STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA

Dott. Graziano Graziani - Via Einaudi, 1 – 57018 VADA (LI)

COSTRUZONE DI UN FABBRICATO DI CIVILE ABITAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

Ubicazione: *Comune di Calcinaia (PI) – Loc. Fornacette Via Piave*

Committente: *Sig.ra Cristina Carlotti*

Data: *Marzo 2016*

Il geologo

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PER LA COSTRUZIONE DI UN FABBRICATO DI CIVILE ABITAZIONE NEL COMUNE DI CALCINAIA (PI) – LOC. FORNACETTE VIA PIAVE

Premessa

La presente relazione riferisce sui risultati di un'indagine geologica, geotecnica e sismica eseguita nel comune di Calcinaia (PI) in via Piave, dove è in progetto la costruzione di un fabbricato di civile abitazione (Committente: sig.ra Cristina Carlotti).

L'indagine effettuata, redatta in conformità alle vigenti normative *(D.M. 14/01/2008, D.P.G.R. 36/R/2009, L.R. n° 20/2006, D.P.G.R. n° 46/R/2008),* alle indicazioni contenute negli *Studi Geologici di supporto al P.R.G. comunale* e nel *Piano per l'Assetto Idrogeologico/Gestione del Rischio Alluvioni del Bacino del Fiume Arno*, ha avuto lo scopo di determinare le caratteristiche geologiche, morfologiche, idrogeologiche, idrauliche e sismiche del sito, nonché di evidenziare le proprietà geotecniche del terreno ivi presente: tutto questo al fine di confermare la fattibilità dell'intervento programmato e di fornire quei dati necessari ad un corretto dimensionamento della nuova struttura di fondazione.

Ubicazione e breve descrizione dell'intervento

L'area analizzata è ubicata nel settore orientale del territorio comunale di Calcinaia, al margine sud-occidentale dell'abitato di Fornacette. Nel dettaglio trattasi di un appezzamento di terreno posto in via Piave all'interno delle particelle n° 650 e 652 del foglio 18, meglio identificato dalle seguenti coordinate (WGS 84):

Latitudine: 43.668335°
Longitudine: 10.577283°

L'intervento programmato prevede la costruzione di un nuovo fabbricato di civile abitazione (tipo di costruzione: 2 – classe d'uso: II) avente una pianta subrettangolare con dimensioni massime 9.40x16.70 m, caratterizzato da un piano fuori terra più un sottotetto (hmax = 2.45 m) nella porzione centrale della struttura. Verrà inoltre realizzato

un portico con larghezza variabile da 1.70 a 2.00 m a cavallo dello spigolo sud-est ed un impianto di smaltimento liquami fuori fognatura. Per ogni ulteriore dettaglio si rimanda comunque agli specifici elaborati progettuali.

Metodologia d'indagine

Il programma d'indagine, definito in funzione dei lavori da realizzare, dell'assetto geo-morfologico dell'area, della classe di fattibilità come da R.U. (con normali vincoli/condizionata) e del *D.P.G.R. 36/R/2009* (classe d'indagine n° 2), si è articolato secondo le seguenti fasi:

•ricerca bibliografica preliminare sulle caratteristiche dei terreni presenti in loco;

•consultazione degli Studi Geologici redatti a supporto del P.R.G. comunale;

•consultazione del Piano per l'Assetto Idrogeologico/Gestione del Rischio Alluvioni del Bacino del Fiume Arno;

•rilevamento diretto dell'area e di un suo congruo intorno;

•acquisizione dei risultati di due penetrometrie statiche, due saggi di scavo ed un'indagine sismica MASW già effettuati nell'area (forniti dal Committente);

•elaborazione ed interpretazione di tutti i dati acquisiti.

Inquadramento morfologico e geologico

L'area oggetto d'indagine, posta ad una quota di circa 10 metri s.l.m., risulta morfologicamente inserita all'interno della pianura alluvionale dell'Arno (in sinistra idrografica), in un contesto completamente pianeggiante in cui non sono state segnalate forme di dissesto, processi evolutivi in corso o situazioni al limite dell'equilibrio che possano condizionare l'intervento in progetto. L'unico elemento degno di nota è la presenza, su parte del lotto, di un terreno di riporto (relativo all'escavazione del vicino Canale Emissario) che ne determina la classe G.3 di pericolosità geomorfologica (elevata). Le indagini geognostiche hanno comunque appurato che tale materiale possiede uno spessore massimo nell'ordine del metro.

La situazione geologica di quest'area e di un suo congruo intorno è evidenziata nella specifica carta (ripresa dallo Studio Geologico comunale) allegata al seguente rapporto. La "Pianura di Pisa" rappresenta una unità geomorfologica formatasi in seguito al riempimento della depressione retroappenninica del Bacino Pisano-Versiliese; in affioramento essa mostra la presenza di sedimenti di natura alluvionale (Olocene) che si sono messi in posto durante il sovralluvionamento causato dalla deglaciazione postwurmiana: in tale periodo infatti, vi è stata la risalita del livello del mare e lo sbarramento, ad opera del sistema dei lidi, del delta dell'Arno. Questi depositi superficiali si sovrappongono sui terreni pleistocenici sabbioso-conglomeratici facenti parte del substrato superiore della pianura, con uno spessore che i dati bibliografici indicano, qui, nell'ordine di alcune decine di metri (Mazzanti, 1994). Nella coltre alluvionale prevalgono le sabbie nelle zone più vicine al corso attuale del fiume Arno e dei suoi principali affluenti, mentre sono diffuse le argille nelle zone più lontane, rimaste ad una quota inferiore e quindi soggette ad impaludamenti e sedimentazioni di soli materiali fini.

Situazione idrogeologica

I sedimenti alluvionali affioranti nell'area indagata, dal punto di vista idrogeologico, possono essere considerati a permeabilità primaria di grado variabile: maggiore dove la litologia risulta prettamente sabbiosa, minore (o addirittura impermeabile) dove invece la dominanza è limo-argillosa. Dalle misure effettuate all'interno dei fori penetrometrici si evince l'esistenza di una superficie piezometrica ad una profondità compresa fra i 3 ed i 4 metri dal p.c.: tale falda superficiale permea i livelletti limo-sabbiosi esistenti nel primo sottosuolo e può subire oscillazioni stagionali nell'ordine di 1/2 metri. Intorno ai 30 – 35 metri di profondità esiste inoltre un altro acquifero (ghiaioso) molto produttivo.

Pericolosità idraulica

Il terreno da edificare è posto 600 metri a sud-est dell'argine golenale sinistro del Fiume Arno e 35 metri a nord del ciglio di sponda del Canale Emissario (le distanze si riferiscono ai punti più vicini): questi corsi d'acqua rappresentano gli elementi di drenaggio superficiale più importanti della zona. L'idrografia minore è invece costituita da una serie di fosse campestri ad andamento preferenziale N-S.

Lo Studio Geologico di supporto alla Variante Generale al Piano Strutturale comunale ed il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Bacino del Fiume Arno classificano questa porzione di territorio a pericolosità idraulica media (classi I.2 e P.I. 2 rispettivamente), riferibile alle aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti ad un fondovalle alluvionale. Per quanto riguarda il Bacino, l'art. 5 della Delibera n° 232 della seduta del Comitato Istituzionale Integrato del 17/12/2015 prevede che, nei 180 giorni successivi al 22/12/2015, continuino ad applicarsi le disposizioni del PAI. Nel caso specifico, trattandosi della classe P.2 (pericolosità media), è da tenere in considerazione l'art. 8 delle norme del PAI, il quale consente, coerentemente con la disciplina del P.G.R.A. e senza prescrizioni, tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio. In sintesi dunque, è lecito ritenere che *il nuovo edificio verrà a trovarsi in condizioni di buona sicurezza e che lo stesso non porterà ad alcun incremento del livello di rischio nelle aree adiacenti.*

Aspetto sismico

Gli studi di microzonazione sismica allegati alla Variante Generale al Piano Strutturale attribuiscono all'area analizzata una pericolosità sismica locale media (S2).

Il comune di Calcinaia è inserito, secondo la zonazione della Del. G.R.T. n. 421/2014, in zona sismica *3*. L'azione sismica di progetto viene determinata in funzione della pericolosità di base del sito, la quale dipende dell'accelerazione orizzontale massima. I caratteri del moto sismico sono definiti, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento (Pvr), a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

ag = accelerazione massima al sito
Fo = 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

Per la zona in argomento avremo:

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLO)	30	0,041	2,564	0,232
Danno (SLD)	50	0,052	2,535	0,249
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,123	2,502	0,278
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,158	2,477	0,284
Periodo di riferimento per l'azione sismica	50			

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rende comunque necessario valutare anche l'effetto della risposta sismica locale: questo è possibile utilizzando un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento caratterizzate ognuna da distinti valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità (*Vs30*). Si è quindi fatto riferimento ad un'indagine sismica MASW (per i cui dettagli si rimanda integralmente alle specifiche note allegate) già fatta eseguire dalla Committenza nel lotto di proprietà, da cui emerge l'esistenza di un suolo di fondazione di tipo **C**, ovvero "*depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di 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 Vs30 compresi fra 180 m/s e 360 m/s*".

Il moto generato da un terremoto dipende anche dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del sito e dalle proprietà fisico meccaniche dei terreni presenti. L'area in argomento possiede una condizione topografica per la quale è lecito adottare, alla luce della tabella 3.2.IV del D.M. 14/01/2008, la categoria topografica **T1**, corrispondente a "superfici pianeggianti o pendii e rilievi isolati con inclinazione media ≤ 15°". Per le altre caratteristiche si rimanda alla seguente tabella:

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss (Amplifazione stratigrafica)	1,50	1,50	1,50	1,46
Cc (Coeff. funz. categoria)	1,70	1,66	1,60	1,59
St (Amplifazione topografica)	1,00	1,00	1,00	1,00
Kh	0,012	0,016	0,044	0,055
Kv	0,006	0,008	0,022	0,028
A max [m/sec²]	0,602	0,762	1,814	2,264
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Caratterizzazione geotecnica

Al fine di ricostruire l'andamento litostratigrafico del sottosuolo e caratterizzare geotecnicamente i vari orizzonti presenti, è stato fatto riferimento agli esiti di n° 2 prove penetrometriche statiche e n° 2 saggi scavi fatti eseguire nel lotto dalla Committenza (vedere specifica planimetria allegata).

I risultati dettagliati delle penetrometrie vengono allegati a tergo della presente relazione: sono integralmente riportati i valori di resistenza alla punta (Qc), della

resistenza laterale (Fs) ed i principali parametri geotecnici elaborati ogni 20 cm sulla base del valore di Qc seguendo i suggerimenti della bibliografia più accreditata in materia.

I singoli livelli, individuati seguendo le indicazioni di Schmertman (1978 - Rp-Rl/Rp), Begeman (1965 - Rp/Rl) ed i dati stratigrafici di riferimento, sono stati quindi raggruppati in strati omogenei dei quali si evidenziano di seguito solo i valori *medi* della resistenza alla punta del penetrometro statico (Rp, Kg/cmq), del peso di volume (y, t/mc), della resistenza al taglio (Cu = coesione non drenata - ϕ = angolo di attrito interno) e del coefficiente di compressibilità volumetrica (mv, cmq/t):

►dal p.c. a –0.80/1.20 m: terreno di riporto

►da –0.80/1.20 a –2.20/2.40 m: sabbie limose sciolte

Rp = 20 - 28 Kg/cmq
y = 1.75 – 1.90 t/mc
Cu = 0.00 Kg/cmq
ϕ = 27 – 28°
mv = 11 – 20 cmq/t

►da –2.20/2.40 a –6.60 (n° 1)/7.60 (n° 2) m: limi e argille variamente consistenti

Rp = 6 - 24 Kg/cmq
y = 1.70 – 1.93 t/mc
Cu = 0.30 – 0.90 Kg/cmq
ϕ = 0°
mv = 17 – 43 cmq/t

►da –6.60/7.60 a –10.00 m: argille e argille organiche tenere

Rp = 6 - 9 Kg/cmq
y = 1.60 – 1.85 t/mc
Cu = 0.30 - 0.45 Kg/cmq
ϕ = 0°
mv = 11 – 20 cmq/t

Nella prova n° 2, da –7.60 a –8.40 m, sono state attraversate delle sabbie mediamente consistenti caratterizzate da:

Rp = 25 - 44 Kg/cmq
y = 1.75 – 1.85 t/mc
Cu = 0.00 Kg/cmq
ϕ = 28 - 32°
mv = 8 – 13 cmq/t

Le penetrometrie statiche hanno dunque messo in risalto la presenza di un terreno di fondazione preferenzialmente coesivo e caratterizzato da proprietà geotecniche medio-basse. L'assetto litostratigrafico appena descritto viene comunque riassunto anche nell'allegata sezione litotecnica.

Per quanto concerne i valori caratteristici dei parametri geotecnici da utilizzare per le verifiche di resistenza del terreno, ovvero una stima ragionata e cautelativa degli stessi parametri, possono essere prudenzialmente utilizzati i valori maggiormente cautelativi fra quelli rilevati:

$$Cu_k = 0.30 \text{ Kg/cmq} - \varphi_k = 0° - y_k = 1.60 \text{ t/mc}$$

Per quello che riguarda la deformabilità, sono invece da applicare i valori medi determinati in maniera precauzionale per ogni singolo strato.

Verifiche geotecniche

Sulla base delle caratteristiche del substrato di fondazione vengono di seguito effettuati i calcoli geotecnici relativamente alla **resistenza del terreno** (Rd) ed ai **cedimenti** in condizioni statiche e dinamiche, adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite come vuole il D.M. 14/1/2008. I parametri geotecnici caratteristici sono quelli indicati in precedenza, che verranno opportunamente corretti (mediante il coefficiente M) sulla base dell'approccio adottato; successivamente, anche la resistenza verrà ridotta in funzione del coefficiente parziale (YR) corrispondente al relativo metodo di calcolo (R), ottenendo così la resistenza di progetto (Qd, capacità portante), il tutto come meglio specificato nelle seguenti tabelle (6.2 II e 6.4 I delle N.T.C.):

Tabella 6.2.II – *Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno*

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 6.4.I - *Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.*

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Resistenza in condizioni statiche

La vigente normativa prevede che, relativamente agli **stati limite ultimi** (SLU), il calcolo della resistenza in condizioni statiche debba essere effettuato nei confronti degli stati limite di **tipo strutturale** (STR) e di **tipo geotecnico** (GEO).

Il valore della resistenza del terreno viene determinato con la formula di *Brinch-Hansen* (1970):

$$Rd = 0.5.\gamma_1.B.N\gamma.s\gamma.i\gamma.b\gamma.g\gamma + \gamma_2 D.Nq.sq.dq.iq.bq.gq + c.Nc.sc.dc.ic.bc.gc$$

dove:

- *Rd = resistenza del terreno*
- *γ_1 = peso di volume delle terre sotto il piano di fondazione*
- *γ_2 = peso di volume delle terre sopra il piano di fondazione*
- *B = larghezza della fondazione (lato corto)*
- *D = profondità di posa della fondazione*
- *c = coesione*
- *Nγ, Nq, Nc = fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di attrito interno*
- *sγ, sq, sc = fattori di forma*
- *dq, dc = fattori correttivi dipendenti dalla profondità del piano di posa*
- *iγ, id, ic = fattori correttivi per l'inclinazione del carico*
- *bγ, bq, bc = fattori correttivi per l'inclinazione della base della fondazione*

- *gy, gq, gc = fattori correttivi funzione dell'inclinazione del piano di campagna*

I calcoli sono stati eseguiti sviluppando le casistiche e gli approcci previsti dalle NTC, ipotizzando una fondazione rettangolare con incassamento (D) uguale a 1.00 m. Sono stati inoltre trascurati l'eccentricità del carico, l'inclinazione dello stesso, della base della fondazione e del piano campagna:

APPROCCIO 1
Combinazione 1 (A1+M1+R1) STR: *Rd = 2.87 Kg/cmq Qd (cap. portante) = 2.87 Kg/cmq*
Combinazione 2 (A2+M2+R2) GEO: *Rd = 2.04 Kg/cmq Qd = 1.13 Kg/cmq*

APPROCCIO 2
Combinazione A1+M1+R3: *Rd = 2.87 Kg/cmq Qd = 1.25 Kg/cmq*

A = Coefficiente di amplificazione dei carichi
M = Coefficiente di riduzione dei parametri geotecnici
R = Coefficienti di riduzione delle Resistenze

Resistenza in condizioni dinamiche

Il D.M. 14.01.2008 prevede che, le verifiche di resistenza in condizioni dinamiche, debbano essere prodotte rispetto al solo **stato limite ultimo di salvaguardia della vita** (SLV) di **tipo geotecnico** GEO).

Il calcolo, come per le condizioni statiche, viene effettuato utilizzando la formula di *Brinch-Hansen* (1970) corretta in funzione della sismicità del sito, mediante l'introduzione di **fattori correttivi** (zy, zq e zc) che tengono conto degli effetti inerziali:

$$Rd = 0.5.\gamma_1.B.N\gamma.s\gamma.i\gamma.b\gamma.g\gamma.\ z\gamma + \gamma_2 D.Nq.sq.dq.iq.bq.gq.zq + c.Nc.sc.dc.ic.bc.gc.zc$$

Anche in questo caso sono stati eseguiti i calcoli secondo i dettami delle NTC, considerando la tipologia di fondazione e le condizioni di carico già espresse per le verifiche statiche:

APPROCCIO 1
Combinazione 2 (A2+M2+R2): *Rd = 1.86 Kg/cmq Qd = 1.03 Kg/cmq*

APPROCCIO 2
Combinazione A1+M1+R3: *Rd = 2.70 Kg/cmq Qd = 1.17 Kg/cmq*

Cedimenti in condizioni statiche

Le verifiche agli **stati limite di esercizio** (SLE) riguardano i cedimenti e gli spostamenti indotti nel terreno dalla struttura in progetto, in modo da appurarne la compatibilità con i requisiti prestazionali richiesti. Come per le resistenze, anche i cedimenti vengono di norma calcolati in condizioni statiche e dinamiche, utilizzando i valori di deformabilità del terreno già indicati in precedenza. Nel caso specifico, è stato applicato il metodo di Terzaghi:

$$\Delta H = H \ \Delta P \ mv$$

dove

ΔH = cedimento

H = spessore dello strato sottoposto a calcolo

ΔP = incremento di pressione relativo allo spessore H (Boussinesq - teoria dell'elasticità)

Mo = modulo di deformazione ricavato dalla elaborazione dei dati penetrometrici

Il cedimento totale assoluto si ricava poi facendo la sommatoria dei valori ottenuti (al centro dell'area di carico) nei singoli strati. Svolgendo i calcoli con la stessa geometria di fondazione assunta per le resistenze considerando le due verticali penetrometriche (in modo da avere indicazioni anche sull'entità dei cedimenti differenziali) e tre diverse pressioni di progetto (Q), si ottiene:

Q = 0.40 Kg/cmq	*Q = 0.50 Kg/cmq*	*Q = 0.60 Kg/cmq*
ΔHtot.1 = 4.15 cm	*ΔHtot.1 = 5.59 cm*	*ΔHtot.1 = 7.77 cm*
ΔHtot.2 = 3.75 cm	*ΔHtot.2 = 5.38 cm*	*ΔHtot.2 = 7.02 cm*

La bibliografia più accreditata in materia consiglia di non superare il valore di 5 cm. Si rimanda comunque allo Strutturista la valutazione della compatibilità dei dati calcolati con le strutture in progetto.

Cedimenti in condizioni dinamiche

Analogamente a quanto fatto per le resistenze vengono di seguito calcolati i cedimenti in condizioni dinamiche, utilizzando la metodologia di *Schmertmann* modificata:

$$s = 0.6\ \tau max\ H/G_0$$

dove:

s = cedimento
τmax = sforzo di taglio massimo indotto dal sisma a metà strato
H = spessore dello strato
G_0 = modulo dinamico di taglio

Dallo svolgimento dei calcoli si ottiene s << 1 cm.

Liquefazione

Il terreno di fondazione è caratterizzato da una preferenziale natura coesiva con livello piezometrico posto alla profondità media di 3.50 m dal p.c. Pur ritenendo, in tale situazione, il fenomeno della liquefazione come poco probabile, è stata condotta una verifica specifica con il metodo di Andrus-Stokoe (vedere elaborazione allegata), che ha permesso di escludere tale rischio.

Smaltimento dei liquami

Per lo smaltimento dei liquami provenienti dai nuovi servizi igienici, viene proposto un sistema composto da:

-condotte in p.v.c. a tenuta
-vasca Imhoff
-pozzetto di ispezione e prelievo
-trincea disperdente

Le acque nere dei servizi igienici, tramite condotta a tenuta, arriveranno nella vasca Imhoff in cui avverrà il trattamento primario; successivamente, le acque così chiarificate, transiteranno da un pozzetto di ispezione e prelievo per poi raggiungere la successiva trincea disperdente, dove avverrà la subirrigazione.

La vigente normativa definisce gli scarichi di questo tipo come "acque reflue domestiche", le quali possono essere smaltite, per i nuclei isolati, fuori dalla rete fognaria purché si adotti un sistema individuale che consegua un buon livello di protezione

ambientale. Tale livello può essere raggiunto mediante l'adozione delle tradizionali pratiche d'uso, ovvero l'installazione di una vasca settica (in grado di rispettare i valori di emissione previsti dalla normativa) con successivo impianto di subirrigazione. Tale impianto viene realizzato mediante condotta disperdente opportunamente posata in trincea predisposta, con lo scopo di spandere, nei primi strati del suolo, i liquami già chiarificati: tutto ciò per poter consentire naturali processi di degradazione biologica. Questo sistema di smaltimento, da un punto di vista igienico, è un metodo corretto, in quanto si realizza senza contatti diretti con l'atmosfera.

L'esecuzione delle trincee è possibile se la falda idrica risulta sufficientemente depressa (*non meno di un metro dal fondo della trincea* secondo le disposizioni del Ministero dei LL.PP.). Se la dispersione dei liquami viene condotta correttamente, i rischi di inquinamento sono estremamente ridotti: la subirrigazione consente infatti elevati gradi di depurazione delle acque che percolano e, a pochi metri dalla trincea, l'inquinamento del suolo risulta trascurabile.

Nel caso specifico quindi, visto l'assetto idrogeologico della zona (permeabilità dei terreni, depressione della falda e distanza dai pozzi) appaiono ampiamente rispettate le indicazioni suggerite dalla vigente normativa: il pericolo di inquinamento è da considerarsi del tutto trascurabile. L'impianto disperdente dovrà comunque mantenersi ad almeno 30 metri da eventuali condotte, serbatoi od altre opere destinate al servizio di acqua potabile.

Per quanto concerne la trincea, vista la modesta permeabilità dei terreni presenti, si consiglia la predisposizione di una trincea con *filtro di sabbia* così come riportato nello schema allegato: in questo caso, il liquame defluente dalla condotta superiore viene filtrato attraverso lo strato di cui è riempita la trincea e raccolto da un sistema di drenaggio inferiore. Quest'ultima condotta potrà sboccare nel Canale Emissario (ricettore finale idoneo, previa specifica autorizzazione da parte dell'amministrazione competente), mentre la condotta disperdente dovrà terminare chiusa 5 metri prima dello sbocco della condotta drenante. Con la filtrazione attraverso lo strato di sabbia si attua un vero e proprio "trattamento" del liquame, che esce dalla trincea in uno stato di elevata depurazione. Le trincee impostate secondo le misure della tavola allegata, dovranno avere uno sviluppo lineare di *2/4 m per utente*.

Osservazioni conclusive

In conclusione, dalla elaborazione dei dati acquisiti risulta che:

*il terreno da edificare è inserito in un contesto completamente pianeggiante in cui affiorano sedimenti alluvionali recenti caratterizzati da proprietà geotecniche medio-basse, in parte ricoperti da un modesto spessore di riporto;

*nel sottosuolo della zona esiste una falda superficiale il cui livello piezometrico risulta attestato alla profondità di 3/4 metri dall'attuale piano di campagna;

*la pericolosità (geomorfologica, sismica e idraulica) dell'area può essere definita come media;

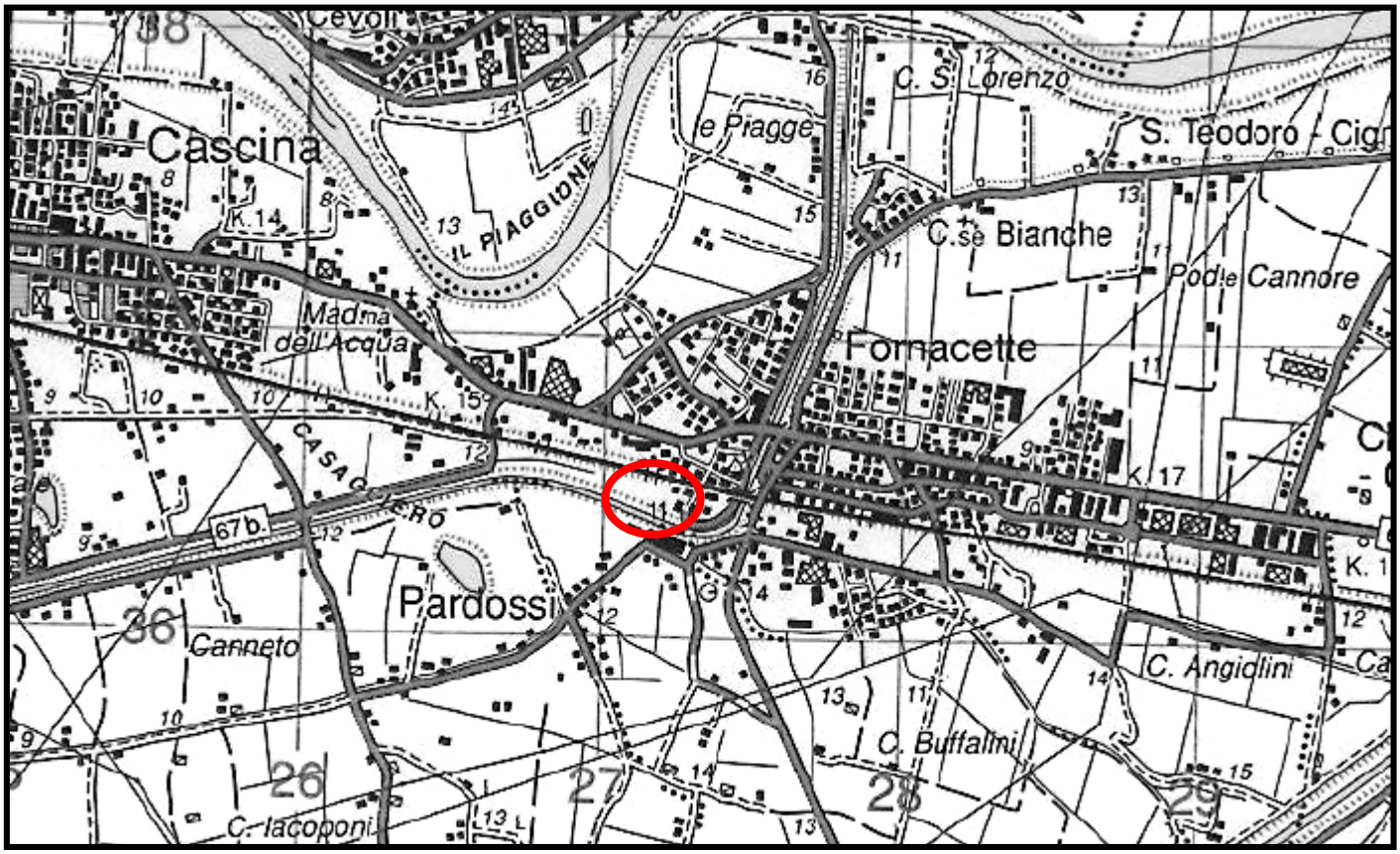
*i calcoli geotecnici effettuati nella presente relazione hanno permesso di determinare il valore della resistenza del terreno ed i relativi cedimenti. Dovrà quindi essere verificato (da parte dello strutturista dell'opera) il grado di sicurezza tramite le equazioni Ed ≤ Rd (per gli SLU) e Ed ≤ Cd (per gli SLE), dove Ed rappresenta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto delle azioni nelle varie combinazioni di carico e Cd rappresenta il valore limite dell'effetto delle azioni (spostamenti e deformazioni che possano compromettere la funzionalità di una struttura);

*in sintesi, alla luce delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geomorfologiche, idrauliche, sismiche e geotecniche della zona, si conferma la fattibilità dell'intervento in progetto.

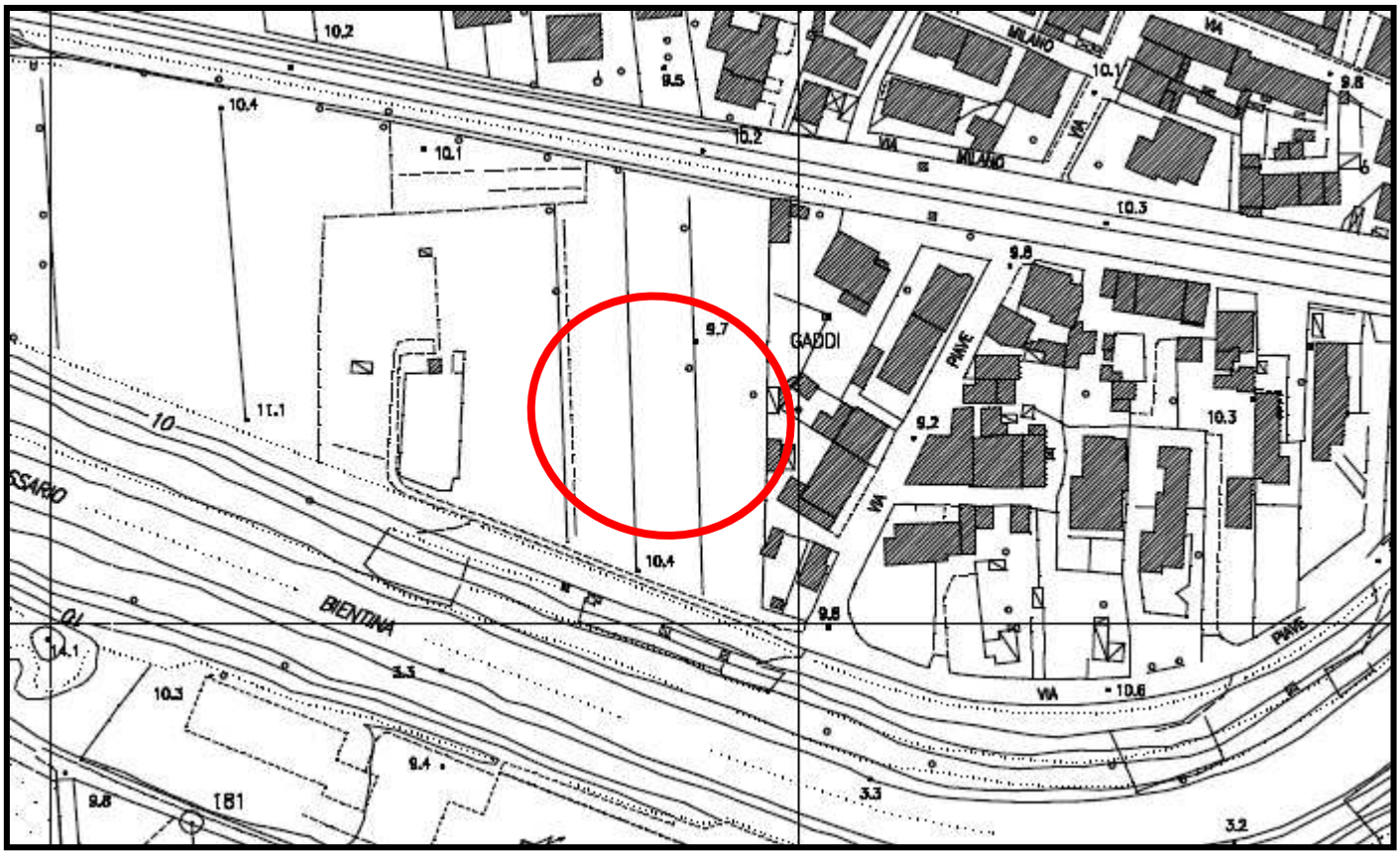
Vada, li 09/03/2016

ALLEGATI

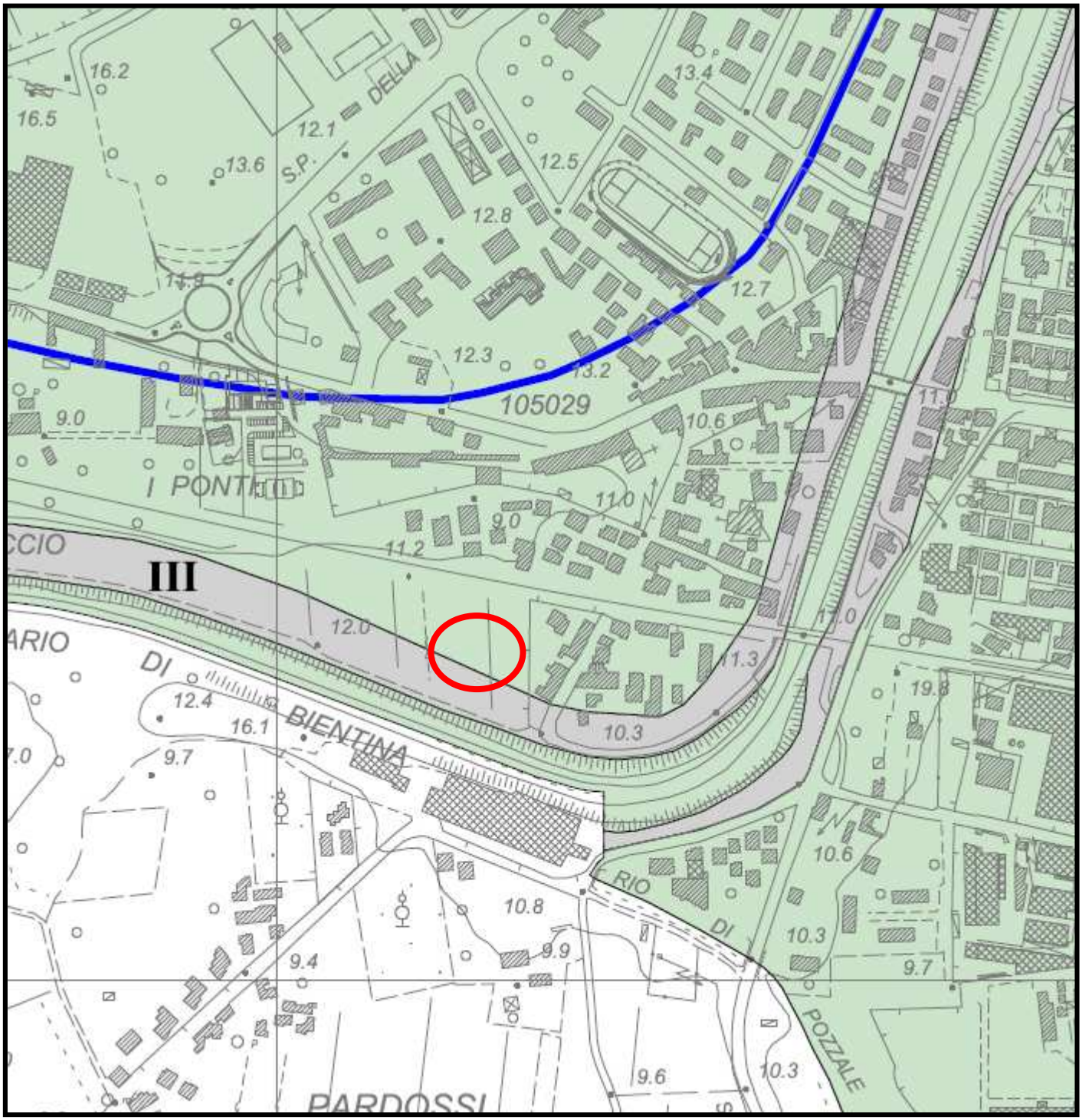
COROGRAFIA	1:25000
AEROFOTOGRAMMETRIA	1:2000
CARTA GEOLOGICA	1:5000
CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA	1:5000
PERIMETRAZIONI P.G.R.A.	1:5000
CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA	1:5000
CARTA DELLA FATTIBILITÀ	1:2000
PLANIMETRIA CON INDAGINI	1:1000
SEZIONE LITOTECNICA	1:100
VERIFICA LIQUEFAZIONE	
SCHEMA SISTEMA DISPERDENTE	
ELABORATI PENETROMETRIE	
ELABORATO INDAGINE SISMICA	



COROGRAFIA
1:25000



AEROFOTOGRAMMETRIA
1:2000

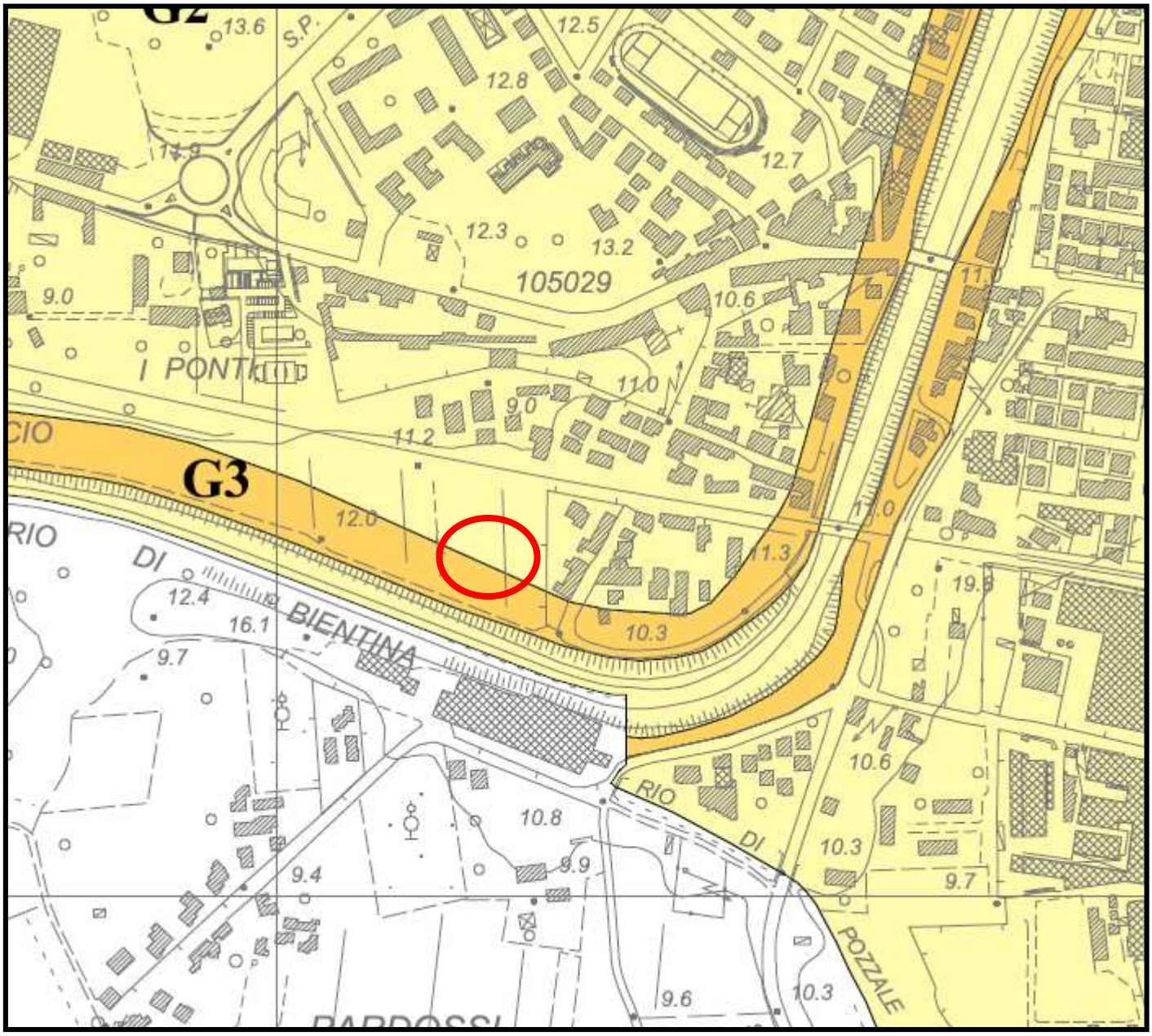


CARTA GEOLOGICA
(ripresa dallo Studio Geologico di supporto alla Variante generale al P.S.)
1:5000

Riporti relativi a: I) taglio meandro Arno (1559-'79), II) Canale Scolmatore Arno (1953-'67), III) Canale emissario Bientina (1853-'59), IV) Canale Allacciante Scolmatore dell'Usciana (1985-'90), V) Riporti recenti per espansione della zona industriale.

Depositi alluvionali recenti e attuali

Paleoalveo Fiume Arno e/o probabile margine d'alveo sepolto



CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA
(stralcio dello Studio Geologico di supporto alla Variante Generale al P.S.)
1:5000

G2 - Pericolosità geomorfologica media

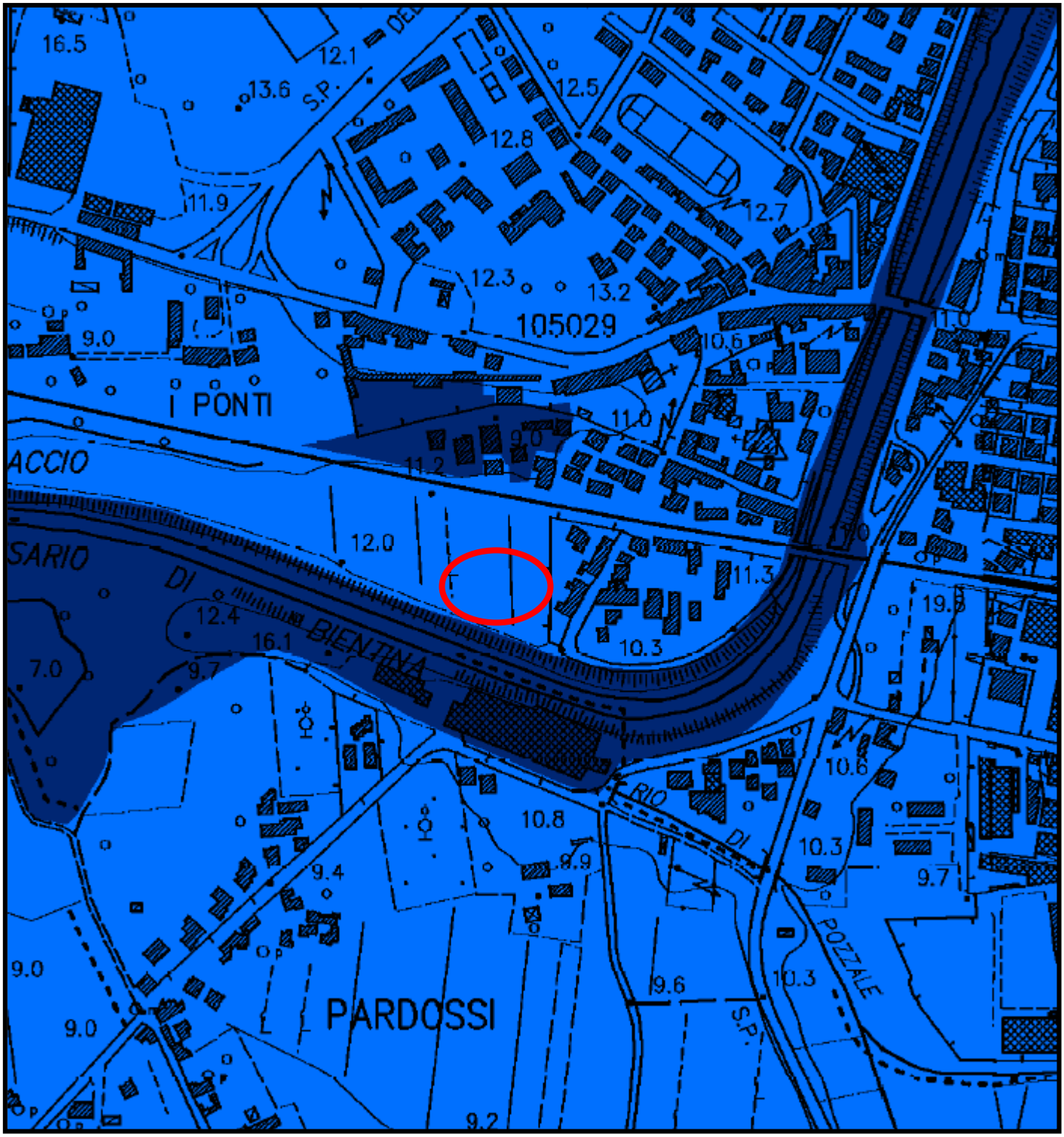
Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi stabilizzati (naturalmente o artificialmente); corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%; aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto.

G3 - Pericolosità geomorfologica elevata

Aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti e relative aree di influenza; aree con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali o sotterranee, nonchè a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25% (vi ricadono le area P.F.3 del PAI Autorità di Bacino Fiume Arno).

G4 - Pericolosità geomorfologica molto elevata

Aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza.

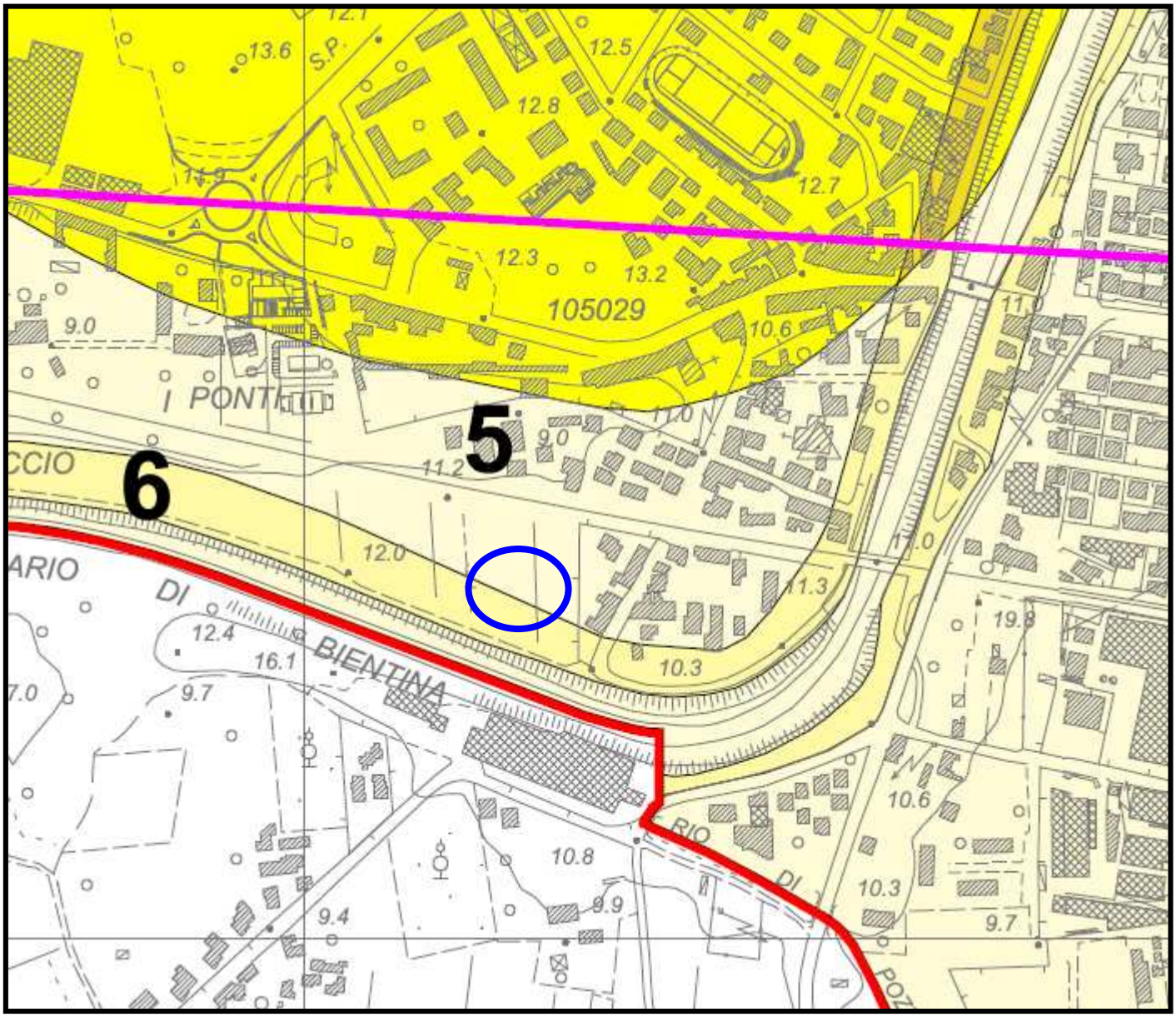


Autorità di Bacino del Fiume Arno
PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI
1:5000

P3

P2

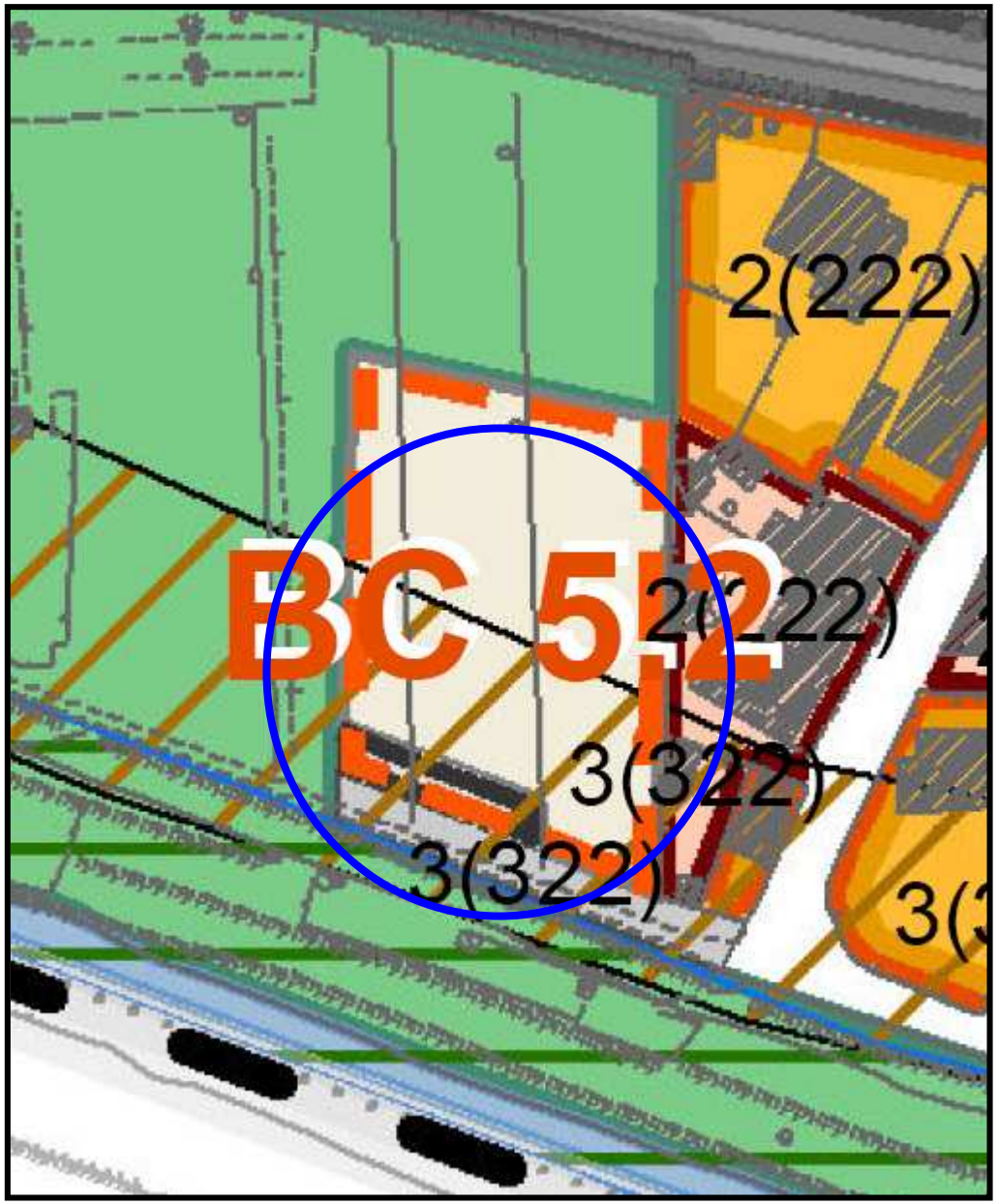
P1



CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA
(stralcio dello Studio Geologico di supporto alla Variante Generale al P.S.)
1:5000

Classi di pericolosità geomorfologica

Zona 1 Zona 2 Zona 3 Zona 4 Zona 5 Zona 6 Zona 7 Zona 8	**S.2 - Pericolosità sismica locale MEDIA**
CD	**S.3- Pericolosità sismica locale ELEVATA**



CARTA DELLA FATTIBILITÀ
(stralcio dello Studio Geologico di supporto alla Variante al R.U.)
1:5000

PERICOLOSITA' IDRAULICA

I.3 - Pericolosità idraulica elevata

I.4 - Pericolosità idraulica molto elevata

PERICOLOSITA' SISMICA

S.3 - Pericolosità sismica elevata

PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

G.3 - Pericolosità geomorfologica elevata

G.4 - Pericolosità geomorfologica molto elevata

3(3,2,2) Art. 91 delle N.T.A.del R.U.

- Classe di fattibilità relativa agli aspetti idraulici
- Classe di fattibilità relativa agli aspetti sismici
- Classe di fattibilità relativa agli aspetti geomorfologici

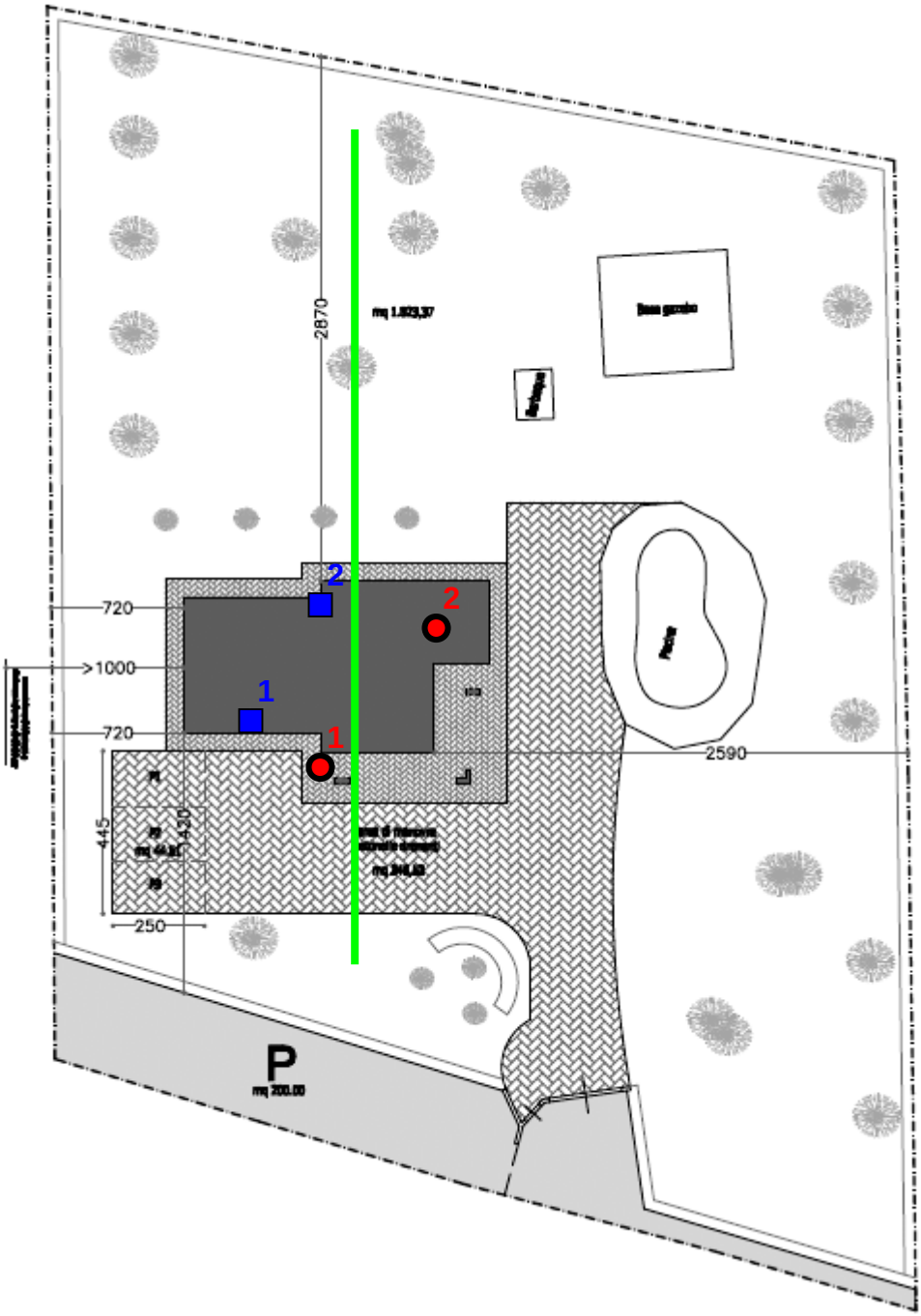
N.B. La classe di fattibilità indicata è quella corrispondente alla massima potenzialità edificatoria consentita per la zona urbanistica dalle N.T.A. Per interventi minori o interventi nel territorio rurale si rimanda alle tabelle Art. 90 delle N.T.A. del R.U.

F1 - Fattibilità senza particolari limitazioni
Previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia

F2 - Fattibilità con normali vincoli
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

F3 - Fattibilità condizionata
Previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi

F4 - Fattibilità limitata
Previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza

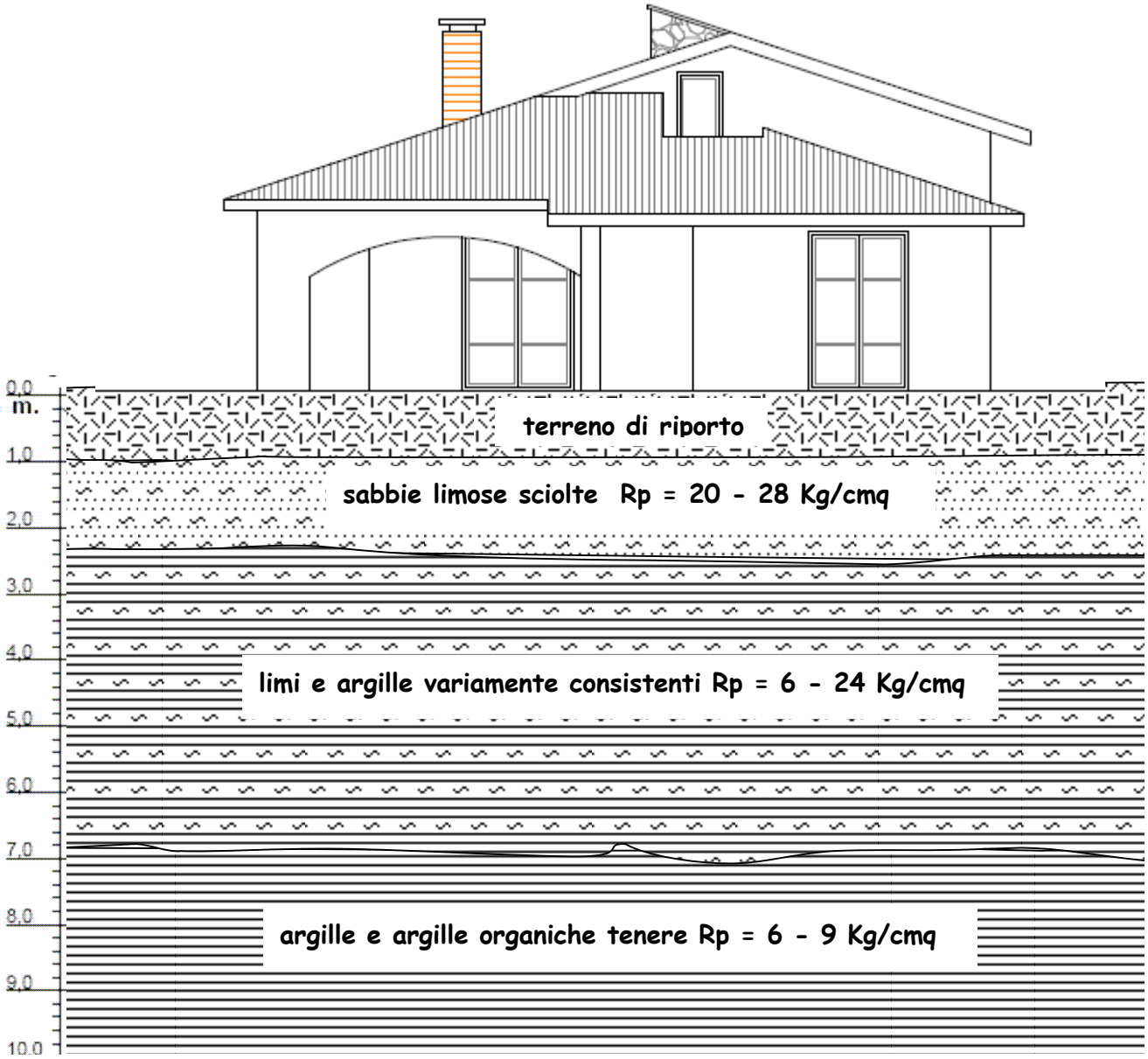


PLANIMETRIA CON L'UBICAZIONE DELLE INDAGINI DI RIFERIMENTO
1:400

Prove penetrometriche statiche

Saggi di scavo

Linea MASW



SEZIONE LITOTECNICA TIPO
1:100

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(da prove sismiche a rifrazione)

Metodo semplificato

Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato

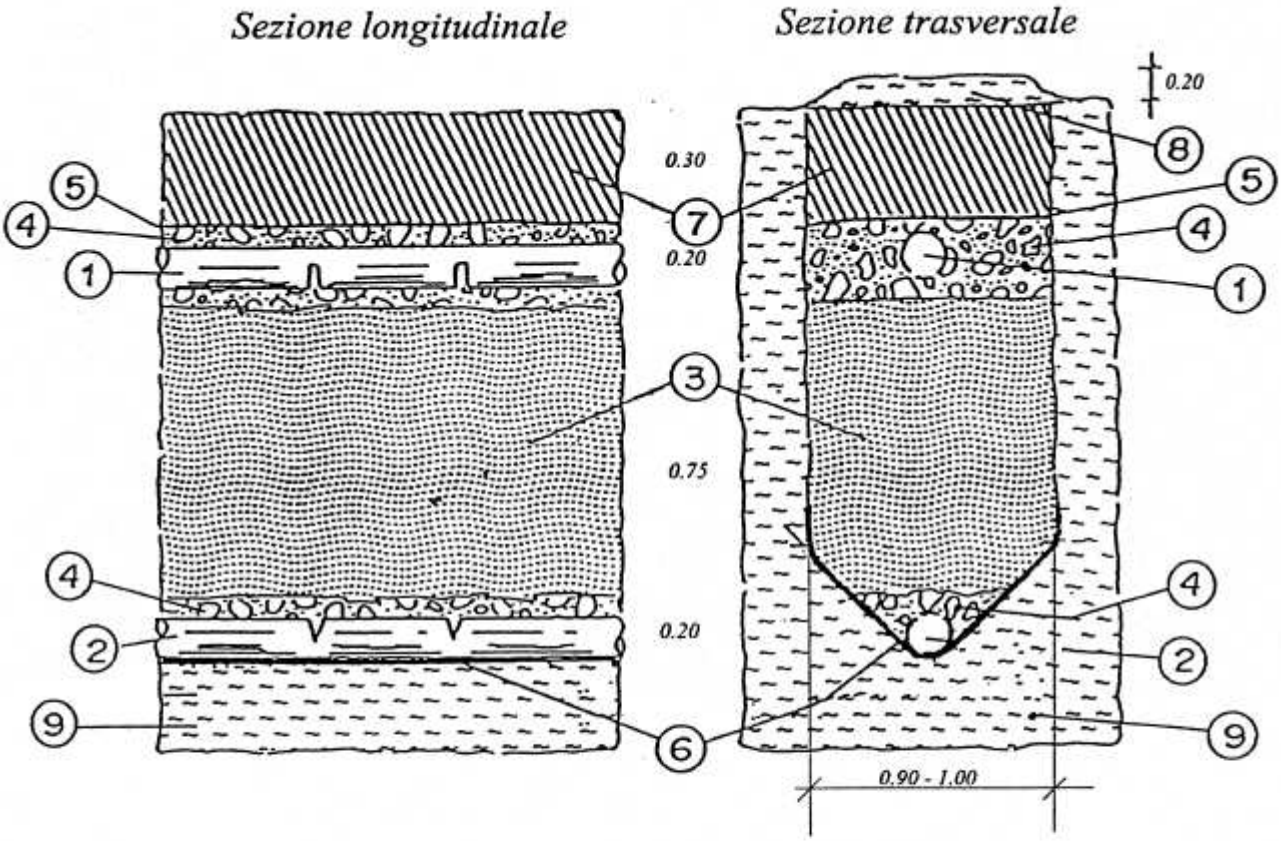
PARAMETRI:			
γ	=	1,8	g/cm^3
σ_{vo}	=	1,8	kg/cm^2
$\sigma_{vo'}$	=	1,15	kg/cm^2
profondità della prova	=	1000	cm
profondità falda	=	350	cm
γ_{H2O}	=	1	g/cm^3
Pressione neutra	=	0,65	kg/cm^2
z	=	10	m
V_S	=	160	
V_{S1C}	=	200	m/s
V_{S1}	=	154,51	
M	=	6,0	
MSF	=	2,09	se M≤7.5
		1,77	se M>7.5

FC<5%	FC=20%	FC>35%
220	210	200

R=	Resistenza al taglio mobilitata
T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma
FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia
Vs=	Velocità dell'onda di taglio S

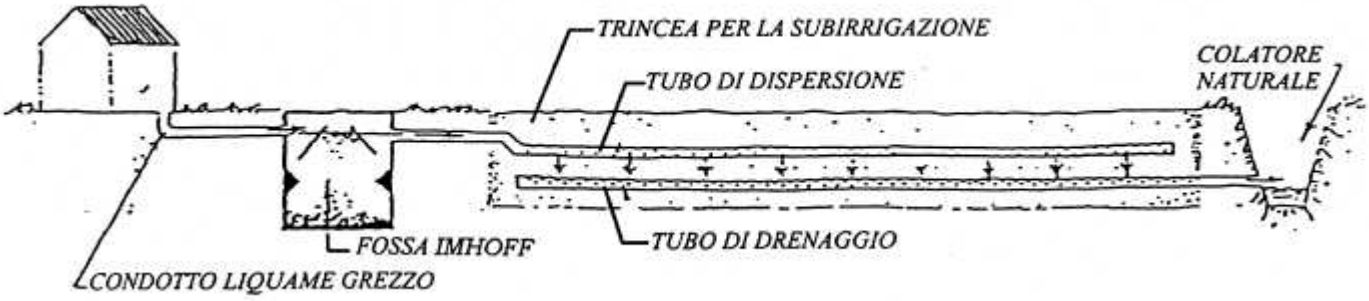
FORMULE:					RISULTATI:	
V_{S1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo'})^{0,25}$			154,51	V_{S1}
R	=	$0,03*(V_{S1}/100)^2 + (0,9/(V_{S1C}-V_{S1}))-(0,9/V_{S1C})$		=	0,086899225	R
T	=	$0,65*((a_{max}/g)*(\sigma_{vo}/\sigma_{vo'}))*r_d*1/MSF$	se M≤7.5	=	0,054529496	$T_{M\leq7,5}$
			se M>7.5		0,064343062	$T_{M>7,5}$
a_{max}/g	=	0,123				
r_d	=	0,91				
Fs=R/T	>	1	se M≤7.5	=	1,593618706	Verificato Fs
			se M>7.5		1,350560909	Verificato Fs

TRINCEA



1- Tubo di dispersione forato inferiormente
2- Tubo drenante forato superiormente
3- Strato di sabbia (0.25-0.60)
4- strato di ghiaia (2.00-6.00 cm.)
5- Strato di carta o tessuto non tessuto
6- Telo impermeabile
7- Terreno di riempimento
8- Terreno di riporto in sovrassesto
9- Substrato indisturbato

PROFILO



SCHEMA SISTEMA DISPERDENTE

GEOSERVIZI S.N.C.
di Cosco e Spadaro
Via U. Foscolo 14 - 56017 Ghezzano (PI)
tel e fax 050-878470 cell. 339-1344492

Prova numero: 2 Data: 14/11/14

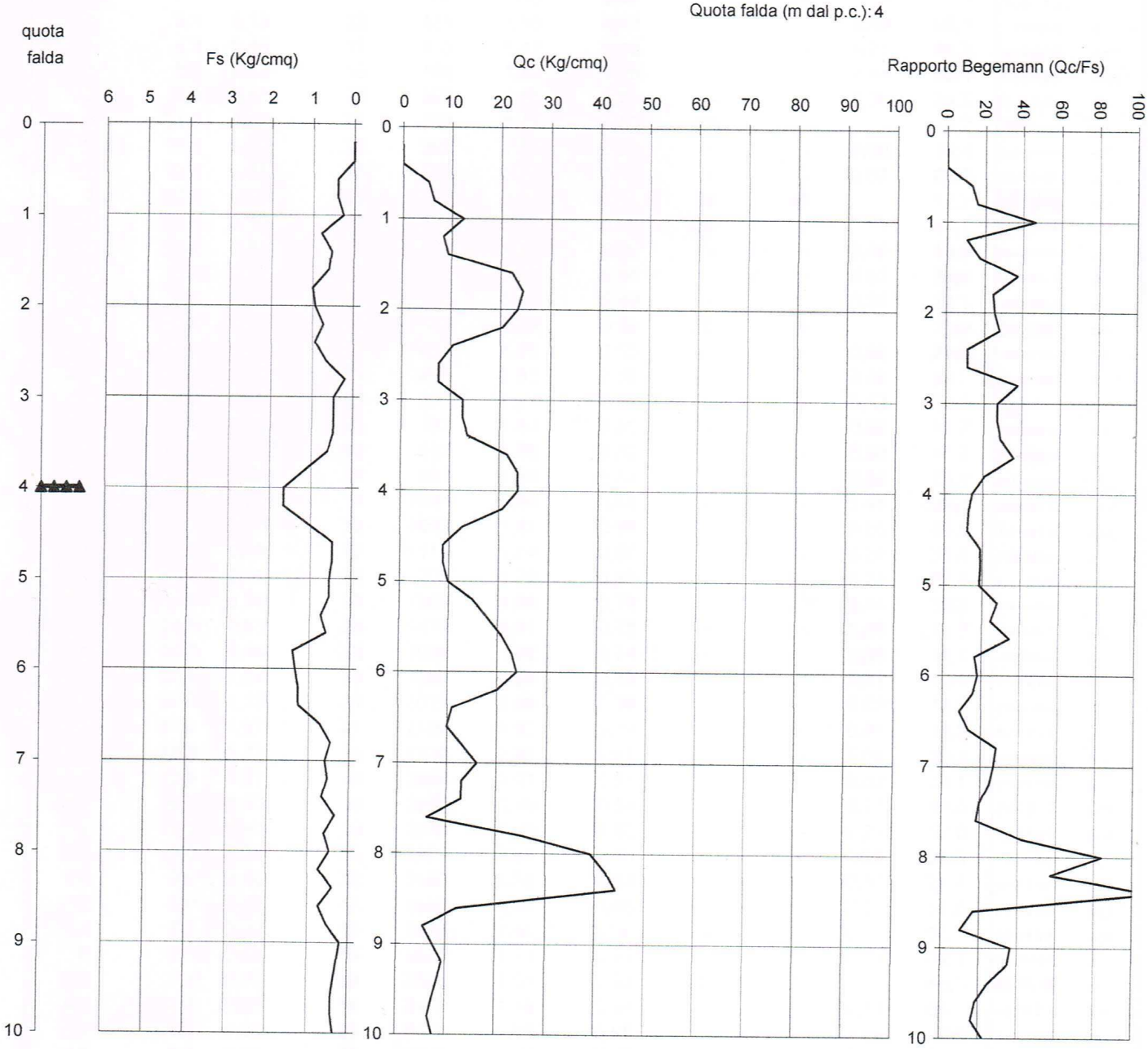
Committente: GEOPIU'
Località: FORNACETTE
Cantiere: VIA ANGIOLIERI
Profondità massima: 10,0 m dal p. c.
Quota piano camp.: m
Quota falda: 4,0 m dal p.c.

Prof. [metri]	Qc [Kg/cmq]	Fs [Kg/cmq]	Qc/Fs	Rt [Kgf]	parametri geotecnici stimati γ [Kg/dmc]	σ'vo [Kg/cmq]	ϕ [gradi]	Dr [%]	Cu [Kg/cmq]	mv [cmq/t]	Colonna stratig.	lito_ logia
0,2				31	1,80	0,04	-	-	-	-	non ril.	
0,4				81	1,80	0,07	-	-	-	-	non ril.	
0,6	5,1	0,40	13	181	1,48	0,10	-	-	0,20	58,5	######	aot
0,8	6,3	0,40	16	233	1,49	0,13	-	-	0,25	50,1	######	aot
1	12,3	0,27	46	243	1,66	0,16	-	-	0,48	19,6	≈≈≈≈≈≈	l
1,2	8,3	0,80	10	313	1,51	0,19	-	-	0,32	41,4	######	aot
1,4	9,3	0,53	17	473	1,86	0,23	-	-	0,36	24,5	======	a
1,6	22,3	0,60	37	633	1,71	0,27	27	-	-	15,0	▒▒≈≈≈	sl
1,8	24,4	1,00	24	654	1,93	0,31	-	-	0,96	16,4	===≈≈≈	al
2	23,4	0,93	25	674	1,93	0,34	-	-	0,92	17,1	===≈≈≈	al
2,2	20,4	0,73	28	644	1,92	0,38	-	-	0,80	19,6	===≈≈≈	al
2,4	10,4	0,93	11	484	1,53	0,41	-	-	0,40	35,6	######	aot
2,6	7,4	0,67	11	304	1,50	0,44	-	-	0,28	44,5	######	aot
2,8	7,5	0,20	38	385	1,64	0,48	-	-	0,28	27,3	≈≈≈≈≈≈	l
3	12,5	0,47	27	395	1,91	0,51	-	-	0,48	20,9	===≈≈≈	al
3,2	12,5	0,47	27	455	1,91	0,55	-	-	0,48	20,9	===≈≈≈	al
3,4	13,5	0,47	29	675	1,91	0,59	-	-	0,52	20,3	===≈≈≈	al
3,6	21,5	0,60	36	765	1,71	0,62	27	-	-	15,5	▒▒≈≈≈	sl
3,8	23,7	1,13	21	1007	1,93	0,66	-	-	0,92	16,9	======	a
4	23,7	1,67	14	1187	1,93	0,68	-	-	0,92	16,9	======	a
4,2	20,7	1,67	12	1297	1,92	0,70	-	-	0,80	17,9	======	a
4,4	12,7	1,07	12	1377	1,56	0,71	-	-	0,48	29,3	######	aot
4,6	8,7	0,47	19	1397	1,83	0,73	-	-	0,32	25,6	======	a
4,8	8,8	0,47	19	1518	1,84	0,74	-	-	0,32	25,3	======	a
5	9,8	0,53	18	1638	1,89	0,76	-	-	0,36	23,7	======	a
5,2	14,8	0,53	28	1768	1,91	0,78	-	-	0,56	19,7	===≈≈≈	al
5,4	17,8	0,73	24	1958	1,92	0,80	-	-	0,68	19,4	======	a
5,6	20,8	0,60	35	2178	1,70	0,81	27	-	-	16,0	▒▒≈≈≈	sl
5,8	22,9	1,40	16	2379	1,93	0,83	-	-	0,88	17,5	======	a
6	23,9	1,33	18	2559	1,93	0,85	-	-	0,92	16,7	======	a
6,2	19,9	1,27	16	2649	1,92	0,87	-	-	0,76	20,0	======	a
6,4	10,9	1,27	9	2719	1,54	0,88	-	-	0,40	33,9	######	aot
6,6	9,9	0,73	14	2829	1,53	0,89	-	-	0,36	37,2	######	aot
6,8	13,0	0,47	28	2940	1,91	0,91	-	-	0,49	20,5	===≈≈≈	al
7	16,0	0,60	27	2990	1,91	0,93	-	-	0,60	19,5	===≈≈≈	al
7,2	13,0	0,53	24	3030	1,91	0,94	-	-	0,48	20,5	======	a
7,4	13,0	0,67	20	3000	1,91	0,96	-	-	0,48	20,5	======	a
7,6	6,0	0,33	18	3120	1,70	0,98	-	-	0,20	33,2	======	a
7,8	25,2	0,60	42	3412	1,73	0,99	28	-	-	13,2	▒▒≈≈≈	sl
8	39,2	0,47	84	3672	1,80	1,01	32	36	-	8,5	▒▒▒▒▒▒	sm
8,2	42,2	0,73	58	3692	1,81	1,02	32	38	-	7,9	▒▒▒▒▒▒	sm
8,4	44,2	0,40	110	3492	1,82	1,04	32	40	-	7,5	▒▒▒▒▒▒	sm
8,6	12,2	0,73	17	3182	1,90	1,06	-	-	0,44	21,1	======	a
8,8	5,3	0,53	10	3043	1,48	1,07	-	-	0,17	57,0	######	aot
9	7,3	0,20	37	2933	1,64	1,08	-	-	0,25	27,9	≈≈≈≈≈≈	l
9,2	9,3	0,27	35	2933	1,87	1,10	-	-	0,33	24,4	===≈≈≈	al
9,4	8,3	0,33	25	2903	1,82	1,11	-	-	0,29	26,3	======	a
9,6	7,3	0,40	18	2893	1,77	1,13	-	-	0,25	28,8	======	a
9,8	6,4	0,40	16	2884	1,49	1,14	-	-	0,21	49,2	######	aot
10	7,4	0,33	22	2934	1,77	1,15	-	-	0,25	28,4	======	a

GEOSERVIZI S.N.C.
di Cosco e Spadaro
Via U. Foscolo 14 - 56017 Ghezzano (PI)
tel e fax 050-878470 cell. 339-1344492

Prova numero	2
Committente	GEOPIU'
Località	FORNACETTE
Cantiere	VIA ANGIOLIERI
Data	14/11/14

Profondità massima (m): 10
Quota falda (m dal p.c.): 4



PENETROMETRO STATICO: TG 73 200 KN PAGANI

GEOSERVIZI S.N.C.
di Cosco e Spadaro
Via U. Foscolo 14 - 56017 Ghezzano (PI)
tel e fax 050-878470 cell. 339-1344492

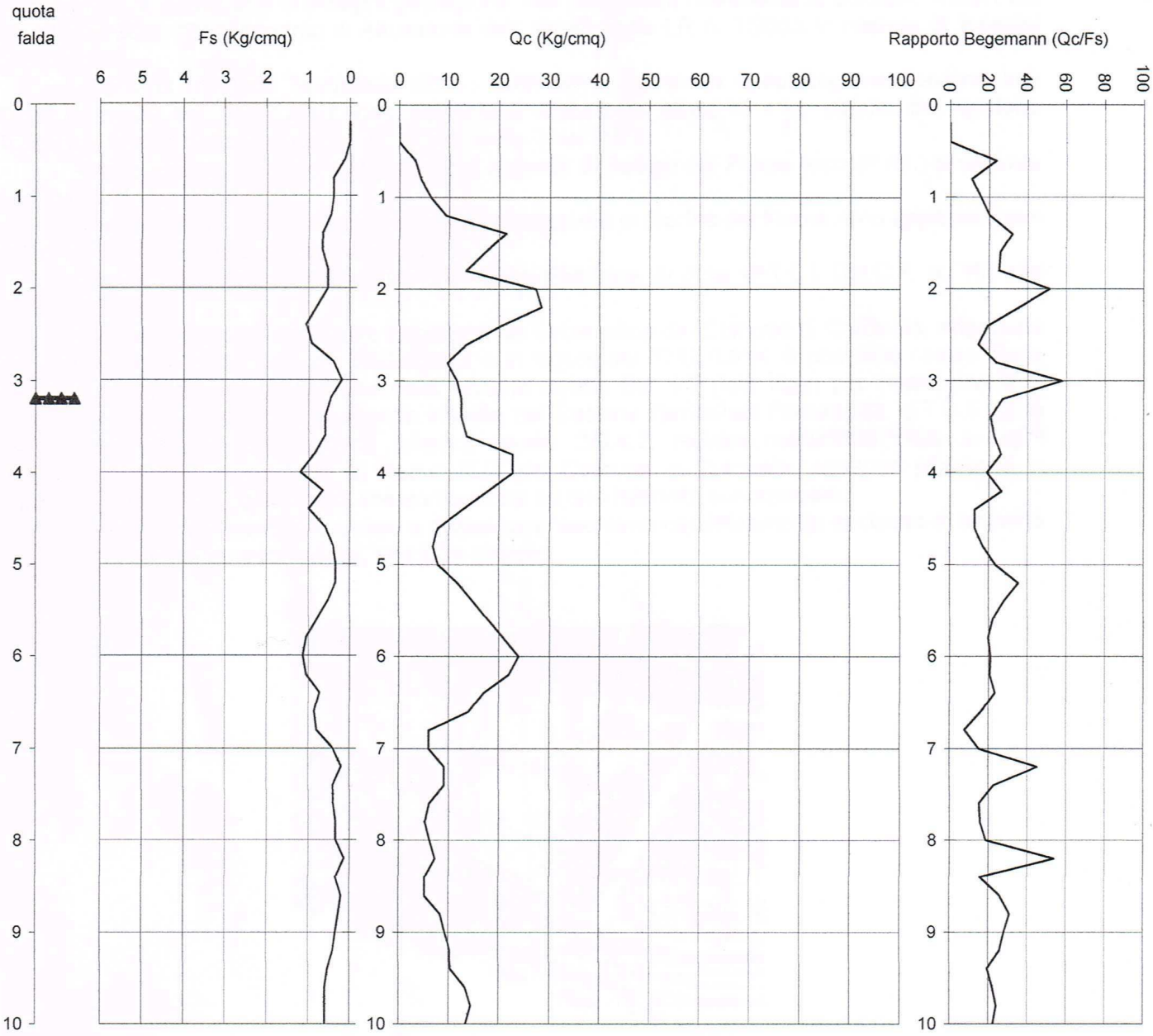
Prova numero: 1 Data: 14/11/14
Committente: GEOPIU'
Località: FORNACETTE
Cantiere: VIA ANGIOLIERI
Profondità massima: 10,0 m dal p. c.
Quota piano camp.: m
Quota falda: 3,2 m dal p.c.

Prof. [metri]	Qc [Kg/cmq]	Fs [Kg/cmq]	Qc/Fs	Rt [Kgf]	parametri geotecnici stimati: γ [Kg/dmc]	σ'vo [Kg/cmq]	ϕ [gradi]	Dr [%]	Cu [Kg/cmq]	mv [cmq/t]	Colonna stratig.	lito_ logia
0,2				31	1,80	0,04	-	-	-	-	non ril.	
0,4				61	1,80	0,07	-	-	-	-	non ril.	
0,6	3,1	0,13	23	131	1,56	0,10	-	-	0,12	58,1	======	a
0,8	4,3	0,40	11	133	1,47	0,13	-	-	0,17	68,1	######	aot
1	6,3	0,40	16	183	1,49	0,16	-	-	0,24	50,1	######	aot
1,2	9,3	0,47	20	293	1,86	0,20	-	-	0,36	24,5	======	a
1,4	21,3	0,67	32	373	1,71	0,23	27	-	-	15,7	≈≈≈	sl
1,6	17,3	0,67	26	363	1,92	0,27	-	-	0,68	19,4	===≈≈≈	al
1,8	13,4	0,53	25	474	1,91	0,31	-	-	0,52	20,3	======	a
2	27,4	0,53	51	544	1,74	0,35	36	48	-	12,2		sm
2,2	28,4	0,80	35	574	1,74	0,38	28	-	-	11,7	≈≈≈	sl
2,4	20,4	1,07	19	504	1,92	0,42	-	-	0,80	19,6	======	a
2,6	13,4	0,93	14	384	1,91	0,46	-	-	0,52	20,3	======	a
2,8	9,5	0,40	24	295	1,88	0,49	-	-	0,36	24,1	======	a
3	11,5	0,20	58	315	1,66	0,53	28	8	-	28,9		ss
3,2	12,5	0,47	27	385	1,91	0,55	-	-	0,48	20,9	===≈≈≈	al
3,4	12,5	0,60	21	445	1,91	0,56	-	-	0,48	20,9	======	a
3,6	13,5	0,60	23	575	1,91	0,58	-	-	0,52	20,3	======	a
3,8	22,7	0,87	26	787	1,93	0,60	-	-	0,88	17,7	===≈≈≈	al
4	22,7	1,20	19	917	1,93	0,62	-	-	0,88	17,7	======	a
4,2	17,7	0,67	26	987	1,92	0,64	-	-	0,68	19,4	===≈≈≈	al
4,4	12,7	1,00	13	1037	1,56	0,65	-	-	0,48	29,3	######	aot
4,6	7,7	0,60	13	1067	1,51	0,66	-	-	0,28	43,5	######	aot
4,8	6,8	0,40	17	1118	1,74	0,67	-	-	0,24	30,4	======	a
5	7,8	0,33	23	208	1,79	0,69	-	-	0,28	27,5	======	a
5,2	11,8	0,33	35	1308	1,66	0,70	-	-	0,44	20,1	≈≈≈≈≈≈	l
5,4	14,8	0,53	28	1478	1,91	0,72	-	-	0,56	19,7	===≈≈≈	al
5,6	17,8	0,80	22	1608	1,92	0,74	-	-	0,68	19,4	======	a
5,8	20,9	1,07	20	1839	1,92	0,76	-	-	0,81	19,1	======	a
6	23,9	1,13	21	2029	1,93	0,78	-	-	0,93	16,7	======	a
6,2	21,9	1,07	21	2129	1,93	0,79	-	-	0,84	18,3	======	a
6,4	16,9	0,73	23	2229	1,92	0,81	-	-	0,64	19,4	======	a
6,6	13,9	0,87	16	2299	1,91	0,83	-	-	0,52	20,1	======	a
6,8	6,0	0,80	8	2350	1,49	0,84	-	-	0,21	51,5	######	aot
7	6,0	0,40	15	2370	1,49	0,85	-	-	0,21	51,5	######	aot
7,2	9,0	0,20	45	2430	1,65	0,86	-	-	0,33	23,8	≈≈≈≈≈≈	l
7,4	9,0	0,40	23	2400	1,85	0,88	-	-	0,33	24,9	======	a
7,6	6,0	0,40	15	2380	1,49	0,89	-	-	0,21	51,5	######	aot
7,8	5,2	0,33	16	2422	1,48	0,90	-	-	0,17	58,1	######	aot
8	6,2	0,33	19	2532	1,71	0,91	-	-	0,21	32,7	======	a
8,2	7,2	0,13	54	2552	1,64	0,93	28	2	-	46,5		ss
8,4	5,2	0,33	16	2472	1,48	0,94	-	-	0,17	58,1	######	aot
8,6	5,2	0,20	26	2472	1,66	0,95	-	-	0,17	37,7	======	a
8,8	8,3	0,27	31	2503	1,82	0,97	-	-	0,29	26,3	===≈≈≈	al
9	9,3	0,33	28	2523	1,87	0,98	-	-	0,33	24,4	===≈≈≈	al
9,2	10,3	0,40	26	2593	1,90	1,00	-	-	0,37	23,0	======	a
9,4	10,3	0,53	19	2643	1,90	1,02	-	-	0,37	23,0	======	a
9,6	13,3	0,60	22	2723	1,91	1,04	-	-	0,49	20,4	======	a
9,8	14,4	0,60	24	2734	1,91	1,06	-	-	0,53	19,9	======	a
10	13,4	0,60	22	2744	1,91	1,07	-	-	0,49	20,3	======	a

GEOSERVIZI S.N.C.
di Cosco e Spadaro
Via U. Foscolo 14 - 56017 Ghezzano (PI)
tel e fax 050-878470 cell. 339-1344492

Prova numero	1
Committente	GEOPIU'
Località	FORNACETTE
Cantiere	VIA ANGIOLIERI
Data	14/11/14

Profondità massima (m): 10
Quota falda (m dal p.c.): 3,2

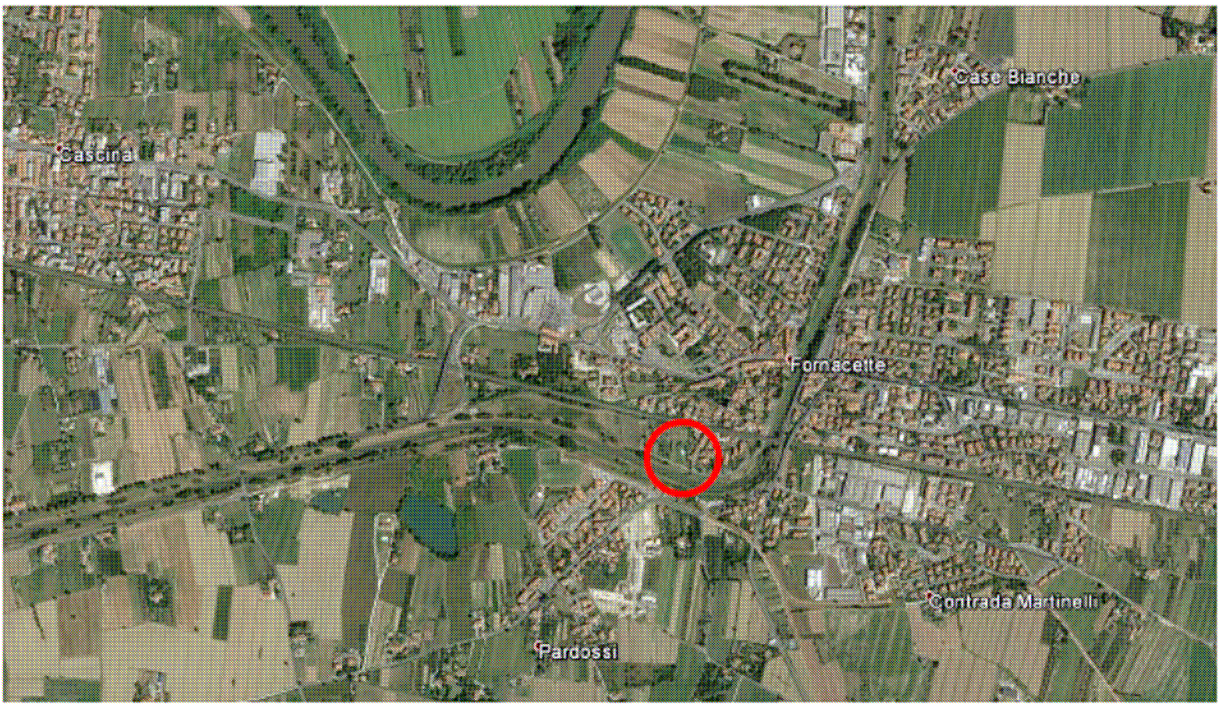


PENETROMETRO STATICO: TG 73 200 KN PAGANI

INDAGINI GEOFISICHE

PROSPEZIONE SISMICA M.A.S.W.
(Multichannel Analysis of Surface Waves)

Comune di Calcinaia (PI) - Via Angiolieri, loc. Fornacette



RELAZIONE TECNICA

Novembre 2014

S.I.S.M.A. geo
PROSPEZIONI SISMICHE
Studio Associato: via Novelli, 5 - 56124 Pisa
P. IVA: 01961590500

Dott. S. Buttiglieri

Dott. L. Guido

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

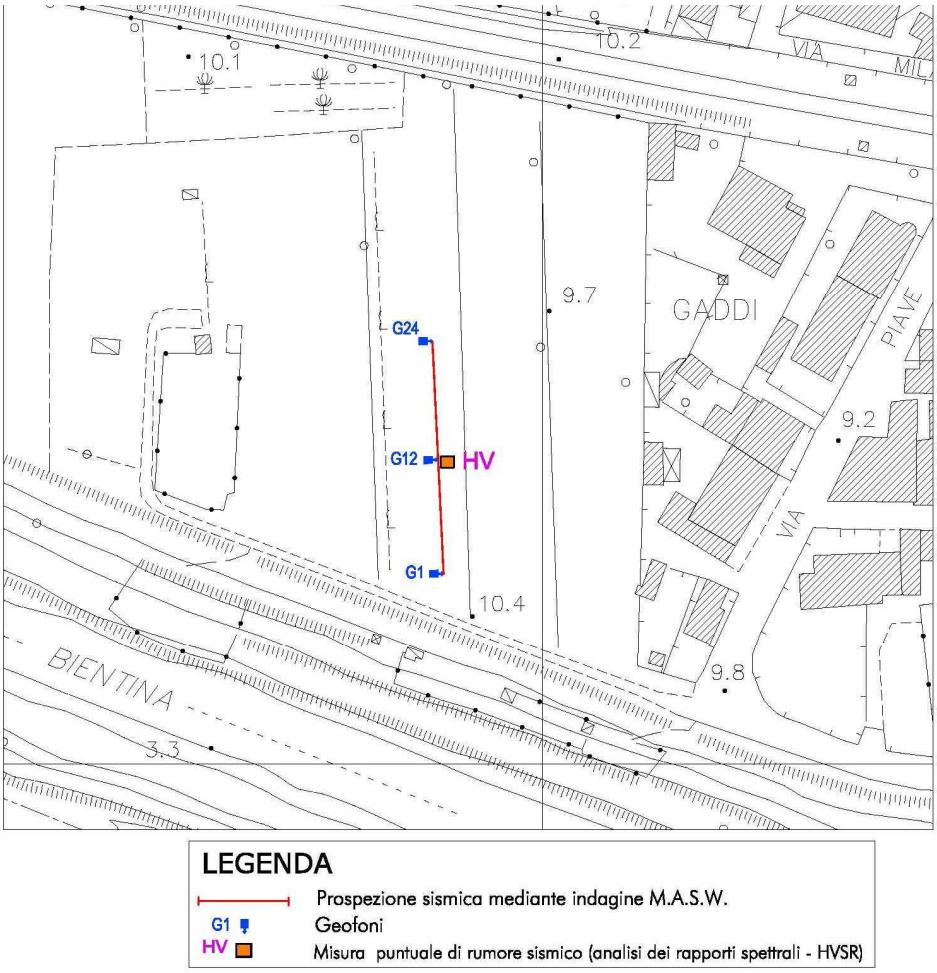


Fig. 1b

2. INDAGINE GEOFISICA M.A.S.W.: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

2.1. Indagine sismica M.A.S.W.

Il metodo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali *Vs* basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente

superficiali e correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine M.A.S.W. si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5 Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30-50 m, in funzione della rigidezza del suolo.

Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10 Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50 m, in funzione della rigidezza del suolo.

In questa indagine faremo riferimento al metodo M.A.S.W. attivo, che consente la classificazione sismica dei suoli in quanto fornisce il profilo di velocità entro i primi 30 m di profondità.

Il metodo M.A.S.W. consiste in tre fasi (Roma, 2002): nella prima fase si calcola la velocità di fase o curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) apparente sperimentale; nella seconda fase si calcola la velocità di fase apparente numerica; nella terza ed ultima fase si individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali *Vs* degli strati che costituiscono il modello del suolo.

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con una combinazione delle due.

Nella procedura manuale si modificano opportunamente gli spessori *h* e le velocità delle onde di taglio *Vs* assegnando anche il coefficiente di Poisson *u* fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale (o curva di dispersione sperimentale) e la velocità di fase numerica (o curva di dispersione numerica) corrispondente al modello di suolo assegnato.

Nella procedura automatica (Roma, 2002, Roma, 2001, Joh, 1998) la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica.

In genere quando l'errore relativo tra curva sperimentale e curva numerica è compresa tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio *Vs* e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali *Vs* è possibile procedere al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 m di profondità Vs30 e quindi individuare la categoria sismica di sottosuolo.

A tale proposito si ricorda quanto sia necessario avere a disposizione anche altre informazioni complementari sulla natura e sul comportamento geotecnico del suolo, prima di poter procedere alla classificazione sismica dello stesso.

2.2. Caratteristiche della strumentazione

Il sistema di acquisizione dati è un sismografo marca M.A.E. srl, modello SYSMATRACK (vedi foto seguente), sistema multicanale (12/24 canali) in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica a 24 bit.

Sul pannello frontale trovano posto i due connettori 24 poli per i cavi sismici da 12 canali ciascuno, il connettore per lo starter, l'alimentazione esterna 12V e l'interfaccia USB per collegare il notebook necessario alla gestione della strumentazione.

Esso è collegato a ciascuno dei trasduttori di velocità al trigger e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.

Sismografo

Sistema di battitura - Trigger

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati. In questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica. Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale a 14Hz, posto in prossimità della piastra posizionata alla distanza di 4 m dal primo geofono.

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita secondo un array lineare da 24 geofoni di lunghezza di 46 m con spaziatura intergeofonica pari a 2 m (vedi foto seguente).

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Nell'esecuzione della prova M.A.S.W. attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico posto, come prima accennato, ad una distanza di 4 m circa dal primo geofono (Optimum Field Parameters of an M.A.S.W. Survey", Park et al., 2005; Dal Moro, 2008).

<u>Caratteristiche tecniche:</u>

- Risoluzione: 24 bit - Numero canali: 24 - Campioni per canale : 20.000 - Campionamento : da 80 a 13.500 c/s - Analisi del rumore ambientale pre-acquisizione - Test geofoni automatico - Funzioni Trigger e Pre-Trigger - Filtri settabili da software	- Alimentazione: power box esterno 12V - Valigia in copolimeri di polypropylene - Temperatura di funzionamento da 0 a 60°C - Interfaccia USB su pannello interno - Connettore per cavo sismico 1-12 - Connettore per cavo sismico 13-24 - Dimensioni: 30 x 22,5 x 13,2 cm.

Di seguito si riportano alcuni stralci dell'elaborazione.

3. ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (KGS format file) per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (WinM.A.S.W. PRO).

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

L'analisi M.A.S.W., come accennato in precedenza, può essere ricondotta in tre tasi:

- Prima fase: trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza f - numero d'onda K;
- Seconda fase: individuazione delle coppie f-k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) che consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano Vfase (m/sec) - frequenza (Hz) - (Fig. 2).

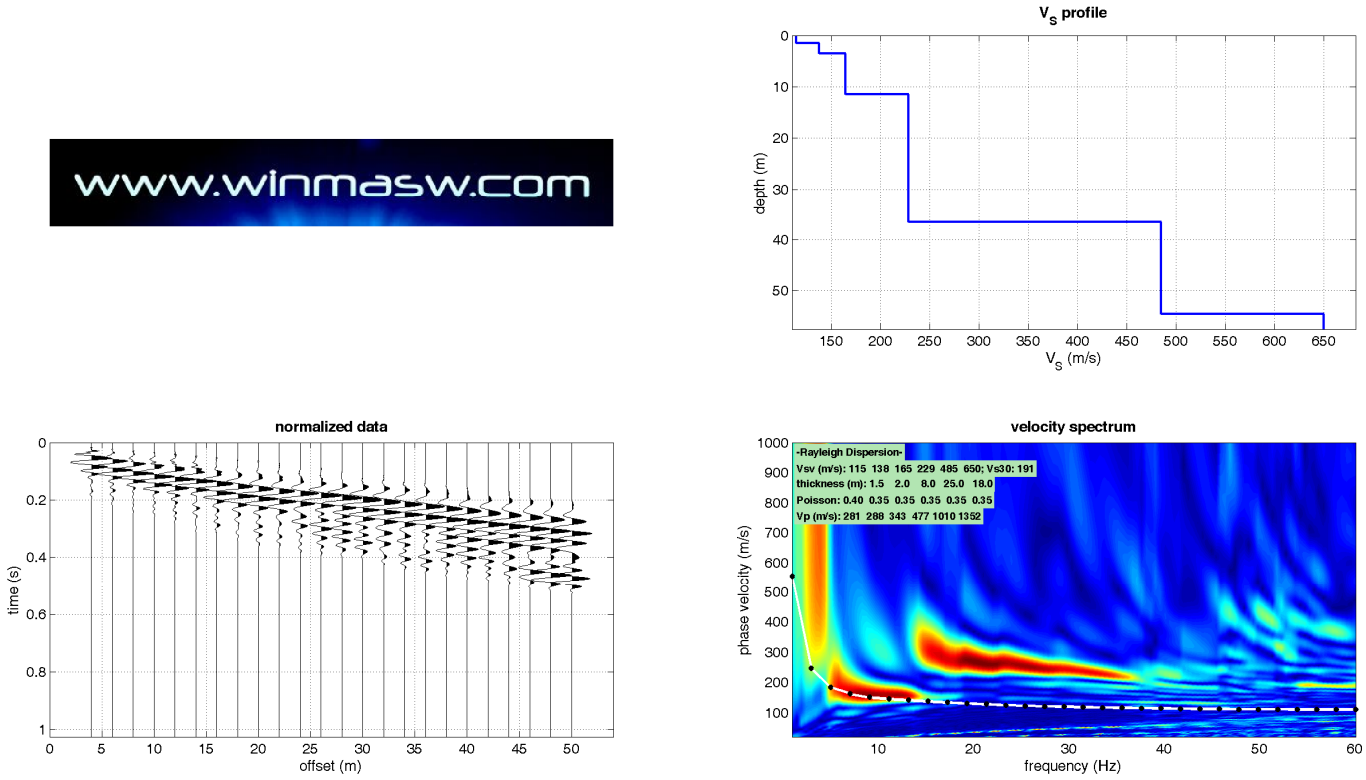


Fig. 2

- Terza fase: calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali *Vs* (Fig. 3).

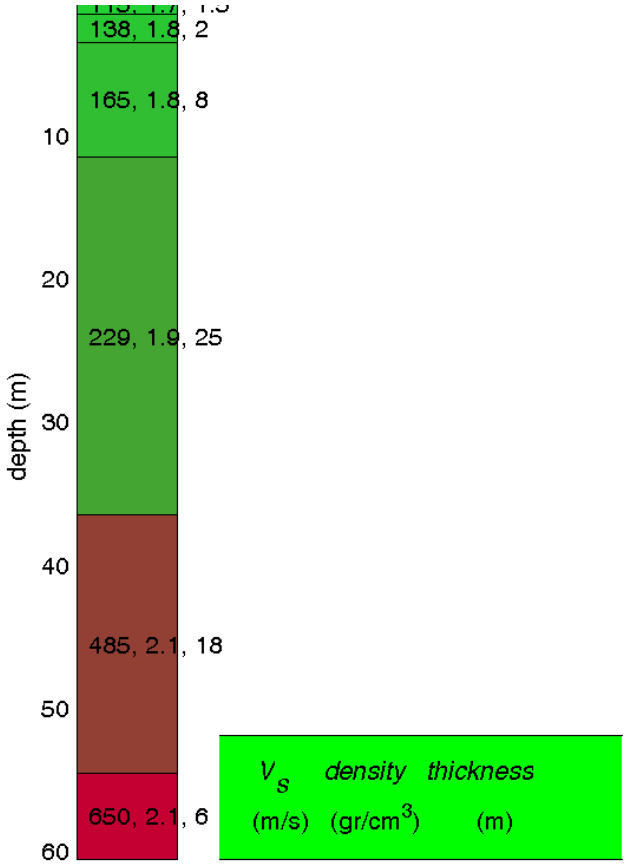


Fig. 3

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i principali parametri desunti dall'indagine effettuata.

SISMOSTRATO N.	PROFONDITA' DELLA BASE *(m)*	SPESSORE DELLO STRATO *(m)*	Vs *(m/sec)*
1	1.5	1.5	115
2	3.5	2.0	138
3	11.5	8.0	165
4	36.5	25.0	229
5	54.5	18.0	485
6			650

MEAN MODEL						
Approximate values for Vp, density, Shear modulus						
Sismostrato n.	1	2	3	4	5	6
Vp *(m/s)*	281	288	343	477	1010	1352
Density *(gr/cmc)*	1.75	1.75	1.80	1.87	2.06	2.13
Shear modulus *(MPa)*	23	33	49	98	484	899

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nel capitolo precedente è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008), coerentemente con quanto indicato nell'Eurocodice 8, 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, ovvero sul numero di colpi *Nspt* 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, la normativa identifica le seguenti Categorie di Sottosuolo:

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di Vs_{30} superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs_{30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $Nspt,_{30}>50$ nei terreni a grana grossa e $Cu,_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs_{30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15<Nspt,_{30}<50$ nei terreni a grana grossa e 70 kPa$<Cu,_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs_{30} inferiori a 180 m/s (ovvero $Nspt,_{30}<15$ nei terreni a grana grossa e $Cu,_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine)
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $Vs_{30}>800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs_{30} inferiori a 100 m/s (ovvero 10 kPa$< Cu,_{30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
S2	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 Vs30 attraverso la seguente formula (*D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008: "Norme Tecniche per le Costruzioni"*):

$$V_s30 = 30 / \Sigma_{i=1,N} (h_i/V_i)$$

Il valore medio di Vs30 calcolato è di 191 m/sec.

Tale parametro dovrà essere accuratamente definito oltre che sulla base dei dati contenuti nel presente rapporto, sulla scorta di ulteriori informazioni, ed in particolare delle caratteristiche geometriche delle opere di fondazione in progetto, così da potere determinare l'effettiva categoria di sottosuolo.