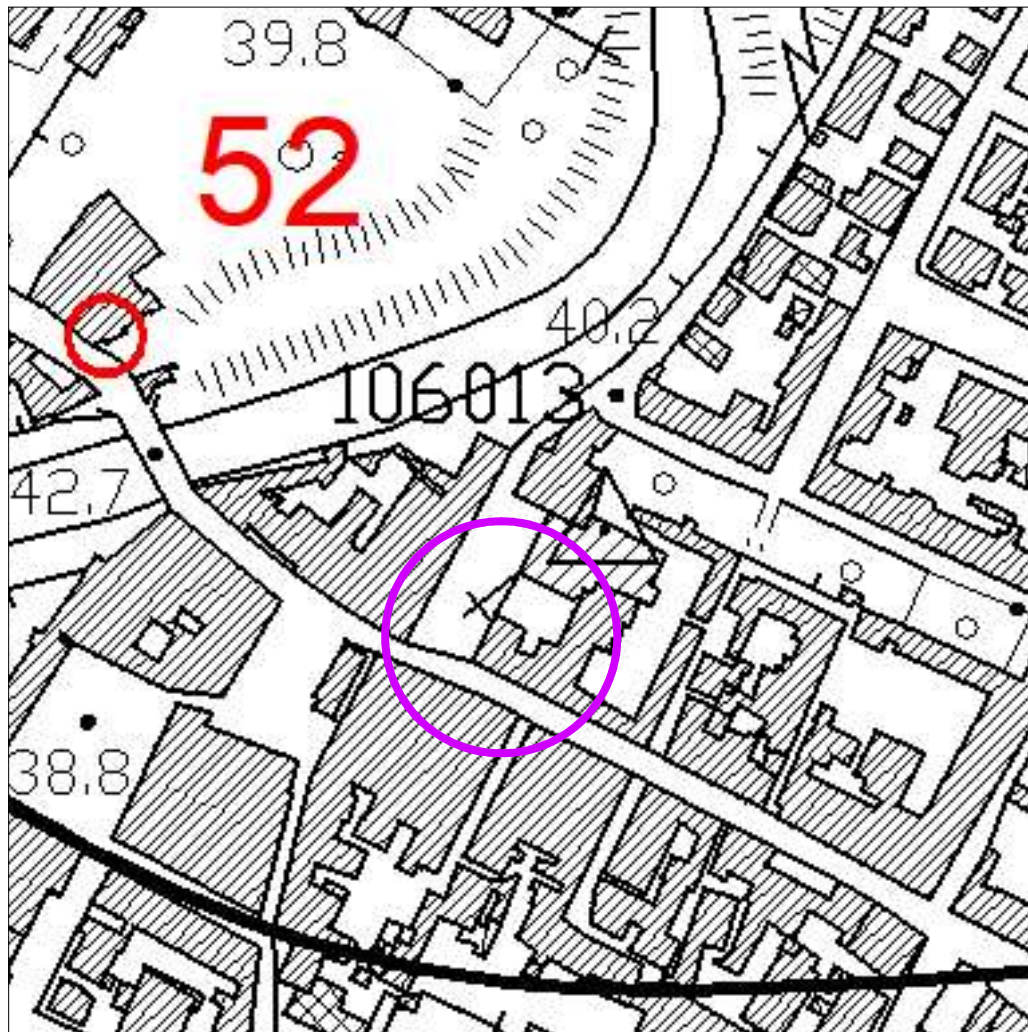
1064<sub>2</sub> ▼

penetrometria dinamica

○ AREA  
DI PROGETTO

# Fig. 6 - Carta Idrogeologica

Estratto non in scala da Piano Strutturale



48 

linee isofreatiche (maggio 2000)  
con quota in metri s.l.m.

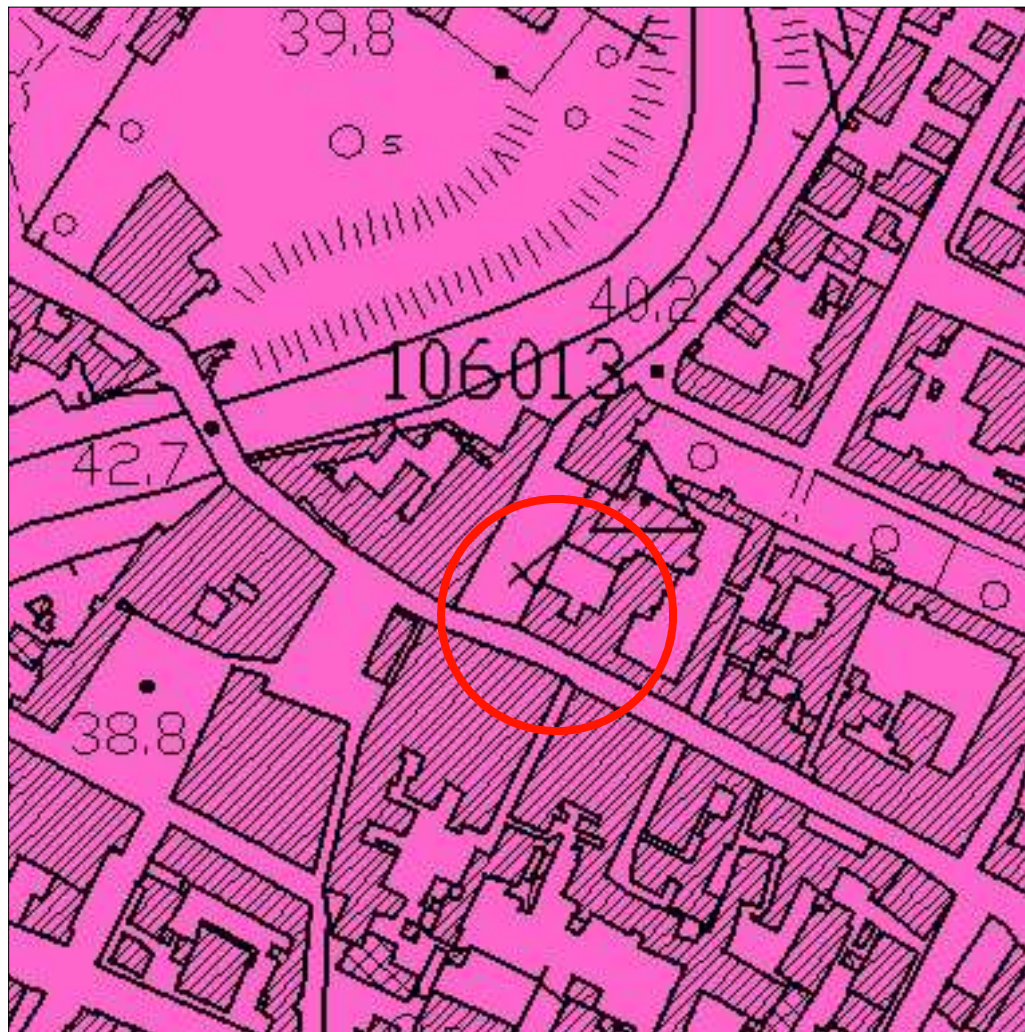
7 

pozzo superficiale

 AREA  
DI PROGETTO

Fig. 7 - Carta della Vulnerabilità degli acquiferi superficiali

Estratto non in scala da Piano Strutturale



### Alta

Acquifero libero in materiali alluvionali a granulometria da medio-fine a fine, con scarse caratteristiche idrogeologiche e di emungimento. Localmente sono presenti livelli più grossolani con estensione areale limitata. La superficie della falda è prossima al piano campagna. La protezione è scarsa, a causa del modesto spessore presente, ma le permeabilità e le velocità di propagazione di un eventuale inquinante restano basse.

A1

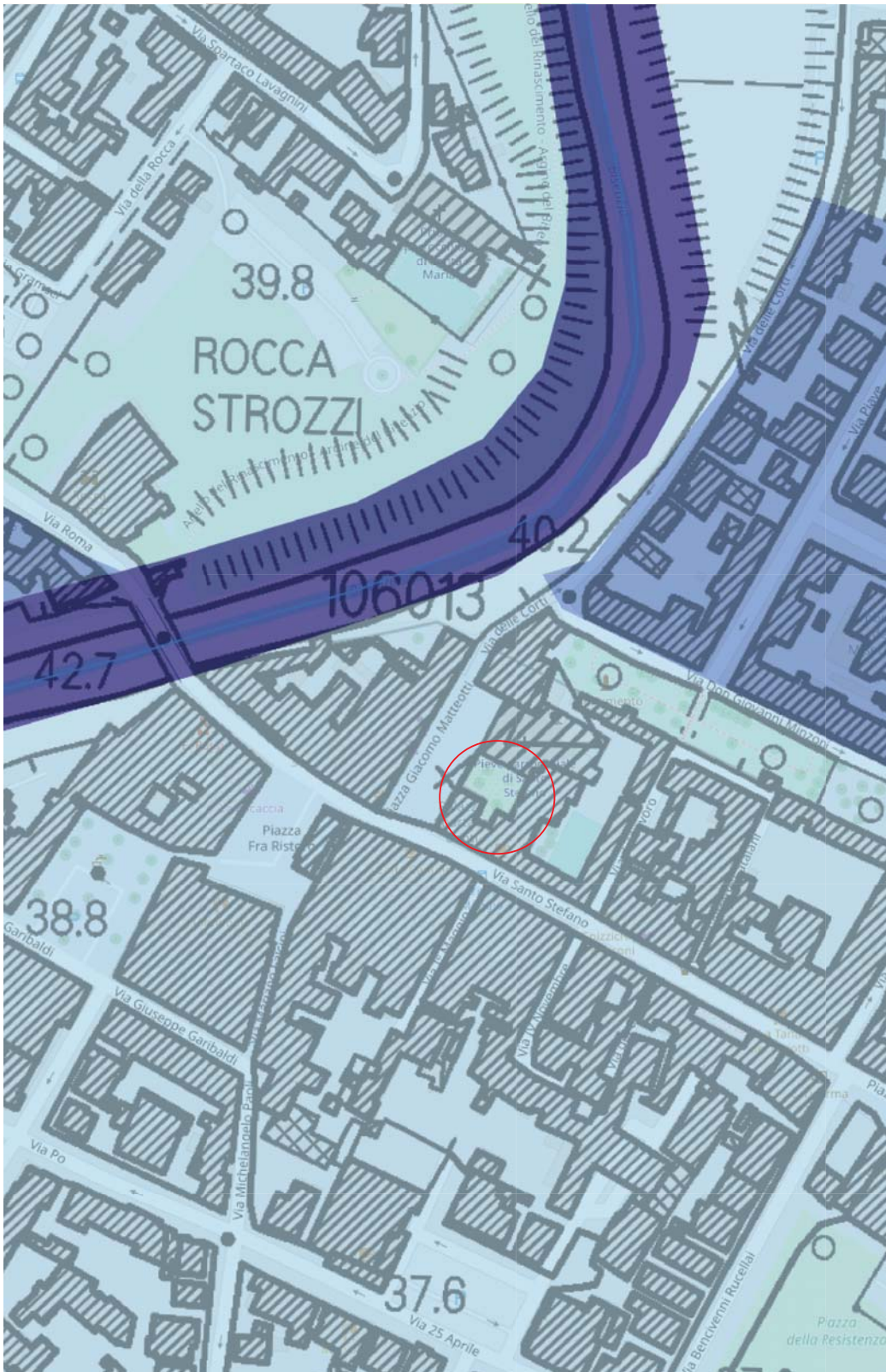
zona di tutela assoluta intorno a pozzo ad uso acquedottistico ai sensi del D.P.R. 236/88 (10 metri intorno all'opera di captazione)



zona di rispetto ai sensi del D.P.R. 236/88



Pericolosità PGRA



CTR10K. Dataset coordinato

PGRA Pericolosità fluviale

- 1
- 2
- 3

Reticolo idrografico principale





Reticolo Idrografico e di Gestione



OFC 2016 20cm - 32 bit colore - RGB

Ret. gestione DCR 20/2019


 Tratto in gestione

 Tratto non in gestione

Ret. idrografico DCR 20/2019

 SI

 NO (ALTRO RETICOLO)

 TOMBATO

 CASO PARTICOLARE

Committente:	COMUNE DI CAMPI BISENZIO		
Rapporto n°:	206-19		
Lavoro:	"Lavori di ristrutturazione del Palazzo Pretorio e locali connessi da destinare a Uffici Comunali"		
Data:	25/09/2019		
Località:	Piazza Giacomo Matteotti – Campi Bisenzio (FI)		
Coordinate Prova:	Latitudine: 43.821951°	Longitudine: 11.135899°	



Ubicazione prova penetrometrica



Documentazione fotografica



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

CPT 1

2.01PG05-179

- committente : COMUNE DI CAMPI BISENZIO  
 - lavoro : Ristrutturazione Palazzo Pretorio e locali connessi  
 - località : Piazza G. Matteotti - Campi Bisenzio (FI)  
 - note :

- data : 25/09/2019  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>				punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>		
0,20	----	----	--	0,40	----	6,20	26,0	53,0	26,0	1,80	14,0
0,40	2,0	8,0	2,0	0,13	15,0	6,40	29,0	56,0	29,0	2,20	13,0
0,60	2,0	4,0	2,0	0,07	30,0	6,60	29,0	62,0	29,0	2,33	12,0
0,80	3,0	4,0	3,0	0,27	11,0	6,80	33,0	68,0	33,0	2,80	12,0
<b>1,00</b>	6,0	10,0	6,0	0,33	18,0	<b>7,00</b>	36,0	78,0	36,0	3,20	11,0
1,20	5,0	10,0	5,0	0,47	11,0	7,20	42,0	90,0	42,0	3,73	11,0
1,40	7,0	14,0	7,0	0,53	13,0	7,40	46,0	102,0	46,0	3,87	12,0
1,60	5,0	13,0	5,0	1,13	4,0	7,60	42,0	100,0	42,0	3,60	12,0
1,80	37,0	54,0	37,0	1,67	22,0	7,80	41,0	95,0	41,0	3,33	12,0
<b>2,00</b>	43,0	68,0	43,0	2,47	17,0	<b>8,00</b>	35,0	85,0	35,0	2,40	15,0
2,20	63,0	100,0	63,0	3,20	20,0	8,20	37,0	73,0	37,0	2,67	14,0
2,40	67,0	115,0	67,0	1,07	63,0	8,40	35,0	75,0	35,0	2,53	14,0
2,60	19,0	35,0	19,0	1,93	10,0	8,60	34,0	72,0	34,0	2,87	12,0
2,80	31,0	60,0	31,0	2,00	16,0	8,80	46,0	89,0	46,0	3,00	15,0
<b>3,00</b>	10,0	40,0	10,0	0,27	37,0	<b>9,00</b>	45,0	90,0	45,0	3,27	14,0
3,20	11,0	15,0	11,0	0,53	21,0	9,20	40,0	89,0	40,0	3,00	13,0
3,40	14,0	22,0	14,0	0,53	26,0	9,40	41,0	86,0	41,0	3,33	12,0
3,60	12,0	20,0	12,0	0,60	20,0	9,60	38,0	88,0	38,0	2,87	13,0
3,80	13,0	22,0	13,0	0,60	22,0	9,80	42,0	85,0	42,0	3,33	13,0
<b>4,00</b>	11,0	20,0	11,0	0,73	15,0	<b>10,00</b>	42,0	92,0	42,0	3,13	13,0
4,20	11,0	22,0	11,0	0,67	16,0	10,20	43,0	90,0	43,0	3,07	14,0
4,40	8,0	18,0	8,0	0,53	15,0	10,40	42,0	88,0	42,0	2,93	14,0
4,60	10,0	18,0	10,0	0,67	15,0	10,60	41,0	85,0	41,0	3,33	12,0
4,80	13,0	23,0	13,0	0,87	15,0	10,80	36,0	86,0	36,0	2,87	13,0
<b>5,00</b>	12,0	25,0	12,0	0,93	13,0	<b>11,00</b>	36,0	79,0	36,0	2,27	16,0
5,20	11,0	25,0	11,0	0,80	14,0	11,20	32,0	66,0	32,0	2,33	14,0
5,40	11,0	23,0	11,0	0,87	13,0	11,40	30,0	65,0	30,0	2,13	14,0
5,60	15,0	28,0	15,0	1,07	14,0	11,60	28,0	60,0	28,0	2,13	13,0
5,80	18,0	34,0	18,0	1,20	15,0	11,80	30,0	62,0	30,0	2,13	14,0
<b>6,00</b>	22,0	40,0	22,0	1,80	12,0	<b>12,00</b>	31,0	63,0	31,0	----	----

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

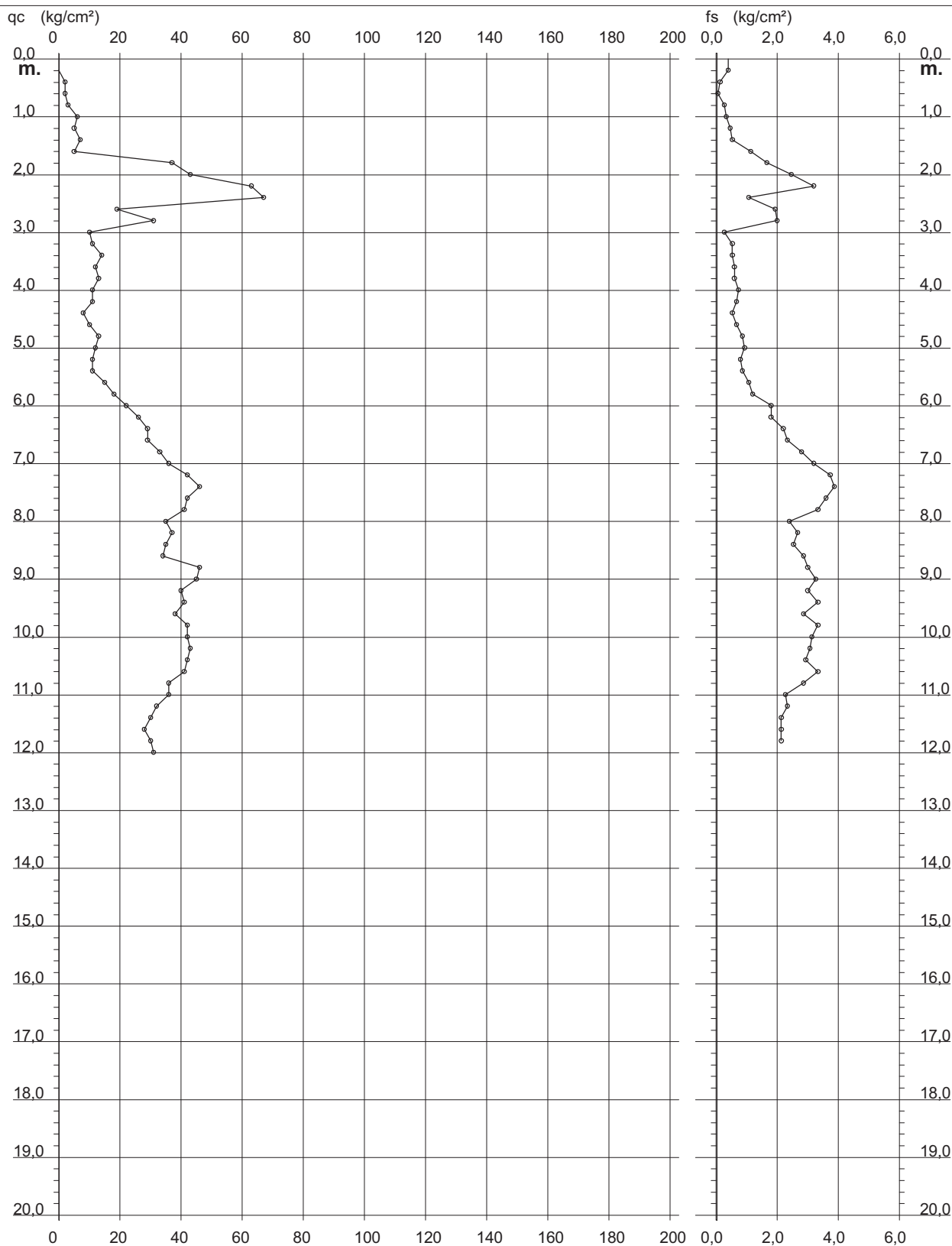
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

**CPT 1**

2.01PG05-179

- committente : COMUNE DI CAMPI BISENZIO  
 - lavoro : Ristrutturazione Palazzo Pretorio e locali connessi  
 - località : Piazza G. Matteotti - Campi Bisenzio (FI)

- data : 25/09/2019  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - scala vert.: 1 : 100



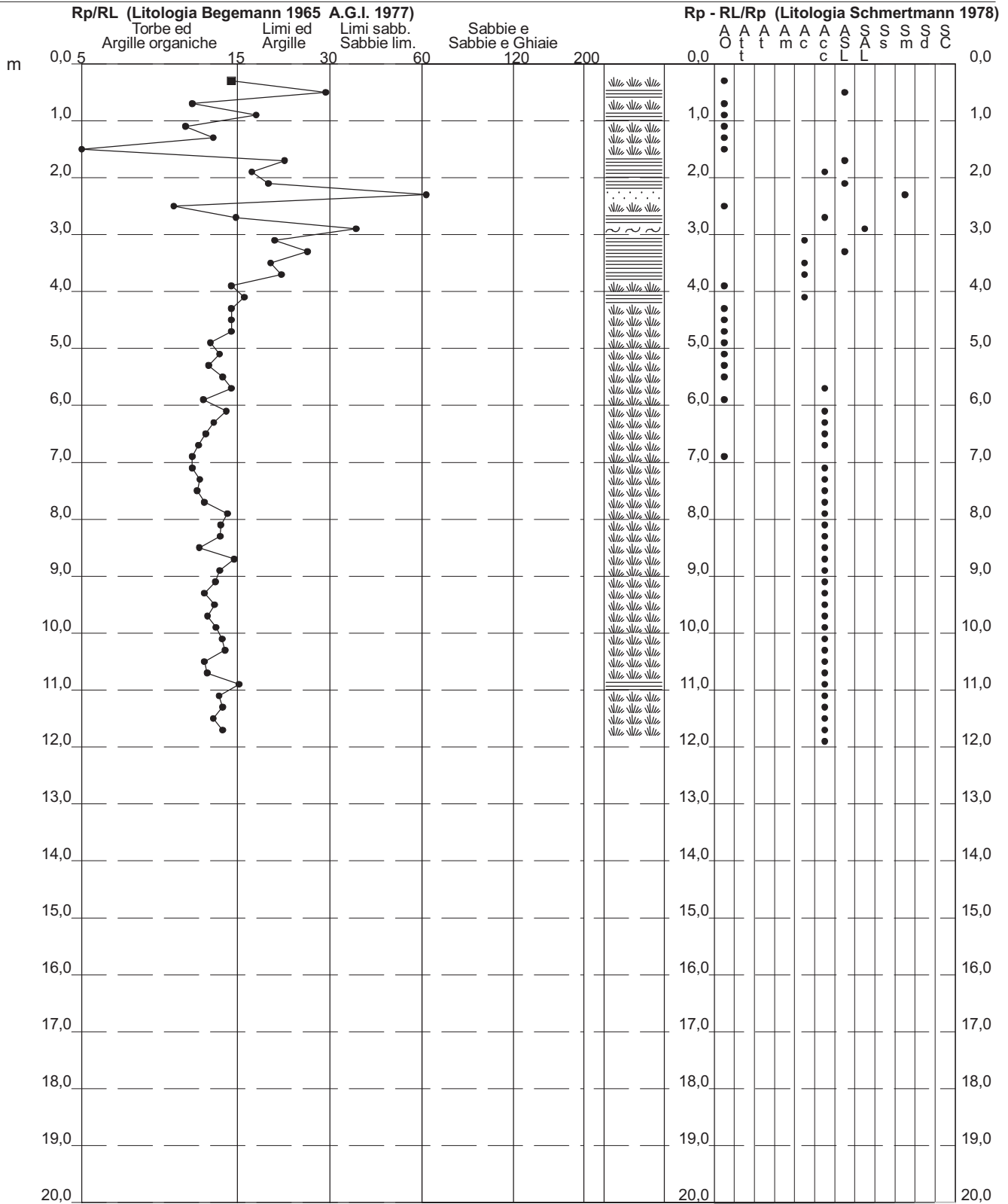
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

**CPT 1**

2.01PG05-179

- committente : COMUNE DI CAMPI BISENZIO  
 - lavoro : Ristrutturazione Palazzo Pretorio e locali connessi  
 - località : Piazza G. Matteotti - Campi Bisenzio (FI)  
 - note :

- data : 25/09/2019  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - scala vert.: 1 : 100



# PROVA PENETROMETRICA STATICA

## TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1

2.01PG05-179

- committente : COMUNE DI CAMPI BISENZIO  
 - lavoro : Ristrutturazione Palazzo Pretorio e locali connessi  
 - località : Piazza G. Matteotti - Campi Bisenzio (FI)  
 - note :

- data : 25/09/2019  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - pagina : 1

Prof. m	qc kg/cm <sup>2</sup>	qc/fs (-)	NATURA CDESA					NATURA GRANULARE													
			Natura Litol.	Y' t/m <sup>3</sup>	d'vo kg/cm <sup>2</sup>	Cu kg/cm <sup>2</sup>	OCR (-)	Eu50 kg/cm <sup>2</sup>	Eu25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm <sup>2</sup>	E'25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	2	15	1***	1,85	0,07	0,10	9,1	4	6	3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	2	30	4././.	1,85	0,11	0,10	5,5	30	45	10	--	28	31	35	38	27	25	--	3	5	6
0,80	3	11	1***	1,85	0,15	0,15	6,4	8	12	5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	6	18	2////	1,85	0,19	0,30	11,5	51	77	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,20	5	11	1***	1,85	0,22	0,25	7,3	12	18	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,40	7	13	1***	1,85	0,26	0,35	9,1	15	22	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,60	5	4	1***	1,85	0,30	0,25	5,1	15	23	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,80	37	22	4././.	1,85	0,33	1,23	32,3	210	315	111	65	37	39	41	43	38	30	0,143	62	93	111
2,00	43	17	4././.	1,85	0,37	1,43	34,1	244	366	129	67	37	39	41	43	38	30	0,151	72	108	129
2,20	63	20	4././.	1,85	0,41	2,10	48,8	357	536	189	78	39	41	42	44	39	32	0,184	105	158	189
2,40	67	63	3:////	1,85	0,44	--	--	--	--	--	78	39	41	42	44	39	32	0,184	112	168	201
2,60	19	10	2////	1,85	0,48	0,78	11,4	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,80	31	16	4././.	1,85	0,52	1,03	14,9	176	264	93	48	35	37	39	42	34	29	0,098	52	78	93
3,00	10	37	4././.	1,85	0,55	0,50	5,5	150	225	40	7	29	32	35	39	27	26	0,016	17	25	30
3,20	11	21	2////	1,85	0,59	0,54	5,6	160	240	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,40	14	26	2////	1,85	0,63	0,64	6,4	163	245	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,60	12	20	2////	1,85	0,67	0,57	5,2	183	274	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,80	13	22	2////	1,85	0,70	0,60	5,2	193	289	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,00	11	15	2////	1,85	0,74	0,54	4,2	207	310	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,20	11	16	2////	1,85	0,78	0,54	4,0	217	326	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,40	8	15	2////	1,85	0,81	0,40	2,6	210	315	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,60	10	15	2////	1,85	0,85	0,50	3,2	237	356	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,80	13	15	2////	1,85	0,89	0,60	3,9	249	374	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,00	12	13	2////	1,85	0,93	0,57	3,4	260	391	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,20	11	14	2////	1,85	0,96	0,54	3,0	264	395	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,40	11	13	2////	1,85	1,00	0,54	2,9	269	404	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,60	15	14	2////	1,85	1,04	0,67	3,6	293	439	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,80	18	15	2////	1,85	1,07	0,75	4,0	299	449	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,00	22	12	4././.	1,85	1,11	0,85	4,5	310	464	66	17	30	33	36	39	28	28	0,033	37	55	66
6,20	26	14	4././.	1,85	1,15	0,93	4,8	318	477	78	22	31	34	37	40	29	28	0,042	43	65	78
6,40	29	13	4././.	1,85	1,18	0,98	5,0	327	490	87	25	32	34	37	40	29	29	0,048	48	73	87
6,60	29	12	4././.	1,85	1,22	0,98	4,8	339	508	87	25	31	34	37	40	29	29	0,047	48	73	87
6,80	33	12	4././.	1,85	1,26	1,10	5,3	344	515	99	28	32	35	37	40	30	29	0,054	55	83	99
7,00	36	11	4././.	1,85	1,30	1,20	5,7	348	522	108	31	32	35	38	40	30	30	0,059	60	90	108
7,20	42	11	4././.	1,85	1,33	1,40	6,7	340	510	126	35	33	35	38	41	31	30	0,069	70	105	126
7,40	46	12	4././.	1,85	1,37	1,53	7,2	339	509	138	38	33	36	38	41	31	31	0,074	77	115	138
7,60	42	12	4././.	1,85	1,41	1,40	6,2	367	551	126	34	33	35	38	41	30	30	0,066	70	105	126
7,80	41	12	4././.	1,85	1,44	1,37	5,9	384	577	123	32	33	35	38	41	30	30	0,063	68	103	123
8,00	35	15	4././.	1,85	1,48	1,17	4,7	412	618	105	26	32	34	37	40	29	29	0,050	58	88	105
8,20	37	14	4././.	1,85	1,52	1,23	4,8	420	631	111	28	32	35	37	40	29	30	0,053	62	93	111
8,40	35	14	4././.	1,85	1,55	1,17	4,4	434	651	105	25	32	34	37	40	29	29	0,048	58	88	105
8,60	34	12	4././.	1,85	1,59	1,13	4,1	444	666	102	24	31	34	37	40	28	29	0,045	57	85	102
8,80	46	15	4././.	1,85	1,63	1,53	5,8	435	652	138	33	33	35	38	41	30	31	0,065	77	115	138
9,00	45	14	4././.	1,85	1,66	1,50	5,5	451	676	135	32	32	35	38	41	30	31	0,062	75	113	135
9,20	40	13	4././.	1,85	1,70	1,33	4,6	474	711	120	28	32	35	37	40	29	30	0,053	67	100	120
9,40	41	12	4././.	1,85	1,74	1,37	4,6	484	726	123	28	32	35	37	40	29	30	0,053	68	103	123
9,60	38	13	4././.	1,85	1,78	1,27	4,1	496	744	114	25	31	34	37	40	28	30	0,047	63	95	114
9,80	42	13	4././.	1,85	1,81	1,40	4,5	505	758	126	28	32	35	37	40	29	30	0,053	70	105	126
10,00	42	13	4././.	1,85	1,85	1,40	4,4	516	774	126	27	32	35	37	40	29	30	0,052	70	105	126
10,20	43	14	4././.	1,85	1,89	1,43	4,5	527	790	129	27	32	35	37	40	29	30	0,053	72	108	129
10,40	42	14	4././.	1,85	1,92	1,40	4,2	537	806	126	26	32	34	37	40	28	30	0,050	70	105	126
10,60	41	12	4././.	1,85	1,96	1,37	4,0	547	820	123	25	31	34	37	40	28	30	0,047	68	103	123
10,80	36	13	4././.	1,85	2,00	1,20	3,3	560	840	108	20	31	34	37	40	27	30	0,038	60	90	108
11,00	36	16	4././.	1,85	2,03	1,20	3,2	568	851	108	20	31	34	36	40	27	30	0,037	60	90	108
11,20	32	14	4././.	1,85	2,07	1,07	2,7	548	821	96	15	30	33	36	39	27	29	0,029	53	80	96
11,40	30	14	4././.	1,85	2,11	1,00	2,5	532	798	90	12	30	33	36	39	26	29	0,024	50	75	90
11,60	28	13	4././.	1,85	2,15	0,97	2,3	523	785	84	10	29	32	35	39	26	28	0,020	47	70	84
11,80	30	14	4././.	1,85	2,18	1,00	2,4	539	808	90	12	30	33	36	39	26	29	0,023	50	75	90
12,00	31	--	3:////	1,85	2,22	--	--	--	--	--	12	30	33	36	39	26	29	0,024	52	78	93

## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

**PENETROMETRO STATICO OLANDESE tipo GOUDA (tipo meccanico).**

Caratteristiche:

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

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

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

fase 3 - resistenza totale  $R_t \text{ ( Kg)} = (\text{L. totale}) C_t$

$q_c / f_s = \text{'rapporto Begemann'}$

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

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

N.B. : causa la distanza intercorrente ( 20 cm circa ) fra il 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 - 1MN (megaNewton) = 1000 kN = 1000000 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> = 1000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t / m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>

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

Valutazioni in base al rapporto:  $F = (qc / fs)$

( Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977 )

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

F = qc / fs	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
F < 15	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
15 < F ≤ 30	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
30 < F ≤ 60	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
F > 60	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

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

- 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.

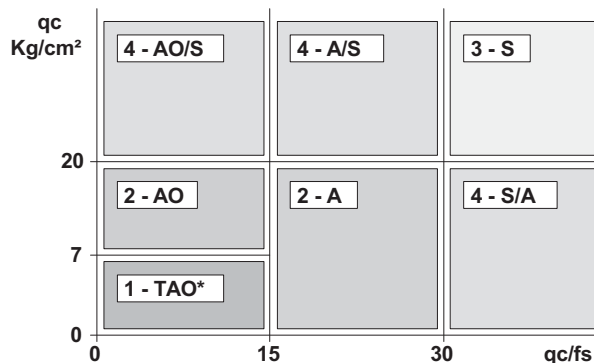
## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

### SCELTE LITOLOGICHE ( validità orientativa )

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto  $qc / fs$  ( Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977 ), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$qc \leq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni COESIVI      anche se  $( qc / fs ) > 30$

$qc \geq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni GRANULARI      anche se  $( qc / fs ) < 30$



### NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

### PARAMETRI GEOTECNICI ( validità orientativa ) - simboli - correlazioni - bibliografia

- $\gamma$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [ correlazioni :  $\gamma$  - qc - natura ]  
( Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma$  )
- $C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $C_u$  - qc ]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi ) [ correlazioni : OCR -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [ correl. : Eu -  $C_u$  - OCR -  $I_p$   $I_p$ = ind.plast.]  
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- $E'$  = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni :  $E'$  - qc ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza F = 2 - 4 rispettivamente )  
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983 )
- Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. : Mo - qc - natura ]  
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- Dr = densità relativa (terreni gran. N. C. - normalmente consolidati)  
[ correlazioni : Dr - qc -  $\sigma'_{vo}$  ] (Schmertmann 1976 )
- $\phi'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\phi'$  - Dr - qc -  $\sigma'_{vo}$  ]  
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976 )  
 $\phi'_{1s}$  - (Schmertmann) sabbia fine uniforme       $\phi'_{2s}$  - sabbia media unif./ fine ben gradata  
 $\phi'_{3s}$  - sabbia grossa unif./ media ben gradata       $\phi'_{4s}$  - sabbia-ghiaia poco lim./ ghiaietto unif.  
 $\phi'_{dm}$  - ( Durgunoglu & Mitchell ) sabbie N.C.       $\phi'_{my}$  - (Meyerhof) sabbie limose
- Amax = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari )  
( g = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni : (Amax/g) - Dr]



**Geognostica Fiorentina srl**

Via di Porto, 11-13 • 50018 • Scandicci (FI)  
C.F./P.IVA • 05256260489  
Tel. e Fax • 055 720195  
E-mail • info@geognosticafiorentina.com

COMUNE DI CAMPI BISENZIO  
Provincia di Firenze



Oggetto:

Indagine geofisica di superficie mediante  
analisi MASW e HVSR  
per Calcolo Vs,eq - D.M. 17/01/2018

*Lavori di ristrutturazione del Palazzo Pretorio e locali  
connessi da destinare a Uffici Comunali*



Località:

Piazza Giacomo Matteotti – Campi Bisenzio (FI)



Committente:

COMUNE DI CAMPI BISENZIO



## Introduzione

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine sismica eseguita mediante analisi MASW ed HVSR, in data 25 settembre 2019, come concordato con la committenza in piazza Giacomo Matteotti, Comune di Campi Bisenzio (FI).

E' stata eseguita una campagna geofisica con analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame, ed in particolare i valori di velocità delle onde di taglio, così come previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018. La classificazione dei terreni è ottenuta sulla base del valore della  $V_{S,eq}$  (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio), definita dalla relazione:

$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$	$h_i$ spessore dell'i-esimo strato; $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato; $N$ numero di strati; $H$ profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da $V_s$ non inferiore a 800 m/s.
---	---

Insieme all'indagine MASW è stato effettuato un rilievo di microtremori (vibrazioni ambientali) con stazione singola HVSR (Horizontal Vertical Spectral Ratio).

Di seguito vengono descritte: la metodologia d'indagine, lo schema operativo, le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, ed infine l'interpretazione dei dati elaborati.

### MASW: metodologia d'indagine

L'analisi MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), attraverso la registrazione della propagazione delle onde di superficie (Rayleigh), permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio S nel sottosuolo, portando quindi a determinare anche il parametro  $V_{S,eq}$  (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio).

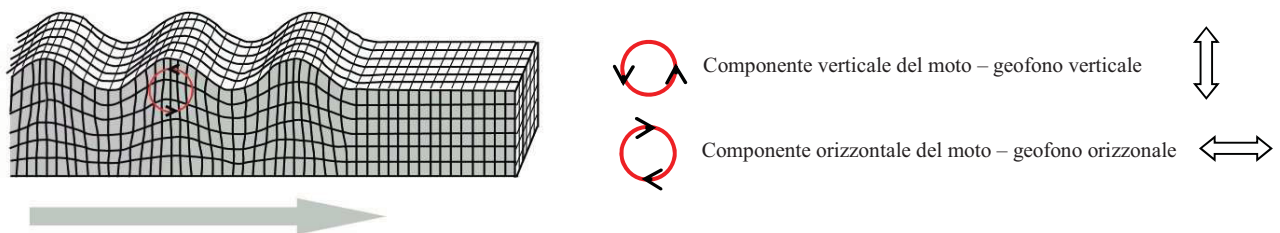
In un mezzo stratificato le onde di superficie (Rayleigh) danno vita al fenomeno della dispersione, cioè lunghezze d'onda diverse si propagano con diverse velocità di fase e gruppo: le componenti ad alta frequenza (con piccola lunghezza d'onda) "sentono" solamente gli strati più superficiali del suolo, mentre le componenti a più bassa frequenza "sentono" anche gli strati più profondi consentendo quindi di determinarne le caratteristiche.

Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5Hz e i 70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30 m a seconda della rigidità del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e più bassa frequenza identificabile.

Questa tipologia di prospezione si realizza con uno stendimento sismico costituito da 12/24 o più geofoni allineati a distanza intergeofonica variabile tipicamente fra 1 e 5 m (la lunghezza dello stendimento incide sulla focalizzazione del segnale nello spettro di velocità) che registrano le onde sismiche generate in corrispondenza di X punti di energizzazione effettuati tipicamente ad una distanza compresa fra 2 e 20 m dal primo geofono.

L'obiettivo della registrazione è quindi l'individuazione del treno di onde superficiali (Rayleigh), che a causa della stratificazione del mezzo subisce una dispersione le cui modalità sono direttamente correlate alla velocità delle onde di taglio S.

L'acquisizione delle onde di Rayleigh può essere fatta mediante geofoni verticali, intercettando nel moto delle particelle lo spostamento verticale; oppure mediante geofoni orizzontali con asse posto parallelo (radiale) allo stendimento, intercettando lo spostamento orizzontale. In entrambi i casi si utilizza una sorgente verticale - piastra-martello.

**Rayleigh Wave**


L'analisi **HVSR (Horizontal Vertical Spectral Ratio)**, è un'analisi di sismica "passiva" che si basa sulla misura delle vibrazioni del terreno indotte da sorgenti non controllate, attraverso un apparato di registrazione dotato di 3 velocimetri disposti nelle tre direzioni dello spazio, e sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontali (H) e verticali (V) di quello che viene definito "rumore sismico", "vibrazione ambientale" o "microtremore", costituito da piccole vibrazioni del terreno dell'ordine di  $10^{-4}$ - $10^{-2}$  cm. Gli spettri verticali e orizzontali variano in

funzione dell'anisotropia del mezzo attraversato e dei gradienti di impedenza presenti nel sottosuolo:

$$\text{Rapporto di impedenza sismica } I = \rho r V_r / \rho s V_s$$

Dove  $\rho r$  è la densità del substrato e  $\rho s$  del terreno soprastante;  $V_r$  la velocità delle onde di taglio del substrato e  $V_s$  del terreno.

Gli effetti stratigrafici di amplificazione sismica sono influenzati dal rapporto d'impedenza, e le frequenze corrispondenti ai massimi della funzione di amplificazione si chiamano frequenze (periodi) naturali di vibrazioni del deposito. Il periodo proprio di sito è indicato dalla seguente formula:

$$T_0 = 4H/V_s$$

Dove:  $V_s$  è la velocità delle onde di taglio fino al bedrock (inteso come un orizzonte con forte contrasto di  $V_s$  che dà origine ad un picco dell'H/V); H lo spessore dei sedimenti sovrastanti il bedrock. Di fondamentale importanza risulta la conoscenza della frequenza di sito per il fenomeno della "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra la frequenza fondamentale del segnale sismico trasmesso in superficie e la frequenza delle strutture in progetto o dei manufatti già esistenti.

### Schema operativo

In Tavola 1, è stato riportato un inquadramento dell'area con inserita la traccia della sezione sismica eseguita. Dopo una prima analisi dell'area ed in considerazione degli spazi a disposizione è stato deciso di adottare la seguente configurazione:

#### MASW:

- n° geofoni: 12
- distanza intergeofonica di 3,0 m per complessivi 33 ml di rilievo (G1-G12)
- Coordinate linea sismica: G1 (43.822103°, 11.135677°); G12 (43.821902°, 11.135979°); punto medio (43.822002°; 11.135828°).
- n° 2 offset (distanza tra il punto di energizzazione e il geofono più vicino ad esso) a 2.0 m dal primo e 3 m dall'ultimo geofono.

Per quando riguarda l'acquisizione sono state utilizzate le seguenti impostazioni:

- tempo di acquisizione: 1.5 s
- frequenza di campionamento 2000 Hz

- periodo di campionamento 500  $\mu$ s.

#### HVSR:

- Coordinate: 43.822007°; 11.135784°

#### Acquisizione:

- registrazione: 20 minuti
- frequenza di campionamento: 300 Hz (ricampionato a 64 Hz in fase di elaborazione)

#### Elaborazione:

- finestra: 20 secondi
- tapering: 8%
- lisciamento: finestra triangolare (10%)

### **Strumentazione impiegata**

***MASW***. Un sistema digitale di acquisizione dati in sismica, è costituito sostanzialmente da geofoni, amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali. Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo costituito da un sistema a più canali a conversione digitale tra loro in catena, ciascuno con un proprio ID, e pilotati da PC. Il modello è denominato DOREMI (della SARA electronic instruments), con risoluzione di acquisizione pari a 16 bit. Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati 12 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza caratteristica di 4.5 Hz.

Come sorgente di energia sismica per le onde di Rayleigh si è fatto uso di una mazza con maglio da 6 kg battente su una piastra di alluminio posta sul suolo in linea con lo stendimento.

L'inizio della registrazione è stato dato tramite un *trigger* che consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la massa battente colpisce la piastra (nel nostro caso si è usato quello un geofono starter) e l'impulso generato, inviato al sistema di acquisizione, consente di fissare il tempo zero di riferimento per il calcolo dei tempi di percorso delle onde generate.

***HVSR***. L'acquisizione HVSR è stata effettuata tramite sismografo triassiale SR04C3 - SARA electronic instruments, con geofoni da 4.5 Hz dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, collegato ad un Notebook ASUS TP200SA. I dati acquisiti mediante software SEISMOLOG-MT, della SARA electronic instruments, ed analizzati mediante WINMASW 2018 Academy della Elisoft.

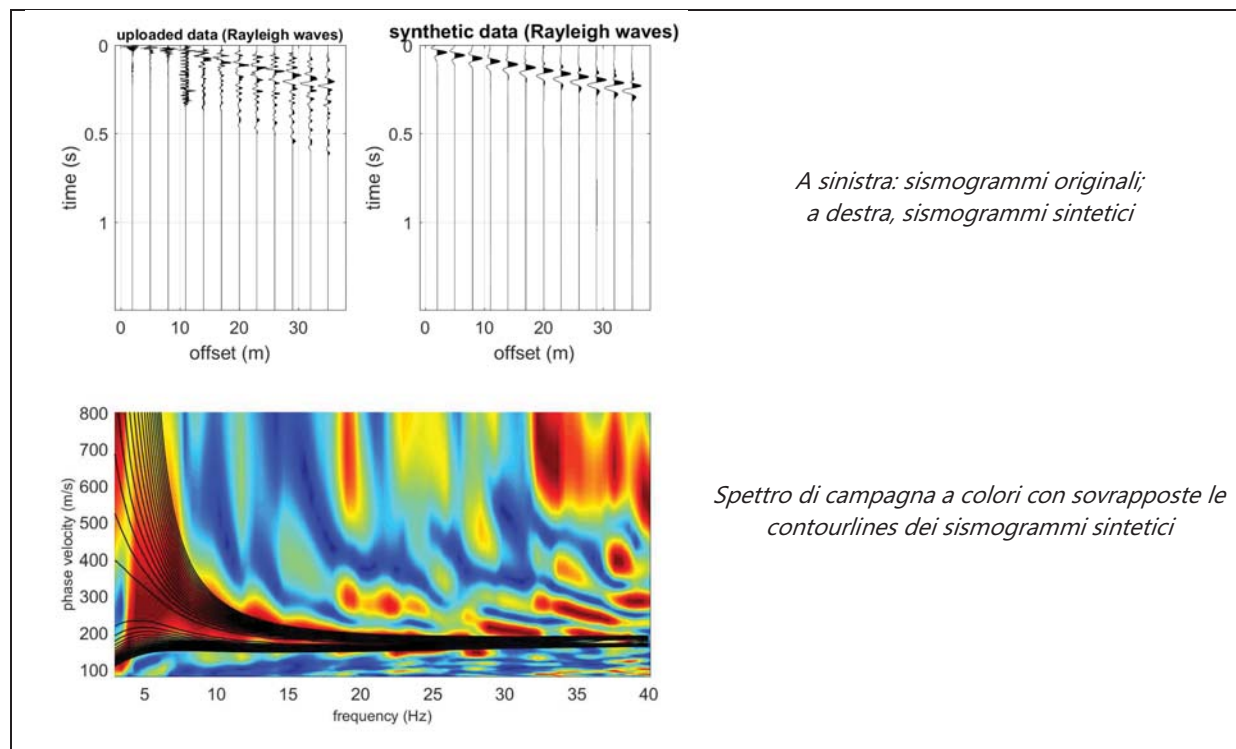
### Analisi e risultati dell'indagine


Per quanto riguarda le analisi dei dati **HVSR**, individuati eventuali transienti (eventi con eccessiva ampiezza) da rimuovere, viene creato lo spettro di frequenza delle tre componenti (le due orizzontali e quella verticale) ed il rapporto spettrale H/V, dividendo la serie temporale in  $n$  finestre da 20 secondi, in parziale sovrapposizione (Tavola 2).

Dai risultati ottenuti non risultano evidenti picchi di frequenza statisticamente significativi, per cui si potrebbe escludere un effetto di amplificazione sismica per motivi stratigrafici, per lo meno nel range di interesse ingegneristico. La curva HVSR è stata utilizzata congiuntamente all'analisi MASW, per la modellazione sismostratigrafica.

L'analisi dei dati acquisiti dalla metodologia **MASW**, con onde di Rayleigh, avviene attraverso le seguenti fasi:

1. Calcolo dello spettro di velocità; 2. Individuazione del *modo fondamentale* e degli eventuali superiori; 3. Calcolo della curva di dispersione mediante modellazione diretta, cioè attribuzione degli spessori e delle velocità relative, sulla base di dati riguardanti il sito acquisiti precedentemente tramite indagini dirette o bibliografia; 4. Inversione della curva di dispersione e conseguente individuazione del profilo di velocità Vs tramite analisi congiunta con HVSR. In alternativa (figura sotto): inversione dell'intero spettro di velocità tramite generazione di sismogrammi sintetici secondo il metodo della *Modal Summation* (Herman 2003).

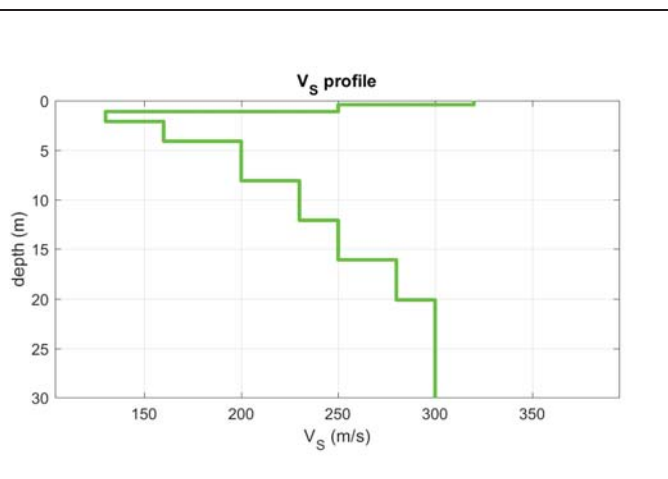


	Indagine geofisica di superficie metodologia MASW e HVSR Località: Piazza G. Matteotti – Campi Bisenzio (FI)
---	---


**Analisi congiunta MASW-HVSR:** Per analisi congiunta si intende l'utilizzo di tutti i dati a disposizione all'interno dello stesso strumento di analisi. Questo tipo di analisi offre numerosi vantaggi, primo fra tutti quello di diminuire il numero dei possibili modelli sismostratigrafici (spessori/velocità) determinati dal problema della non-univocità (cioè dell'equivalenza di modelli diversi per una data curva di dispersione) che in effetti tocca tutti i metodi geofisici di superficie. Dai dati acquisiti mediante MASW si è effettuato il calcolo della curva di dispersione (con attribuzione degli spessori e delle velocità relative), ed a partire da questo la creazione, mediante il software utilizzato, di una "curva teorica" H/V. Infine confrontando tale curva con quella misurata empiricamente, si è cercato di affinare il modello sismostratigrafico in modo da ottenerne uno che rappresenti al meglio la curva di dispersione e che faccia sovrapporre le curve H/V ed in particolare la frequenza del principale picco, tipicamente legato al più profondo contatto litologico "significativo". Tale operazione consente di vincolare il modello  $V_s$  specialmente in profondità dove il margine di incertezza è maggiore. I risultati sono riportati nella Tavola 3.

Nella Tabella e nella figura sottostanti vengono riportati gli spessori e le relative velocità  $V_s$ , ricordando che, come in tutti i metodi geofisici, può essere ottenuta solo una stima del modello sismostratigrafico a causa del problema della non univocità.

Vsh (m/s)	Spessore	Profondità
320	0.4	0.4
250	0.7	1.1
130	1.0	2.1
160	2.0	4.1
200	4.0	8.1
230	4.0	12.1
250	4.0	16.1
280	4.0	20.1
300	semi-spazio	
<b>Modello sismostratigrafico stimato</b>		



L'analisi della dispersione delle onde superficiali ha consentito di stimare il profilo verticale della  $V_s$  e di conseguenza del parametro  $V_{s,eq}$  (corrispondente in questo caso alla  $V_{s30}$ ) che risulta essere pari a **240 m/s**, considerando come riferimento il piano campagna.

 <b>GEOGNOSTICA FIORENTINA SRL</b>	Indagine geofisica di superficie metodologia MASW e HVSR Località: Piazza G. Matteotti – Campi Bisenzio (FI)
---	---

Sulla base del profilo sismostratigrafico ottenuto, il sito risulta compatibile con la categoria di sottosuolo C secondo le NTC 2018 - Tabella 3.2.II, riportata sotto.

Sarà comunque cura del progettista, in base alle caratteristiche dell'opera da realizzare, alla effettiva profondità di imposta delle fondazioni, al modello sismostratigrafico riportato con il conseguente profilo verticale della  $V_s$ , ed a tutte le considerazioni del caso che riterrà opportune, attribuire il definitivo valore di  $V_{s,eq}$  e conseguentemente la categoria di suolo.

<b>Categorie di sottosuolo (NTC 2018 - Tabella 3.2.II)</b>	
<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Scandicci, lì 03/10/2019


**GEOGNOSTICA  
FIORENTINA SRL**  
 Via di Porto, 11-13 50018 Scandicci (FI)  
 C.F./P.IVA: 05256260489  
 Tel./Fax: 055 720195  
 info@geognosticafiorentina.com

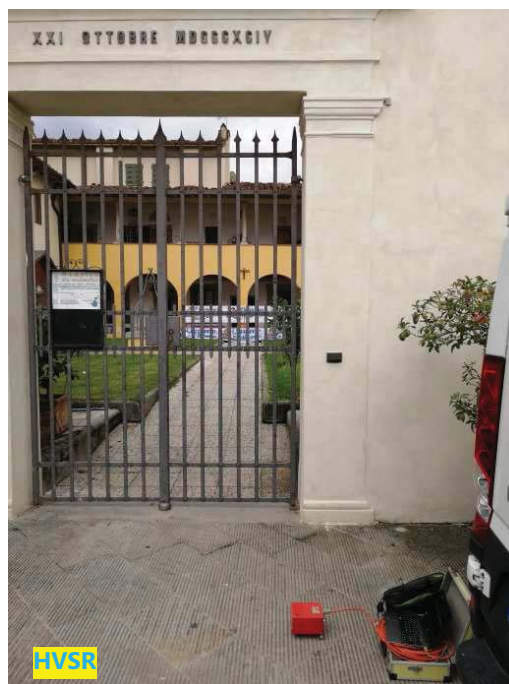
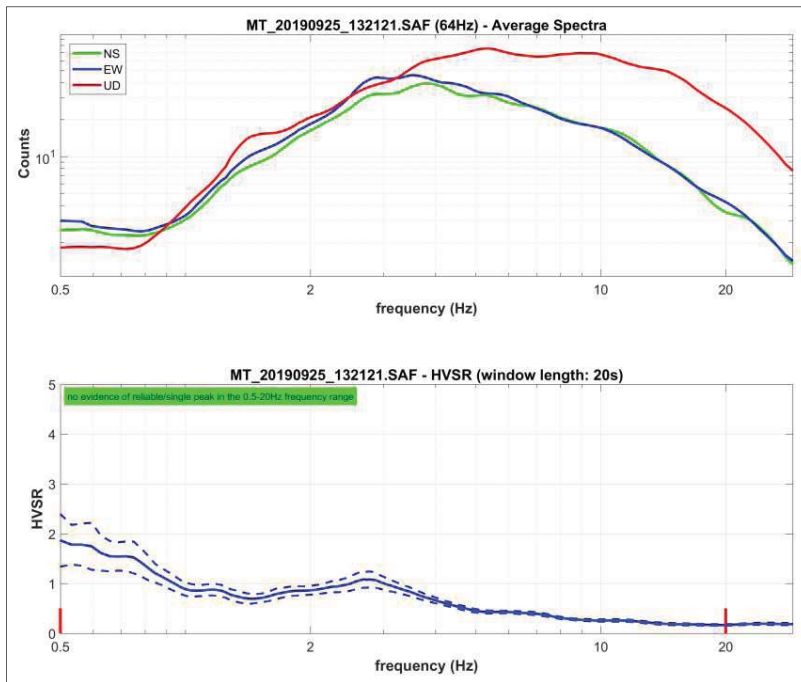


TAVOLA 1

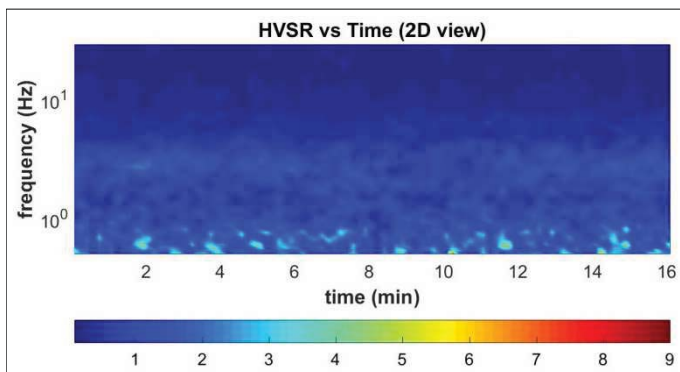


**HVSR**

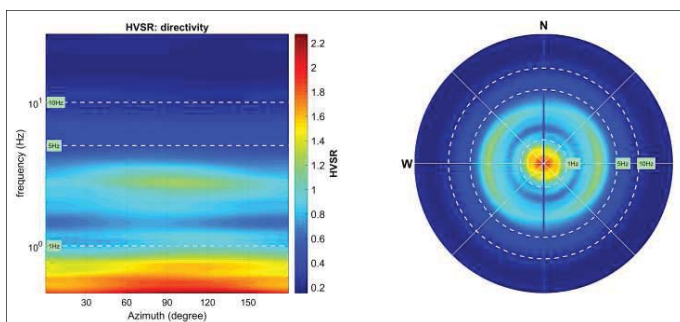


Spettri d'ampiezza delle tre componenti (orizzontali NS-EW e verticali UD)

Rapporto spettrale H/V

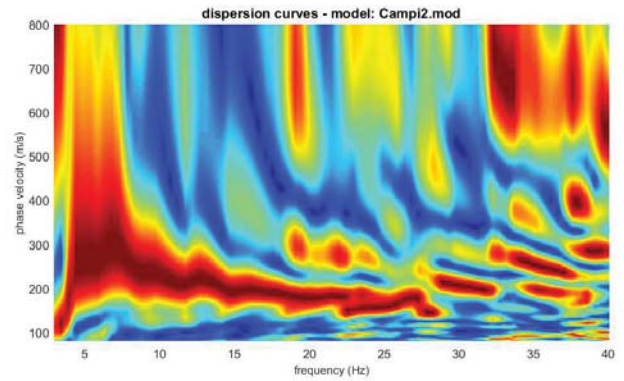
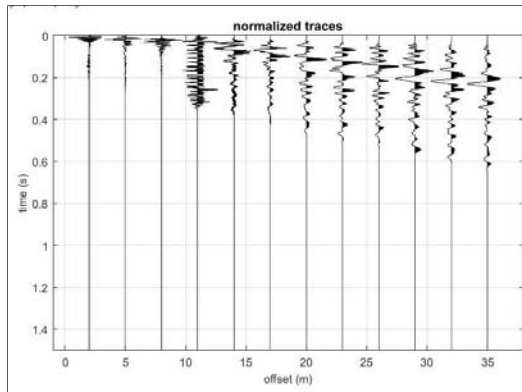


Persistenza del segnale

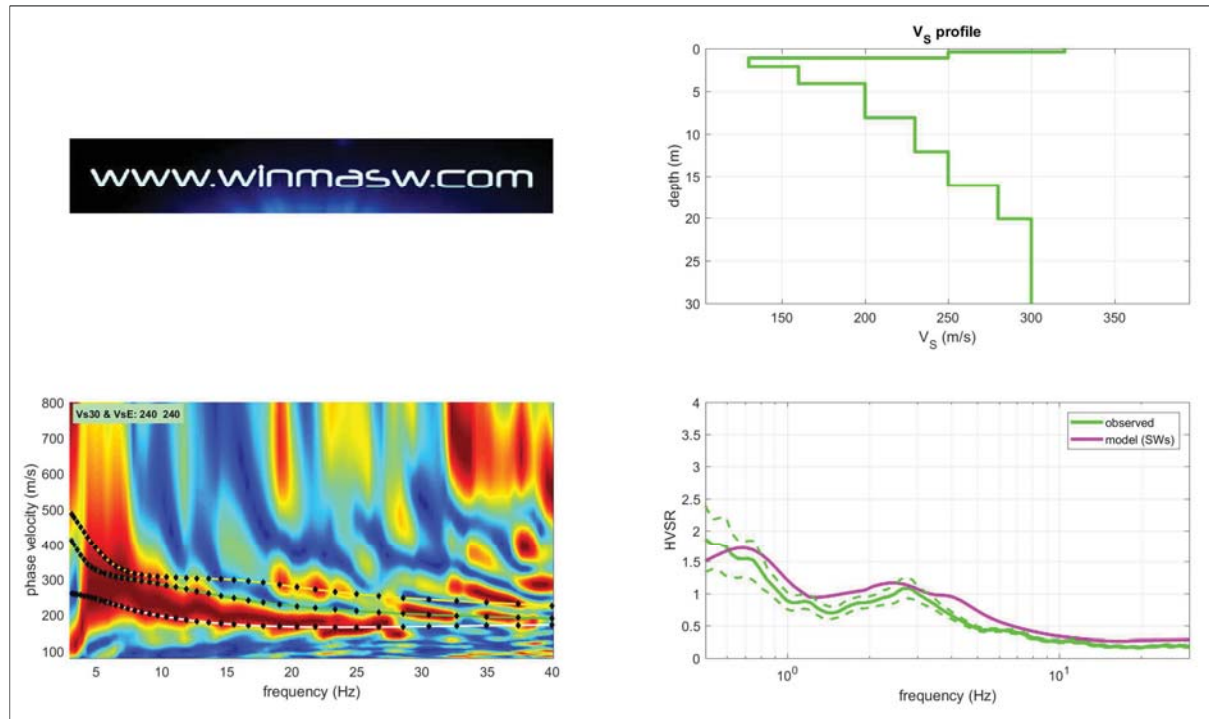


Direttività

TAVOLA 2



**Componente di Rayleigh** - dati acquisiti (a sinistra), spettro di velocità calcolato (a destra).



**Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi congiunta di dati MASW-HVSR.**

In alto: profilo verticale  $V_s$  identificato dall'inversione.

In basso a sinistra: spettro di velocità osservato con sovrapposte le curve di dispersione (componente di Rayleigh);

In basso a destra: Risultati dell'analisi congiunta MASW – HVSR a partire dal modello di  $V_s$  utilizzato per la dispersione delle onde di superficie, secondo la formulazione basata sulle onde di superficie (Albarello & Lunedei, 2009). La curva magenta ottenuta dalla modellazione approssima quella misurata empiricamente (curva verde).

TAVOLA 3