



Expertise and Efficiency in Environmental and Engineering Consultancy Services

**PIANO URBANISTICO CONVENZIONATO
PUC 2.3
COMUNE DI EMPOLI
LOCALITA' EMPOLI VECCHIO
IN VIA RAFFAELLO SANZIO

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA**

Richiedente:

Duprè Immobiliare S.r.l.

RELAZIONE GEOLOGICA

Agosto 2021

Emesso e rivisto da:

Dott. Geol. Massimo Pellegrini.....

INDICE

	Pagina
1. – PREMESSA	3
2. - NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. - QUADRO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO	5
3.1. - Geologia	5
3.1.1 - Quadro stratigrafico locale.....	6
3.2. - Geomorfologia.....	7
3.3 – Quadro idrogeologico	8
4. - QUADRO LITOTECNICO	12
4.1 – Quadro geotecnico parametrico	13
5. - SISMICITÀ	18
5.1. Indagini sismiche eseguite. Cenni metodologici.....	20
5.2 - Risultati	24
6. PERICOLOSITA' E PROBLEMATICHE GEOLOGICHE GEOTECNICHE.....	28
6.1. – Condizioni di Pericolosità e Fattibilità secondo R.U. Comune di Empoli	28

Annessi:

ANNESSE – Indagini di riferimento



1. – PREMESSA

Su incarico della Duprè Immobiliare, sono state svolte indagini geologiche-geotecniche e sismiche e redatta una Relazione Geologica di fattibilità a supporto di un P.U.C. in via Raffaello Sanzio in comune di Empoli. Lo scopo dell'indagine è stato quello di ricostruire il quadro geostratigrafico locale, di valutare le caratteristiche geologiche-idrogeologiche, geotecniche e sismiche dell'area di studio, allo scopo di fornire ai progettisti tutte le informazioni necessarie per gli interventi previsti. Per la ricostruzione del quadro geologico tecnico si è fatto riferimento, oltre che a indagini appositamente eseguite, anche a dati derivanti da studi effettuati su aree limitrofe o comunque non distanti da quella in esame e/o eseguite a supporto del Piano Strutturale comunale¹. L'ubicazione dell'area interessata dal progetto è riportata nella planimetria di FIG. 1.1.

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



FIG. 1.1 – Corografia

¹ - Lottizzazione tra via Signorelli e via San Mamante sul prolungamento di via Raffaello Sanzio in comune di Empoli – Geo-System 2006;

- Lottizzazione in via Raffaello Sanzio in comune di Empoli – Dott. Ilio Fedeli Dott. Andrea Casella 2007;

- Comune di Empoli. Piano Strutturale - Indagini geologico-tecniche di supporto alla pianificazione urbanistica. GETAS 2012.



2. - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le norme di riferimento sono contenute in:

- L.R. 41 24/07/2018.
- D.M. 17 gennaio 2018 - Norme tecniche per le costruzioni
- Circolare esplicativa del 27 luglio 2018 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- Regione Toscana Direttiva Alluvioni: P.G.R.A. 2016.
- Delibera n.1271 del 12-12-2016. LR 58/2009 - Aggiornamento del Documento conoscitivo del rischio sismico 2016.
- DPGR 9 luglio 2009 n. 36/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della L.R. 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."
- OPCM n. 3519 del 28.04.2006.
- Deliberazione di G.R. del 19.06.2006, n. 431 – Classificazione sismica regionale.
- DPGR 48 /R 2003 Regolamento Forestale
- L.R. 39/2000 e smi Legge forestale Toscana

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



3. - QUADRO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO

3.1. - Geologia

La pianura empolesse è geologicamente caratterizzata da depositi alluvionali di età quaternaria, e da terreni più antichi, di età pliocenica e facies marina, che costituiscono il substrato su cui i precedenti depositi poggiano, e che invece formano l'ossatura delle limitrofe zone collinari.

La pianura è quindi caratterizzata dall'affioramento di depositi alluvionali di età quaternaria. Le alluvioni attuale e recenti (a), non terrazzate, dell'Arno, dell'Elsa e degli affluenti minori in sinistra Arno, formano la pianura che occupa gran parte della superficie del territorio comunale.

Come evidenziato dai vari studi eseguiti nel tempo sulla pianura, dalle stratigrafie dei pozzi e dai risultati delle numerose indagini geognostiche, la natura litologica della coltre superficiale è caratterizzata principalmente da una granulometria limoso-argillosa o limoso-sabbiosa e subordinatamente sabbiosa ghiaiosa. Anche in profondità le frazioni fini sono preponderanti rispetto alle sabbie e alle ghiaie, generalmente in lenti e/o relegate in orizzonti di spessore contenuto. Il deposito alluvionale presenta in genere un livello ciottoloso-ghiaioso basale, di spessore massimo di 8-10 metri.

La successione alluvionale è mediamente presente nei primi 20-25 metri dal piano campagna, profondità a cui normalmente si incontra il substrato pliocenico. I suddetti depositi poggiano quindi su un substrato pre-quaternario costituito da una successione argillosa limosa e subordinatamente sabbiosa di età pliocenica (pag/ps).

Questa successione, depositatasi nel bacino marino, che nel pliocene interessò vaste zone della Toscana centro-meridionale, è stata attribuita alla fase regressiva del Pliocene superiore, sulla base di evidenze di giacitura, di facies e paleontologiche. Le stesse evidenze suggeriscono un ambiente salmastro, decisamente litorale, all'interno del quale le oscillazioni della linea costiera hanno determinato i rapporti eteropici tra le varie litologie, ghiaiose, sabbiose e argillose limose riconosciute nella successione.

Con riferimento ai depositi quaternari continentali affioranti nella ristretta area d'intervento, questi rispecchiano un ciclo deposizionale di natura fluviale relativamente recente, prevalentemente legato alla deposizione dell'Arno, di natura per lo più limoso-argillosa. Le indagini geognostiche eseguite in passato in aree limitrofe e nella ristretta area d'intervento, con profondità variabili dai 12 ai 30 metri, hanno confermato una prevalenza di litotipi a

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



granulometria molto fine, limosa argillosa, nei primi metri dal piano campagna.

Il quadro geologico locale è illustrato dalla Carta geologica di FIG. 3.1 (estratto da P.S Comune di Empoli. Getas Petrogeo s.r.l. 2012).

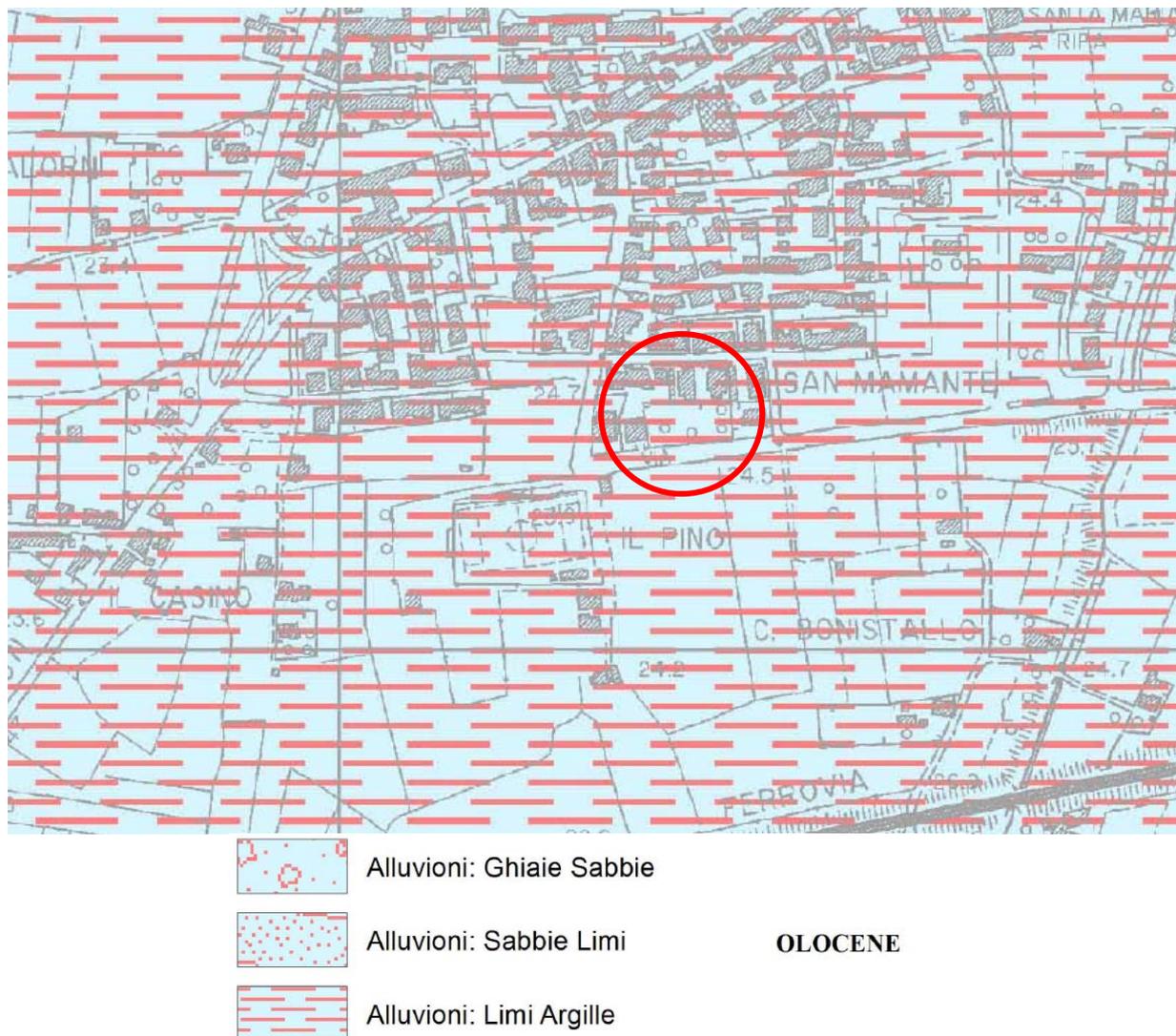


FIG. 3.1 Carta Geologica (da P.S Comune di Empoli. Getas Petrogeo s.r.l. 2012)

3.1.1 - Quadro stratigrafico locale

L'area d'intervento, come detto, ricade in zona caratterizzata da depositi alluvionali prevalentemente limosi e/o limosi argillosi e subordinatamente sabbiosi.



Per la ricostruzione del quadro stratigrafico locale oltre che a dati stratigrafici relativi ad alcuni sondaggi a carotaggio continuo e penetrometrie statiche eseguite in zona contigua, sono stati utilizzati i dati delle penetrometrie statiche eseguite entro l'area d'intervento nel 2015.

Le prove penetrometriche, spinte fino alla profondità di circa 15 m confermano la presenza di una successione di depositi alluvionali prevalentemente fini, caratterizzata da una relativa prevalenza di terreni limosi argillosi e/o limoso sabbiosi con livelli sabbiosi subordinati.

I sondaggi (P561- P621 PS Comune di Empoli, database SIRA id: 95217 - 95303) confermano sostanzialmente il quadro stratigrafico ricostruito indirettamente con le penetrometrie; sinteticamente la successione dei terreni attraversati in fase di perforazione risulta la seguente:

da	a	
p.c.	-12.0 m	Limo e limo sabbioso
-12.0 m	-16.0 m	Sabbie limose (Orizzonte Acquifero A1?)
-16.0 m	-27.0 m	Argilla e limi argillosi grigi
-27.0 m	-31.0 m	Ghiaia (Orizzonte Acquifero A2)
-31.0 m	-35.0 m	Sabbie limose grigie] Pliocene?
-35.0 m	-43.0 m	Argilla grigia] Pliocene

3.2. - Geomorfologia

L'area d'intervento è ubicata nel centro urbano di Empoli, è pianeggiante senza particolarità geomorfologiche di rilievo e con dislivello da punto a punto meno che decimetrici. Essa fa parte dell'ampia pianura alluvionale, che copre i circa 2/3 del territorio comunale di Empoli, e formatasi a seguito degli apporti sedimentari dell'Arno, dell'Elsa dei Torrenti Orme ed Ormicello e di altri corsi minori. Più in dettaglio la piana alluvionale può essere divisa in tre settori:

- Piana dell'Arno: è la più estesa e costituisce una fascia allungata Est-Ovest, compresa tra la riva sinistra idrografica del Fiume Arno ed il sistema collinare. In questa zona sono riconoscibili tracce delle divagazioni antiche dell'Arno. Un esempio è rappresentato dalla zona di Arnovecchio ad Est di Empoli dove risulta evidente la presenza dell'alveo morto del fiume, il cui percorso si è regolarizzato nei tempi storici all'altezza di Limite-Tinaia.



- Piana del Fiume Elsa: si congiunge alla piana dell'Arno in prossimità di Ponte a Elsa dopo aver seguito un andamento circa SE-NO stretto tra la riva destra idrografica dell'Elsa ed il limite occidentale delle colline.
- Piana dei Torrenti Orme e Ormicello: si congiunge anch'essa alla piana dell'Arno all'altezza di Pozzale dopo aver seguito un andamento articolato in numerose digitazioni create dalla confluenza del sistema di valli minori provenienti dalle colline.

L'area d'intervento è stata oggetto di vari interventi di urbanizzazione e di creazione di nuova viabilità e insediamenti a carattere commerciale. La viabilità locale, in particolare la via Raffaello Sanzio, mostra una quota piano campagna più elevata, circa 1,0 m, rispetto a quello della zona d'intervento, posto ad una quota sul livello mare paria a circa 24 m sul l.m..

La zona interessata dal piano non ricade in aree soggette al Vincolo Idrogeologico ai sensi della L.R. 39/2000 e del R.D. 3267/1923.

Come emerge dalla Carta di pericolosità Geomorfologica a supporto del Piano Strutturale del comune di Empoli, l'area non ricade in zona caratterizzata da processi geomorfici attivi ed è compresa in Classe **G.2** a Pericolosità Media secondo la L.R. 53/R, Fig.3.2.

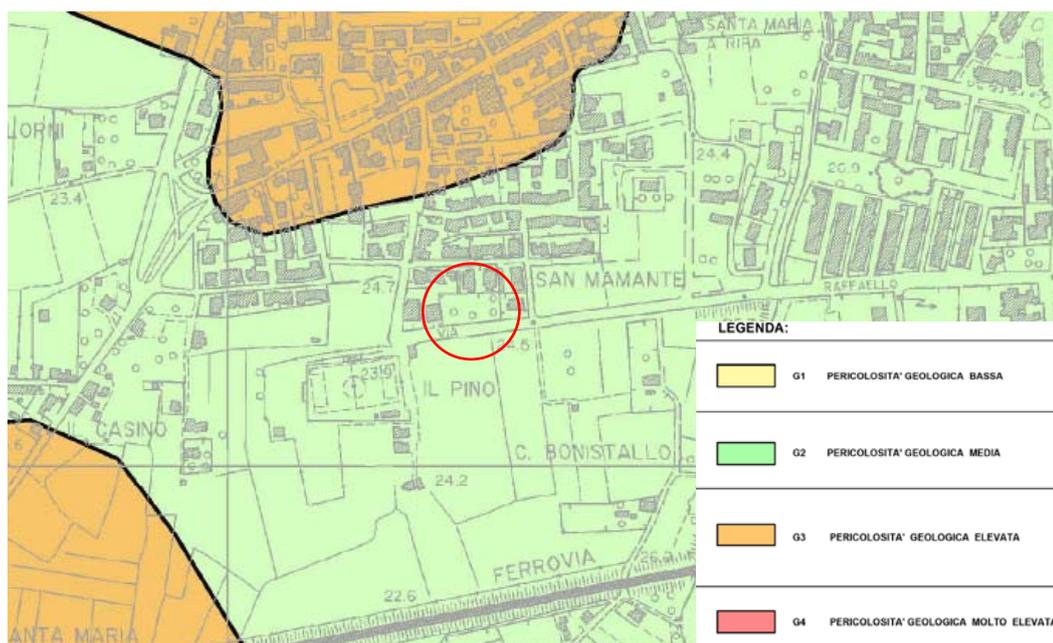


Fig. 3.2 – Carta della Pericolosità Geologica (P.S. Comune di Empoli – Getas Petrogeo 2002)

3.3 – Quadro idrogeologico

La caratterizzazione morfologica e geologica tra zona collinare e zona di pianura del territorio comunale di Empoli, riflette anche una differenziazione nelle caratteristiche idrogeologiche dei due ambienti. Si possono infatti distinguere due sistemi acquiferi:



- a) Sistema degli acquiferi collinari
- b) Sistema degli acquiferi di pianura

L'area di intervento, come detto, ricade nel contesto di pianura.

- a) Sistema degli acquiferi di pianura

Hanno sede nei terreni delle alluvioni attuali e recenti a granulometria grossolana e media (ghiaie e sabbie), affioranti in alcuni settori della pianura. Nella Carta Idrogeologica di Fig. 3.3 (estratta da P.S. Comune di Empoli - rete di controllo Acque relativa al Giugno 2002) le classi di permeabilità individuate sono:

- Permeabilità Nulla: sono compresi i sedimenti alluvionali argillosi.
- Permeabilità Media: a questa classe sono associate i terreni sabbioso-limosi
- Permeabilità Alta: sono compresi i litotipi prevalentemente ghiaioso-ciottolosi in matrice sabbioso-argillosa.

La presenza in superficie di terreni di una delle classi prima elencate, condiziona chiaramente l'infiltrazione dell'acqua meteorica nel sottosuolo che, con i corsi d'acqua principali, contribuisce ad alimentare gli acquiferi sotterranei. Da studi eseguiti nel tempo sulla piana, è noto che il sistema alluvionale è caratterizzato da due acquiferi principali:

- Orizzonte Acquifero A1 (superiore)

E' essenzialmente un livello sabbioso, localmente ciottoloso, lenticolare e di spessore variabile entro 15 metri dal piano campagna. E' generalmente freatico, ma localmente può assumere caratteristiche di confinamento. L'alimentazione è determinata oltre che dall'infiltrazione diretta della pioggia anche dalla ricarica da parte dei corsi d'acqua (Arno, Elsa, Orme e rii minori) e dagli apporti degli acquiferi di collina. E' bene sviluppato nei tratti dell'antico corso dei fiumi (zona Arnovecchio), dove prevalgono i depositi più grossolani. Da questo acquifero attingono i numerosi pozzi agricoli ad anelli e a sterro della pianura ed i pozzi più superficiali delle centrali acquedottistiche di Corniola, Farfalla e Serravalle-Arnovecchio.

- Orizzonte Acquifero A2 (inferiore)

E' l'acquifero principale della piana, sia per continuità che per spessore. E' legato ad un livello ciottoloso-ghiaioso presente alla base del ciclo sedimentario alluvionale. Il tetto della falda si trova tra i 10 e i 20 metri dal p.c.; lo spessore è estremamente variabile



fino ad un massimo di 10 metri. E' separato dall'acquifero A1 da un setto argilloso continuo che ne determina il confinamento. I due acquiferi vengono a contatto per vie laterali nelle fasce pedecollinari.

L'alimentazione è assicurata dalla rete idrografica, dall'infiltrazione diretta di pioggia, dai livelli permeabili dei fianchi delle colline plioceniche quando sono in contatto con il materasso alluvionale. A questo acquifero attingono la maggior parte dei pozzi delle centrali acquedottistiche.

Oltre ai suddetti acquiferi, nei primi metri dal p.c. e specie dove l'acquifero A1 è assente e/o poco sviluppato, possono essere presenti limitate lenti acquifere.

Il quadro piezometrico del settore della piana in studio è illustrato dalla Carta Idrogeologica di Fig. 3.3 (estratta da P.S. Comune di Empoli - rete di controllo Acque relativa al Giugno 2002).

Il quadro piezometrico della pianura ha un andamento irregolare per la presenza di alcuni minimi piezometrici in corrispondenza delle centrali acquedottistiche e di punti di attingimento industriale che alterano la naturale geometria della falda; un minimo molto sviluppato, legato oltre che ai prelievi acquedottistici anche all'assetto strutturale dei depositi alluvionali, è presente nella zona di Castelluccio. Nelle rimanenti aree la geometria naturale della superficie piezometrica rileva un deflusso sotterraneo verso l'Arno.

Localmente, il livello piezometrico risulta attestato tra quota 13 e 14 metri sul l.m., con una soggiacenza media dal piano campagna nell'ordine dei 11-10 metri. Mediamente la falda mostra un flusso orientato verso Ovest.

Le escursioni stagionali della falda, rilevate su base sperimentale e riferite a circa dieci anni di misure sulla rete di controllo, è mediamente di 2 - 3 metri.

Le lenti acquifere più superficiali e l'acquifero A1 sono quelle che possono maggiormente interferire con la fascia di profondità interessata da fondazioni e dalle escavazioni relative, nei casi in cui il livello statico sia prossimo al p.c. . In questi casi la presenza della falda può condizionare il comportamento meccanico dei terreni ai fini costruttivi. Man mano che la profondità della falda aumenta si avrà una interferenza minore sulla stabilità delle costruzioni. Nei periodi di morbida un innalzamento del livello di falda si può tradurre in un peggioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni di natura coesiva.

Le varie indagini eseguite nell'area in passato sembrano aver individuato presenza di falda intorno ai 2÷2.5 metri dal p.c. (misura 2007). Le penetrometrie eseguite sembrano invece individuare presenza di falda a partire dai 10 metri dal p.c. (misure 2015). Verosimilmente quest'ultima misura sembra più in linea con il quadro generale dell'area. Tuttavia, il livello del 2007 potrebbe essere legato a presenza nei primi metri di lenti sabbiose e/o limose sabbiose



con presenza di una falda superficiale. La distribuzione delle varie formazioni per classi di permeabilità è illustrata dalla carta di FIG. 3.3.

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore

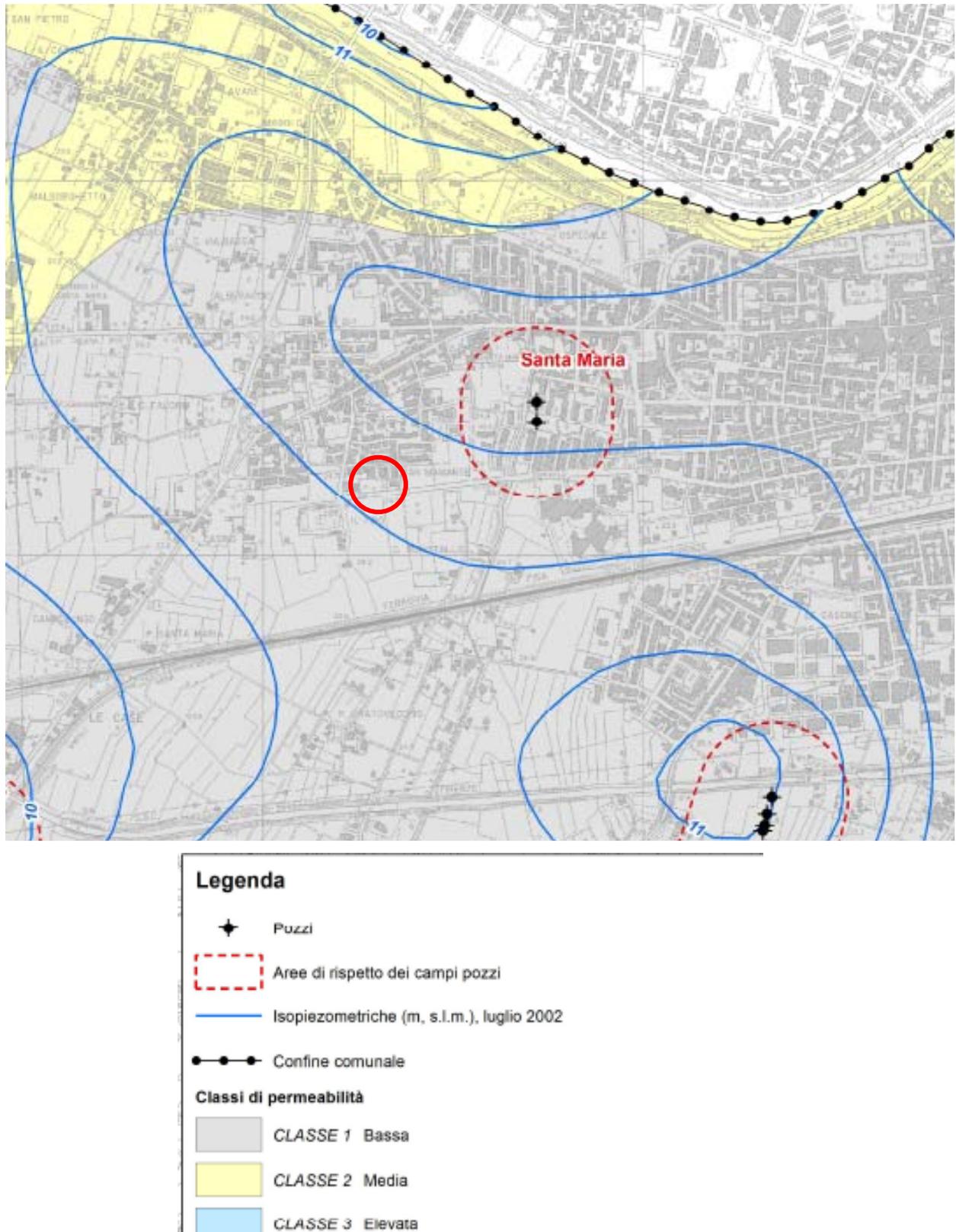


FIG. 3.3 Carta Idrogeologica (da P.S Comune di Empoli. Getas Petrogeo s.r.l. 2012)



4. - QUADRO LITOTECNICO

Sotto il profilo litotecnico le formazioni che caratterizzano il quadro geologico dell'area interessata dal Piano di Recupero, tenuto conto delle indagini a supporto del P.S., FIG. 4.1 e della granulometria dei sedimenti e del loro grado di addensamento, possono essere accorpate in un'unica classe litotecnica: **terreni alluvionali da limosi argillosi a limosi, con caratteristiche geotecniche discrete.**

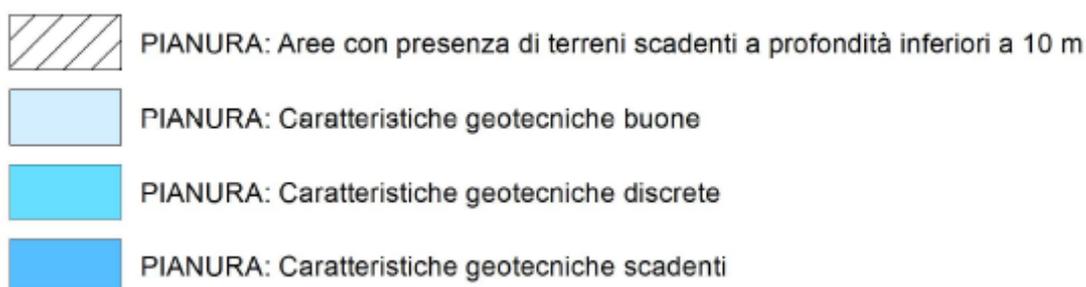


FIG. 4.1 Carta Litotecnica (da P.S Comune di Empoli. Getas Petrogeo s.r.l. 2012)



4.1 – Quadro geotecnico parametrico

Il quadro parametrico è stato ricostruito tenendo conto sia dei dati emersi dalle indagini appositamente eseguite che di quelli ricavabili da precedenti studi (Fedeli-Casella 2007, Geo-System 2006), in particolare dai risultati di 6 prove penetrometrie statiche CPT e 1 sondaggio eseguiti sia nell'area di intervento che in adiacenza alla stessa.

Il quadro geotecnico parametrico ricostruito è il seguente:

- da m p.c. a m 2.5-4.0: **Orizzonte A**

Terreno prevalentemente argilloso limoso, localmente argilloso sabbioso, con valori di R_p generalmente superiori a 20 kg/cmq con punte fino a oltre 40 kg/cmq; a questo strato può essere attribuito un valore di coesione C_u variabile da 0,90 a 1,5 kg/cmq. Allo strato può essere associato un coefficiente di compressibilità volumetrica (m_v) dell'ordine di 0.013-0.017 cmq/kg.

- da m 2.5-4.0 a m 9.00-10.00: **Orizzonte B**

Terreni prevalentemente limoso argillosi con locali livelli sabbiosi e sabbioso-limosi, di medio-bassa consistenza, con valori di R_p compresi tra 10 e 20 kg/cmq; a questo strato può essere attribuito un valore di coesione C_u pari a 0,4-0,7 kg/cmq e a cui può essere associato un coefficiente di compressibilità volumetrica (m_v) dell'ordine di 0.02-0.03 cmq/kg. Ai termini limoso-sabbiosi può essere attribuito un valore dell'angolo di attrito φ pari a 28°-29° ed una Densità relativa del 35 % circa.

- da m 9.00-10.00 a <m 15.00: **Orizzonte C**

Sabbie e sabbie limose più o meno addensate con locali interstrati limoso-argillosi compatti, con valori di N_{SPT} dell'ordine di 8-12 o R_p variabile da 30 a >60 kg/cmq; a questo strato può essere attribuito un valore dell'angolo di attrito φ pari a 30°-32°. Allo strato può essere associato un coefficiente di compressibilità volumetrica (m_v) dell'ordine di 0.005-0.012 cmq/kg.

In sintesi si osserva come il quadro geotecnico parametrico locale sia caratterizzato da un primo orizzonte (orizzonte A), dello spessore di 2.5-4 metri circa, con caratteristiche geotecniche tendenzialmente discrete seppur ampiamente variabili da zona a zona, cui



seguono depositi limoso argillosi con caratteristiche mediocri (livelli con R_p compresa tra 10 e 20 kg/cmq) ed infine un orizzonte sabbioso più addensato e di caratteristiche geotecniche decisamente migliori, presenti almeno fino a oltre i 15 m di profondità dal piano campagna.

Il quadro geo-lito-stratigrafico e parametrico descritto è illustrato dalle sezioni di Fig. 4.3 **a)** e **b)**. L'ubicazione delle indagini eseguite e di riferimento è invece riportata in Fig. 4.2.

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



- ▲ **CPT1a** Penetrometrie statiche campagna Geo System 2006
 - ▲ **CPT2b** Penetrometrie statiche campagna Fedeli Casella 2007
 - ▲ **CPT1c** Penetrometria statica campagna 2015
 - ▲ **CPT1** Penetrometria statica da P.S. Comune di Empoli
 - **S1** Sondaggio da P.S. Comune di Empoli
 - MASW** MASW
- Sezione litotecnica

Area d'intervento

FIG. 4.2 - UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

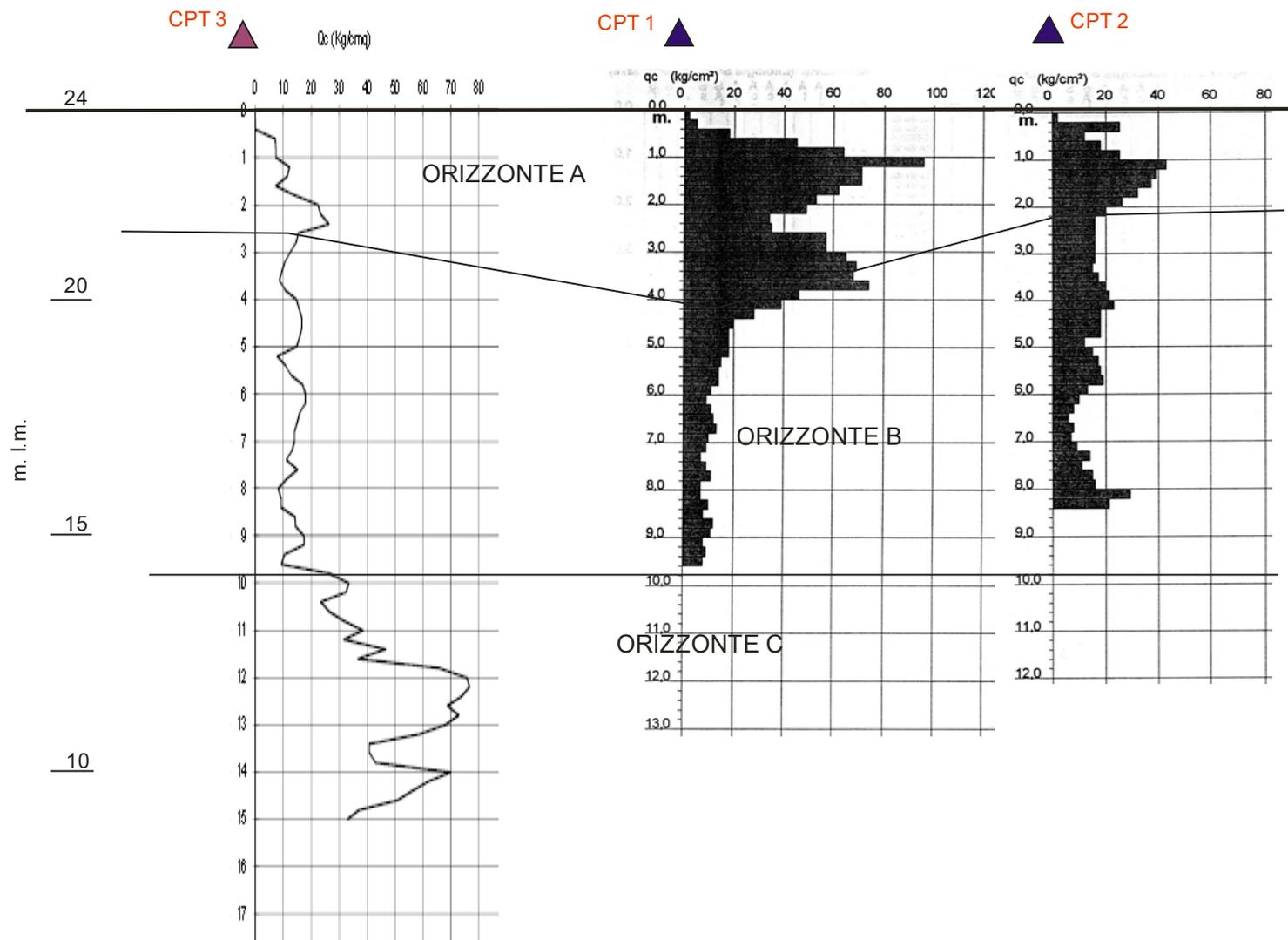


FIG. 4.3 - SEZIONI GEO LITO STRATIGRAFICHE a)

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore

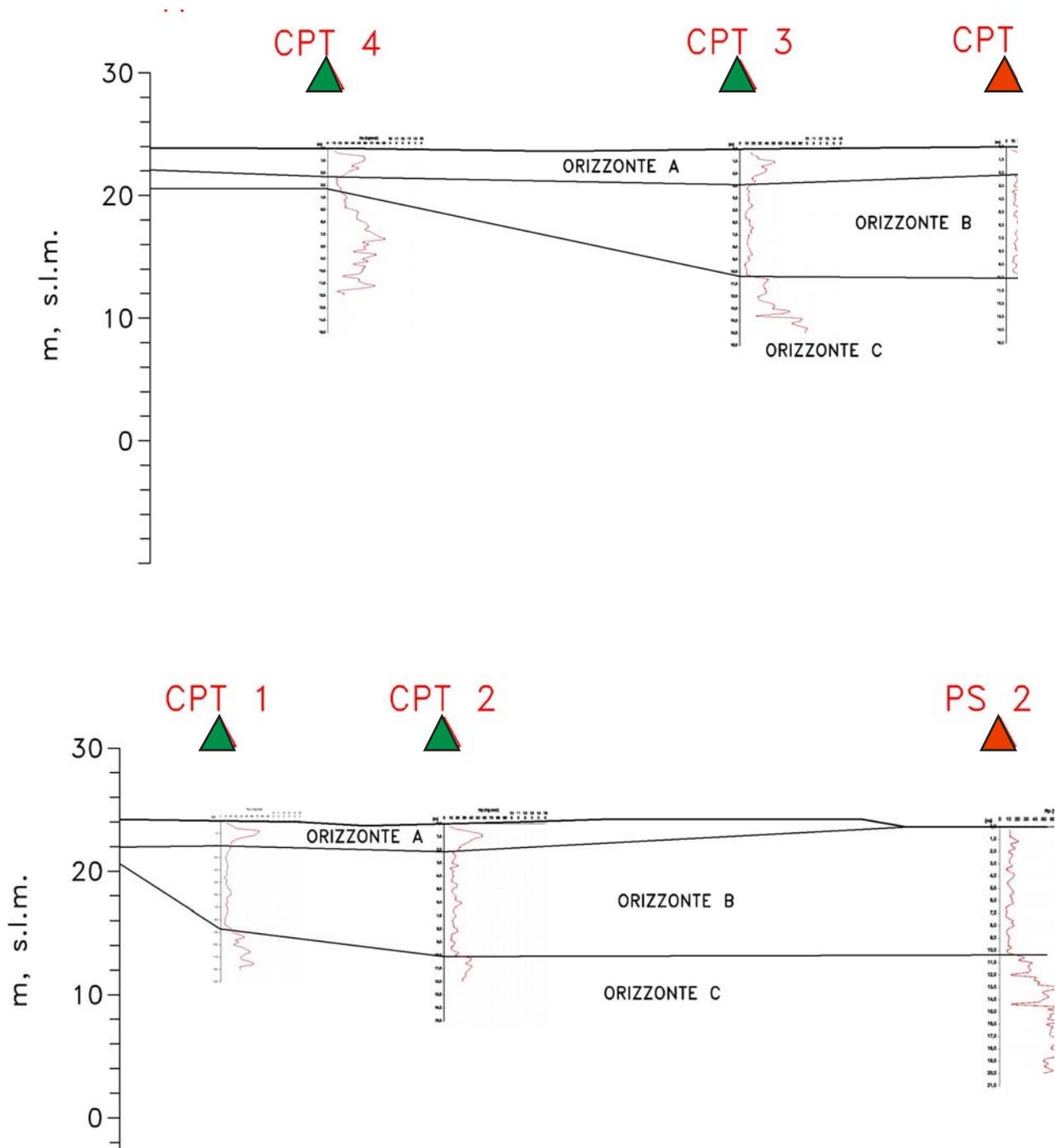


FIG. 4.3 - SEZIONI GEO LITO STRATIGRAFICHE b)



5. - SISMICITÀ

Il territorio comunale di Empoli ricade in Zona 3 di sismicità. In base ai dati reperibili su terremoti verificatisi nei comuni toscani, la massima intensità macrosismica osservata per il comune di Empoli risulta non superiore alla magnitudo 7.

In base al rapporto “Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo a cura di C. Meletti e G. Valensise (2004) Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, il territorio ricadrebbe all’interno della Zona sismogenetica 916 per la quale è stata definita una magnitudo massima di 4,6.

Nell’area interessata dall’intervento non si riconoscono elementi di possibile amplificazione delle onde sismiche né d’altra parte, alla luce delle non elevate accelerazioni e della composizione granulometrica-litologica prevalente dei depositi più superficiali, s’intravede potenziale predisposizione a fenomeni di liquefazione.

La compressibilità dei depositi limo-argillosi superficiali, poco permeabili, fa sì che la dissipazione delle pressioni interstiziali avvenga in tempi sicuramente più lunghi rispetto alla breve durata di un sisma e per tanto, l’evento sismico non produrrà incrementi significativi in termini di eventuali cedimenti su strutture. Tale conclusione può essere estesa anche ai depositi più sabbiosi, seppur dotati di maggiore permeabilità rispetto ai precedenti; infatti anche se in essi la dissipazione delle pressioni interstiziali avviene in tempi più rapidi, anche in questo caso, essi risulteranno più lunghi rispetto alla durata dell’eventuale sisma.

In linea generale, come è stato dimostrato (Carrol, 1963), nei terreni prevalentemente coesivi, l’azione sismica non produce variazioni negative sostanziali in termini di diminuzione delle caratteristiche di resistenza al taglio.

Dall’analisi e dalla valutazione integrata di quanto emerge dall’acquisizione delle conoscenze relative agli elementi esistenti di tipo geologico-litotecnico, geomorfologico e delle indagini geofisiche, geotecniche e geognostiche, a disposizione e/o appositamente eseguite (MASW), possono essere definite le aree ove potenzialmente soggette a effetti locali o di sito. Tale valutazione viene rappresentata attraverso uno studio di Microzonazione Sismica di 1° Livello, secondo i criteri definiti dal D.P.G.R. Toscana n° 53/R del 25 Ottobre 2011, ed in particolare nell’All. A della delibera di G.R.T. n. 261 del 18 Aprile 2011 “Redazione delle specifiche



tecniche regionali per la Microzonazione Sismica”, che ha interamente recepito le linee guida degli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (Gruppo di lavoro MS, 2008).

La cartografia di microzonazione prodotta a supporto del Piano Strutturale di Empoli in particolare la Carta delle MOPS (Microzonazione Omogenea in Prospettiva Sismica) e la Carta della Pericolosità Sismica, FIG. 5.1 e 5.2, l’area interessata dall’intervento in progetto ricade in zona a **Pericolosità Sismica Media S2**.

Nell’area non si rilevano elementi di possibile amplificazione dell’onda sismica. La presenza di una significativa componente fine limosa nei depositi granulari superficiali, rende molto remota la possibilità di moti di filtrazione tali da indurre a possibili fenomeni di liquefazione.

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell’Autore

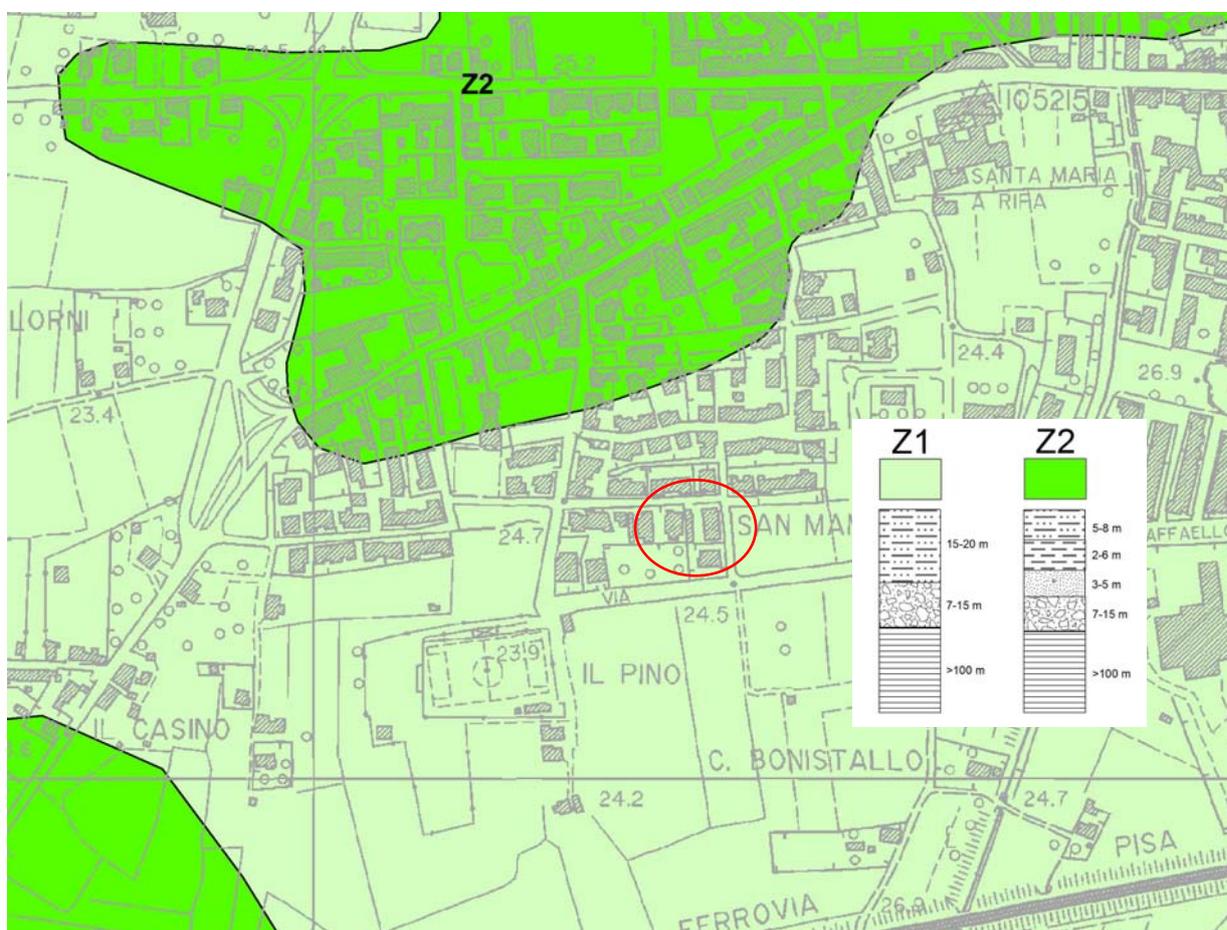
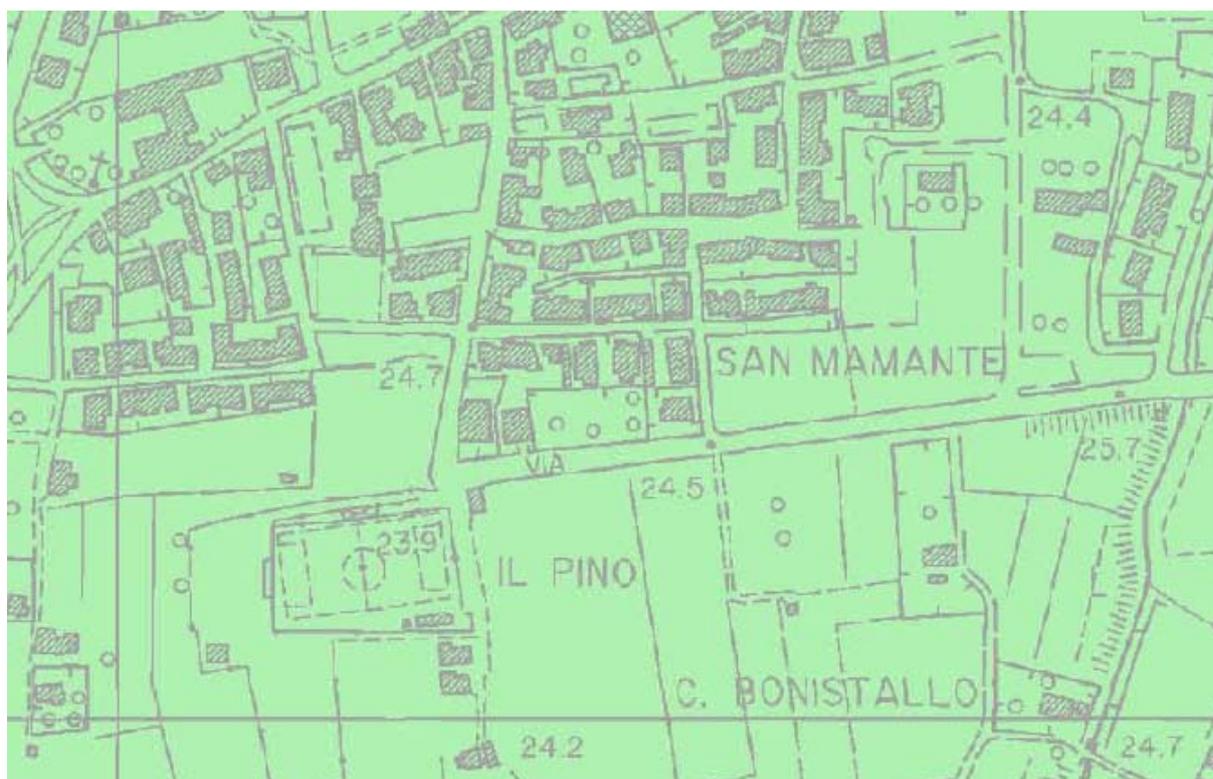


FIG. 5.1 – CARTA M.O.P.S.

(Estratto da Indagini Geologiche Tecniche di supporto al P. S. del Comune di Empoli)





S2 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE MEDIA

FIG. 5.2 – CARTA PERICOLOSITA' SISMICA

(Estratto da Indagini Geologico Tecniche di supporto al P. S. del Comune di Empoli)

5.1. Indagini sismiche eseguite. Cenni metodologici

La modellazione sismica locale del sottosuolo è stata ottenuta attraverso un'indagine appositamente eseguita in particolare per mezzo di un MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) e di un'analisi di tipo passivo attraverso misura di microtremori. L'ubicazione dell'indagine eseguita è riportata in FIG.5.3. I risultati dell'indagine sono riportati in Annesso. Oltre alle indagini appositamente eseguite ci si è riferiti anche ai risultati di indagini sismiche eseguite in aree limitrofe, in particolare sempre ad un MASW e ad una misurazione di microtremore, desunte dal database allegato al P.S. comunale (MW L36 e P935).





FIG. 5.3 – UBICAZIONE INDAGINI SISMICHE

a) La metodologia MASW permette di ricavare le velocità di propagazione delle onde trasversali o di taglio S (onde di corpo) nel sottosuolo sfruttando le onde di superficie e, più precisamente, le onde di Rayleigh.

In un semispazio omogeneo la velocità di propagazione di tali onde non dipende dalla frequenza ovvero “non si disperdono”; in presenza di una superficie libera una particella interessata da un'onda di Rayleigh mostra un moto ellittico retrogrado (in senso antiorario).

L'impiego delle onde di superficie, in particolare quelle di Rayleigh, è giustificato dal fatto che esse impiegano gran parte dell'energia necessaria alla generazione e propagazione delle onde di corpo.

La propagazione delle onde di Rayleigh, è influenzata dalla densità dei materiali attraversati e dalla velocità delle onde P ma, soprattutto, è funzione della velocità delle onde S. Al variare in senso verticale delle caratteristiche meccaniche dei terreni e, quindi, in presenza di un semispazio omogeneo stratificato, varia la velocità di propagazione di ciascuna delle componenti di frequenza di tale onda superficiale; a ognuna di queste velocità, dette “di fase”, corrisponde una differente lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa caratteristica viene detta “dispersione”. La dispersione può essere quindi definita come “la deformazione di un treno d'onda dovuta ad una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza” (“La Metodologia MASW per la determinazione delle VS30” G. Del Moro e P. Gabrielli, Geofluid 2006). La dispersione delle onde superficiali, essendo intrinsecamente dipendente dalle caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati, permette



di studiarne le proprietà elastiche, giungendo alla realizzazione di un profilo verticale di velocità di propagazione delle onde di taglio S ed evidenziando eventuali zone di inversione di velocità. Operativamente il metodo MASW permette in genere di investigare una profondità di 30 mt con una lunghezza dello stendimento a partire già da 23-24 mt ovvero utilizzando n°24 geofoni con passo di 1 mt a seconda del software utilizzato per l'inversione e, soprattutto, in funzione di come si propagano le onde superficiali nel terreno.

La fase di campagna necessaria per l'acquisizione del segnale sismico richiede la realizzazione di uno stendimento costituito da 24 geofoni verticali da 4.5 Hz e quindi particolarmente sensibili alle basse frequenze, opportunamente spazati. Per la realizzazione delle onde di compressione viene utilizzata una sorgente costituita da una mazza battente da 8 kg munita di interruttore inerziale come starter e piastra in alluminio.

b) Il microtremore "rumore sismico" è presente ovunque sulla superficie della terra ed è generato dai fenomeni ambientali e dall'attività antropica. L'analisi delle misure di rumore sismico possono essere condotte in tre modi: Rapporti spettrali; Spettri di Fourier; Rapporti spettrali H/V. Il metodo più usato e più affidabile è quello dei rapporti spettrali H/V che consiste nella misura dei rapporti degli spettri di Fourier nel piano orizzontale e della componente verticale. Il metodo è stato introdotto nei primi anni '70 da scienziati giapponesi tra cui Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al. (1979) e poi ripreso nel 1989 da Nakamura. Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) mira all'individuazione di possibili fenomeni di risonanza sismica e delle relative frequenze e si basa sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e della componente verticale del rumore sismico ambientale. In presenza di forti contrasti di impedenza sismica nel sottosuolo (ad esempio in corrispondenze del passaggio fra litologie caratterizzate da velocità delle onde sismiche molto differenti) la funzione H/V, che rappresenta i rapporti spettrali medi in funzione della frequenza, presenta dei massimi che corrispondono con le frequenze di risonanza. Esiste poi una proporzionalità (non lineare) fra l'ampiezza dei massimi della funzione H/V e l'entità del contrasto di impedenza sismica. La frequenza di risonanza fornisce indicazioni sul rapporto fra la velocità delle onde S dello strato al tetto del bedrock sismico e la profondità di quest'ultimo:

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

dove:

f_0 = frequenza di risonanza

V_s = velocità delle onde S della copertura

H = spessore della copertura/profondità bedrock

n = 1,3,5,.....



5.2 Definizione della sismicità di riferimento

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274, il testo unico sulle norme tecniche per le costruzioni in zona sismica e l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3431 prescrivono che deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale.

In mancanza di tali studi si può utilizzare una classificazione che riguardi i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni degli edifici ed il sub-strato rigido di riferimento (bedrock o comunque un substrato commisurato alla estensione ed importanza dell'opera).

Con l'entrata in vigore delle NTC 2018 per la valutazione dell'azione sismica secondo l'approccio semplificato riconducibile alle categorie di sottosuolo si fa riferimento a $V_{s,eq}$.

$$V_{s,eq} = H / (\sum_{i=1}^N (h_i / V_{S,i}))$$

Dove:

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 e terreno molto rigido, caratterizzato da VS non inferiore a 800 m/s.

La profondità H del substrato è calcolata a partire dal piano di imposta per le fondazioni superficiali, dalla testa dei pali per le fondazioni profonde e a partire dalla testa dell'opera per le opere di sostegno.

$V_{s,eq}$ è uguale a $V_{s,30}$ quando la profondità H del substrato è superiore a 30 m

Le macro categorie individuate dalla normativa sulle costruzioni (NTC 2018) sono riportate nella tabella che segue. Le varie categorie di sottosuolo sono quindi caratterizzate da velocità $V_{s,eq}$ decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti. Per ogni categoria di suolo di fondazione l'Ordinanza indica un fattore S, variabile tra 1 e 1,35, moltiplicatore dell'accelerazione a_g relativa alla zona indagata.

Per le diverse categorie di sottosuolo, il livello di sismicità di una specifica area viene caratterizzato attraverso il valore dell'accelerazione massima ($a_g S$) e vengono anche definiti i periodi TB – TC – TD che individuano la forma della componente orizzontale e della componente verticale dell'azione sismica. In definitiva, in un determinato sito il moto sismico è definito da uno spettro di risposta elastico la cui espressione dipende, tramite opportuni coefficienti numerici, dalle caratteristiche del terreno (fattore S e periodi TB – TC – TD), del periodo di vibrazione proprio della struttura (TO), dall'accelerazione al suolo e dal fattore che tiene conto dello smorzamento viscoso della struttura.



La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le N.T.C. e di dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali.

Categoria	Caratteristiche di sottosuolo
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.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente 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 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 quelli definiti per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab.2 Classi di sottosuolo

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni **ag** e dai parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle N.T.C. e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- **ag** accelerazione orizzontale massima del terreno;
- **F0** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- **TC*** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento, i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno.

5.3 - Risultati

L'acquisizione del segnale è stata eseguita su uno stendimento di 24 geofoni aventi frequenza di 4,5 Hz ed equidistanziati 2,0 metri. Come fonte di energia elastica è stata utilizzata una



mazza da 8 Kg incidente su una piastra in alluminio. L'energia prodotta ed il contenuto in frequenza dell'energizzazione sono risultati adeguati per le finalità dello studio ed il sismogramma ottenuto è risultato sempre di buona qualità. In mancanza di informazioni precise il coefficiente di Poisson e la densità dei terreni sono stati assunti pari rispettivamente a 0,333 e 1800 Kg/m³. Come mette in evidenza il diagramma di Fig. 5.4, l'indagine non ha rilevato la presenza di substrato sismico entro i 30 metri dal p.c. . Pertanto si può considerare $V_{s,eq}$ uguale a $V_{s,30}$, che per l'intervallo di profondità 0-30 m, è risultato pari a 270 m/sec, FIG. 5.4, e quindi corrisponde ad un suolo di tipo **categoria C**:

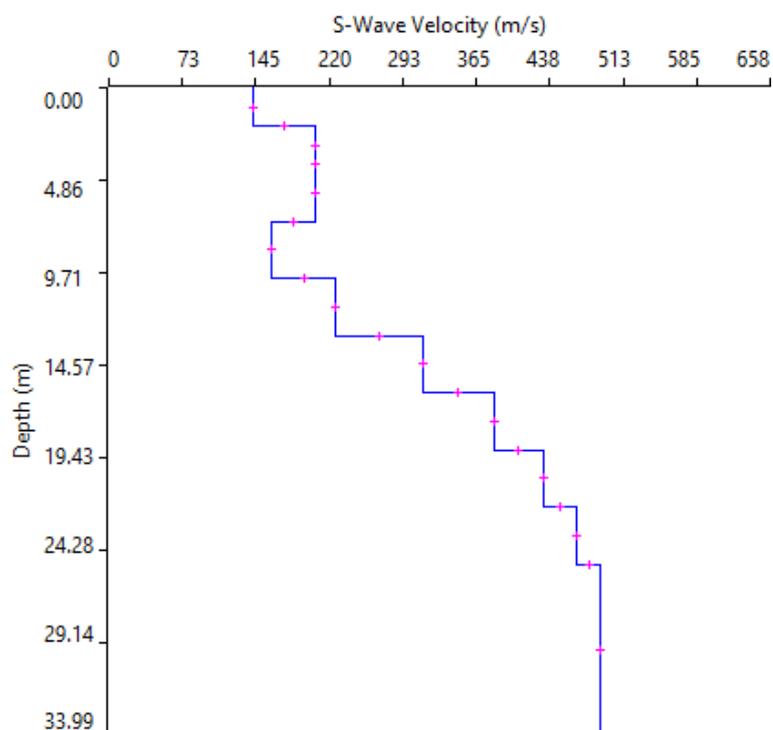


FIG. 5.4 - MASW

Per quanto riguarda le precedenti indagini relative all'area, anche in quel caso non veniva riscontrata presenza di substrato sismico entro i 30 metri dal p.c.. Il MASW a suo tempo eseguito, FIG. 5.5, evidenzia una velocità V_{s30} , per l'intervallo di profondità 0-30 m, pari a 243 m/sec, quindi confermando ancora un suolo di tipo C.



Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore

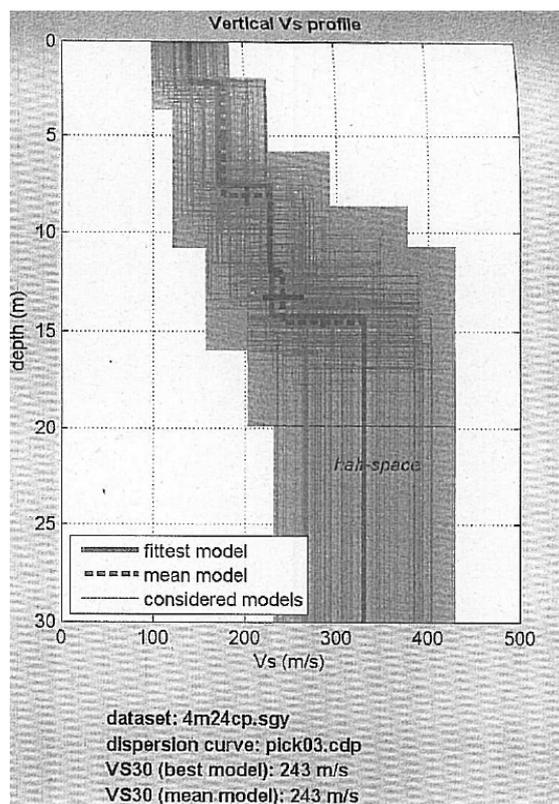


FIG. 5.5 - MASW

La misura dei microtremori, con riferimento al diagramma di frequenza di FIG. 5.6, evidenzia come il picco del rapporto H/V è a 1.915 Hz:

Denominazione	Ubicazione	Coordinata N	Coordinata E	H/V	A0
HVSR_9	Via Luigi Lazzari	43°43.104'	10°55.848'	1.983 +/- 0.297	1.915 [1.466; 2.502]

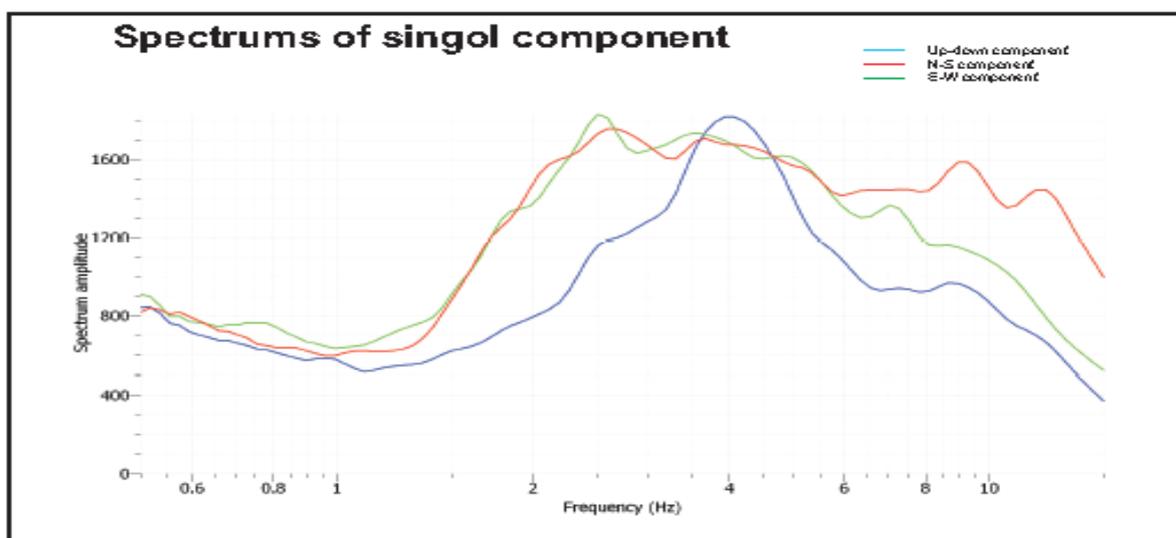


FIG. 5.6 – Diagramma di frequenza



Come già detto, la frequenza di risonanza fornisce indicazioni sul rapporto fra la velocità delle onde S dello strato al tetto del bedrock sismico e la profondità di quest'ultimo. Ricorrendo alla formula:

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

dove:

f_0 = frequenza di risonanza

V_s = velocità delle onde S della copertura

H = spessore della copertura/profondità bedrock

$n = 1,3,5,.....$

i valori di frequenza rilevano dei picchi H/V (ampiezza 1.915), che variano mediamente tra circa 3 Hz e 4.5 Hz. Tali valori, sono compatibili con un modello geologico in cui ad uno spessore variabile intorno ai 30-35 m di sedimenti alluvionali prevalentemente limosi argillosi e subordinatamente sabbiosi, caratterizzati, come mostrano le varie indagini sismiche a rifrazione, da una velocità delle onde di taglio V_s intorno ai 240-270 m/sec, e quindi generalmente classificabili da un punto di vista sismico come terreno di categoria C, su una successione pliocenica prevalentemente argillosa più compatta, caratterizzata in genere da velocità sismiche maggiori ($V_s=400-450$ m/sec).

Il tipo di picco rilevato, in accordo anche con indagini analoghe eseguite a supporto del Piano Strutturale, non sembra evidenziare un fenomeno di risonanza particolarmente pronunciato; quindi, pur avendo lo stesso un indubbio significato stratigrafico (passaggio litologico fra terreni a diversa velocità sismica da alluvioni a successione argillosa pliocenica), non si ritiene che esistano le premesse per attribuire una particolare significatività sotto il profilo della pericolosità sismica eventualmente derivabile. Ciò è suffragato anche dalle non elevate differenze di velocità sismiche Sh tra i due depositi.

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



6. PERICOLOSITA' E PROBLEMATICHE GEOLOGICHE GEOTECNICHE

6.1. – Condizioni di Pericolosità e Fattibilità secondo R.U. Comune di Empoli

Con riferimento al R.U. comunale e in particolare alla scheda PUC corrispondente, l'area d'intervento risulta:

- Caratteristiche geologico tecniche dell'area:

Terreni caratterizzati generalmente dalla presenza di strati con R_p compresa tra 10 e 20 kg/cm^2 e da intervalli limitati con $R_p > 20 \text{ kg/cm}^2$. Queste caratteristiche possono peggiorare o migliorare in funzione dell'incidenza dei livelli con R_p intorno a 10 kg/cm^2 rispetto a quelli con R_p intorno a 20 kg/cm^2 . La resistenza a rottura è variabile da media a bassa mentre la compressibilità è variabile da media ad elevata.

- Condizioni di Pericolosità'

- Pericolosità Geologica: **G.2** Pericolosità geologica media.
- Pericolosità Idraulica: **I.2** Pericolosità idraulica media.
- Pericolosità Sismica: **S.2** Pericolosità sismica locale media.

- Condizioni di Fattibilità

- Condizioni di Fattibilità Geologico-tecnica: **F2** Fattibilità con normali vincoli da precisare a livello di progetto.
- Condizioni di Fattibilità Idraulica: **F2** Fattibilità con normali vincoli da precisare a livello di progetto.
- Condizioni di Fattibilità Sismici: **F2** Fattibilità con normali vincoli da precisare a livello di progetto.

Il quadro che emerge dagli studi di supporto al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico come detto, non evidenziano problematiche particolari, se non la necessità di eseguire indagini geognostiche di approfondimento per la definizione e la ricostruzione di un quadro geotecnico stratigrafico e parametrico che possa opportunamente supportare la progettazione delle opere previste sull'area. Il quadro geologico, idraulico e sismico ricostruito, sulla base delle indagini di approfondimento geognostico eseguite e di quelle numerose esistenti anche su aree contigue, appare esaustivo e sufficiente per definire le eventuali problematiche in relazione agli interventi edificatori e urbanistici in progetto. Le indagini appositamente eseguite (Penetrometrie statiche + Indagine sismica), unitamente a quelle a disposizione eseguite in passato nell'area e in zone contigue, confermano il quadro conoscitivo generale del P.S.,



permettendo di trarre un quadro geostratigrafico e geotecnico locale di maggiore dettaglio. In sintesi il quadro geotecnico parametrico locale risulta caratterizzato da un primo orizzonte (**orizzonte A**), dello spessore di 2.5-4 metri circa, con caratteristiche geotecniche tendenzialmente discrete seppur ampiamente variabili da zona a zona, cui seguono depositi limoso argillosi con caratteristiche mediocri (livelli con **R_p** compresa tra 10 e 20 kg/cmq) ed infine un orizzonte sabbioso più addensato e di caratteristiche geotecniche decisamente migliori, presenti almeno fino a oltre i 15 m di profondità dal piano campagna.

Rimangono quindi valide le condizioni di pericolosità geologica indicate dal R.U. e in particolare una Pericolosità media **G2**.

G.2	MEDIA	Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giacaturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%.
------------	-------	---

Tale quadro appare compatibile con il tipo di intervento in progetto. Sono da prevedersi carichi di esercizio non particolarmente elevati sui terreni di fondazione e, comunque, compatibili con il quadro litotecnico locale.

Sotto il profilo sismico l'area non presenta particolari condizioni di possibile amplificazione delle onde sismiche. Il valore di Vs30, determinato per l'intervallo di profondità 0-30 m, è risultato pari a 270 m/sec, corrispondente ad un suolo di categoria tipo **C**. Si conferma una Pericolosità Sismica locale media **S2**.

S.2	PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE MEDIA	Zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe S3)
------------	-----------------------------------	---

Per quanto concerne il rischio idraulico, il vigente P.S. di Empoli per l'area in questione individuava condizioni di Pericolosità idraulica media.

Il **Piano di gestione del rischio alluvioni PGRA** che ha normalizzato e rivisto i vari studi e PAI relativamente al rischio e pericolosità idraulica del bacino settentrionale toscano, configura per l'area condizioni di **Pericolosità bassa P1** e di **Rischio basso R1**, Fig. 6.1.

Il PGRA considera in classe di Pericolosità bassa **P1** (alluvioni rare e di estrema intensità) le stesse aree che il PS comunale in base alla LRT 53/R considerava a Pericolosità Media **I2**. Le aree che secondo il PS erano considerate in classe di Pericolosità Elevata I3 (PIE), sono adesso ricomprese dal PGRA in classe a Pericolosità Media P2 (alluvioni poco frequenti), mentre le aree a Pericolosità molto elevata I4 (PIME) sono oggi ricomprese in classe di Pericolosità Elevata P3 (alluvioni frequenti).



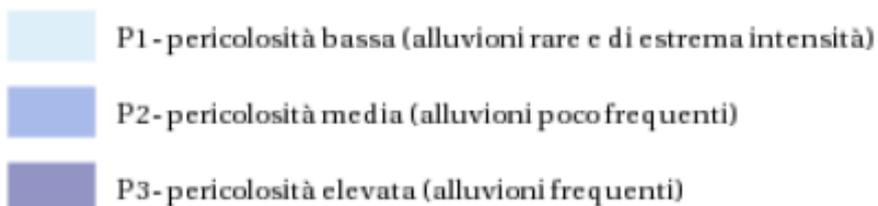


Fig. 6.1 Carta della pericolosità idraulica (da P.G.R.A. Regione Toscana)

Nella tabella che segue si riporta un quadro di raffronto tra le classi di pericolosità idraulica così come emergono dall'esame sinottico delle varie cartografie di pericolosità.

Classi di Pericolosità LRT 53/R	P.A.I.	Classi di Pericolosità Direttiva Alluvioni P.G.R.A.
I1	--	--
I2	--	P1
I3	PIE	P2
I4	PIME	P3

Tab. 1 Confronto classi di Pericolosità

Sulla base di tali condizioni di rischio idraulico, ai sensi della vigente LRT 53/R, si confermano condizioni di Pericolosità Idraulica media **I2**.



I.2	MEDIA	<p>Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < Tr \leq 500$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni:</p> <p>a) non vi sono notizie storiche di inondazioni;</p> <p>b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.</p>
------------	-------	---

Il quadro di pericolosità totale competente l'area è riassunto dalla carta di FIG. 6.2.

Alla luce del quadro conoscitivo geologico-sismico e idraulico ricostruito non si evidenziano quindi problematiche particolari che possano condizionare in maniera negativa la fattibilità degli interventi in progetto e si ritengono peraltro rispettate le raccomandazioni legate alla Fattibilità Geologica, Fattibilità Sismica e Idraulica **F2** indicate nella scheda relativa al PUC allegata al R.U. comunale.

F2	Fattibilità con normali vincoli	Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.
-----------	---------------------------------	---

Il quadro di fattibilità è riassunto dalla carta di FIG. 6.3.



Dott. Geol. Massimo Pellegrini



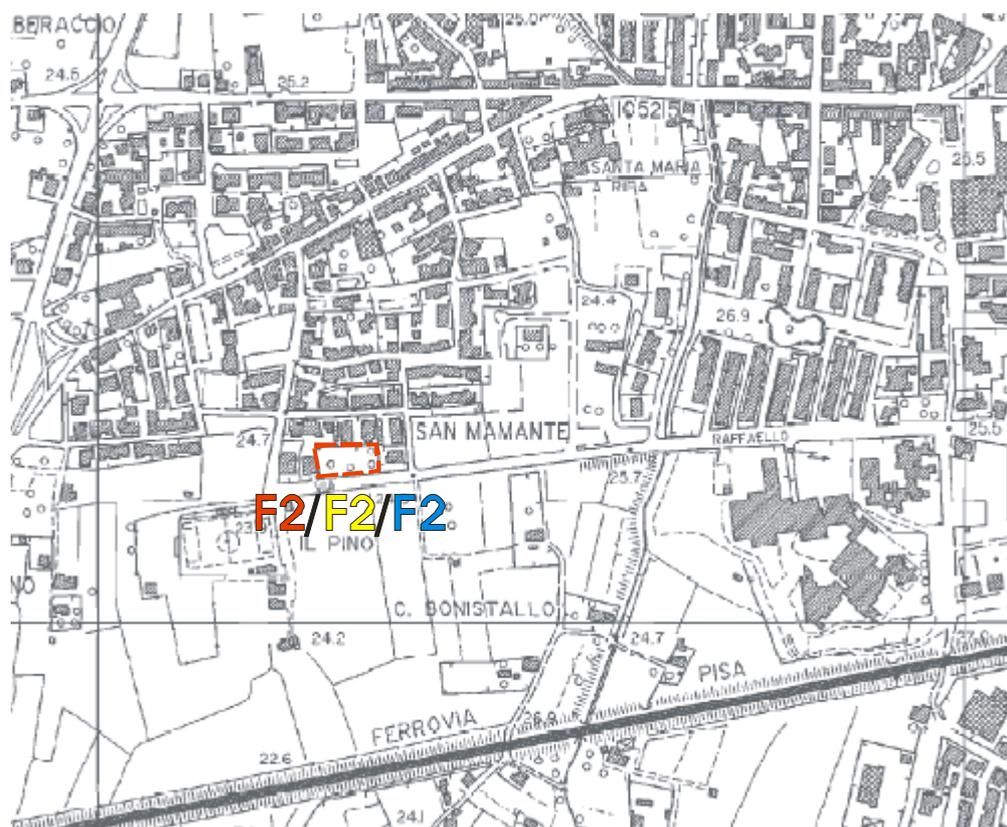
CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA – IDRAULICA - SISMICA**LEGENDA**

- G2** - Pericolosità Geologica-Geomorfologica Media
- S2** - Pericolosità sismica locale media
- I.2** - Pericolosità Idraulica media

FIG. 6.2

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA – IDRAULICA - SISMICA**LEGENDA**

- F2** - Fattibilità Geologica-Geomorfologica con normali vincoli
- F2** - Fattibilità Sismica con normali vincoli
- F2** - Fattibilità Idraulica con normali vincoli

FIG. 6.3

A N N E S S O

Indagini geognostiche di riferimento

Indagini geofisiche

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



Sondaggi da P.S. Comune di Empoli

P561						
Fonte: database SIRA					id: 95217	
da	0	m	a	6	m	LIMO
da	6	m	a	12	m	LIMO SABBIOSO
da	12	m	a	16	m	SABBIA LIMOSA
da	16	m	a	21	m	LIMO ARGILLOSO
da	21	m	a	27	m	ARGILLA
da	27	m	a	31	m	GHIAIA
da	31	m	a	35	m	SABBIA LIMOSA
da	35	m	a	43	m	ARGILLA

P621						
Fonte: database SIRA					id: 95303	
da	0	m	a	6	m	terreno vegetale
da	6	m	a	11	m	argilla turchina
da	11	m	a	26	m	sabbia
da	26	m	a	28	m	ghiaia mista a sabbia
da	28	m	a	30	m	argilla turchina

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



TABELLA DATI DI CAMPAGNA

PROF.	punta	punta+m anicotto	Rt
0,2			4
0,4			14
0,6	6	20	22
0,8	6	16	24
1	6	16	30
1,2	11	21	33
1,4	10	23	33
1,6	6	22	33
1,8	13	29	33
2	21	35	50
2,2	22	39	65
2,4	25	42	79
2,6	14	37	84
2,8	13	21	87
3	11	14	91
3,2	9	17	94
3,4	8	14	96
3,6	7	11	98
3,8	9	14	107
4	13	21	116
4,2	14	25	123
4,4	15	27	132
4,6	15	27	136
4,8	14	29	144
5	13	26	147
5,2	6	20	152
5,4	9	16	157
5,6	11	18	162
5,8	15	24	169
6	16	29	177
6,2	16	29	186
6,4	14	28	195
6,6	13	26	199
6,8	12	21	201
7	12	24	205
7,2	11	20	206
7,4	9	18	213
7,6	13	21	218
7,8	9	22	223
8	6	18	226
8,2	7	13	230
8,4	7	13	237
8,6	12	21	237
8,8	12	21	237
9	15	20	250
9,2	15	30	244
9,4	8	17	243
9,6	7	13	245
9,8	24	33	250
10	31	40	275

GEOSEVIZI S.N.C.
di Coscò e Spadaro
Via U. Foscolo, 14
Ghezzano (PI)
Tel. 050/878470
PINA 01121470502

certificato num: 36/2015

prove totali: 1
Prova numero: 1
Committente: SO.G.E.T.
Località: EMPOLI
Cantiere:

Data: 17/2/15

profondità massima: 15

quota falda: 10,5

quota piano campagna:

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



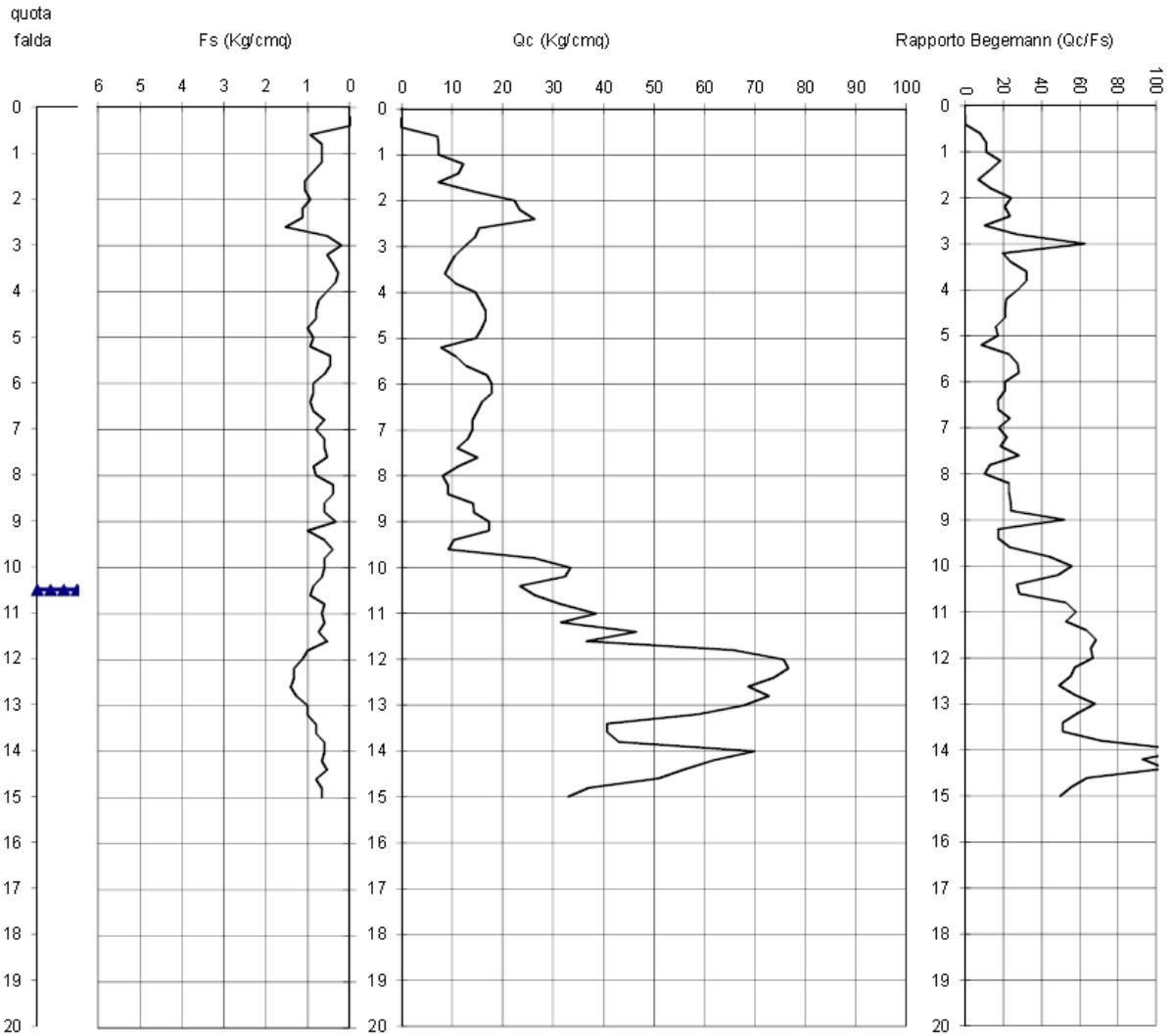


GEOSERVIZI
S. N. C.
 di Cosco e Spadaro
 Via U. Foscolo 14 - 56017 Ghezzano (PI)
 tel e fax 050-878470 cell. 339-134492

Prova numero 1
 Committente SO.GE.T.
 Località EMPOLI
 Cantiere
 Data 17/2/15

Profondità massima (m): 15
 Quota falda (m dal p.c.): 10,5

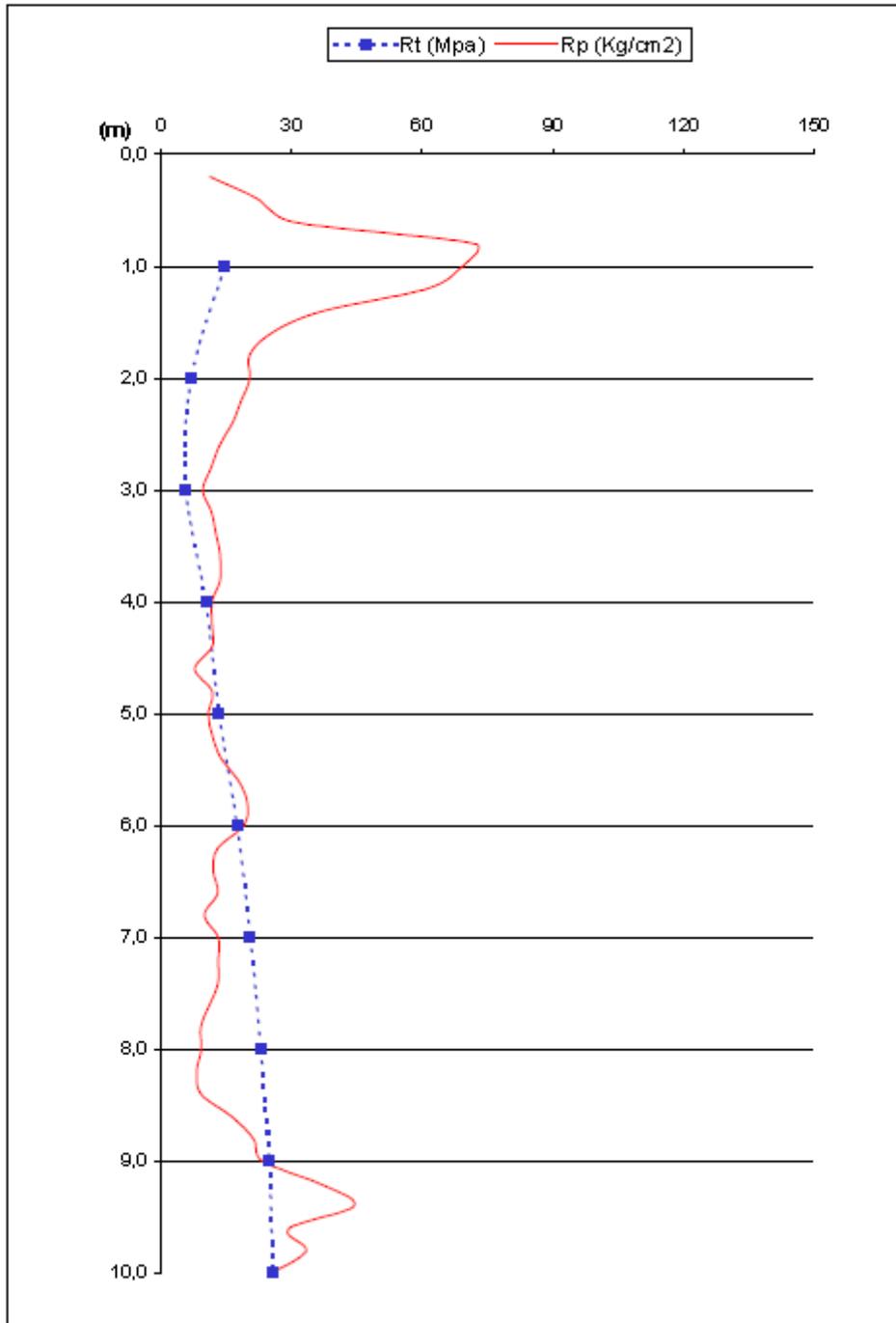
Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



PENETROMETRO STATICO: TG 73 200 KN PAGANI



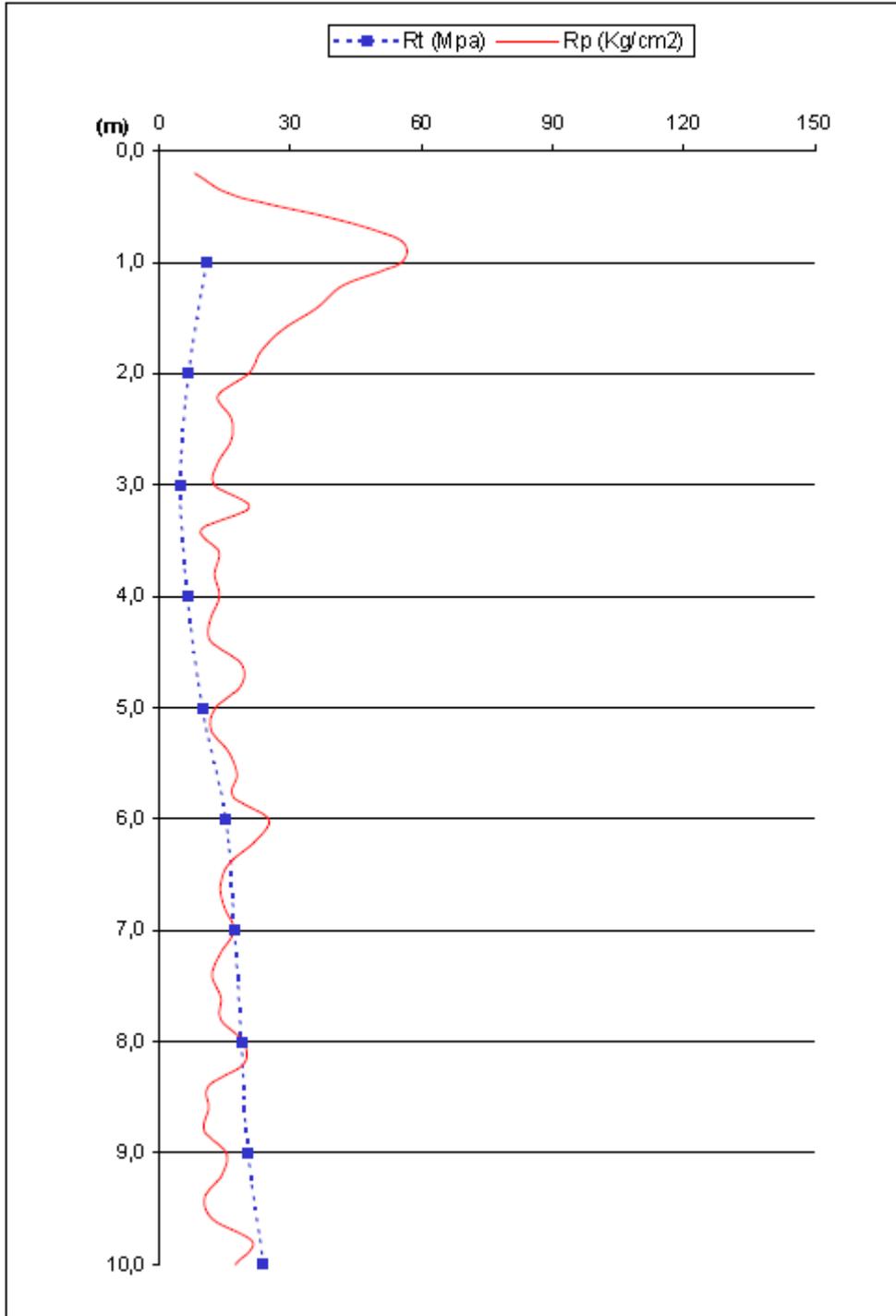
Prova n°	1	Località:	Empoli	rif:	11empoli01
Data :	10/11/06		livello falda (m da p.c.):		n.r.



Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



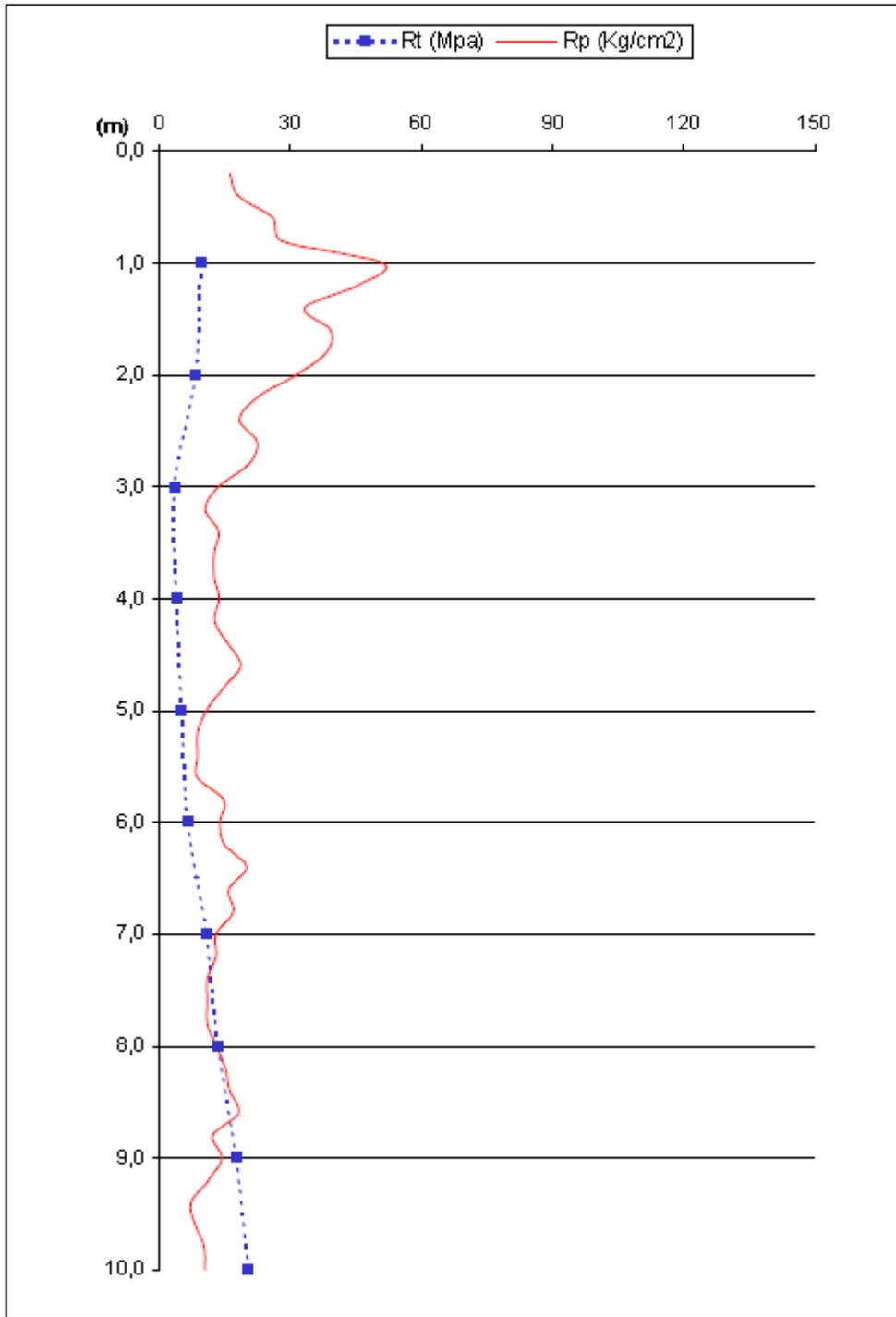
Prova n°	2	Località:	Empoli	rif.:	11empoli02
Data:	10/11/06		livello falda (m da p.c.):		n.r.



Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



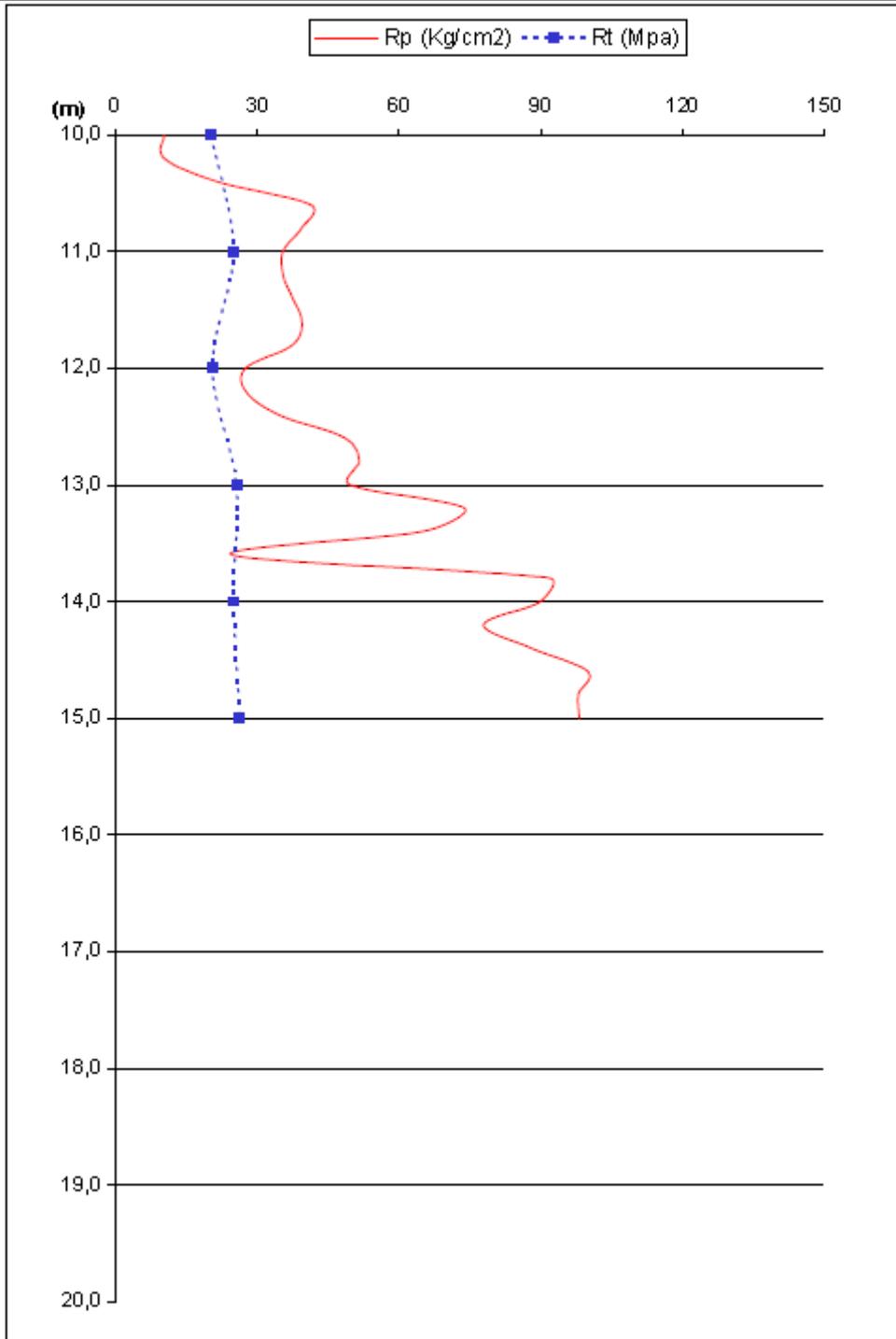
Prova n°	3	Località:	Empoli	rif.:	11empoli03
Data:	10/11/06		livello falda (m da p.c.):		nr



Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



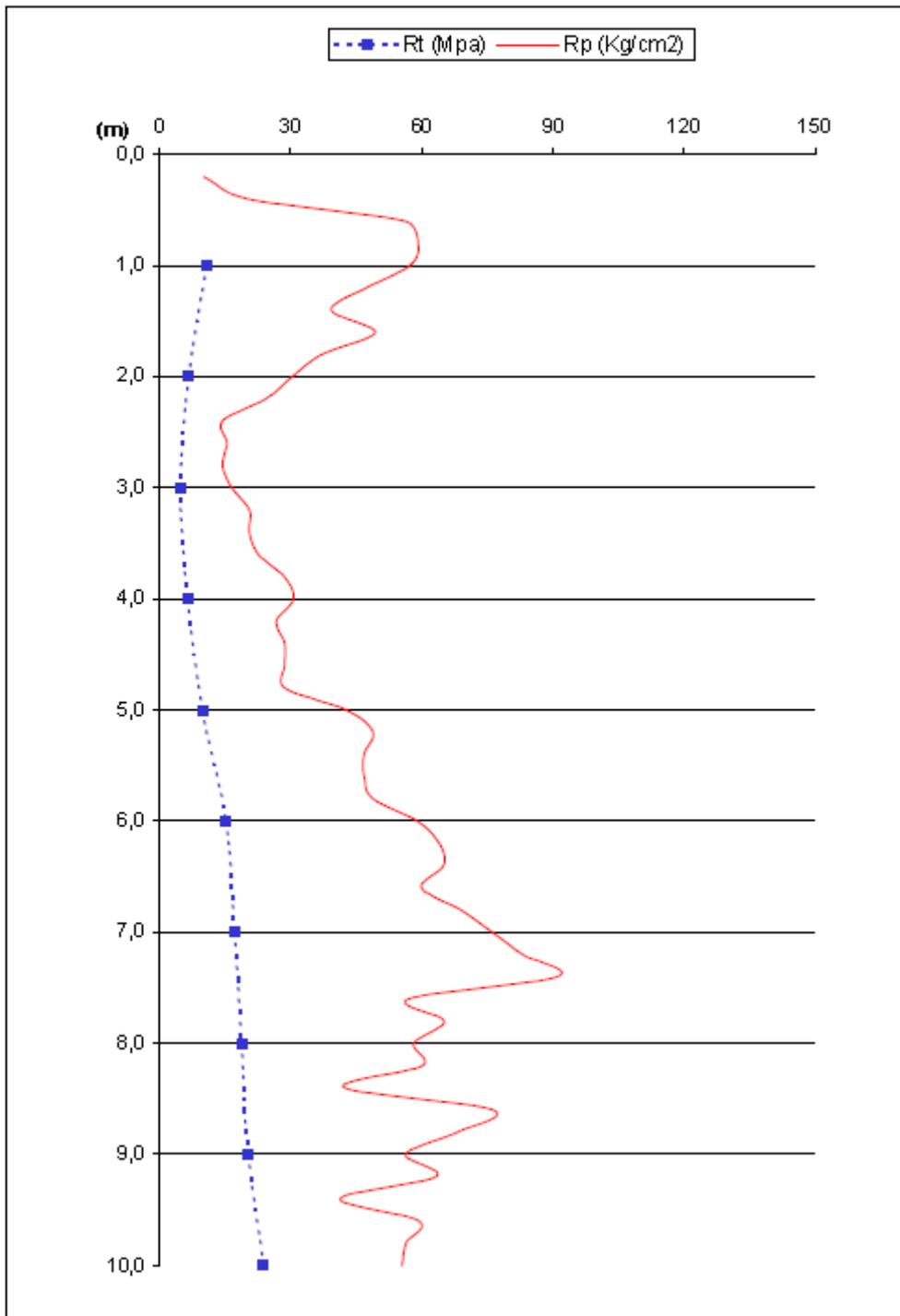
Prova n°	3	Località:	Empoli	rif.:	11empoli03
Data:	10/11/06		livello falda (m da p.c.):		nr



Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



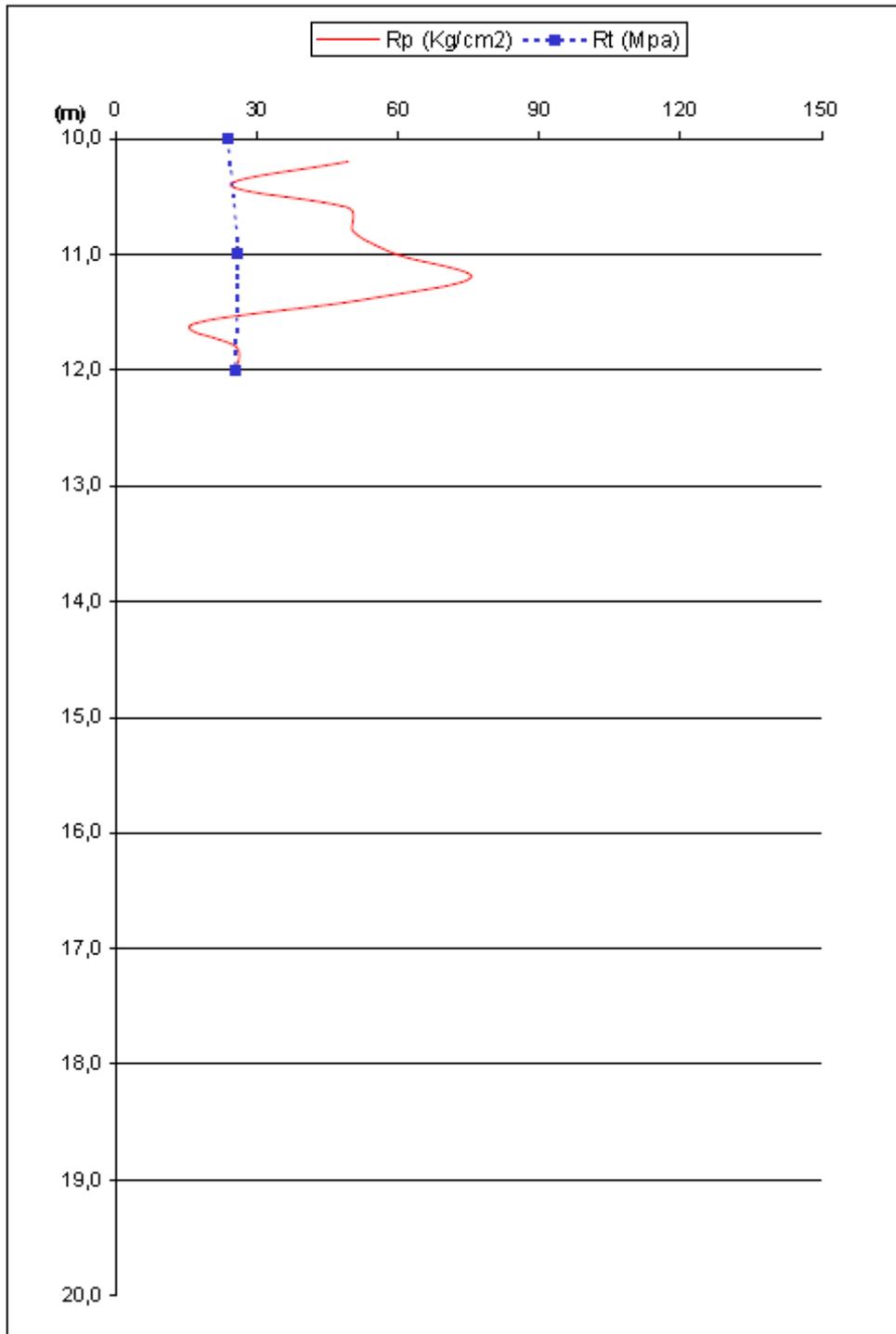
Prova n°	4	Località:	Empoli	rif.:	11empoli04
Data:	10/11/06		livello falda (m da p.c.):		n.r.



Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



Prova n°	4	Località:	Empoli	rif.:	11empoli04
Data:	10/11/06		livello falda (m da p.c.):		n.r.

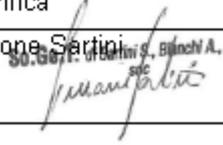


Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore





N° 02232015 – Dott. Geol. M. Pellegrini
 SERVIZI INTEGRATI DI GEOTECHNICA PER IL TERRITORIO
 Via per S. Alessio, 1733/C
 55100 Lucca
 P. I. 02114055466

Rapporto n° 00232015			
Committente	Dott. Geologo Massimo Pellegrini		
Tipo di indagine	Indagine Masw		
Cantiere	Via Raffaello Sanzio, Empoli		
Data esecuzione misure	17 febbraio 2015		
Data emissione rapporto	23 febbraio 2015		
			
Redazione		Verifica	
Dott. Alessandro Bianchi		Dott. Simone Sartini	
			

So.Ge.T. di Sartini S., Bianchi A. – s.n.c. Via per S. Alessio n°1733/C – 55100 Lucca
 e.mail: info@sogetsnc.eu – www.sogetsnc.eu Tel./Fax. 0583343380 P.I. / C.F. 02115540466

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore





N° 02232015 – Dott. Geol. M. Pellegrini
SERVIZI INTEGRATI DI GEOFISICA PER IL TERRITORIO
Via per S. Alessio, 1733/C
55100 Lucca
P.I. 02114055466

1) Scopo dell'indagine

Dietro incarico della Committenza sono state eseguite indagini geofisiche con lo scopo di caratterizzare i terreni presenti nel lotto in studio mediante il parametro V_{s30} .

La caratterizzazione in oggetto è stata eseguita facendo ricorso alla tecnica denominata M.A.S.W. (Multi-channel analysis of surface waves), basata sullo studio della propagazione delle onde sismiche di superficie (Onde di Rayleigh). Inoltre è stata eseguita una misura HVSR che consiste nella registrazione del cosiddetto "rumore sismico" (o "microtremore").

Oggetto della presente relazione sono i risultati a cui si è pervenuti.

2) Risultati dell'indagine MASW e definizione della Categoria di Suolo.

Ai sensi della nuova normativa antisismica nazionale (D.M. 14 Gennaio 2008 Norme Tecniche per le costruzioni) si è proceduto a determinare il parametro V_{s30} , che esprime la velocità media delle onde elastiche di taglio (onde S appunto) nei primi 30 metri di profondità al disotto del piano di fondazione. In particolare, per V_{s30} , si intende la media pesata della velocità delle onde S determinata come di seguito:

$$V_{s30} = 30 \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{f_i}{V_i}}$$

Una volta noto il valore della V_{s30} è possibile collocare il terreno interessato dall'intervento all'interno di una delle categorie di suolo previste dalla legge in oggetto e riportate di seguito.

Suolo di fondazione	V_{s30}	N_{p1} - C_u
A <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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.</i>	> 800 m/s	
B <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessore superiore 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 $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine).</i>	> 360 m/s < 800 m/s	$N_{p1} > 50$ $C_u > 250$ kPa
C <i>Depositii di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessore superiore 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 $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine).</i>	> 180 m/s < 360 m/s	$15 < N_{p1} < 50$ $70 < C_u < 250$ kPa
D <i>Depositii di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessore superiore 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 $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine).</i>	< 180 m/s	$N_{p1} < 15$ $C_u < 70$ kPa

So.Ge.T. di Sartini S., Bianchi A. – s.n.c. Via per S. Alessio n° 1733/C – 55100 Lucca
e.mail: info@sogetsnc.eu – www.sogetsnc.eu Tel./Fax. 0583343380 P.I. / C.F. 02115540466

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore





N° 02232015 – Dott. Geol. M. Pellegrini
 SERVIZI INTEGRATI DI GEOFISICA PER IL TERRITORIO
 Via per S. Alessio, 1733/C
 55100 Lucca
 P.I. 02114055466

E		
Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).		
S_1	< 100 m/s	
Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_s inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_e < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.		
S_2		
Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.		

Ai fini della caratterizzazione in oggetto la velocità di propagazione delle onde sismiche può essere ottenuta per via indiretta, ovvero ricavandola da indagini geognostiche (ad esempio dal parametro N_{sp} ricavato da una prova penetrometrica standard) o per via diretta, impiegando indagini di tipo sismico (down-hole, sismica a rifrazione, MASW, cono sismico).

Questi ultimi metodi sono senz'altro più validi e corretti e quando esiste la possibilità di inversioni nel profilo di velocità il metodo MASW (Multi-channel analysis of surface waves) risulta particolarmente risolutivo. Si tratta di una tecnica di indagine piuttosto recente che sfrutta le onde di superficie di Rayleigh. Il MASW è una tecnica "multi-station" che rappresenta una evoluzione del metodo SASW e rispetto a quest'ultimo consente una determinazione senz'altro più affidabile delle proprietà del terreno. Il metodo mira ad una caratterizzazione sismica del sottosuolo basandosi sull'analisi della dispersione geometrica delle onde di superficie. Il risultato finale del processo di elaborazione è il profilo verticale delle velocità delle onde S.

I vantaggi della tecnica MASW possono essere così riassunti:

- particolarmente indicata per terreni attenuanti ed ambienti rumorosi;
- è in grado di evidenziare inversioni di velocità nel profilo di velocità;
- buona risoluzione;

Tali caratteristiche ne hanno reso particolarmente indicato l'uso nel sito in oggetto.

Schematicamente il processo di analisi è il seguente:

- Creazione dello spettro FK;
- Ricerca del miglior fitting fra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione teorica;
- Profilo di velocità delle onde S;

So.Ge.T. di Sartini S., Bianchi A. – s.n.c. Via per S. Alessio n°1733/C – 55100 Lucca
 e.mail: info@sogetsnc.eu – www.sogetsnc.eu Tel./Fax. 0583343380 P.I. / C.F. 02115540466

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore





N° 02232015 – Dott. Geol. M. Pellegrini
 SERVIZI INTEGRATI DI GEOFISICA PER IL TERRITORIO
 Via per S. Alessio, 1733/C
 55100 Lucca
 P.I. 02114055466

Il sismografo utilizzato per le misure sismiche è un SUMMIT[®] Compact, uno strumento della DMT (Germania), a 24 canali e dinamica del convertitore analogico digitale a 24 Bit (Tecnologia Delta Sigma).

L'acquisizione del segnale è stata eseguita su uno stendimento di 24 geofoni aventi frequenza di 4,5 Hz ed equidistanziati 2,0 metri. Come fonte di energia elastica è stata utilizzata una mazza da 8 Kg incidente su una piastra in alluminio. L'energia prodotta ed il contenuto in frequenza dell'energizzazione sono risultati adeguati per le finalità dello studio ed il sismogramma ottenuto è risultato sempre di buona qualità. In mancanza di informazioni precise il coefficiente di Poisson e la densità dei terreni sono stati assunti pari rispettivamente a 0,333 e 1800 Kg/m³.

Il valore di V_{s30} , per l'intervallo di profondità 0-30 m, è pari a **270 m/sec** e quindi corrisponde ad un suolo di categoria C:

C

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

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore

So.Ge.T. di Sartini S., Bianchi A. – s.n.c. Via per S. Alessio n°1733/C – 55100 Lucca
 e.mail: info@sogetsnc.eu – www.sogetsnc.eu Tel./Fax. 0583343380 P.I. / C.F. 02115540466

