



comune di
PRATO

Codice Fiscale: 84006890481

Progetto: **Mercato Metropolitan**

POR FESR 2014-2020 - Progetto di Innovazione Urbana (P.I.U.)

Titolo: **Relazione geologica**

Fase: **Progetto esecutivo**

Assessore all'Urbanistica e ai Lavori Pubblici **Valerio Barberis**

Servizio Urbanistica

Dirigente del Servizio **Francesco Caporaso**

Responsabile Unico del Procedimento **Michela Brachi**

Progettisti

Progettazione opere architettoniche

Massimo Fabbri

Alessandro Pazzagli

Computo metrico estimativo opere architettoniche

Antonio Silvestri

Michele Fiesoli

Progettazione opere strutturali

Francesco Sanzo

Progettazione impianti

Andrea Carlesi, Filippo Bogani (Technologies 2000)

Coordinamento per il comune: **Iuri Baldi**

Coordinatore sicurezza in fase di progettazione

Francesco Sanzo

Geologia

Alessandro Murratzu

Coprogettazione opere architettoniche

Alessia Bettazzi

Progettazione antincendio

Cristina Gorrone

Collaborazione

Matteo Galatro

Silvia Pinzauti

Viola Valeri

Rilievo aree esterne

Massimo Falcini

Rilievo fabbricati

Stefano Mordini

Tavola: n. **R02**

Scala: ----

Spazio riservato agli uffici:

INDICE

0 - PREMESSA	1
1 - QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO.....	3
2 - CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO DI INTERVENTO	5
2.1 - Descrizione del luogo.....	5
2.2 - Geomorfologia.....	5
2.3 - Geologia	5
2.4 - Studi di supporto a S.U.G.: considerazioni sulla pericolosità dell'area e sulla fattibilità dell'intervento.....	6
3 - INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI	7
3.1 - Criteri di indagine	7
3.2 - Descrizione delle indagini con standard di riferimento delle varie prove.....	8
3.3 – Caratteristiche litologico-stratigrafiche	11
3.4 – Caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni.....	11
3.5 – Categoria di sottosuolo	12
3.6 – Idrogeologia di dettaglio e condizioni piezometriche	14
4 – SISMICITA'	14
5 - CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	18
5.1 – Parametri caratteristici e di progetto.....	18

ELABORATI CARTOGRAFICI

Allegato 1 – Certificati prove penetrometriche e analisi di laboratorio (giugno 2017)

Allegato 2 – Stratigrafie sondaggi (giugno 2017)

Allegato 3– Indagini sismiche Down-hole e HVSR (giugno 2017)

COMUNE DI PRATO

***POR FESR 2014-2020 Investimenti a favore della crescita e dell'occupazione,
Progetto Innovazione Urbana (PIU)
Progetto Esecutivo***

RELAZIONE GEOLOGICA – Mercato Metropolitano

0 - PREMESSA

Nella presente nota, su incarico dell'Amministrazione Comunale di Prato, vengono esplicitati i contenuti della Relazione Geologica redatta a supporto del Progetto di Innovazione Urbana (P.I.U.) ubicato al Macrolotto 0, nell'isolato tra Via Filzi, Via Pistoiese, Via Giordano e Via Colombo - Progetto esecutivo.

Nello specifico, la presente relazione geologica, riguarda l'intervento che prevede la realizzazione di una struttura dedicata ad ospitare un Mercato Metropolitano, nel capannone a contatto con Via Giordano.

Tale elaborato viene redatto ai sensi del D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) ed è finalizzato alla caratterizzazione e modellazione geologica e geotecnica del sito ed a fornire un contributo, in relazione ai suddetti modelli, alle verifiche della sicurezza e delle prestazioni attese (SLU e SLE del D.M. 14/01/2008).

Le verifiche finali della sicurezza e delle prestazioni attese, ai sensi del D.M. 14/01/2008, dovranno essere eseguite, tenendo in considerazione i dati della presente relazione, da specifica professionalità (ingegnere strutturale), che esula da quella dello scrivente.

In particolare il presente elaborato ricostruisce il modello geotecnico del sottosuolo, definendone i parametri caratteristici e il comportamento geomeccanico del volume di terreno direttamente o indirettamente interessato, in ottemperanza all'art. 6 del D.P.G.R. n. 36/R del 09/07/2009.

La classe d'indagine geologica, geofisica e geotecnica dell'intervento in progetto, così come definita all'art. 7 comma 3 e 4 del D.P.G.R. n. 36/R del 09/07/2009, è la seguente:

- **classe di indagine n.4**, riferita ad opere di volume lordo superiore a seimila metri cubi o, in ogni caso, se l'altezza in gronda è superiore a venti metri. Con riferimento a tale classe d'indagine, la categoria di suolo

di fondazione e le geometrie sepolte si determinano mediante prove sismiche in foro. In presenza di problematiche di versante sono altresì prodotte verifiche di stabilità del pendio e del complesso opera-pendio. La definizione dei parametri geotecnici è basata su sondaggi geognostici, attrezzati con inclinometri ove si ricada nella zona classificata dal piano strutturale o dal regolamento urbanistico di pericolosità geomorfologica molto elevata (G4).

1 - QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

La presente nota è stata redatta in ottemperanza alla normativa vigente di seguito specificata:

- Decreto Ministeriale 14.01.2008

Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni.

- Consiglio Superiore Lavori Pubblici

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008 – Circolare 2 febbraio 2009.

- Consiglio Superiore Lavori Pubblici

Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. – Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007.

- Eurocodice 8 (1998)

Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture

Parte 5: fondazioni, strutture, di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

- Eurocodice 7.1 (1997)

Progettazione geotecnica – Parte I: Regole generali - UNI

- Eurocodice 7.2 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio - UNI

- Eurocodice 7.3 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito - UNI

- D.P.G.R. 09/07/2009 N.36/R

Regolamento di Attuazione dell'art.117, commi 1 e 2 della L.R. 1/2005 – Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico.

- Piano Gestione Rischio Alluvioni.

- D.L. n. 152 del 03/03/2006 e s.m.i.

- Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico Comunale.

- D.Lgs. n. 50 del 18/04/2016
Nuovo Codice Appalti

2 – CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO DI INTERVENTO

2.1 - Descrizione del luogo

Come indicato in premessa, l'area in esame (fig. 1) è localizzata nel centro abitato di Prato, ad Ovest del centro storico della città, in corrispondenza del Macrolotto 0 ed in particolare nell'isolato tra U. Giordano e Via Bonicoli.

L'area risulta completamente antropizzata ed occupata per lo più da capannoni industriali dismessi.

Dal punto di vista morfologico, l'area è localizzata nella porzione nord della estesa pianura alluvionale, che occupa il bacino fluvio-lacustre di Firenze-Prato-Pistoia, in destra idrografica del Fiume Bisenzio ed in corrispondenza dell'area di pertinenza della conoide del medesimo corso d'acqua.

La quota della zona d'interesse è di circa 59 metri s.l.m..

2.2 - Geomorfologia

Per ottenere un corretto inquadramento delle caratteristiche geomorfologiche dell'area, partendo dall'acquisizione della Carta geomorfologica del Piano Strutturale vigente (fig. 2), è stata eseguita un'indagine di campagna per un'ampia zona comprendente il comparto di previsione. Da tale indagine è emerso quanto segue.

L'area in esame, localizzata sui depositi della conoide del Fiume Bisenzio, risulta pressoché pianeggiante, con leggera pendenza procedendo da N-NE in direzione S-SO.

La zona, ad oggi in gran parte urbanizzata, risulta priva di forme geomorfologiche degne di nota, e/o di dissesti in atto.

Allo stato attuale di indagine, nell'area in esame non sono stati rilevati fenomeni di dissesto attivi e/o incipienti, né fenomeni morfogenetici di natura gravitativa attivi e/o quiescenti in grado di compromettere la fattibilità degli interventi in progetto.

2.3 - Geologia

Dal punto di vista geologico, nell'area indagata (vedi estratto cartografia di Piano Strutturale in fig. 3) si rilevano depositi alluvionali recenti e di conoide, costituiti prevalentemente da ghiaie e subordinatamente da intercalazioni di limi e argille.

DEPOSITI ALLUVIONALI:

- *Conoidi*: Si tratta di una struttura morfologica derivante dall'accumulo di sedimenti fluviali dove quelli più grossolani (ghiaie e sabbie) si ritrovano nella zona apicale mentre quelli più fini (argille e limi) si ritrovano ai margini ed a maggiore distanza dallo sbocco del Fiume Bisenzio e del Torrente Bardena.

Più genericamente, nella cartografia da CARG, l'area risulta caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati, costituiti da limi, sabbie e ghiaie contraddistinti dalla sigla "bna".

2.4 - Studi di supporto a S.U.G.: considerazioni sulla pericolosità dell'area e sulla fattibilità dell'intervento

Dalla Carta della pericolosità geologica della Variante al RU, redatta ai sensi del DPGR 53/R/2011 (fig. 4), l'area oggetto di intervento rientra nelle seguenti classi di pericolosità:

Classe G.1 - pericolosità geomorfologica bassa

La porzione più a sud -ovest del comparto di intervento, si localizza in prossimità di un'area in pericolosità G.3 elevata, che interessa la porzione di territorio caratterizzata da significativi fenomeni di subsidenza come da Carta della subsidenza del P.S. (estratto in fig.5). Tale area risulta comunque esterna al comparto di intervento s.s.,

Come da normativa vigente, oltre allo S.U. comunale, sono stati presi in considerazione anche gli elaborati cartografici redatti dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno per il Piano Stralcio Assetto Idrogeologico - P.A.I., adottato con DPCM del 06/05/05. Da tali elaborati (*Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante – Livello di sintesi – scala 1/25.000*), risulta che l'area in esame si colloca esternamente a tali perimetrazioni.

Dalla Carta della pericolosità idraulica della Variante al RU, redatta ai sensi del DPGR 53/R/2011 (fig. 6), con aggiornamento e modifiche a seguito della Variante n.1 al P.S. del 2016, che riporta le perimetrazioni ottenute con studio idrologico-idraulico di dettaglio su tutto il reticolo idrografico implementato con i dati dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno, l'area oggetto di intervento rientra nella seguente classe di pericolosità:

Classe I.1 - pericolosità idraulica bassa

Aree morfologicamente rilevate

Per quanto concerne la Carta di pericolosità sismica locale della Variante al RU, redatta ai sensi del DPGR 53/R/2011, l'area oggetto di intervento rientra nella seguente classe di pericolosità (fig. 7):

Classe S2: Pericolosità Sismica locale media

In accordo con quanto previsto dalla Variante al Regolamento Urbanistico, redatta ai sensi del DPGR 53/R/2011, si confermano le categorie di fattibilità individuate:

Mercato Metropolitan

FG2: fattibilità geologica con normali vincoli;

FI2: fattibilità idraulica con normali vincoli;

FS2: fattibilità sismica con normali vincoli.

3 - INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI

3.1 - Criteri di indagine

In riferimento all'Ordinanza P.C.M. n°3274/04 ed al D.M. 14/01/2008 ed al DPGR 36/R del 09/07/2009, ai fini della definizione del modello geologico di supporto alla progettazione esecutiva, è stata realizzata dallo scrivente una campagna geognostica comprensiva di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo e una prova penetrometrica dinamica (DPSH). Sono stati realizzati inoltre una prova sismica in foro all'interno del sondaggio, e due stazioni di sismica passiva che hanno consentito di caratterizzare in modo adeguato il terreno di fondazione (fig.8).

Tali indagini hanno permesso di affinare il modello geologico proposto allo stadio di progetto definitivo, apportandone alcune modifiche rese possibili dalle informazioni aggiuntive ottenute con le nuove indagini.

In particolare, nella presente fase di indagine sono state realizzate:

- Intervento per realizzazione del Mercato Metropolitan, in via Giordano
 - n.1 sondaggio a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo (S2) di profondità - 35,00 m da p.c.;
 - n.1 prova penetrometrica dinamica DA - profondità raggiunta di -8,00 m da p.c.;
 - n.1 indagine geofisica in foro (*down hole*);
 - n.2 misure di HVSR, denominate HVSR 2 e HVSR 3;
 - analisi di laboratorio eseguite su n.1 campione indisturbato, prelevato da S2.

L'indagine sismica a rifrazione down-hole è stata eseguita per fornire una migliore caratterizzazione geologica del sottosuolo e al fine di determinare la categoria di suolo del terreno di fondazione attraverso il calcolo del parametro Vs30, in riferimento all'Ordinanza P.C.M. n°3274/04 ed al D.M. 14/01/2008 ed al DPGR 36/R del 09/07/2009.

I suddetti risultati hanno permesso di stimare il profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Onde S) e il parametro Vs30 per l'area oggetto di intervento. Per la consultazione dei certificati delle indagini sismiche prese a riferimento si rimanda all'allegato 3 del presente elaborato.

L'ubicazione delle indagini eseguite dallo scrivente in questa fase di progettazione esecutiva è riportata nella figura 8.

3.2 - Descrizione delle indagini con standard di riferimento delle varie prove

La prova penetrometrica dinamica prevede la penetrazione del terreno eseguita tramite un maglio di 63,50 kg che cade da un'altezza di 75 cm; viene così misurato il numero di colpi necessari all'infissione di una punta per una profondità di 20 cm.

Il rapporto tra il numero di colpi di questo penetrometro e quello della Standard Penetration Test è stato valutato come:

$$N_{spt} = 1.52 N_{din}$$

Elaborando le letture di campagna, è possibile risalire alle principali caratteristiche dei terreni attraversati.

Il foro penetrometrico preso a riferimento ha raggiunto la seguente profondità:

- Intervento per realizzazione del Mercato Metropolitan, in via Giordano
- Prova DA - profondità -8,00 m da p.c.;

Per i dettagli della prova penetrometrica dinamica, in termini di risultati dell'indagine, si rimanda all'allegato 1 del presente elaborato.

Indagini mediante sismica a rifrazione

Prove down-hole. Per la registrazione delle onde di compressione e delle onde di taglio in profondità viene utilizzato un geofono da pozzo munito di un ricevitore costituito da tre sensori sensibili alle componenti del moto lungo le tre direzioni: uno verticale e due orizzontali ortogonali tra loro. Il geofono da pozzo, munito di un sistema teleguidato di orientazione azimutale e di ancoraggio meccanico alle pareti del rivestimento, viene calato all'interno del foro di sondaggio,

preventivamente attrezzato con tubo di rivestimento, e ad intervalli determinati vengono registrati i treni d'onda prodotti dalle energizzazioni poste in superficie.

Energizzando su una piastra posta a diretto contatto con il terreno vengono generate predominanti onde P di compressione, mentre per le onde SH di taglio si utilizza una trave di legno posta a diretto contatto col terreno, gravata dal peso di un automezzo, che viene colpita lentamente: le battute destra e sinistra vengono sommate con polarità scambiata in modo da migliorare l'individuazione dell'onda di taglio polarizzata in senso orizzontale che viene generata, si può così avere un completo controllo nell'analisi del treno d'onda che attraversa i terreni da investigare. In questo modo per ogni punto di energizzazione si hanno due treni d'onda diversi: uno per le onde P e l'altro per le onde SH. Un'unità di controllo gestisce le fasi di ancoraggio e registrazione del geofono da pozzo, mentre le tracce sismiche relative ad ogni intervallo di profondità vengono registrate mediante un sismografo digitale per la loro successiva elaborazione. La distanza sorgente-boccaforo è stata fissata in 2 m e 2,4 m, il passo delle registrazioni è stato di 1 m.

Questa tecnica di prospezione sismica prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione P e di taglio SH tra il punto di energizzazione posto in superficie ed il punto di ricezione situato in profondità nel foro di sondaggio. I tempi letti sui sismogrammi devono poi essere corretti poiché le onde sismiche non percorrono tragitti verticali tra la sorgente in superficie ed il sensore nel foro, ma inclinati rispetto alla verticale: indicando con t_z il tempo d'arrivo, con d la distanza orizzontale tra sorgente ed il boccaforo e con z la profondità del sensore, il tempo di arrivo corretto t_c alla profondità z sarà dato dalla relazione:

La velocità delle onde P e delle onde SH viene calcolata mediante la pendenza della dromocrona.

In Tabella I sono riportate le relazioni tra le velocità medie delle onde sismiche di compressione P e di taglio SH (espresse in m/sec) e le principali litologie, desunte da letteratura.

Materiale	V P m/sec	V SH m/sec	
		VP/VSH 1.9 - 3.5	VP/VSH 1.9 - 3.5
Detrito superficiale alterato	300 - 600	86 - 158	171 - 316
Ghiaia, pietrisco, sabbia asciutta	500 - 900	143 - 263	257 - 474
Sabbia bagnata	600 - 1800	171 - 316	514 - 947
Argilla	900 - 2700	257 - 474	771 - 1421
Acqua	1430 - 1680	-	-
Arenaria	1800 - 4000	514 - 947	1143 - 2105
Scisti argillosi	2500 - 4200	714 - 1316	1200 - 2211

Calcere	2000 - 6000	571 - 1053	1714 – 3158
Sale	4200 - 5200	1200 - 2211	1486 – 2737
Granito	4000 - 6000	1143 - 2105	1714 - 3158
Rocce metamorfiche	3000 - 7000	857 - 1579	2000 - 3684

Tabella I – Velocità dei principali materiali.

All'interno dei comparti di intervento sono state inoltre eseguite quattro misure di sismica passiva a stazione singola. Durante queste indagini vengono misurate le vibrazioni ambientali nelle tre direzioni dello spazio attraverso un unico sensore tridirezionale posto sulla superficie del terreno. In particolare viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero "Horizontal to Vertical Spectral Ratios" - Bard., 1998). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale f di questa vibrazione definita di "Risonanza". Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno e la velocità media delle onde sismiche nel sottosuolo (ricavata per esempio dai metodi passivi ad antenna, o attivi come Masw e Rifrazione), attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato.

Per le specifiche caratteristiche delle indagini di sismica passiva a stazione singola (HVSR) e delle indagini sismiche in foro *down-hole*, si rimanda all'allegato 3 del presente elaborato.

In corrispondenza del comparto di interesse è stato eseguito inoltre 1 sondaggio S2 nel sito in via Giordano/via Bonicoli, che ha raggiunto la profondità di -35,00 m da p.c..

Durante la perforazione è stato prelevato un campione indisturbato.

Sondaggio-campione	Profondità (m)
S2C1	2,00 - 2,30

Su tale campione è stata eseguita analisi granulometrica di laboratorio, che ha permesso di classificare, secondo la definizione A.G.I., come *ghiaia sabbiosa debolmente limosa debolmente argillosa* il campione S2C1.

Per i risultati delle analisi del campione prelevato si rimanda alle tabelle riassuntive in allegato 1.

Infine sono state effettuate le seguenti prove penetrometriche S.P.T. in foro, delle quali si riporta di seguito uno schema riassuntivo sulla profondità e sui risultati della stessa.

Tabella riassuntiva delle prove penetrometriche dinamiche SPT in foro		
Note: Impiego di punta conica in acciaio		
	Profondità (m da p.c.)	n. colpi
(S2) SPT 1	2,50 – 2,95	10-9-9
(S2) SPT 2	5,00	14-16-21

3.3 – Caratteristiche litologico-stratigrafiche

Sulla base delle indagini eseguite in corrispondenza dell'area in oggetto (localizzazione indagini fig.8), si riporta di seguito l'assetto stratigrafico e litologico, verosimilmente ricostruito, per gli interventi in oggetto.

Nello specifico, analizzando i dati ottenuti dalla prova penetrometrica dinamica DA e del sondaggio S2, è stato caratterizzato l'assetto stratigrafico in corrispondenza dell'intervento che prevede la realizzazione del Mercato Metropolitan in via Giordano.

In prossimità di quest'area lo spessore di terreno rimaneggiato risulta dell'ordine dei 0,70 m da sondaggio S2, al di sotto del quale si rinvencono terreni limoso-argillosi, con rari elementi ghiaiosi, mediamente addensati, fino alla profondità di -1,30 m da p.c.. Da tale profondità fino a -4,20 m da p.c., si individua uno strato di ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa-limosa. Da -4,20 m da p.c. fino a fondo foro S2 (-35,00 m da p.c.), si rinvencono ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa, debolmente argillose e mediamente addensate.

1 – Terreno rimaneggiato e/o di riporto e soletta di cemento (da p.c. fino a -0,70 m da p.c. in S2);

2 – Limo sabbioso, debolmente argilloso, mediamente addensato (da -0,70 m in D2 a -1,30 m da p.c. in S2);

3a – Ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa, debolmente argillosa, mediamente compatta (-1,30 m da p.c. a -4,20 m in S2);

3b – Ciottoli e ghiaie in matrice sabbiosa-limosa, addensati (da -4,20 m a -35,00 m da p.c. in S2).

Per la stratigrafia ricostruita dal sondaggio S2 si rimanda all'allegato 2.

3.4 – Caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni

Le indagini eseguite in situ hanno permesso di attribuire i seguenti parametri geotecnici agli orizzonti sopra definiti, in termini di valori caratteristici come indicato nelle nuove NTC (6.2.2).

Prova D2, S2 - Realizzazione del Mercato Metropolitan							
Orizzonte	Stratigrafia schematica S2	profondità (m)	ϕ (°)	C' (KN/m ²)	Cu (KN/m ²)	Ed (KN/m ²)	γ (KN/m ³)
1	Terreno rimaneggiato e/o riporto	0,00 – 0,70	-	-	-	-	-
2	Limo sabbioso, debolmente argilloso, mediamente addensato	0,70 – 1,30 m	24	5	50	5.500	18,5
3	Ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa, debolmente argillosa, da mediamente addensate ad addensati	1,30 m – 35,00 m	34	-	-	34.000	18,5

dove:

ϕ =angolo di attrito

C'=coesione efficace

Cu=coesione non drenata

Ed=modulo edometrico

γ = peso di volume del terreno

3.5 – Categoria di sottosuolo

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) propongono l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del sottosuolo, mediante cinque tipologie di suoli (A - B - C - D – E più altri due speciali: S1 e S2), da individuare attraverso la stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio mediate, ovvero sul numero di colpi N_{spt} ottenuti in una prova penetrometrica dinamica, ovvero sulla coesione non drenata media Cu. Dal punto di vista strettamente normativo si fa riferimento al punto 3.2.2 del D.M. 14/01/2008 (Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche).

In base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti Categorie di Sottosuolo:

categoria	Descrizione
-----------	-------------

A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione 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> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 \text{ kPa} < Cu_{30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} < 70 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fine)
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 \text{ kPa} < Cu_{30} < 20 \text{ kPa}$), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 3.2.II (NTC) – Categorie di sottosuolo

In base ai risultati dell'indagine sismica eseguita è stato calcolato il parametro V_{s30} attraverso la seguente formula:

$$V_{s30} = 30 / \sum_i (h_i / V_i)$$

I valori di V_{s30} , per la prova geofisica eseguita, ha restituito velocità di **574 m/sec** per la prova Down-Hole eseguita in Via Giordano/via Bonicoli (intervento del Mercato Metropolitan), indicante, in riferimento al D.M. 14/01/2008, un sottosuolo di **categoria "B"**, ovvero si tratta di "*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti*", con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)".

Per ulteriori dettagli si rimanda all'allegato 3.

3.6 – Idrogeologia di dettaglio e condizioni piezometriche

In accordo con l'indagine idrogeologica condotta in fase di progetto definitivo secondo cui la misurazione avvenuta in data 02.02.2017 nei fori delle prove penetrometriche attrezzati con tubo piezometrico, non aveva rivelato la presenza di alcun livello acquifero entro la profondità di -5,60 m da p.c. nel foro in via Giordano, l'indagine idrogeologica realizzata in fase di progetto esecutivo ha rilevato quanto segue:

- La possibilità di disporre di un pozzo esistente nel lotto in via Giordano (Mercato Metropolitano), ha consentito la misura piezometrica, in data 01.06.2017, del livello della falda a -22,90 m da p.c..

Tale dato risulta coerente con quanto già espresso in fase di progetto definitivo, relativamente alla misura piezometrica effettuata, previo accordo con il proprietario, all'interno di un ulteriore pozzo esistente in lotto in via Giordano, effettuata in data 02.02.2017, nel quale era stato intercettato il livello della falda a -21,5 m p.c..

Non si rilevano nell'area in esame pozzi ad uso acquedottistico, né relative zone di rispetto ai sensi dell'art. 94 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i..

4 – SISMICITA'

Nell'ambito dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274/03 sono state individuate (anche per la Regione Toscana) 4 zone, delle quali le prime tre coincidono con quelle individuate dalla L. n. 64/74 e successivi D.M. ad essa collegati, mentre la quarta è di nuova costituzione.

In relazione alla classificazione sismica approvata dalla Regione Toscana con Del. G.R.T. n. 421 del 26/05/2014 (pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04/06/2014), il comune di Prato (PO) è classificato in zona sismica 3.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14/01/08, la stima della pericolosità sismica viene inoltre definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale per la determinazione dell'azione sismica.

In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale del valore dell'accelerazione massima a_g al sito e dei parametri (F_0 e T_c^*), che permettono di definire gli spettri di risposta elastici per la generica probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR.

E' necessario pertanto determinare i parametri spettrali relativi al sito di intervento utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento riportato nella tab. 1 dell'allegato B del suddetto decreto.

Lo scuotimento al suolo così individuato deve essere corretto per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie:

Categoria di sottosuolo **B**

Coefficiente di amplificazione stratigrafica **SS= 1,20** (tabella 3.2.V -NTC)

Coefficiente di amplificazione topografica **ST= 1,00** (tabella 3.2.VI -NTC per categoria topografica T1 in via cautelativa in tabella 3.2.IV)

Tipo di costruzione	2
Vita nominale VN	≥ 50 anni
Classe d'uso	III
Coefficiente d'uso Cu	1,50
Vita o periodo di riferimento VR=VN x Cu	≥ 75 anni

Partendo dunque dai seguenti dati relativi alla costruzione in oggetto:

Per il sito di interesse, prendendo a riferimento il Mercato Metropolitan in via Giordano, sono stati ricavati, mediante l'utilizzo del programma di calcolo della GeoStru, i seguenti parametri sismici.

Parametri sismici - Mercato metropolitano

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido:0

Sito in esame.

latitudine: 43,886262

longitudine: 11,085622

Classe: 3

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 19390 Lat: 43,9098Lon: 11,0615 Distanza: 3253,230

Sito 2 ID: 19391 Lat: 43,9112Lon: 11,1308 Distanza: 4556,694

Sito 3 ID: 19613 Lat: 43,8612 Lon: 11,1327 Distanza: 4692,367

Sito 4 ID: 19612 Lat: 43,8598 Lon: 11,0634 Distanza: 3438,237

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75anni
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 45 [anni]
ag: 0,058 g
Fo: 2,543
Tc*: 0,263 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 75 [anni]
ag: 0,071 g
Fo: 2,536
Tc*: 0,274 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 712 [anni]
ag: 0,165 g
Fo: 2,406
Tc*: 0,305 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1462 [anni]
ag: 0,207 g
Fo: 2,400
Tc*: 0,314 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,440
St: 1,000
Kh: 0,014
Kv: 0,007
Amax: 0,688
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,420
St: 1,000
Kh: 0,017
Kv: 0,009
Amax: 0,839
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,200
Cc: 1,390
St: 1,000
Kh: 0,047
Kv: 0,024
Amax: 1,938
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,200
Cc: 1,390
St: 1,000
Kh: 0,070
Kv: 0,035
Amax: 2,437
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 43.885306

longitudine: 11.084633

5 - CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

5.1 – Parametri caratteristici e di progetto

In relazione alle caratteristiche stratigrafiche dei terreni, le fondazioni di tipo a trave rovescia dovranno essere impostate alla profondità minima di -1,50 m da p.c., in modo da posizionarsi al di sotto del terreno di riporto e dello strato limoso.

Nell'ipotesi di impostare le fondazioni a -1,50 m da p.c., l'unità litotecnica di fondazione sarà costituita dall'**orizzonte 3 - Ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa, debolmente argillosa, da mediamente addensate ad addensati.**

I parametri caratteristici sono riportati nuovamente nelle tabelle sottostanti, con le unità litotecniche di riferimento per le necessarie verifiche:

Prova D2, S2 - Realizzazione del Mercato Metropolitan							
Orizzonte	Stratigrafia schematica S2	profondità (m)	ϕ (°)	C' (KN/m ²)	Cu (KN/m ²)	Ed (KN/m ²)	γ (KN/m ³)
1	Terreno rimaneggiato e/o riporto	0,00 – 0,70	-	-	-	-	-
2	Limo sabbioso, debolmente argilloso, mediamente addensato	0,70 – 1,30 m	24	5	50	5.500	18,5
3	Ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa, debolmente argillosa, da mediamente addensate ad addensati	1,30 m – 35,00 m	34	-	-	34.000	18,5

dove:

ϕ =angolo di attrito

C'=coesione efficace

Cu=coesione non drenata

Ed=modulo edometrico

γ = peso di volume del terreno

Le resistenze di progetto necessarie per le verifiche della sicurezza (SLU) saranno dunque calcolate per l'unità litotecnica 3 costituita da **Ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa,**

debolmente argillosa, da mediamente addensate ad addensati, caratterizzata dai seguenti parametri caratteristici (V_k):

C_u = coesione non drenata = 0 kN/m²

C' = coesione efficace = 0 kN/m²

ϕ'_k =angolo di attrito = 34°

I valori di progetto da adottare nel calcolo per Combinazioni contenenti M2 si ottengono dividendo i valori caratteristici per un coefficiente riduttivo parziale, secondo quanto indicato nelle NTC (Tabella 6.2.II delle NTC DM 14/01/2008).

La fattibilità e parametrizzazione geotecnica proposti sono basati sulla campagna d'indagine eseguita, la cui natura puntuale rende obbligatoria la verifica delle assunzioni fatte, in fase di esecuzione dei lavori; **si prescrive quindi l'assistenza geologica durante l'esecuzione degli scavi**. Si ricorda che eventuali difformità rispetto alle ipotesi progettuali comporteranno necessariamente una verifica dei dimensionamenti previsti. Lo scrivente si rende comunque fin da ora disponibile a fornire integrazioni a quelle attuali secondo le diverse esigenze della Committenza, del Progettista Geotecnico (in merito alla necessità di una maggiore definizione della campagna geognostica ai fini della caratterizzazione-modellazione geotecnica), della Direzione Lavori e degli uffici preposti alla disamina della pratica in oggetto.

Certaldo, luglio 2017

Il Geologo

Dott. Geol.

Alessandro MURRATZU



ELABORATI CARTOGRAFICI

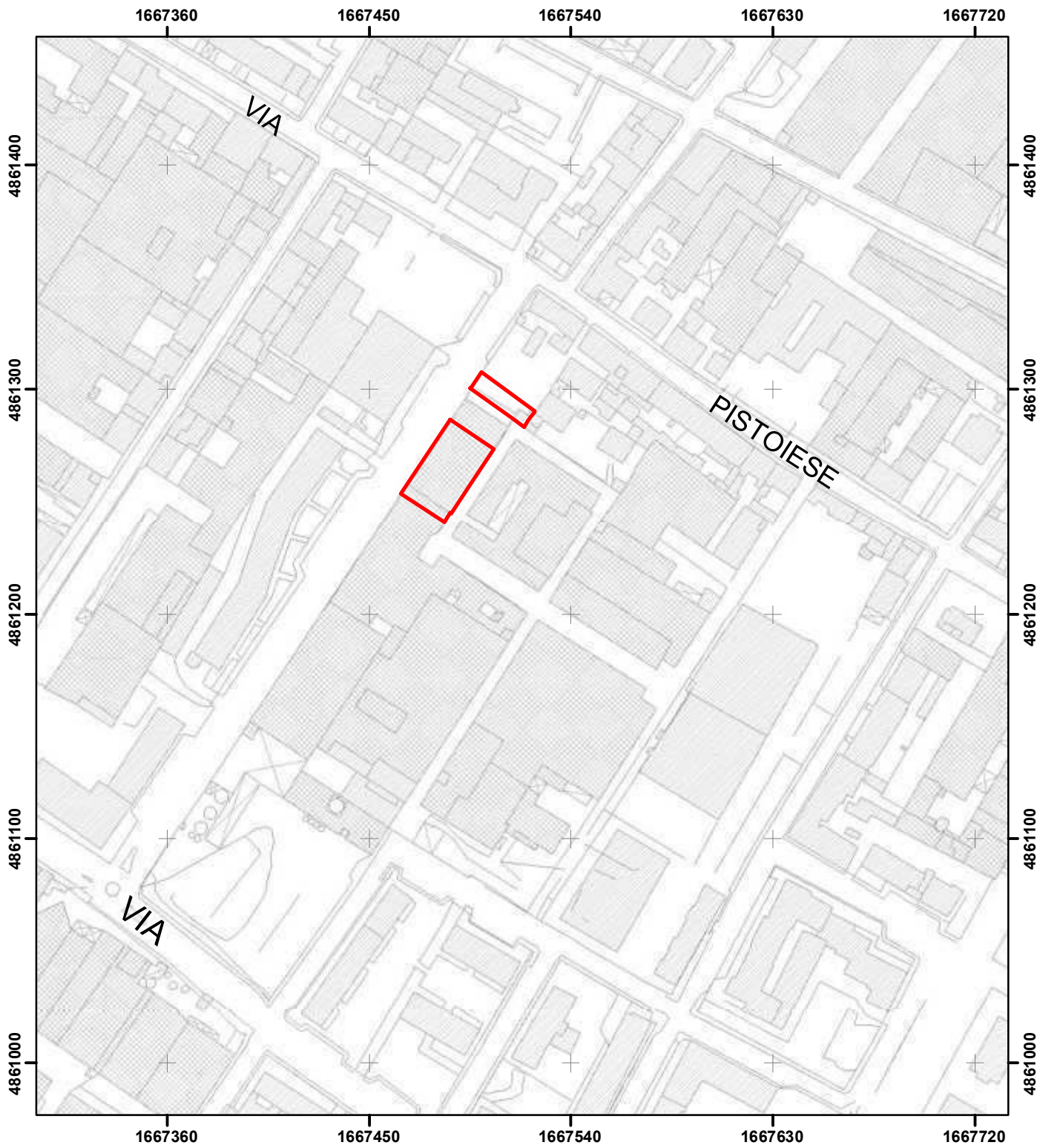
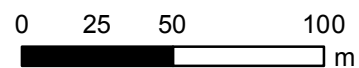


FIG.1 - Corografia generale
sulla base CTR



LEGENDA

 Area oggetto di intervento



SCALA 1:2.500

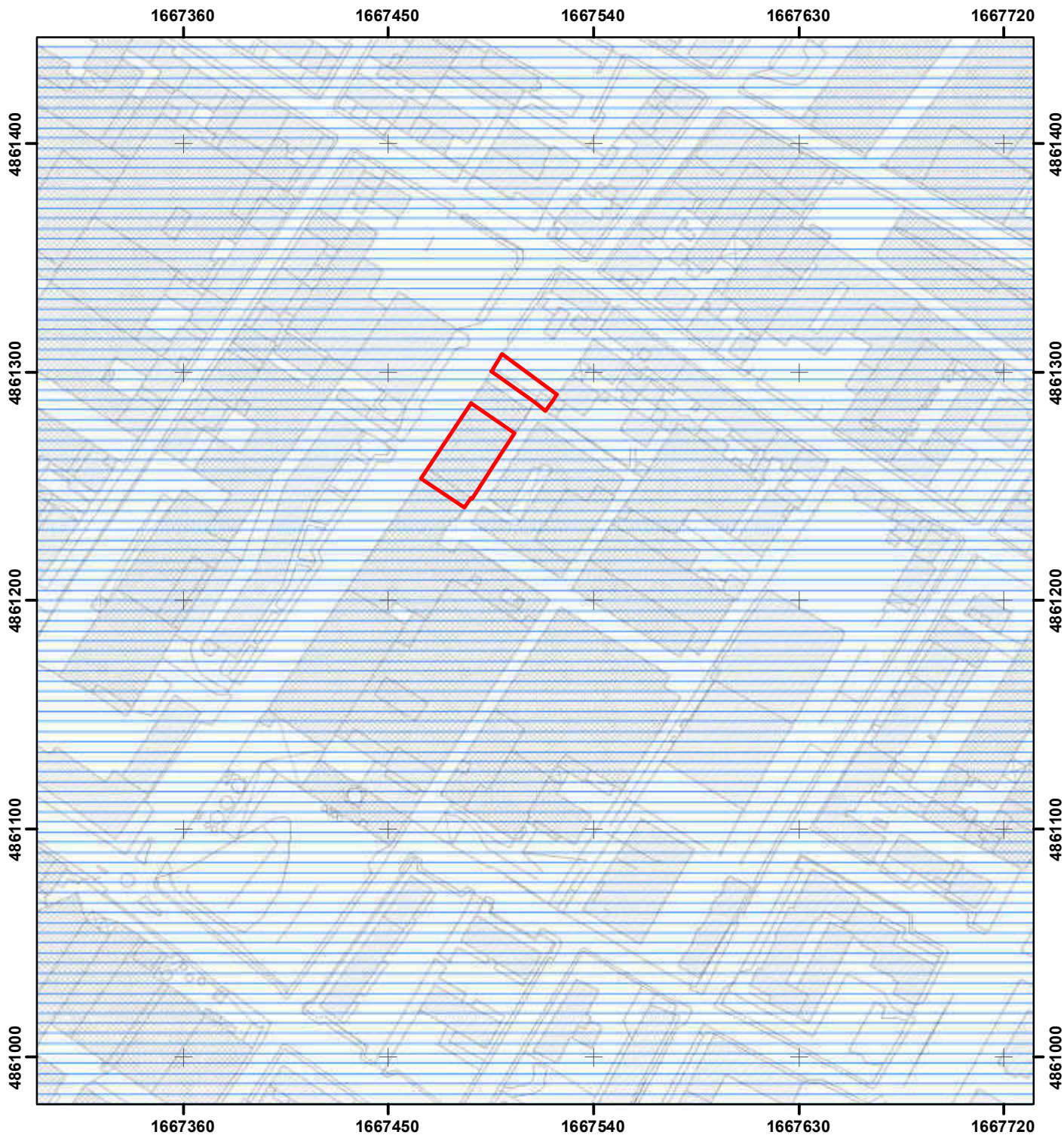
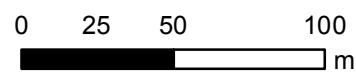


FIG.2 - Estratto Carta Geomorfológica
 Piano Strutturale
 Comune di Prato

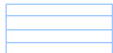


SCALA 1:2.500

LEGENDA

 Area oggetto di intervento

DINAMICHE DELLE ACQUE SUPERFICIALI
 Forme di accumulo

 Conoidi

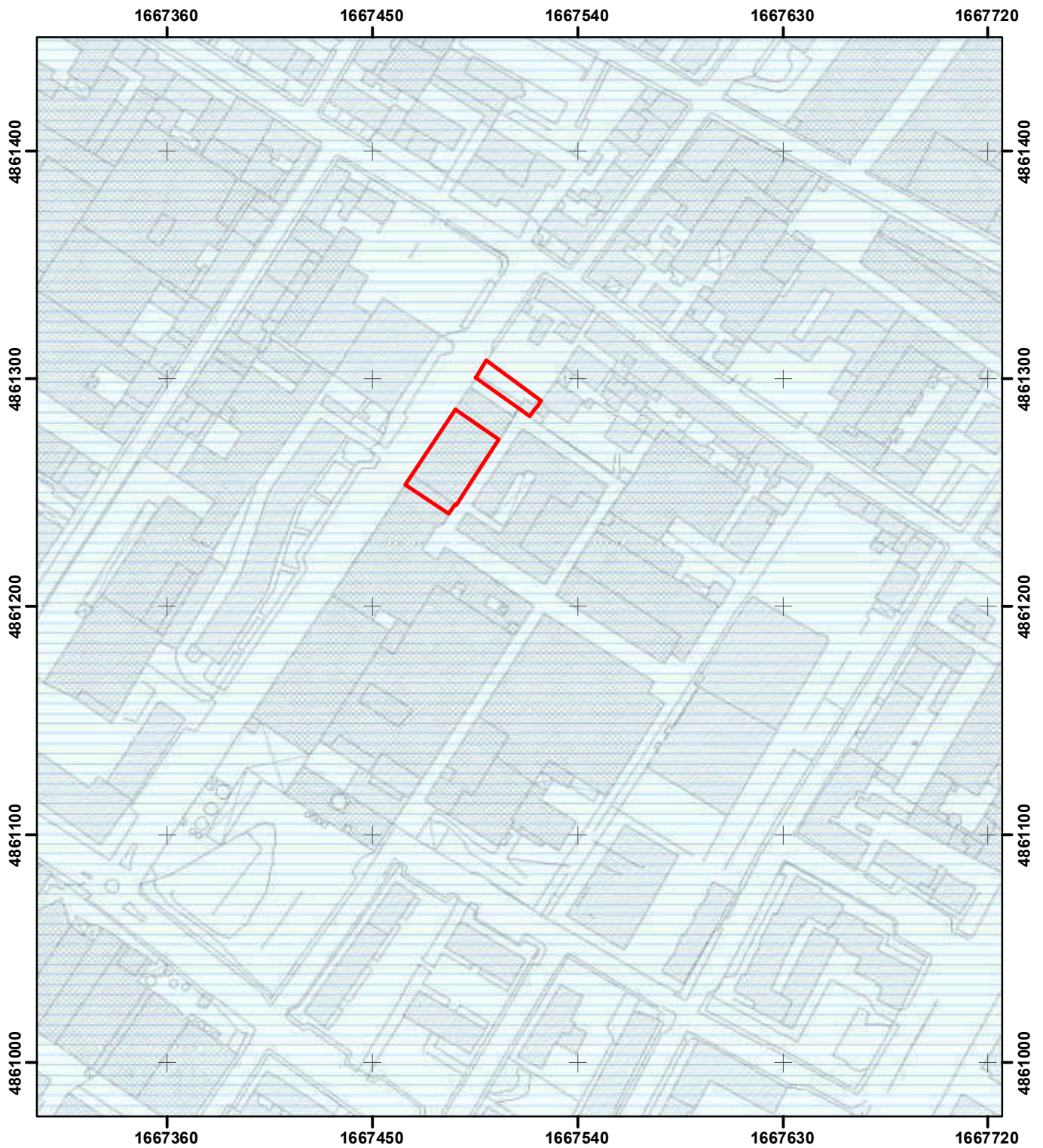



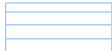
FIG.3 - Estratto Carta Geologica
 Piano Strutturale
 Comune di Prato

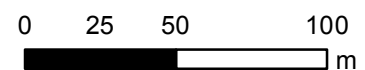


LEGENDA

 Area oggetto di intervento

DEPOSITI ALLUVIONALI

 Recenti  Conoidi



SCALA 1:2.500

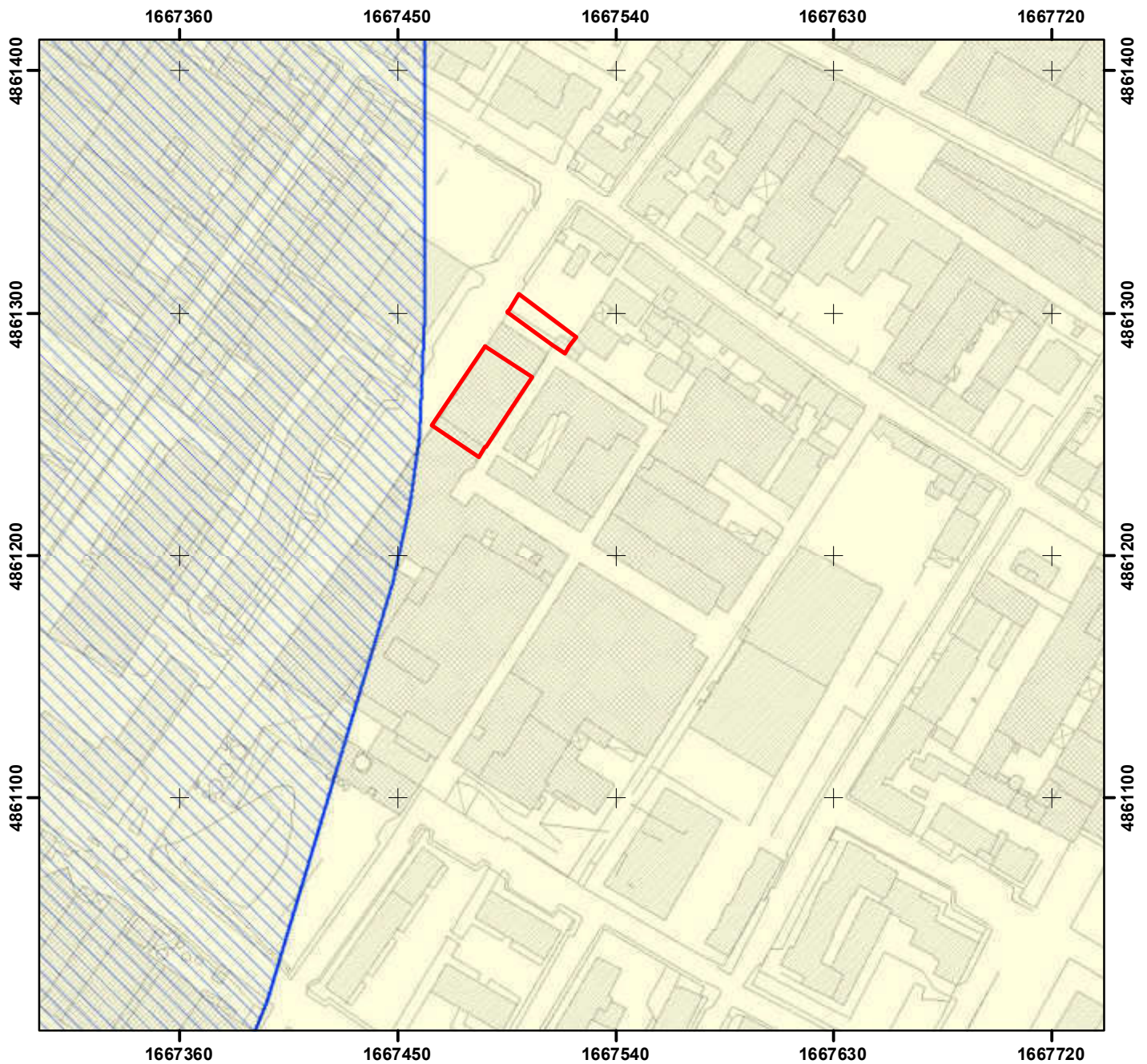
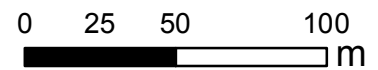


FIG.4 - Carta della Pericolosità Geologica
Comune di Prato



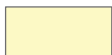
SCALA 1:2.500

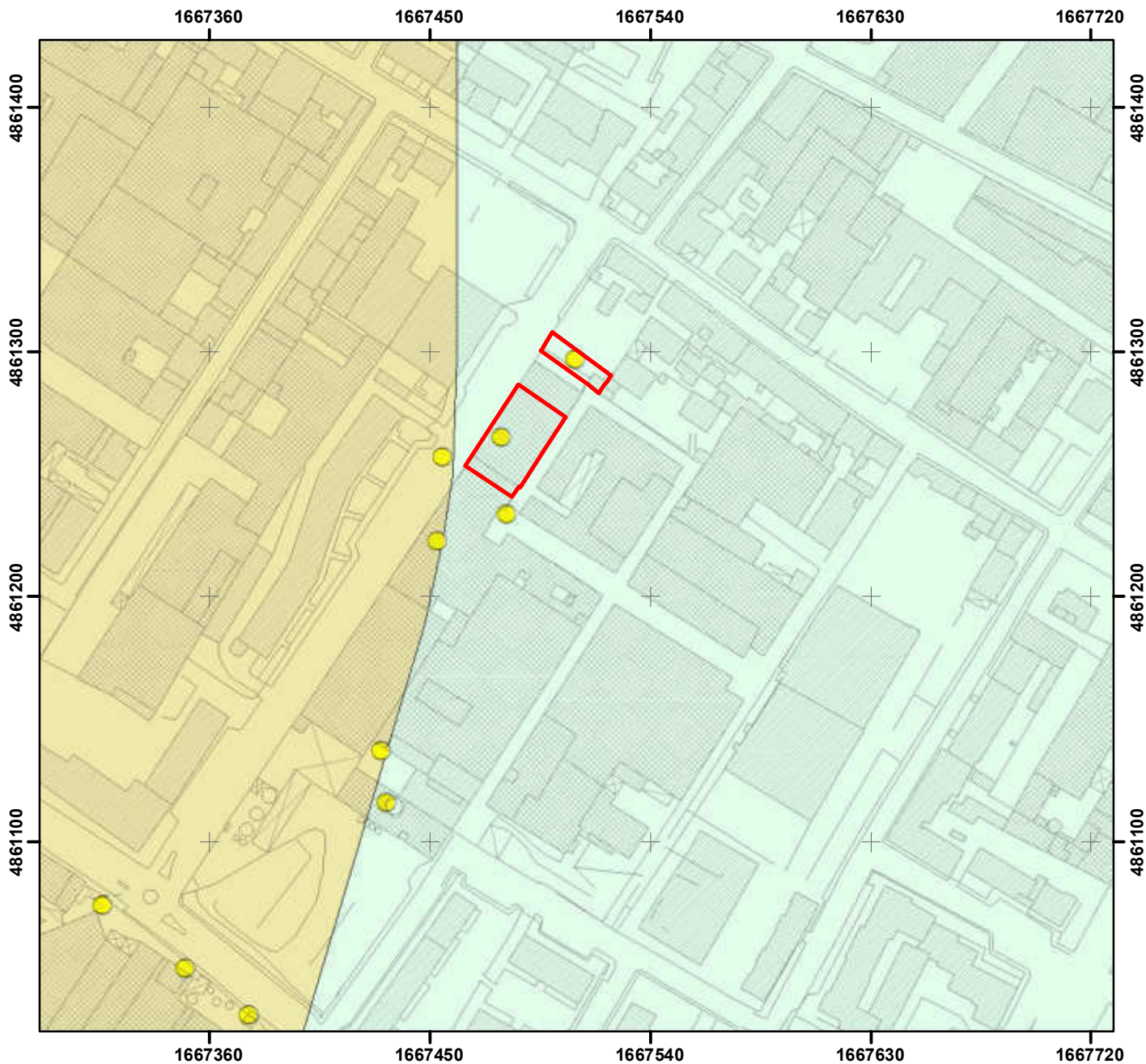
LEGENDA

 Area oggetto di intervento

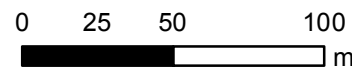
PERICOLOSITA' GEOLOGICA DA VARIANTE R.U.

 G.3 - Terreni a pericolosità Geologica elevata

 G.1 - Terreni a pericolosità Geologica bassa




**FIG.5 - Estratto Carta Subsidenza
Piano Strutturale
Comune di Prato**





SCALA 1:2.500

LEGENDA

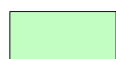
 Area oggetto di intervento


 Pozzo privato ad uso industriale

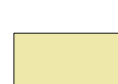
 Pozzo per approvvigionamento idrico dell'acquedotto

 Isopache in metri dei livelli di ghiaie acquifere entro i primi 55 metri dal piano campagna

Classificazione delle zone interessate dal fenomeno della subsidenza in funzione della velocità relativa media di spostamento (1992-2010)

 da 0 a +3,5 mm/anno

 da 0 a -5,0 mm/anno

 da -5,0 a -10,0 mm/anno

 da -10,0 a -30,0 mm/anno

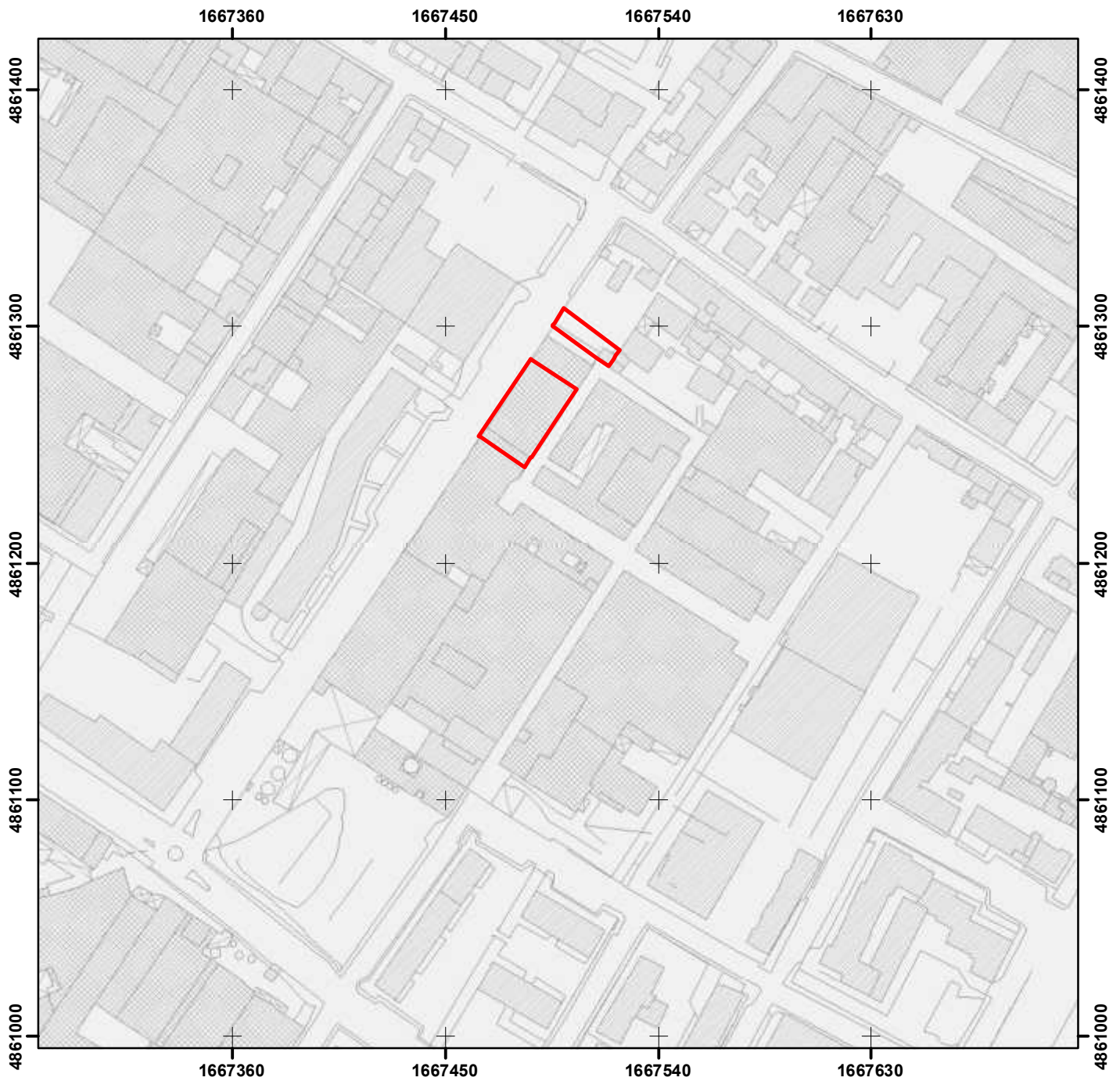
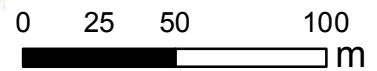


FIG.6 - Carta della Pericolosità Idraulica
Comune di Prato




SCALA 1:2.500

LEGENDA

 Area oggetto di intervento

PERICOLOSITA' IDRAULICA DA VARIANTE R.U.

 I.1 - Pericolosità idraulica bassa

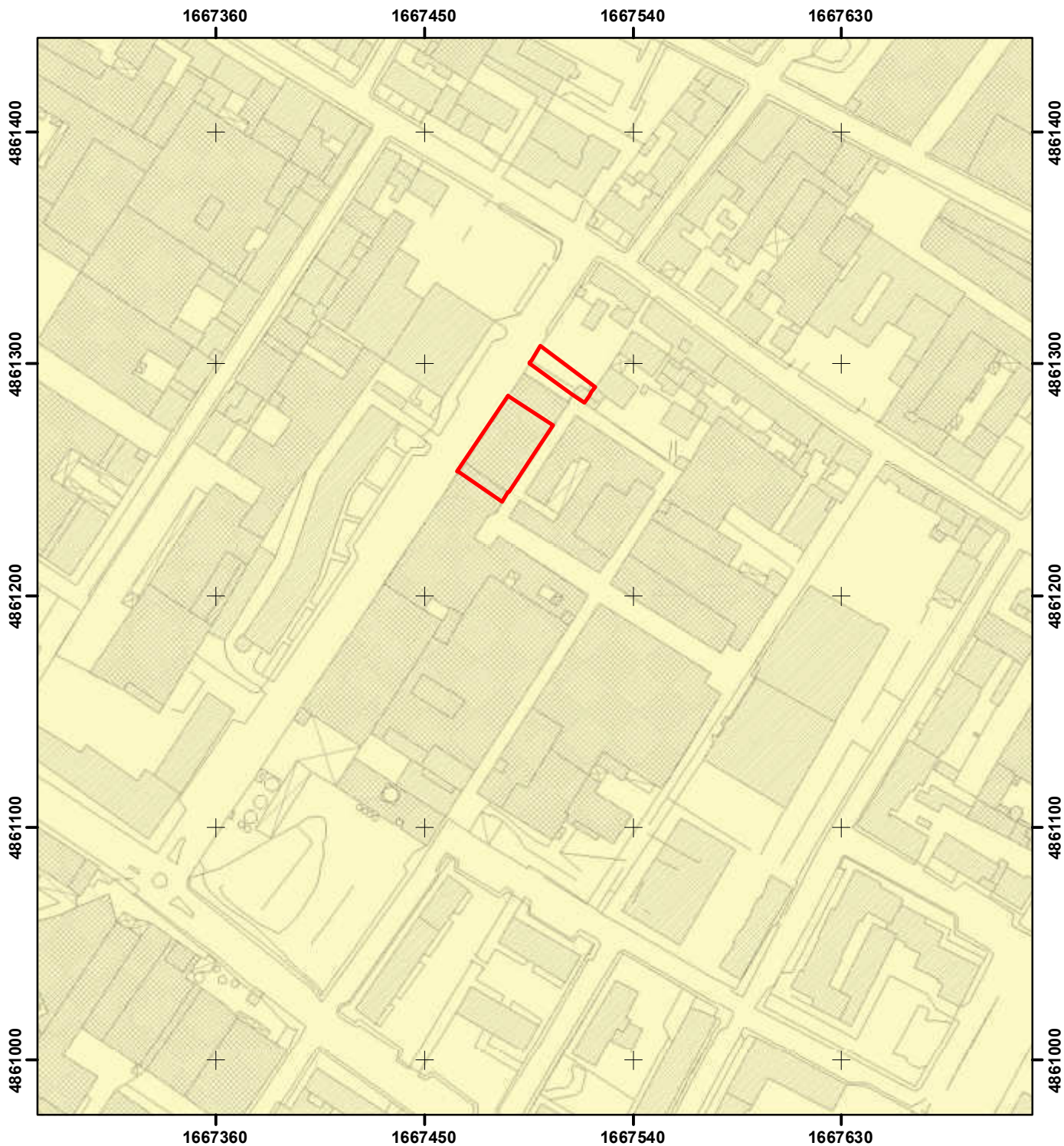
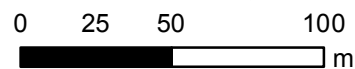


FIG.7 - Estratto Carta Pericolosità
sismica locale
Microzonazione livello 1
Comune di Prato



SCALA 1:2.500

LEGENDA

 Area oggetto di intervento

PERICOLOSITA' SISMICA DA VARIANTE AL R.U.

 S.2 - Pericolosità sismica locale media

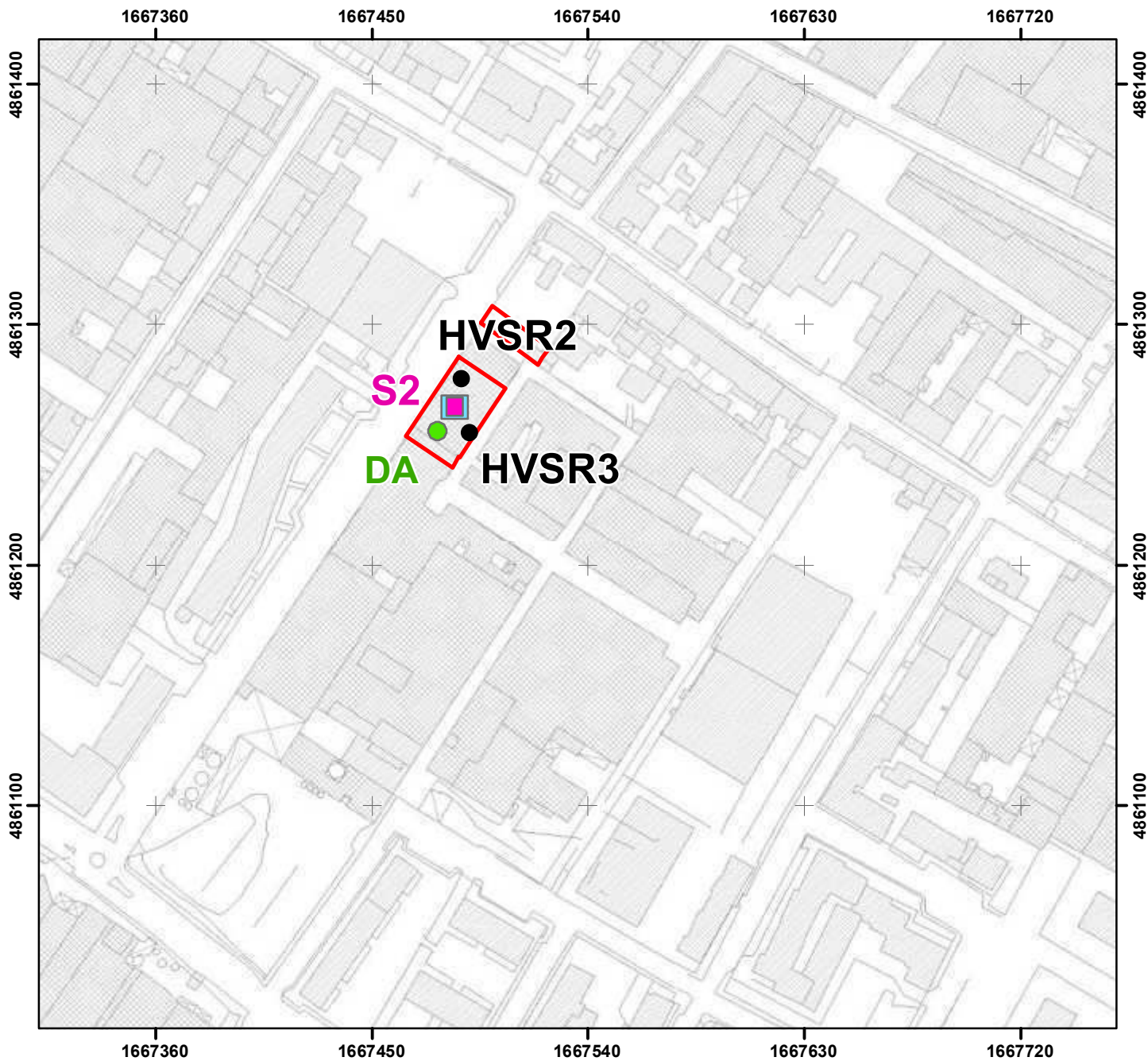







FIG.8 - Indagini Geognostiche
a supporto del Progetto Esecutivo
Comune di Prato

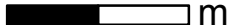


LEGENDA

-  Area oggetto di intervento
-  Prove penetrometriche dinamiche
-  Sondaggi
-  Indagini geofisiche down-hole
-  HVSR



0 15 30 60
m



Allegato 1:

Certificati prove penetrometriche e analisi di laboratorio (giugno 2017)

Gea s.n.c. - Indagini Geognostiche

Sede: Via delle Pratella 18/20 Montelupo F.no (FI)
Tel. 0571-1738160 Fax. 055-7320415

Committente: Studio Geol. A. Murratzu	Indagine: VA-105-17 Rapporto : 125-17 Prova n° DA
Località: Prato - Play Ground	in data: 01/06/17
Note sulla committenza: ==	
Note relative alla prova: ==	
Falda rilevata alla profondità di cm: ==	Numero aste alla profondità iniziale: 2

Z	N colpi	N aste	Rd
20	5	2	48,78
40	8	2	78,04
60	5	2	48,78
80	15	2	146,33
100	4	2	39,02
120	2	3	17,89
140	2	3	17,89
160	2	3	17,89
180	2	3	17,89
200	5	3	44,74
220	6	4	49,58
240	7	4	57,84
260	5	4	41,31
280	8	4	66,10
300	8	4	66,10
320	10	5	76,76
340	12	5	92,11
360	11	5	84,43
380	11	5	84,43
400	9	5	69,08
420	10	6	71,66
440	23	6	164,82
460	26	6	186,32
480	21	6	150,49
500	22	6	157,66
520	18	7	120,97
540	27	7	181,45
560	27	7	181,45
580	18	7	120,97
600	17	7	114,25
620	12	8	75,92
640	13	8	82,25
660	16	8	101,23
680	19	8	120,21
700	23	8	145,51
720	27	9	161,37
740	21	9	125,51
760	19	9	113,56
780	24	9	143,44
800	23	9	137,46
820	21	10	118,93

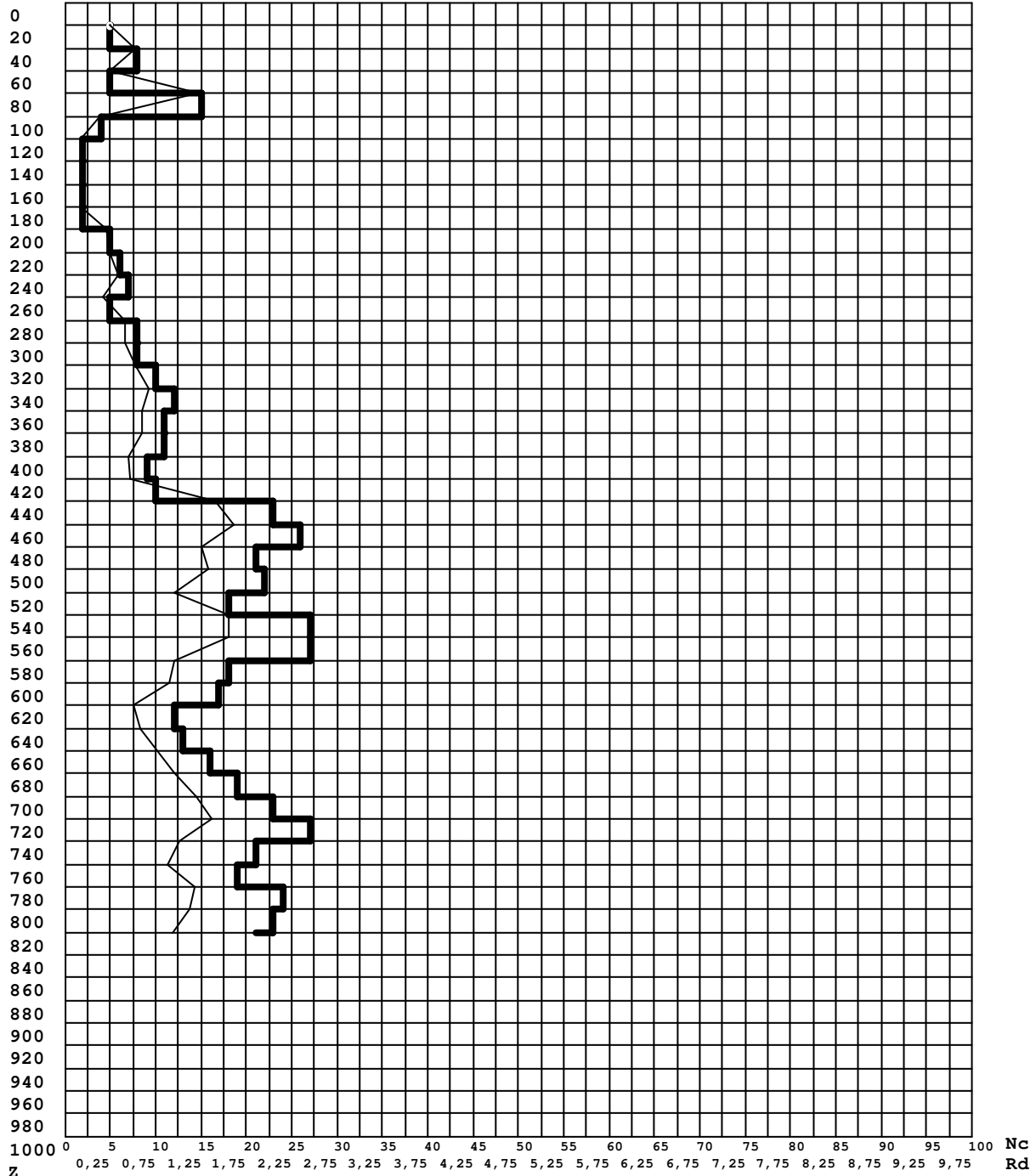
Legenda Parametri Geotecnici:

Z - Profondità dal piano di campagna (in cm) . N - Numero di colpi.

Rd - Resistenza penetr. dinamica (in Kg/cm2) ottenuta tramite formula olandese estesa. Aste - Num. aste alla profondità Z.

Diagramma Z (N) - Rd (N)

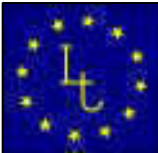
Committente : Studio Geol. A. Murratzu
Note : ==
Indagine : VA-105-17 - Certificato di prova : 125-17
Località : Prato - Play Ground
Numero prova : DA
Data prova : 01/06/17
Note operative : ==
Profondità falda : == (cm)
Num. aste inizio : 2



Legenda

Ascisse : Nc - numero di colpi (tratto grafico marcato)
 : Rd - resistenza penetrazione dinamica (in Kg/cm²)
Ordinata: Z - profondità dal piano di campagna (in centimetri)

Gea s.n.c. - Indagini Geognostiche
Sede: Via delle Pratella 18/20 Montelupo F.no (FI)
Tel. 0571-1738160 Fax. 055-7320415



IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Certificato di Prova n. 624/2017

Montelupo Fiorentino li 27/06/2017

SETTORE: meccanica delle terre

V.A. n. 108/2017 del 31/05/17

COMMITTENTE: Studio Geologico Murratzu

LOCALITA': Macrolotto 0, Prato

DATA ESECUZIONE PROVE: 08/06/17 - 20/06/17

CAMPIONI:

S2C1 profondità 2.0 - 2.4 m

Prove eseguite

- 1 - Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)
- 2 - Analisi granulometrica per setacciatura: per via umida (UNI CEN ISO/TS 17892-4)
- 3 - Analisi granulometrica della frazione fine: metodo del densimetro (UNI CEN ISO/TS 17892-4)

Lo sperimentatore
Sig. Alessandro Caloni



Il direttore del Laboratorio
Geol. Michele Caloni



IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Pag. 1 di 3

CERTIFICATO DI PROVA N.624/2017

CAMPIONE S2C1 profondità 2.0 - 2.4 m

COMMITTENTE: Studio Geologico Murratzu

LOCALITA': Macrolotto 0, Prato

Montelupo Fiorentino li 27/06/2017

V.A. n. 108/2017 del 31/05/17

Data apertura campione: 08/06/17

Descrizione del campione

Campione indisturbato prelevato con campionatore Shelby di diametro di 88.9 mm da sondaggio eseguito a rotazione a carotaggio continuo

0 -19 cm: elementi litici in matrice limosa sabbiosa

colore marrone

prove eseguite: granulometria



Classe e grado di qualità (sec. A.G.I.)

Campione indisturbato Q-5

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Wn (%) 15.78

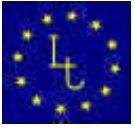
Lo sperimentatore

Sig. Alessandro Caloni



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni



CERTIFICATO DI PROVA N.624/2017

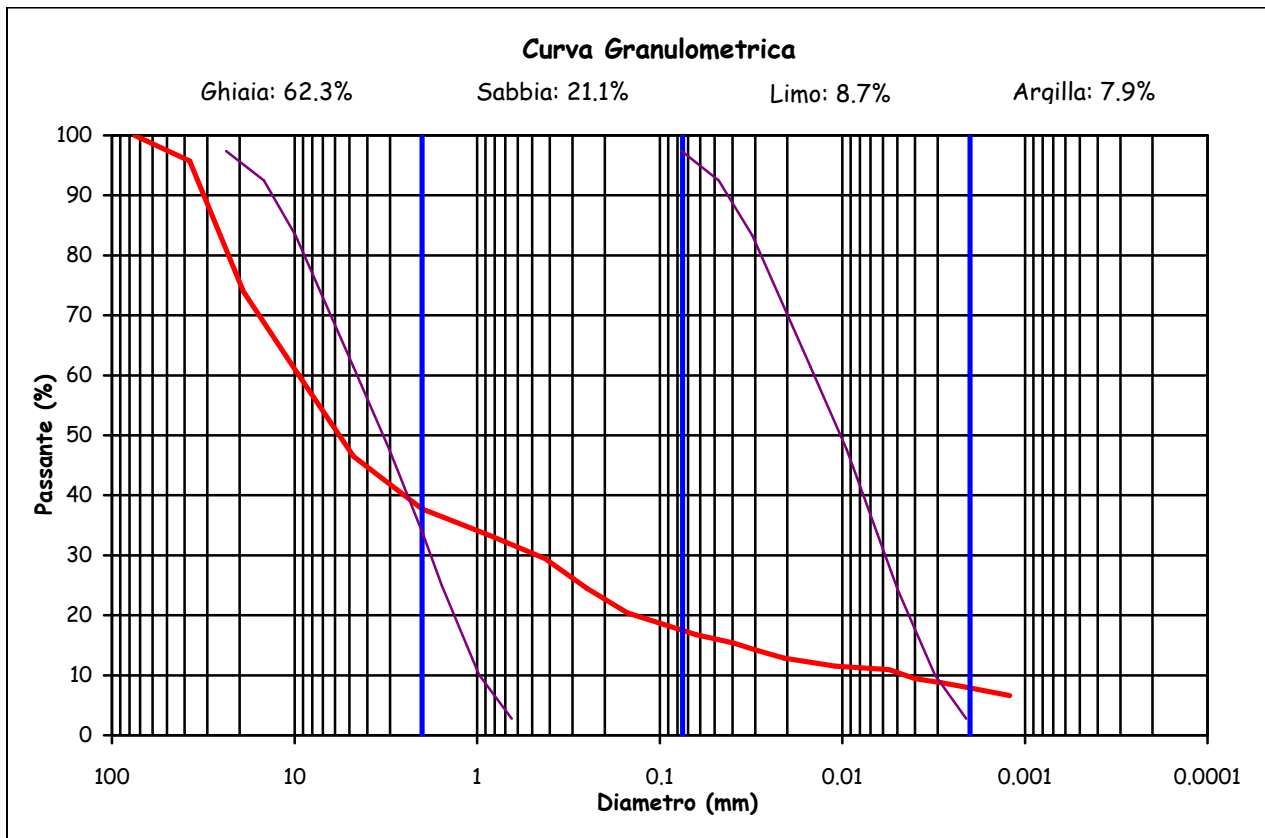
CAMPIONE S2C1 profondità 2.0 - 2.4 m	Montelupo Fiorentino li 27/06/2017
COMMITTENTE: Studio Geologico Murratzu	V.A. n. 108/2017 del 31/05/17
LOCALITA': Macrolotto 0, Prato	Data prova: 08/06/17 - 20/06/17

Analisi granulometrica

Setacciatura: per via umida (UNI CEN ISO/TS 17892 4)

Frazione fine: metodo del densimetro (UNI CEN ISO/TS 17892 4)

Setacciatura		Sedimentazione	
Diametro (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Passante (%)
75	100	0.0400	15.4
37.5	95.7	0.0289	14.1
19	73.9	0.0208	12.8
9.5	60.1	0.0110	11.5
4.75	46.5	0.0055	10.9
2	37.7	0.0040	9.4
0.850	33.3	0.0029	8.8
0.425	29.5	0.0021	8.0
0.250	24.5	0.0012	6.6
0.150	20.4		
0.063	16.7		



Definizione secondo A.G.I.:

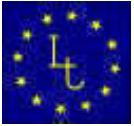
Ghiaia sabbiosa debolmente limosa debolmente argillosa

Fusi granulometrici critici nei confronti della liquefazione (Tsuchida, 1970)

Lo sperimentatore
Sig. Alessandro Caloni



Il direttore del Laboratorio
Geol. Michele Caloni



CERTIFICATO DI PROVA N.624/2017

CAMPIONE S2C1 profondità 2.0 - 2.4 m

Montelupo Fiorentino li 27/06/2017

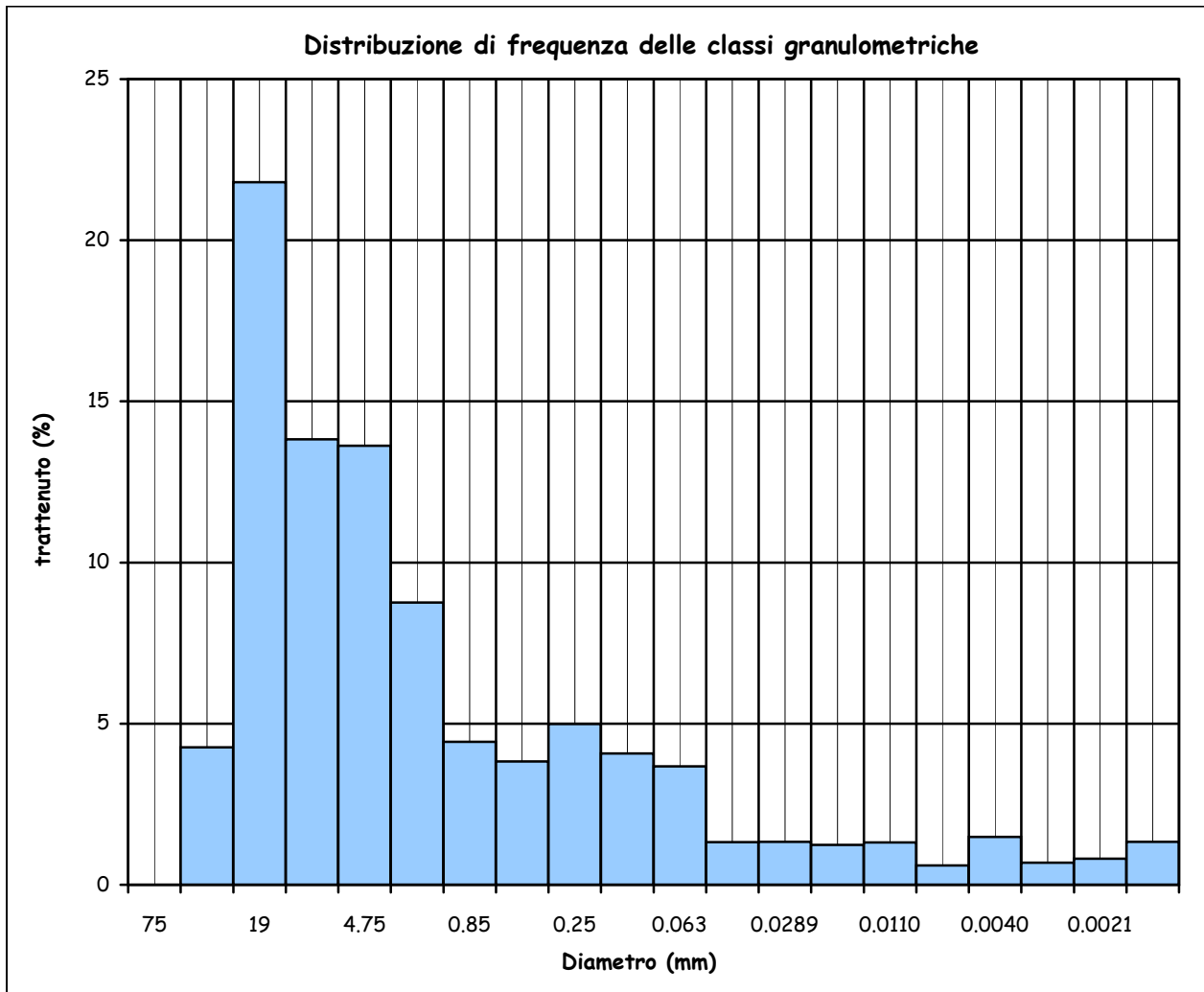
COMMITTENTE: Studio Geologico Murratzu

V.A. n. 108/2017 del 31/05/17

LOCALITA': Macrolotto 0, Prato

Data prova: 08/06/17 - 20/06/17

Analisi granulometrica



Coefficiente di uniformità (Cu) = 2066.7

Coefficiente di curvatura (Cc) = 5.4

Mediana 6.0

Moda 19.0

Lo sperimentatore

Sig. Alessandro Caloni



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni



IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

COMMITTENTE: Studio Geologico Murratzu
LOCALITÀ: Macrolotto 0, Prato

Montelupo Fiorentino li 27/06/2017
V.A. n. 108/2017 del 31/05/17

Tabella riassuntiva Certificato di Prova n. 624/2017

CAMPIONE	S2C1
Profondità metri	2.0 - 2.4
Granulometria	
Ghiaia (%)	62.3
Sabbia (%)	21.1
Limo (%)	8.7
Argilla (%)	7.9
Contenuto d'acqua	
Wn (%)	15.78

Michele Calmo



Allegato 2:

Stratigrafia sondaggio (giugno 2017)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
Via Giordano / Via Bonicoli - Comune di Prato (PO)



Ubicazione del Sondaggio S1



Sondaggio S1: da p.c. a -5,00 m da p.c.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
Via Giordano / Via Bonicoli - Comune di Prato (PO)



Sondaggio S1 : da -5,00 a -10,00 m da p.c.



Sondaggio S1 : da -10,00 a -15,00 m da p.c.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Via Giordano / Via Bonicoli - Comune di Prato (PO)



Sondaggio S1: da -15,00 a -20,00 m da p.c.
da -20,00 m a -35,00 m - distruzione di nucleo

Allegato 3:

Indagini sismiche Down-hole e HVSR (giugno 2017)



IGETECMA s.n.c. Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Laboratorio autorizzato con D.M. n. 54143 del 07/11/2005 ai sensi della Circolare 08/09/10 n. 7618/STC

Esecuzione e certificazione prove geotecniche – settore A

Laboratorio autorizzato con D.M. n. 162 del 19/04/2011 ai sensi dell'art. 20 della L. n. 1086/71

Prove e controlli su strutture e materiali da costruzione – settore A

Rapporto di Prova n°203/17/S

Montelupo Fiorentino 21/06/2017

SETTORE: Geofisica - sismica a rifrazione con onde P e SH
COMMITTENTE: STUDIO GEOLOGICO MURRATZU
CANTIERE: Via Pistoiese, Via Bonicoli, Prato (PO)
RICHIEDENTE: GEOL. A. MURRATZU
RIFERIMENTO: R.P.E. n°198/17

Indice:

- 1 Scopo dell'indagine (Pag.2)
- 2 Correlazione fra velocità delle onde sismiche e parametri elastico-dinamici (Pag.2)
- 3 Indagine mediante sismica a rifrazione (Pag.4)
 - 3.1 Procedure di campagna (Pag.4)
 - 3.2 Metodo di elaborazione dei dati (Pag.5)
- 4 HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) (Pag.6)
 - 4.1 Principi teorici (Pag.6)
 - 4.2 Acquisizione ed elaborazione (Pag.8)
- 5 Presentazione dei dati (Pag.9)
- 6 Risultati dell'indagine (Pag.9)
- 7 Normativa sismica e calcolo del parametro V_{s30} (Pag.9)
- 7 Caratteristiche della strumentazione (Pag.11)

Il Direttore del Laboratorio
Ing. F. Politi

Il Tecnico
Geol. A. Farolfi

Pag. 1 di 26

1 Scopo dell'indagine

Su incarico dello STUDIO GEOLOGICO MURRATZU, è stata eseguita una campagna geofisica composta da due prove Down Hole con onde P e SH e da 3 misura di rumore a stazione singola HVSR, in Via Pistoiese e in Via Bonicoli, Prato (PO). Le prove Down Hole sono state eseguite all'interno di due sondaggi spinti fino alla profondità di 35 m. Scopo dell'indagine è stata la caratterizzazione sismostratigrafica dei terreni, l'individuazione delle frequenze di sito, la ricostruzione delle principali geometrie sepolte, il calcolo dei parametri elastico-dinamici e del Vs30.

2 Correlazione fra velocità delle onde sismiche e parametri elastico-dinamici

Secondo i principi dell'elasticità dei materiali e le leggi che associano le deformazioni subite da un corpo agli sforzi ad esso applicati, è possibile stabilire relazione che forniscono i parametri elastici di un materiale conoscendo i valori di velocità delle onde sismiche di compressione P e di taglio S.

Poiché le tensioni e le deformazioni che si generano sotto l'azione del campo d'onda sismico sono di modesta entità, anche il terreno e le rocce sollecitate in questo ambito possono essere considerati in prima approssimazione come materiali omogenei, isotropi ed elastici, ed è quindi applicabile la legge di Hook (proporzionalità tra lo sforzo applicato σ_{ij} e la deformazione prodotta ϵ_{kl}) espressa come:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \epsilon_{kl}$$

nella quale le costanti di proporzionalità C_{ijkl} sono dette Moduli Elastici. Tali costanti definiscono le proprietà dei materiali, ed assumendo materiali isotropi ed elastici, diminuiscono da 81 a 5, di cui quattro hanno un preciso significato fisico (G , E , K , ν), mentre λ rappresenta una semplificazione nelle formule.

In senso più generale possono essere definite le costanti di Lamè λ e μ come caratteristiche elastiche indipendenti dalle direzioni lungo cui vengono applicate le tensioni o lungo cui vengono registrate le deformazioni. Queste due costanti sono definite dalle relazioni:

$$\lambda = (\nu E) / ((1 + \nu) (1 - 2\nu)) \quad \mu = E / 2 (1 + \nu)$$

Analogamente i due moduli E e ν possono essere espressi in funzione delle costanti di Lamè:

$$E = \mu (3\lambda + 2\nu) / (\lambda + \mu) \quad \nu = \lambda / 2 (\lambda + \mu)$$

Dimensionalmente i moduli elastici G , E , K e le due costanti di Lamè esprimono il rapporto tra una forza ed una superficie e sono quindi delle pressioni, mentre il rapporto di Poisson è adimensionale.

La costante **E** viene definita come rapporto tra sollecitazione e conseguente deformazione longitudinale rappresenta il modulo elastico del materiale (Modulo di Young). E' importante sottolineare che in campo dinamico si parla di modulo elastico dinamico, non statico, proprio perché tale modulo è ricavato dalle velocità delle onde sismiche.

La misura della resistenza del materiale al taglio viene definita come il rapporto tra deformazione e sforzo applicato, ed è chiamata Modulo di Taglio, **G**.

Il rapporto tra la tensione idrostatica e la deformazione cubica definisce il Modulo di compressione volumetrica o Bulk, **k**. Il Modulo di Poisson ν è definito come rapporto tra la deformazione trasversale e quella longitudinale. Un'ultima costante entra a far parte delle relazioni tra caratteristiche elastiche e velocità, la densità ρ del materiale.

Le velocità sismiche possono essere espresse tramite le costanti elastiche con le seguenti relazioni:

$$V_p = ((K + 4/3 G) / \rho)^{1/2}$$

$$V_s = (G / \rho)^{1/2}$$

Pertanto avendo determinato i valori di V_p e V_s ed il valore ρ della densità del materiale attraversato, è possibile calcolare i valori delle costanti elastiche dinamiche che caratterizzano i terreni esaminati con le seguenti relazioni.

$$\nu = (V_p^2 - 2 V_s^2) / (2 (V_p^2 - V_s^2))$$

$$G = \rho V_s^2$$

$$E = 2 \rho V_s^2 (1 + \nu)$$

$$K = (2 \rho V_s^2 (1 + \nu)) / (3 (1 - 2 \nu))$$

Merita di essere ricordato infine che i parametri ricavati da misure dinamiche, cioè mediante l'utilizzo delle velocità delle onde sismiche, hanno in genere valori superiori a quelli ricavati da prove statiche di laboratorio proprio per il diverso campo di sforzo applicato e deformazione raggiunta: le intense ma brevi sollecitazioni provocate dalla propagazione delle onde sismiche si mantengono, infatti, nel campo elastico delle deformazioni del materiale, per cui sebbene in teoria il modulo di Poisson sia considerato stress-indipendente ed i suoi valori risultino compresi tra 0.25 e 0.33, nei porous-media esso risulta stress-dipendente, e presenta un campo di variabilità più esteso e può addirittura arrivare, secondo Gregory (1976), a valori negativi.

I valori più bassi, in natura, si registrano per litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione litostatica e gas saturati, in alcuni sedimenti incoerenti e saturi i valori possono risultare uguali o superiori a 0.49; nelle sospensioni assume il valore di 0.5.

Il rapporto fra V_p e V_s non è costante e dipende dallo stato di saturazione e dalla pressione interstiziale dei pori, in Tabella I sono riportati valori medi delle V_p per i principali litotipi e il range di V_s relative comprese fra i rapporti di V_p/V_s di 1.9 e 3.5; questi valori sono da ritenere indicativi in quanto in particolari condizioni il rapporto V_p/V_s può aumentare.

Materiale	V P m/s	V SH m/s	
		VP/VSH 1.9 - 3.5	VP/VSH 1.9 - 3.5
Detrito superficiale alterato	300 - 600	86 - 158	171 - 316
Ghiaia, pietrisco, sabbia asciutta	500 - 900	143 - 263	257 - 474
Sabbia bagnata	600 - 1800	171 - 316	514 - 947
Argilla	900 - 2700	257 - 474	771 - 1421
Acqua	1430 - 1680	-	-
Arenaria	1800 - 4000	514 - 947	1143 - 2105
Scisti argillosi	2500 - 4200	714 - 1316	1200 - 2211
Calcere	2000 - 6000	571 - 1053	1714 - 3158
Sale	4200 - 5200	1200 - 2211	1486 - 2737
Granito	4000 - 6000	1143 - 2105	1714 - 3158
Rocce metamorfiche	3000 - 7000	857 - 1579	2000 - 3684

Tabella I – Velocità nei principali materiali.

3 Indagine mediante sismica a rifrazione

3.1 Procedure di campagna

Per la registrazione delle onde di compressione e delle onde di taglio in profondità viene utilizzato un geofono da pozzo munito di un ricevitore costituito da tre sensori sensibili alle componenti del moto lungo tre direzioni: uno verticale e due orizzontali ortogonali fra loro.

Il geofono da pozzo, munito di un sistema teleguidato di orientazione azimutale e di ancoraggio meccanico alle pareti del rivestimento, viene calato all'interno del foro di sondaggio, preventivamente attrezzato con un tubo di rivestimento, e ad intervalli determinati vengono registrati i treni d'onda prodotti dalle energizzazioni poste in superficie.

Energizzando su una piastra posta a diretto contatto con il terreno vengono generate predominanti onde P di compressione, mentre per le onde SH di taglio si utilizza una trave di legno posta a diretto contatto col terreno, gravata dal peso di un automezzo, che viene colpita lateralmente: le battute destra e sinistra vengono sommate con polarità scambiata in modo da migliorare l'individuazione dell'onda di taglio polarizzata in senso orizzontale che viene generata, si può così avere un completo controllo nell'analisi del treno d'onda che

attraversa i terreni da investigare. In questo modo per ogni punto di energizzazione si hanno due treni d'onda diversi: uno per le onde P e l'altro per le onde SH.

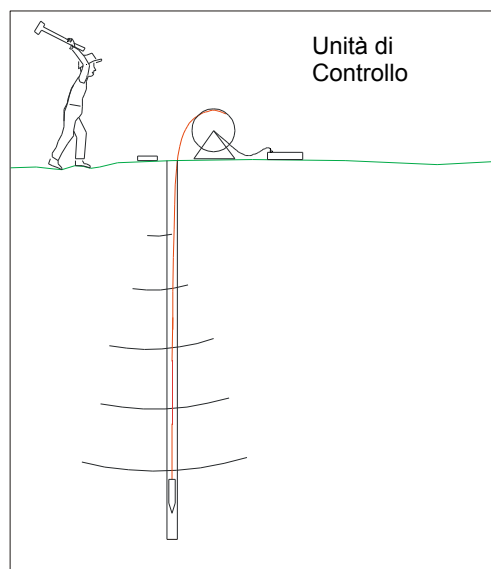


Fig. 1 – Schema del sistema d'acquisizione

Un'unità esterna di controllo gestisce le fasi di ancoraggio e registrazione del geofono da pozzo, mentre le tracce sismiche relative ad ogni intervallo di profondità vengono registrate mediante un sismografo digitale per la loro successiva elaborazione. La distanza sorgente-boccaforo è stata fissata in 2 m e 2.4 m, il passo delle registrazioni è stato di 1 m.

In Allegato sono riportate le registrazioni di campagna separate per onde P e SH, per le prove down-hole.

3.2 Metodo di elaborazione dei dati

Questa tecnica di prospezione sismica prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione P e di taglio SH tra il punto di energizzazione posto in superficie ed il punto di ricezione situato in profondità nel foro di sondaggio.

I tempi letti sui sismogrammi devono poi essere corretti poiché le onde sismiche non percorrono tragitti verticali tra la sorgente in superficie ed il sensore nel foro, ma inclinati rispetto alla verticale: indicando con t_z il tempo d'arrivo, con d la distanza orizzontale tra sorgente ed il boccaforo e con z la profondità del sensore, il tempo di arrivo corretto t_c alla profondità z sarà dato dalla relazione:

$$t_c = t_z * \cos (\alpha_z)$$

$$\alpha_z = \arctang (d / z)$$

La velocità delle onde P e delle onde SH viene calcolata mediante la pendenza della dromocrona.

Tali valori di velocità vengono quindi diagrammati per visualizzare le variazioni di velocità con la profondità, ed utilizzati per ricavare i moduli dinamici, secondo le formule di paragrafo 1. Dalla variazione delle velocità e dei parametri elastici con la profondità si risale al tipo di materiale in cui sta passando il treno d'onda a quella profondità.

In Allegato sono riportati i grafici delle dromocrone corrette e delle velocità delle onde P e delle onde SH rispetto alla profondità, e le Tabelle numeriche con i moduli elastici dinamici (rapporto di Poisson ν , modulo di Taglio G, di Young E, di rigidità volumetrica K espressi in MPa); i valori di peso di volume utilizzati nei calcoli sono stimati sulla base delle litologie.

4 HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

4.1 Principi teorici

La tecnica dei rapporti spettrali deriva dal lavoro di Nakamura (1989). La frequenza fondamentale dei terreni è importante al fine di evitare, in caso di sisma, fenomeni di risonanza fra la frequenza degli edifici e la frequenza dei terreni su cui sono poggiati.

Il rapporto fra lo spettro delle componenti orizzontale e verticale dei tremori è una tecnica che permette di valutare alcune caratteristiche dei terreni, principalmente il periodo fondamentale. Nei terreni soffici la componente orizzontale del moto tende ad essere superiore alla componente verticale, mentre in roccia le due componenti tendono ad avere la stessa ampiezza. Il picco di frequenza individuato sulle curve H/V è legato alla velocità delle onde di taglio dalla relazione:

$$f_0 = V_s / (4 * H)$$

dove f_0 è la frequenza, V_s la velocità delle onde di taglio e H lo spessore di sdimenti la cui frequenza di risonanza è f_0 .

La natura della sorgente di energia utilizzata, ovvero il rumore ambientale, non è direttamente riferibile ad un determinato tipo di onde, di compressione, di taglio, rayleigh, per cui va ricordato che non può essere utilizzato direttamente per il calcolo delle onde di taglio e del parametro V_s30 ai fini della categoria di appartenenza. Nel presente lavoro sono state seguite le specifiche definite dal progetto Europeo SESAME (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations) che ha studiato in dettaglio l'uso delle vibrazioni dovute a rumori ambientali per capire gli effetti di sito collegati ad eventi sismici. Come ricordato nel lavoro del progetto SESAME, la caratteristica principale dei rapporti H/V è di essere sperimentali, quindi la scelta in fase di acquisizione dati ed elaborazione, può influenzare il risultato finale. Al fine di limitare questi effetti indesiderati il progetto SESAME ha definito una serie di linee guida per l'acquisizione e l'individuazione delle frequenze fondamentali sulle curve H/V. Di seguito si riporta la tabella di prescrizioni finalizzate alla corretta acquisizione di dati secondo le specifiche del SESAME.

Tipo di parametro	Raccomandazioni principali	
Durata delle registrazioni	Frequenza minima di interesse:	Tempo minimo di registrazione:
	0.2	30'
	0.5	20'
	1.0	10'
	2.0	10'
	5.0	5'
	10.0	2'
Densità spaziale delle misure	<p><u>Microzonazione</u>: iniziare con una maglia larga (circa 500 m) e in caso di variazioni laterali intensificare le misure fino a 250 m di spaziatura</p> <p><u>Risposta di sito singola</u>: non usare mai una misura singola, ma almeno tre misure</p>	
Parametri di registrazione	Livellare il sensore come raccomandato dal costruttore. Fissare il gain massimo possibile evitando la saturazione del segnale.	
Accoppiamento sensore terreno	Poggiare il sensore direttamente sul terreno tutte le volte che è possibile Evitare di poggiare il sensore su terreno soffice (fango, erba, etc..) o saturato dalla pioggia.	
Accoppiamento artificiale con il terreno	Evitare di poggiare il sensore su gommapiuma, cartone o simili. Su pendii che non consentono il livellamento del sensore utilizzare un ripiano fatto con sabbia per ottenere una superficie piana. Su neve o ghiaccio utilizzare poggiare il sensore su una piastra metallica per evitare che si inclini a causa dello scioglimento della neve o del ghiaccio.	
Prossimità di strutture	Evitare di effettuare le registrazioni in prossimità di strutture come edifici e alberi alti, soprattutto in caso di vento (con velocità superiore a 5 m/s), possono inserire picchi a bassa frequenza nelle registrazioni. Evitare di effettuare le registrazioni al di sopra di tubature o vani interrati.	
Condizioni meteorologiche	<p><u>Vento</u>: proteggere il sensore dal vento.</p> <p><u>Pioggia</u>: evitare le registrazioni in caso di pioggia forte.</p> <p><u>Temperatura</u>: controllare le indicazioni del costruttore riguardo gli shock termici.</p> <p><u>Perturbazioni meteorologiche</u>: indicare se le registrazioni sono state effettuate in un periodo di bassa pressione.</p>	
Disturbi	<p><u>Sorgenti monocromatiche</u>: evitare di registrare in prossimità di macchine da cantiere, pompe idrauliche, generatori, etc... etc...</p> <p><u>Transienti</u>: in caso di presenza di eventi transienti (traffico, pedoni, etc ...) si raccomanda di aumentare la durata delle registrazioni al fine di ottenere un numero sufficiente di finestre prive di transienti.</p>	

Tabella - I

4.2 Acquisizione ed elaborazione

L'acquisizione del rumore ambientale è stata effettuata con una stazione singola composta da tre velocimetri, geofoni, con frequenza naturale di 2 Hz di cui uno verticale e due orizzontali, disposti in direzioni perpendicolari fra. Le registrazioni hanno avuto una durata di 37 min, 42 min e 22 min per ovviare a qualsiasi perturbazione transiente, essendo stata effettuata in contesto antropizzato e non lontano da strade. La registrazione è stata poi suddivisa in finestre della lunghezza di 60 s in relazione alla presenza o meno di transienti. Le finestre sono state poi filtrate per eliminare quelle con noise. Delle singole finestre è stato calcolato lo spettro di Fourier per le tre componenti. I singoli spettri sono stati lisciati con il metodo Konno-Homachi e smoothing del 40% e successivamente è stato effettuato il rapporto fra le componenti orizzontali e quella verticale per ogni singola finestra. In relazione vengono riportate le registrazioni effettuate e le finestre scelte per l'elaborazione, i rapporti H/V per ogni singola finestra e la curva media risultante. Per ogni stazione è stato calcolato anche l'angolo di arrivo delle componenti del rumore, per valutare se il picco individuato è fonte di un rumore direzionale o se è generato da vibrazioni che provengono da tutte le direzioni.

<p>Criteria for a reliable H/V curve</p> <p>i) $f_0 > 10 / l_w$ and</p> <p>ii) $n_c(f_0) > 200$ and</p> <p>iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • l_w = window length • n_w = number of windows selected for the average H/V curve • $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ = number of significant cycles • f = current frequency • f_{sensor} = sensor cut-off frequency • f_0 = H/V peak frequency • σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$) • $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ • A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0 • $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f • f = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f) < A_0/2$ • f^* = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$ • $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided • $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve • $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ • $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits • $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer • h = depth to bedrock • h_{\min} = lower-bound estimate of h
<p>Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)</p> <p>i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$</p> <p>ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$</p> <p>iii) $A_0 > 2$</p> <p>iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$</p> <p>v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$</p> <p>vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$</p>	

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Tabella – II

Per valutare in maniera obiettiva il picco di frequenza e la sua qualità il progetto SESAME stabilisce una serie di criteri che devono essere rispettati:

5 Presentazione dei dati

Nella presente relazione vengono forniti i seguenti elaborati:

1. tabulati numerici dei tempi d'arrivo, delle velocità e dei parametri geofisici
2. grafici delle dromocrone dei tempi di arrivo e delle velocità V_p e V_{sh}
3. registrazioni di campagna effettuate e rimontate per le onde P ed SH
4. Registrazioni delle misure a stazione singola
5. Grafico ampiezza del rapporto H/V azimuth di provenienza
6. Ubicazione delle indagini
7. Documentazione fotografica

6 Risultati dell'indagine

Down Hole: le variazioni di velocità sono riferibili al diverso grado di addensamento dei depositi sedimentari. Il diverso comportamento fra le velocità delle onde di compressione e di taglio è riferibile ad una diversa resistenza dei materiali alla compressione ed al taglio e alle variazioni delle pressioni interstiziali dei fluidi.

Misure a Stazione singola HVSR: in tutte le misure è presente il picco fondamentale con frequenza di 0.95 Hz per la prova 1 e 0.76 Hz per le prove 2 e 3, con ampiezza rispettivamente di 2.98, 4.04 e 3.8. Tale picco è riconducibile ad un contrasto di velocità profondo, stimabile fra 160 m e 200 m di profondità.

Il picco secondario a circa 6 Hz presenta una forte direzionalità e non è riferibile a contrasti di velocità nel terreno ma a disturbi antropici o ad effetti delle strutture circostanti.

7 Normativa sismica e calcolo del parametro V_{s30}

L'Ordinanza P.C.M. n°3274/03 istituisce diverse categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto. Tali categorie vengono definite in base al calcolo del parametro V_{s30} che è dato da:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i/V_i)$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio SH (in m/sec.) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori. Il valore di V_{s30} calcolato per la prova Down-Hole eseguita in Via Pistoiese è 529 m/s, quello per la prova eseguita in via Bonicoli è 506 m/s, dalla profondità di 5 m i valori diventano

rispettivamente 610 m/s e 574 m/s. Per i contrasti di velocità ed i rapporti stratigrafici individuati le zone in esame rientrano nella categoria B dei suoli di fondazione.

Categorie di Suolo di Fondazione	$V_s 30$ m/s	$N_{spt} - C_u$
A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_s30 superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	$V_s30 > 800$	
B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero $N_{spt30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fine)	$360 < V_s30 < 800$	$N_{spt} > 50$ $C_u > 250$ kPa
C Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	$180 < V_s30 < 360$	$15 < N_{spt} < 50$ $70 < C_u < 250$ kPa
D Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s30 inferiori a 180 m/sec (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	$V_s30 < 180$	$N_{spt} < 15$ $C_u < 70$ kPa
E Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento con $V_s > 800$ m/sec.	$V_s30 < 360$	
S1 Depositati costituiti da V_s30 inferiori a 100m/s (ovvero $10 < c_u < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	$V_s30 < 100$	$10 < C_u < 20$ kPa
S2 Depositati di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.		

Tabella III – Categorie di suolo di fondazione

7 Caratteristiche della strumentazione

Il sistema di acquisizione usato nella presente campagna d'indagini è composto da un sistema modulare della Geometrics così configurato:

Sismografo GEODE 48 canali (2 moduli a 24 canali) con Controller Stratavisor NZC:

8. risoluzione segnale A/D 24 bit;
9. escursione dinamica 144 dB, 110 dB istantanea a 2 ms;

10. passo di campionamento da 0.02 a 16 ms indipendente dal tempo d'acquisizione;
11. fino a 64.000 campioni per traccia;
12. distorsione 0.0005% a 2ms, 1.75 – 208 Hz;
13. amplificazione del segnale da 0 a 36 dB;
14. filtri anti-aliasing a 90 dB della frequenza di Nyquist;
15. filtri digitali low-cut, high-cut, notch;
16. precisione trigger in sommatoria 1/32 del passo di campionamento;
17. pre-trigger fino a 4096 campioni, delay sino a 1.000 ms;
18. salvataggio dati in formato SEG-2 su hard-disk incorporato;
19. Geofono da pozzo a con 2 terne di geofoni con frequenza propria di 10 Hz e spaziatura 1 m
20. sistema di starter (trigger) mediante accelerometro;
21. energizzazione mediante mazza da 5 Kg

Il sistema di acquisizione modulare della SARA ELECTRONICS così configurato:

22. Digitalizzatore 24 bit, 3 canali
23. Range di ingresso 2 V peak-to-peak
24. Filtro antialias 1 pole 8.8 Hz standard
25. Soglia di rumore ≤ -124 dB @ 100 SPS
26. Sensore composto da tripletta di geofoni con frequenza propria di **2 Hz**

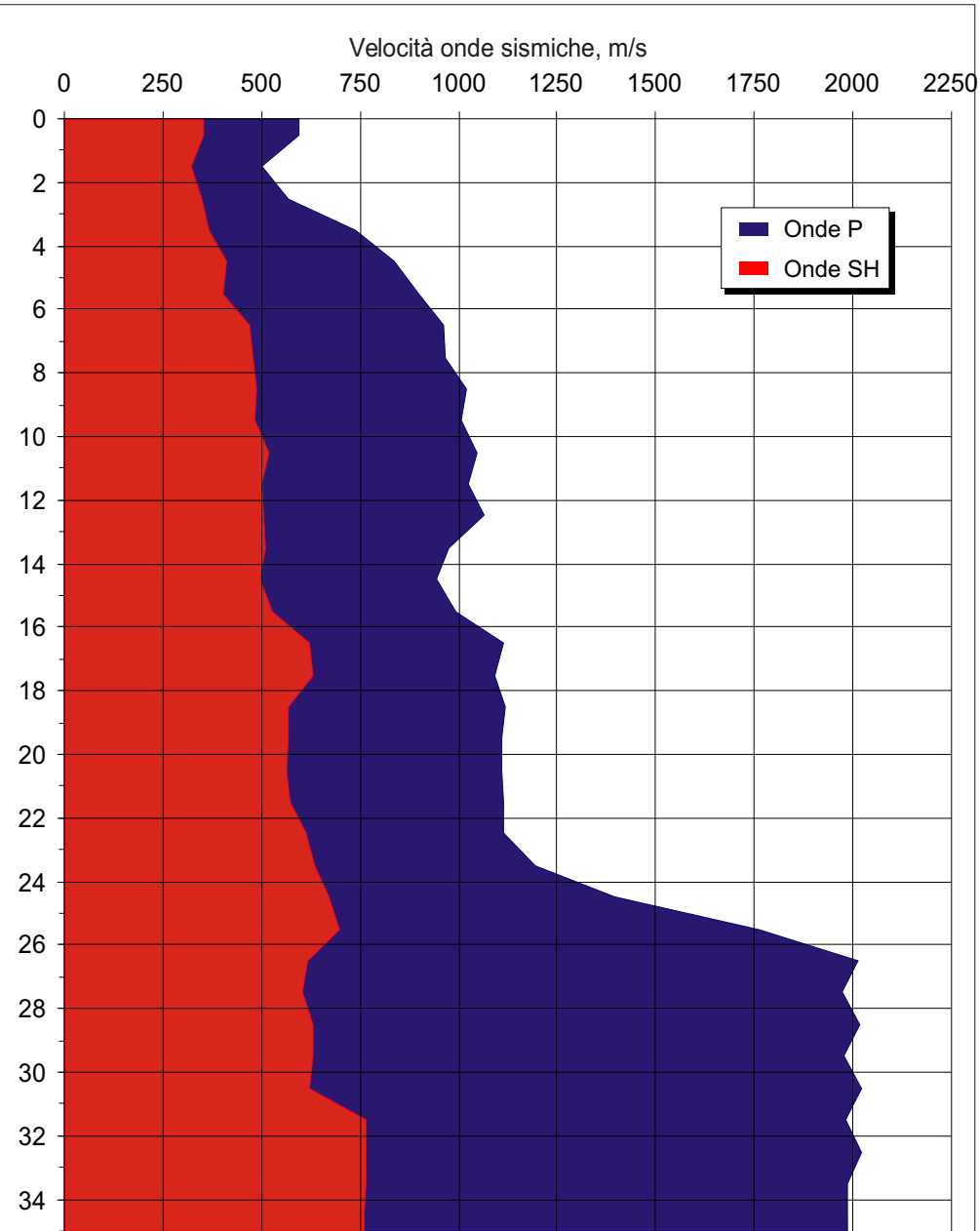
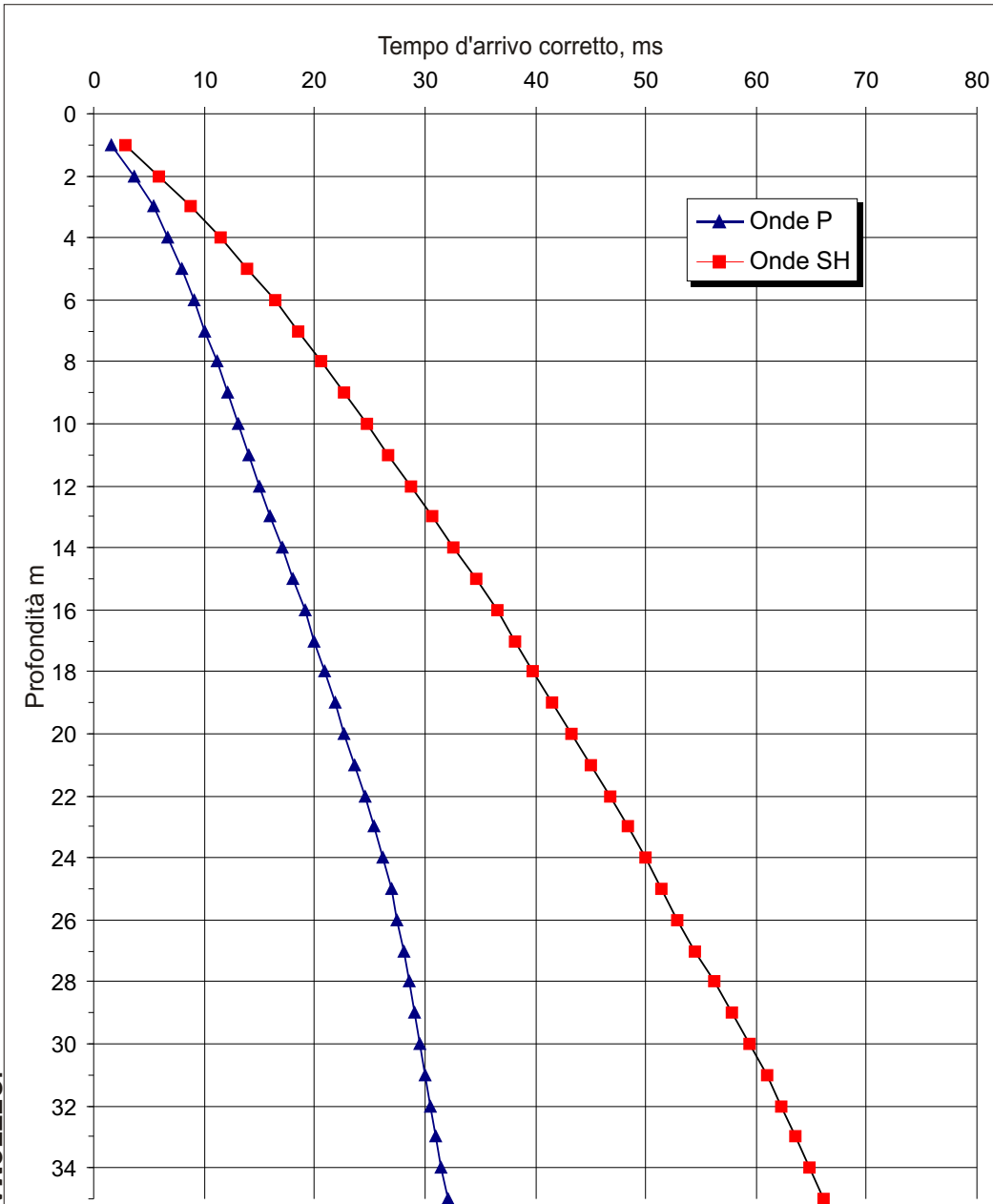
Ubicazione delle indagini



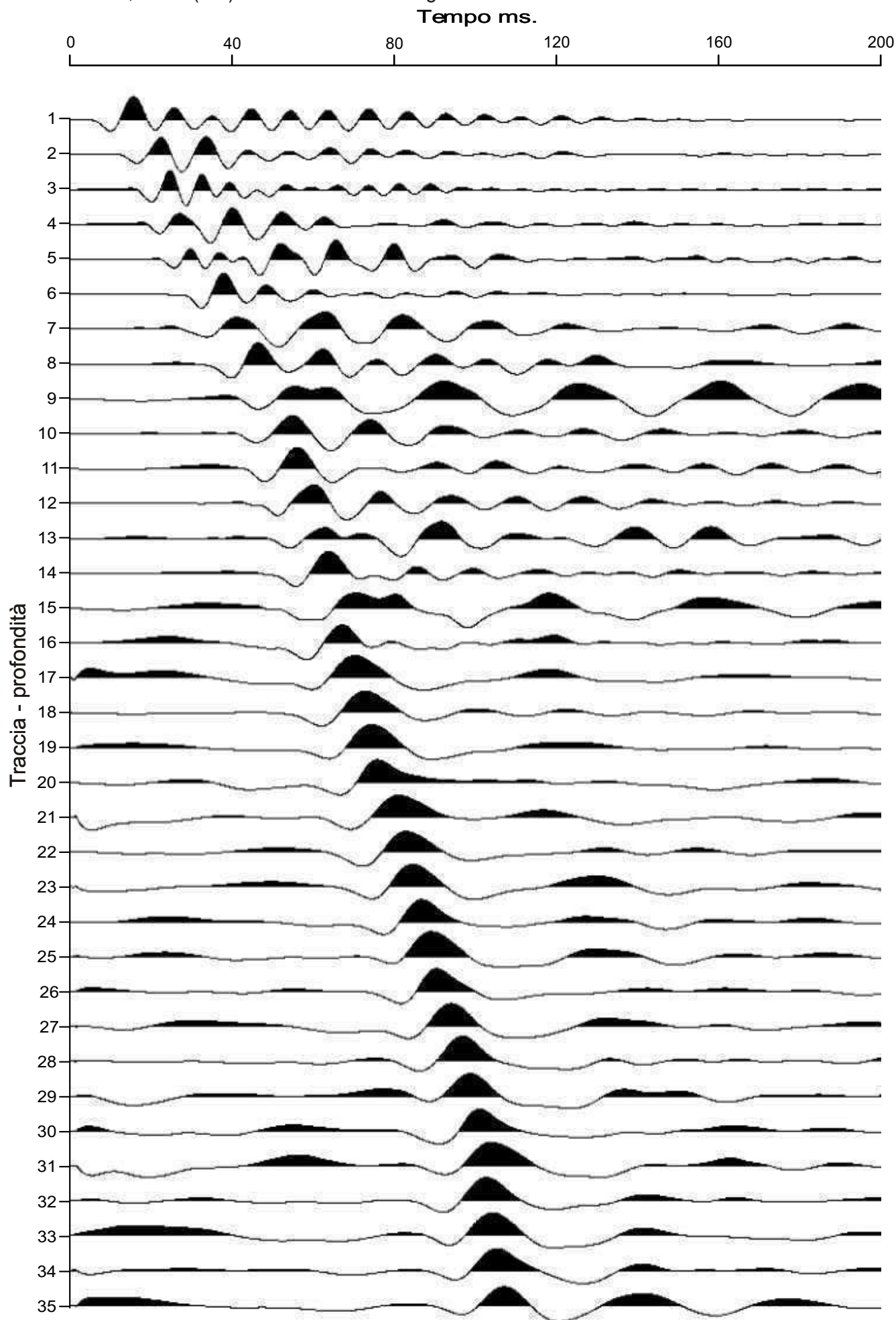
Via Bonicoli, Prato (PO)

Z m	Tp ms	Ts ms	Tp Corr. ms	Ts Corr. ms	VP m/sec.	VS m/sec.	t / m ³	-	G MPa	E MPa	K MPa
1	4.51	7.58	1.67	2.82	597	355	1.80	0.23	227	557	339
2	5.88	9.46	3.67	5.91	500	323	1.80	0.14	188	429	200
3	7.07	11.42	5.43	8.77	569	349	1.80	0.20	220	526	290
4	8.00	13.56	6.78	11.50	739	367	1.90	0.34	256	684	697
5	8.92	15.56	7.98	13.92	837	413	1.90	0.34	325	870	899
6	9.85	17.77	9.09	16.40	898	402	1.90	0.37	307	845	1121
7	10.76	19.68	10.13	18.53	961	469	1.90	0.34	419	1125	1196
8	11.70	21.61	11.17	20.63	967	478	1.90	0.34	434	1161	1198
9	12.61	23.53	12.15	22.67	1018	489	1.90	0.35	454	1226	1362
10	13.55	25.50	13.15	24.74	1005	484	1.90	0.35	445	1200	1324
11	14.46	27.35	14.10	26.67	1047	518	1.90	0.34	509	1363	1404
12	15.40	29.28	15.08	28.66	1025	501	1.90	0.34	478	1282	1358
13	16.31	31.20	16.02	30.64	1064	507	1.90	0.35	488	1320	1499
14	17.31	33.11	17.04	32.59	977	511	1.90	0.31	497	1303	1150
15	18.35	35.09	18.10	34.61	943	495	1.90	0.31	466	1222	1069
16	19.34	36.95	19.11	36.51	992	528	1.90	0.30	529	1379	1165
17	20.22	38.52	20.00	38.11	1115	624	1.90	0.27	739	1881	1377
18	21.12	40.08	20.92	39.70	1094	629	1.90	0.25	753	1885	1269
19	22.00	41.81	21.81	41.45	1120	570	1.90	0.33	618	1637	1560
20	22.89	43.55	22.71	43.21	1110	568	1.90	0.32	613	1621	1522
21	23.78	45.30	23.61	44.98	1111	565	1.90	0.33	607	1610	1536
22	24.67	47.03	24.51	46.73	1112	572	1.90	0.32	623	1644	1521
23	25.56	48.65	25.41	48.37	1113	611	1.90	0.28	710	1824	1409
24	26.39	50.21	26.25	49.94	1194	635	1.90	0.30	766	1996	1686
25	27.10	51.69	26.97	51.43	1394	669	1.90	0.35	852	2299	2555
26	27.66	53.11	27.53	52.87	1762	698	1.90	0.41	926	2605	4665
27	28.15	54.72	28.03	54.49	2012	617	1.90	0.45	723	2095	6725
28	28.65	56.37	28.54	56.15	1975	603	1.90	0.45	690	1998	6490
29	29.14	57.95	29.03	57.74	2017	629	1.90	0.45	752	2176	6725
30	29.64	59.53	29.54	59.32	1979	630	1.90	0.44	753	2174	6438
31	30.13	61.13	30.03	60.93	2021	622	1.90	0.45	735	2128	6778
32	30.63	62.43	30.54	62.24	1982	764	1.90	0.41	1110	3137	5986
33	31.12	63.73	31.03	63.55	2024	765	1.90	0.42	1111	3149	6300
34	31.62	65.03	31.53	64.85	1985	765	1.90	0.41	1112	3143	6003
35	32.12	66.34	32.04	66.17	1986	760	1.90	0.41	1096	3101	6033

Z	Profondità	Densità
Tp	Tempo di arrivo onde di compressione	Modulo di Poisson
Ts	Tempo di arrivo onde di taglio	G
Tp Corr.	Tempo di arrivo corretto onde di compressione	E
Ts Corr.	Tempo di arrivo corretto onde di taglio	K
Modulo di taglio		
Modulo di Young		
Modulo di rigidità volumetrica		
Distanza sorgente-boccaforo: 2.4 m		

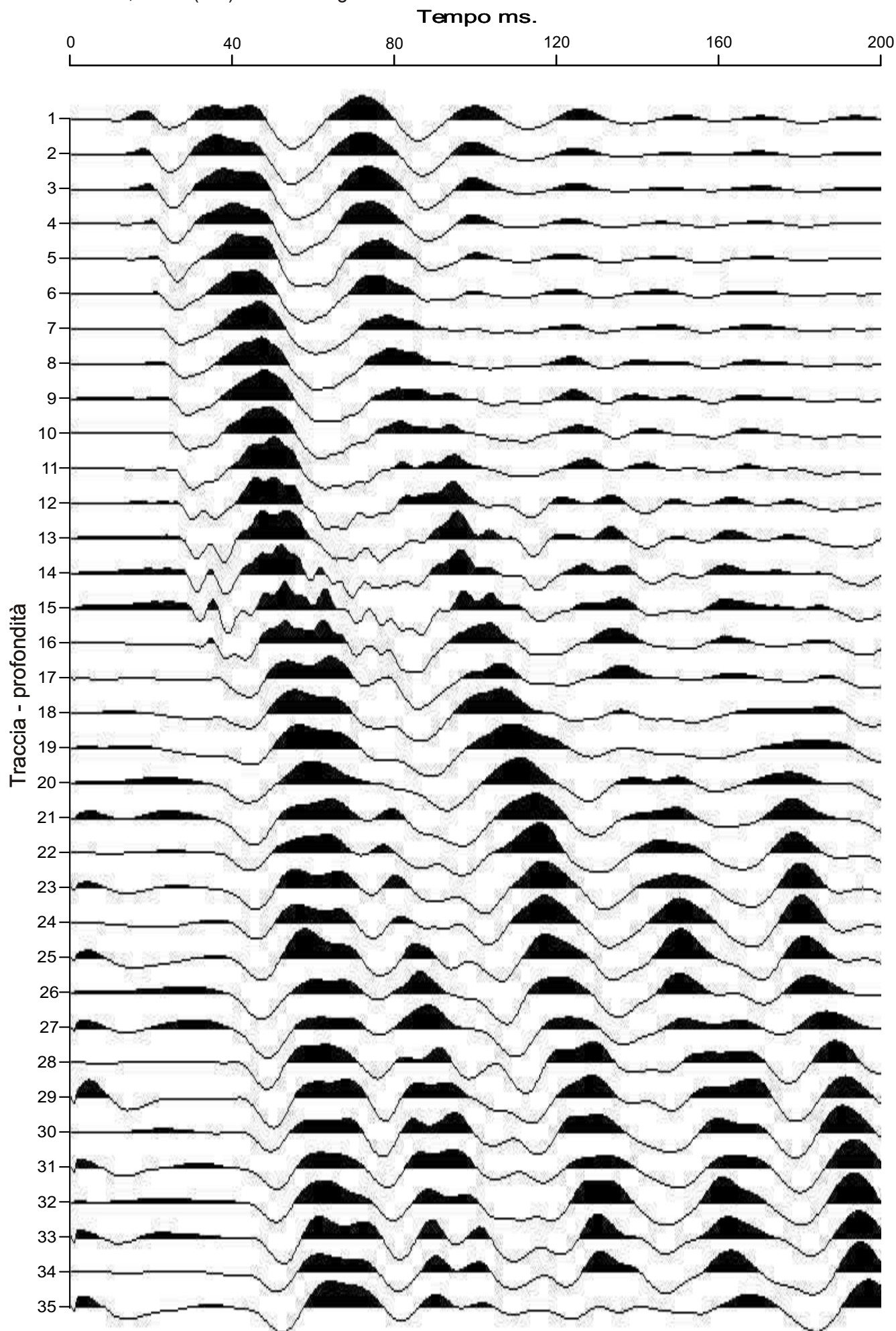


Via Bonicoli, Prato (PO) - Onde SH - Somma geofoni orizzontali

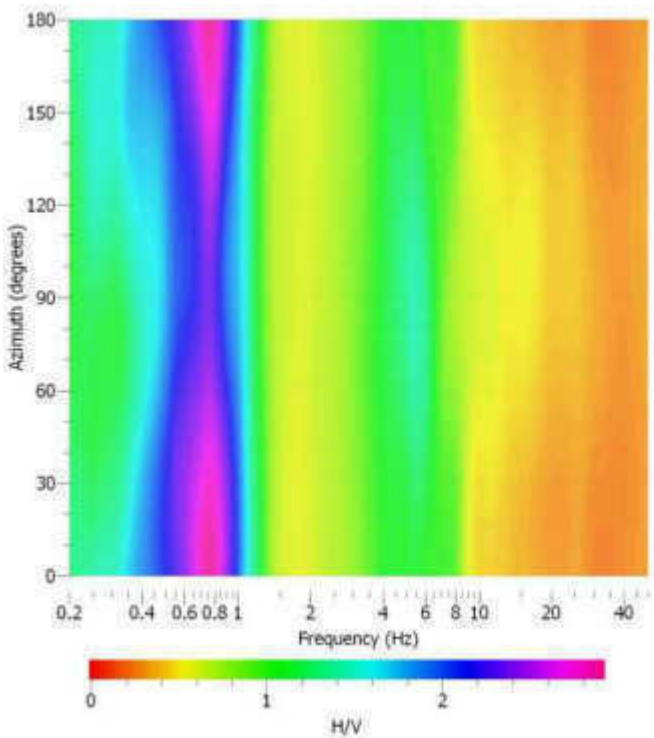
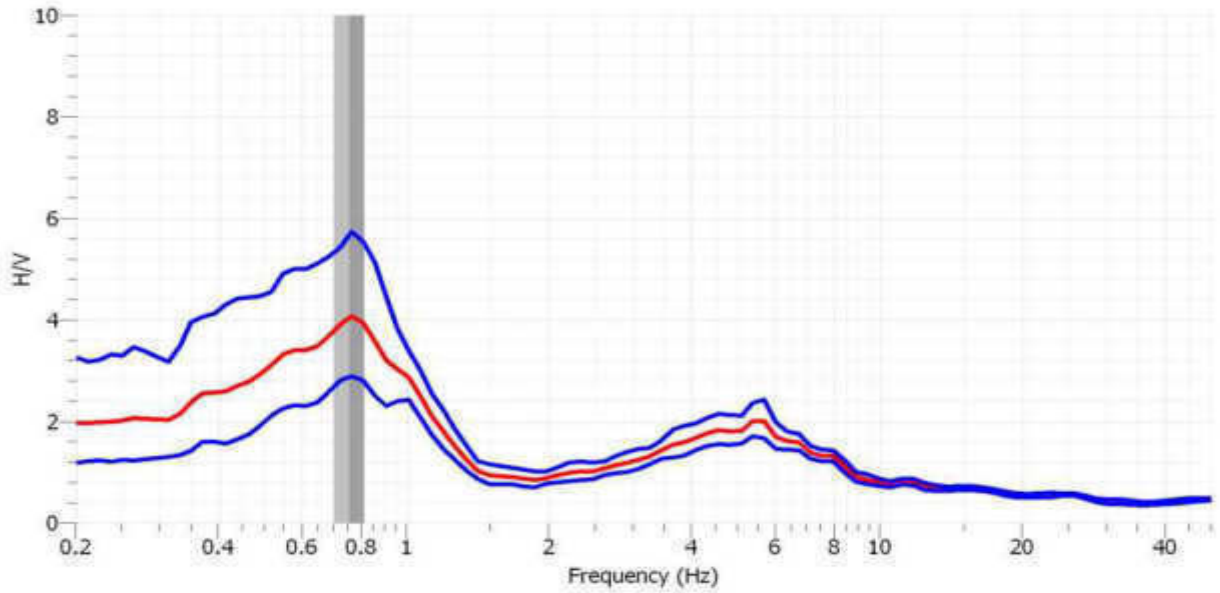
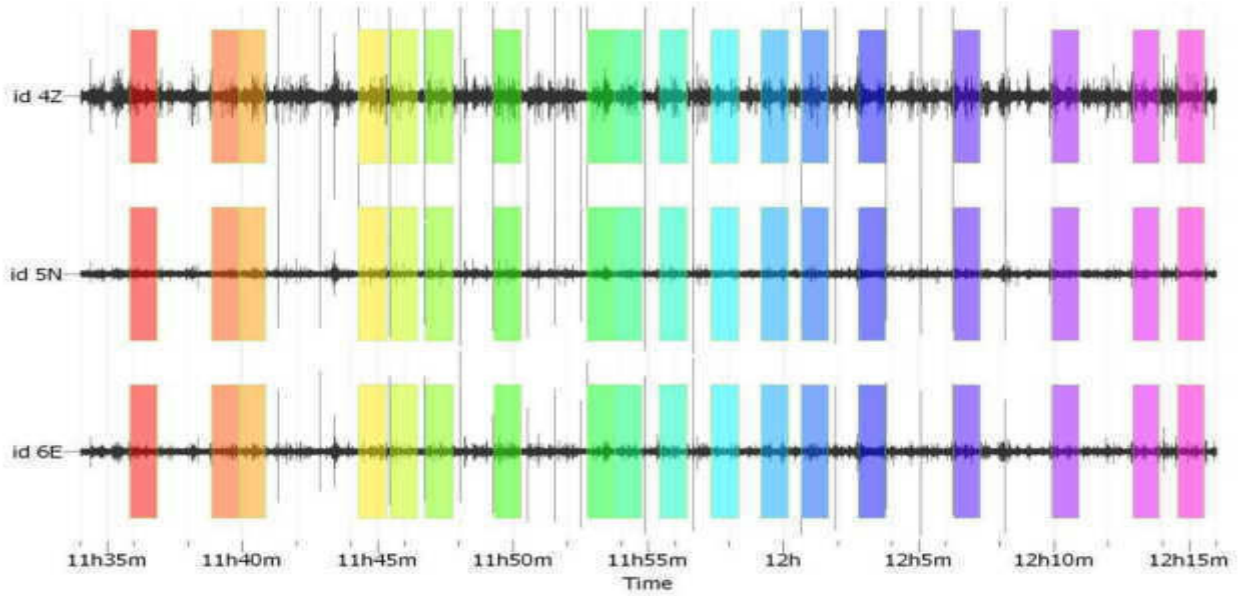


Traccia - profondità

Via Bonicoli, Prato (PO) - Onde P - geofono verticale

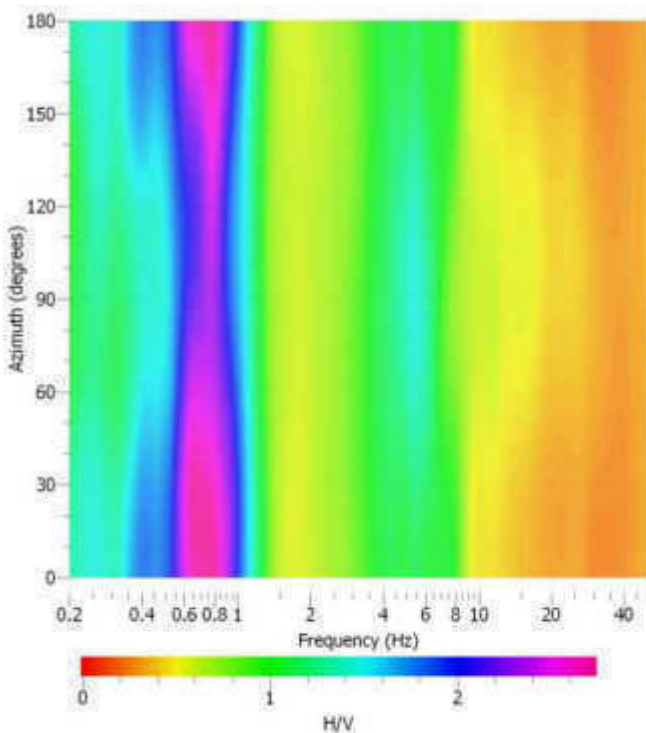
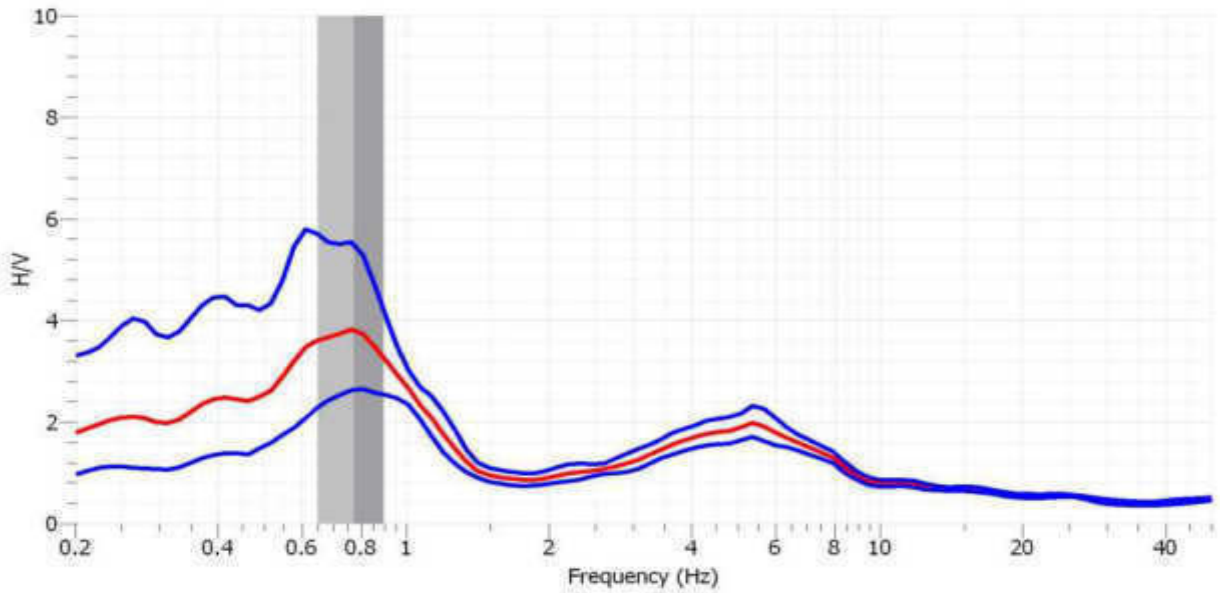
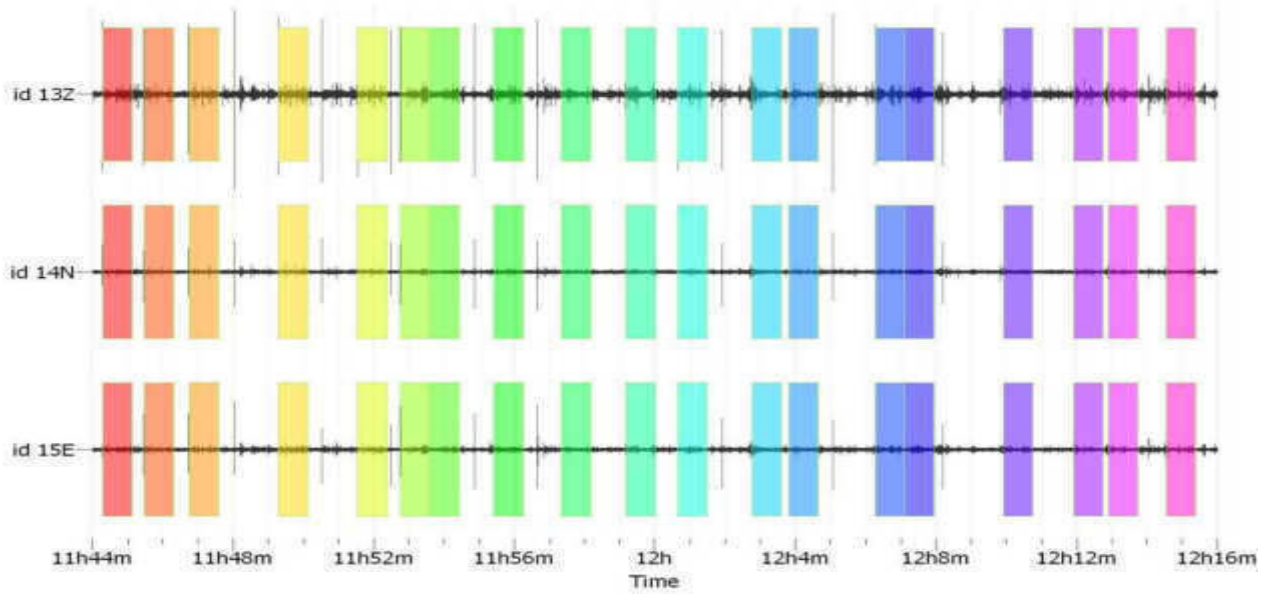


HVSR 2



Tempo di registrazione:	42 m	Num. Finestre - nw:	17
Lung. Finestra (s) - lw:	60	Campionamento (Hz):	200
f0 Massimo del rapporto H/V a		0.76	0.06 Hz
(tra 0.167 e 100 Hz)			
Affidabilità' (3 condizioni verificate)			
1	f0>20/lw	0.76	> 0.33 OK
2	lw*nw*f0>200	778	> 200 OK
3 Massimo[(f)]<3 (per f0<0.5)			OK
Massimo[(f)]<2 (per f0>0.5)		1.66	
intervallo: 0.5*f0 < f < 2*f0		0.38	- 1.53
Chiarezza (almeno 5 condizioni verificate)			
1	Esiste f- tale che A(f-)<A(f0)/2	0.24	OK
intervallo: f0/4 < f < f0		0.19	
2	Esiste f+ tale che A(f+)<A(f0)/2	1.19	OK
intervallo: f0 < f < f0*4		0.76	
3	A(f0)>2	4.04	> 2 OK
4 Fpicco[A(f) (f0)] = f0 5%		0.77	OK
intervallo: f0 5%		0.76	
5	(f)]< (f0)	0.056	< 0.114 OK
6	(f0)]< (f0)	1.41	< 2 OK

HVSR 3



Tempo di registrazione:	22 m	Num. Finestre - nw:	19
Lung. Finestra (s) - lw:	120	Campionamento (Hz):	200
f0 Massimo del rapporto H/V a		0.76	0.12 Hz
(tra 0.083 e 100 Hz)			
Affidabilità (3 condizioni verificate)			
1	f0>20/lw	0.76	> 0.17 OK
2	lw*nw*f0>200	1739	> 200 OK
Massimo[(f)]<3 (per f0<0.5)			
3	Massimo[(f)]<2 (per f0>0.5)	1.81	< 2 OK
intervallo: 0.5*f0 < f < 2*f0		0.38	- 1.53
Chiarezza (almeno 5 condizioni verificate)			
1	Esiste f- tale che A(f-)<A(f0)/2	0.21	OK
intervallo: f0/4 < f < f0		0.19	- 0.76
2	Esiste f+ tale che A(f+)<A(f0)/2	1.19	OK
intervallo: f0 < f < f0*4		0.76	- 3.1
3	A(f0)>2	3.80	> 2 OK
Fpicco[A(f) (f0)] = f0 5%		0.81	
4		0.61	NO
intervallo: f0 5%		0.72	- 0.80
5	(f)]< (f0)	0.122	< 0.114 NO
6	(f0)]< (f0)	1.45	< 2 OK

Documentazione fotografica

