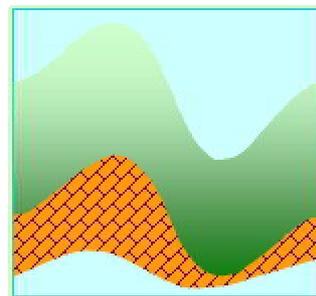


## STUDIO GEOLOGICO

DOTT. GEOL. LUCA TOFACCHI  
VIA REGINALDO GIULIANI n°84  
tel. 055 419313 fax 055 4361963  
50141 - FIRENZE  
e-mail: l.tofacchi@tiscali.it



## COMUNE DI FERRARA

**OGGETTO:** DETERMINAZIONE DEI VALORI DELLA VELOCITA' EQUIVALENTE DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO ENTRO I PRIMI 30 METRI DI PROFONDITA' ( $V_{s30}$ ), AL FINE DELL'ESPLETAMENTO DELLE VERIFICHE TECNICHE DI VULNERABILITA' SISMICA SU DI UN IMMOBILE DI PROPRIETA' DELL'AGENZIA DEL DEMANIO.

**UBICAZIONE:** VIA BERSAGLIERI DEL PO, 22 – FERRARA

**COMMITTENTE:** AGENZIA DEL DEMANIO - DIREZIONE REGIONALE EMILIA ROMAGNA.

DATA: GIUGNO 2017

## RELAZIONE DI INQUADRAMENTO SISMICO

Riferimenti legislativi:

- O.P.C.M. 3274 del 20.03.03
- O.P.C.M. 3519 28/04/06
- O.P.C.M. 4007 29/02/2012
- Del. Ass. Leg. progr. N.112
- Ogg. N. 2131 del 02.05.2007
- C.S.LL.PP. voto n.36 27.07.07
- D.M. 14.01.08 (N.T.C.)
- Ministero Infrastrutture e Trasporti
- Circolare 02.02.09 n.617
- L.R. 30.10.2009 n.19
- Del. G.R. 1302 10/09/2012





## SOMMARIO

1.	PREMESSA .....	1
2.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	1
3.	CONSIDERAZIONI SULLA PERICOLOSITÀ DELL'AREA .....	5
4.	INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO – INDAGINI IN SITU.....	5
4.1	Inquadramento stratigrafico .....	6
4.2	Inquadramento geotecnico.....	6
	INQUADRAMENTO SISMICO.....	7
4.3	Zonazione sismica .....	7
5.	MICROZONAZIONE SISMICA .....	12
5.1	Caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione.....	12
6.	ANALISI SISMICA DI SITO – RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	14
6.1	Indagine sismica .....	14
6.2	Liquefazione.....	15
6.3	Spettri di riferimento.....	15
6.4	Calcolo del Coefficiente di Reazione .....	18
7.	RISULTATI .....	18



## TAVOLE

<b>TAV. 1</b>	CARTA DI UBICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO	Scala 1:25.000
<b>TAV. 2</b>	CARTA GEOMORFOLOGICA	Scala 1:50.000
<b>TAV. 2a</b>	SEZIONE IDROSTRATIGRAFICA TIPO	
<b>TAV. 3</b>	CARTA GEOLOGICA (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA)	Scala 1:100.000
<b>TAV. 3a</b>	CARTA GEOTECNICA	Scala 1:25.000
<b>TAV. 3b</b>	CARTA DELLE ISOPACHE SABBIE SUPERFICIALI	Scala 1:30.000
<b>TAV. 3c</b>	CARTA DELLE ISOPACHE SABBIE WÜRMIANE	Scala 1:30.000
<b>TAV. 3d</b>	CARTE DELLA SUBSIDENZA ('70 - '90 E '90 - '99)	Scala 1:30.000
<b>TAV. 4</b>	CARTA LITOLOGIA DI SUPERFICIE	Scala 1:25.000
<b>TAV. 5</b>	CARTA DELLA PERMEABILITÀ DEI SUOLI	Scala 1:10.000
<b>TAV. 5a</b>	CARTA DELLA TRASMISSIVITÀ ACQUIFERO FREATICO	Scala 1:25.000
<b>TAV. 5b</b>	CARTA DELLA VULNERABILITÀ ACQUIFERO FREATICO	Scala 1:25.000
<b>TAV. 5c</b>	ISOFREATICHE OTTOBRE 73 - GIUGNO 74	Scala 1:40.000
<b>TAV. 6</b>	ELEMENTI SOTTOSUOLO INFLUENZANTI MOTO IN SUPERFICIE	Scala 1:25.000
<b>TAV. 6a</b>	CARTA DELL'AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA	Scala 1:30.000
<b>TAV. 6b</b>	CARTA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	Scala 1:30.000
<b>TAV. 6c</b>	VALUTAZIONE SUSCETTIBILITÀ A CEDIMENTI POST SISMICI	Scala 1:30.000
<b>TAV. 6d</b>	CARTA DI SINTESI EFFETTI DI SITO	Scala 1:30.000
<b>TAV. 6e</b>	FASCE DI TUTELA FLUVIALE	
<b>TAV. 7</b>	STORIA SISMICA DI FERRARA	
<b>TAV. 7a</b>	VALUTAZIONE DELLA DISAGGREGAZIONE	
<b>TAV. 8</b>	CARTA DELLE MOPS	Scala 1:10.000
<b>TAV. 8a</b>	CARTA VELOCITÀ ONDE DI TAGLIO	Scala 1:10.000
<b>TAV. 8b</b>	CARTA MICROZONAZIONE SISMICA LIV.2	Scala 1:25.000
<b>TAV. 8c</b>	CARTA MICROZONAZIONE SISMICA LIV.3	Scala 1:25.000
<b>TAV. 8d</b>	CARTA FREQUENZA NATURALE TERRENI ( $F_{0,1} = 0.0-0.5$ )	Scala 1:30.000
<b>TAV. 8e</b>	CARTA FREQUENZA NATURALE TERRENI ( $F_{0,2} = 0.5-1.0$ )	Scala 1:10.000
<b>TAV. 9</b>	UBICAZIONE INDAGINI	Scala 1:500

## ALLEGATI

IGEA S.r.l. - PROSPEZIONI SISMICHE CON METODOLOGIA MASW REMI - PROVE PENETROMETRICHE DL30 - RELAZIONE TECNICA

INDAGINI IN SITU DI BIBLIOGRAFIA



## 1. PREMESSA

Il presente lavoro, svolto per conto della Agenzia del Demanio – Direzione Regionale Emilia Romagna, funge da supporto geologico per lo “espletamento delle verifiche tecniche di vulnerabilità sismica su di un immobile di pertinenza dell’Agenzia del Demanio” eseguite, in materia di microzonazione, ai sensi della L.R. 19/2009, nel rispetto della Del. Assemblea Legislativa n.112 Oggetto n°2131 del 2 maggio 2007 - Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica, delle disposizioni della Ord.P.C.M. 3519/2006, oltre che del D.M. 14.01.08"Norme Tecniche per le Costruzioni".

L’indagine microsismica, finalizzata alla determinazione dei valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità (Vs30), ha quindi interessato un edificio posto in Via Bersaglieri del Po n.22, in Comune di Ferrara.

## 2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

### Geomorfologia

L’edificio in esame è ubicato nel centro storico del capoluogo, poche decine di metri ad Est del Castello Estense, nell’isolato compreso tra Corso della Giovecca, Via Bersaglieri del Po e Via dei Teatini, immediatamente adiacente alla Chiesa dei Teatini e, dal punto di vista altimetrico, è compreso tra le quote di 7.0 e 7.5m. s.l.m. (cfr. Tav.1 - Ubicazione dell’area in studio).

La zona in studio, pressoché pianeggiante, presenta una morfologia fondamentalmente caratterizzata dalla assenza di rilievi o depressioni morfologiche, ad eccezione delle forme legate all’azione modellante del reticolo idrografico naturale ed artificiale.

L’assetto morfologico del territorio in esame, come descritto nella relazione “Supporto tecnico idrogeologico alla procedura di valutazione e sostenibilità ambientale per il nuovo Piano Regolatore del Comune di Ferrara”(2003) , redatta dal Gruppo di lavoro del Dipartimento di Scienze della Terra Sezione di Geologia Applicata e Territorio (Gruppo di Idrogeologia - coordinato dal Geol. Alessandro Gargini) ed allegata al PS comunale: ...<<è il risultato dell’evoluzione geomorfologica Olocenica della pianura ferrarese, con particolare riguardo agli ultimi 3000 anni. Per evoluzione geomorfologica si intende specificamente la progradazione dell’apparato deltizio del Po, che fece seguito alla trasgressione Flandriana, con lo sviluppo di canali distributori, oggi rimasti come residui dossivi a far da limite a catini interfluviali morfologicamente depressi, anche in relazione al maggiore tasso di subsidenza effetto della maggiore costipabilità dei sedimenti fini. La distribuzione dei paleo-canali (oggi rimasti come paleo-alvei, dossivi e non), dei ventagli e canali di rotta associati e dei catini interfluviali, condiziona il flusso della falda freatica, anche in virtù del fatto che le zone depresse sono soggette a bonifica e qui la falda è tenuta forzatamente bassa dall’opera di sollevamento meccanico delle acque ad opera di impianti idrovori. In genere, quindi, i paleo-alvei corrispondono a zone di distribuzione e di alimentazione della falda freatica, laddove i catini interfluviali corrispondono a zone di drenaggio e richiamo delle acque.>>...

In ogni caso, l’analisi della cartografia esistente non ha evidenziato elementi di particolare interesse incidenti sull’area di studio (cfr. Tav.2 - Carta Geomorfologica), anche se nei dintorni sono state evidenziate dallo Strumento Urbanistico varie forme geomorfologiche, citate in precedenza, tra cui alcuni paleoalvei dossivi ed il paleoargine posto in corrispondenza del fosso di cinta, comunque di secondario interesse ai fini del presente studio.

### Geologia

Nella pianura ferrarese affiorano uniformemente sedimenti olocenici di piana alluvionale, che si spingono in profondità per alcune decine di metri. Seguono, all’aumentare della profondità, depositi più antichi di piana deltizia o alluvionale, depositi fluvio-deltizi e litorali, depositi marini ed infine il substrato roccioso, variamente deformato e fratturato. Nella relazione allegata al Piano Strutturale comunale “VALUTAZIONE DEL RISCHIO GEOTECNICO DELLE AREE EDIFICATE ED



*EDIFICABILI DEL PSC DEL COMUNE DI FERRARA*” redatta dal Prof. Ing. Vincenzo Fioravante, la successione deposizionale che ha modellato il sottosuolo ferrarese viene così descritta: ... <<gli ultimi depositi marini sono di tipo sabbioso, di spiaggia, a testimonianza del graduale colmamento del bacino. Le rocce più recenti sono rappresentate da accumuli detritici disordinati e caotici, in quello che era un golfo marino in subsidenza. Le rocce più antiche costituiscono una parte sepolta dell’Appennino; in particolare, l’area oggetto di studio insiste su una serie di pieghe anticlinali associate a faglie, la cosiddetta Dorsale ferrarese, il cui movimento è la causa dei terremoti che si sono registrati nella zona. I sedimenti olocenici superficiali (mediamente primi 20 metri di profondità), di interesse applicativo per la pianificazione territoriale, sono la conseguenza della fase di accumulo detritico di tipo prevalentemente fluviale, successiva alla completa emersione della pianura ferrarese. La deposizione di tipo fluviale, avvenuta in modo non uniforme, ha avuto come conseguenza diretta una estrema eterogeneità granulometrica dei sedimenti, sia in senso verticale che areale, per cui l’assetto stratigrafico della zona risulta abbastanza complesso. In epoca olocenica e storica l’area oggetto di studio era interessata da una fitta rete idrografica, i cui corsi d’acqua erano liberi di espandere le proprie acque di piena nelle zone circostanti: nelle sponde naturali dell’alveo e nelle aree immediatamente circostanti (aree di più alta energia idrodinamica) erano depositati i materiali più grossolani trasportati in sospensione, mentre i sedimenti più fini si distribuivano lontano, nelle aree situate tra un alveo e l’altro (acque di esondazione caratterizzate da bassa energia di trasporto). Questo comportamento è confermato anche dall’assetto altimetrico della zona: il territorio del comune di Ferrara è caratterizzato da fasce di terreno più elevate, in corrispondenza dei corsi fluviali esistenti ed estinti (sedimenti grossolani meno compressibili) e da varie zone depresse (sedimenti fini maggiormente compressibili)>>...

In sintesi, come evidenziato dalla “Carta Geologica d’Italia” nel Foglio n°76 – Ferrara - scala 1:100.000, (cfr. Tav.3 - Carta geologica d’Italia - ISPRA), i depositi affioranti nell’area in esame sono i seguenti:

- s*: terreni sabbiosi (contenenti meno del 25% di materiali argillosi)
- s<sup>a</sup>*: terreni sabbioso argillosi (contenenti dal 25 al 40% di materiali argillosi)
- a<sup>s</sup>*: terreni argillo sabbiosi (contenenti dal 40 al 60% di materiali argillosi)
- a*: terreni argillosi (contenenti più del 60% di materiali argillosi)

Nell’area oggetto di studio, la Carta Geologica d’Italia evidenzia quindi i terreni piuttosto eterogenei, sabbioso argillosi (*s<sup>a</sup>*), estesamente presenti in tutto il centro storico ferrarese.

Dal punto di vista litologico, la citata eterogeneità granulometrica dovuta alle modalità deposizionali di tipo fluviale si riflette anche nell’area in studio, tanto da essere definita dal Prof. marco Bondesan, nella sua carta della litologia di superficie, come “miscela ternaria” che prefigura una evidente variabilità delle tre principali componenti litologiche (cfr. Tav.4).

Più in particolare, dall’esame delle sezioni idrostratigrafiche prodotte nel 2003 per il nuovo Piano Regolatore del Comune di Ferrara, approntate dal già citato Gruppo di lavoro del Dipartimento di Scienze della Terra Sezione di Geologia Applicata e Territorio coordinato da Alessandro Gargini, è possibile delineare una sequenza idrostratigrafica dell’area analizzata (cfr. Tav. 2a - Sezione idrostratigrafica tipo), costituita, ... <<dall’alto verso il basso da:

- un primo livello eterogeneo costituito da terreni a granulometria prevalentemente fine (limi, argille, limi sabbiosi e tutti i termini intermedi) di spessore variabile ma mediamente compreso tra 5 e 7.5 metri. Localmente e in superficie sono presenti materiali di riporto, calcestruzzo e inerti per uno spessore generalmente non superiore al metro. Inglobati sono presenti livelli più o meno continui di litologia relativamente acquifera (sabbie fini e sabbie limose) sede della falda freatica. L’origine di tali sedimenti è legata all’azione deposizionale dei corsi d’acqua minori, unitamente agli episodi di rotta del fiume Po. La sovrapposizione di queste azioni ha determinato la formazione di corpi sedimentari, vicendevolmente troncati o anastomizzati, di forma non sempre tabulare, con caratteristiche di permeabilità fortemente eterogenee; la caratteristica geometrica dominante, per quel che riguarda i termini sabbiosi più permeabili, è l’aspetto lentiforme dei corpi e la mancanza di una chiara continuità spaziale, sia in senso orizzontale quanto in quello verticale. ... I termini



sabbiosi, sede dell'acquifero freatico, talora sono direttamente affioranti sul piano di campagna, più in generale sono comunque sempre molto superficiali per cui si devono attentamente valutare e tenere in considerazione i rapporti con l'idrografia superficiale. Per quel che riguarda invece il fiume Po, da quel che si evince dai profili, e come vedremo in seguito anche dalle caratteristiche idrodinamiche, non si prefigura affatto una connessione idraulica tra l'acquifero freatico e il grande corso d'acqua; questo è anche confermato dall'assenza nell'area di studio di quei fenomeni di sifonamento di subargine noti con il nome di "fontanazzi" o "gorghi".

- un secondo livello prevalentemente argilloso, costituito da termini granulometricamente fini di colore grigio, con a tratti aumento della componente limosa, alternati a locali livelletti centimetrici sabbiosi. Queste argille sono sede sovente e senza continuità areale di residui vegetali e livelletti torbosi aventi potenza da centimetrica a decimetrica. Lo spessore di questo livello non è mai inferiore ai 5 metri, mediamente si attesta sui 10 metri. Tale livello può essere denominato delle "argille".
- un terzo livello prevalentemente sabbioso grigio con granulometria variabile ma generalmente grossolana, in cui si rinvencono locali e subordinale intercalazioni limose e limoso-argillose. Questo orizzonte permeabile non si rinviene a profondità inferiori ai 12 metri da piano campagna ed il tetto.>>...

Il quadro geologico locale, piuttosto complesso, ha comunque messo in evidenza almeno due orizzonti più francamente incoerenti, quello delle cosiddette "sabbie superficiali", sede dell'acquifero freatico, che mostra spessore di pochi metri e quello più consistente (spessori medi 10m circa) delle "sabbie wurmiane", sede dell'acquifero in pressione. I due orizzonti, rappresentati mediante carte delle isopache, mostrano nell'area in studio spessori rispettivamente di circa 1-2m e di circa 15-20m (cfr. Tavv. 3b e 3c - Carte delle isopache tratte dal PSC di Ferrara).

Nella Pianura Padana orientale, e la pianura ferrarese non fa eccezione, si sono avuti, nel corso degli ultimi 50 - 100 anni forti fenomeni di subsidenza, sia naturale che antropica, che hanno avuto ed hanno anche attualmente una notevole importanza. E' evidente, ad esempio, che essi stanno alla base dell'attuale assetto altimetrico della pianura, che comprende un'area di oltre 2.300 Km<sup>2</sup> al di sotto del livello medio del mare. Come spiega il Prof. Marco Bondesan, nella "Relazione geologica di PSC", redatta nell'ottobre 2003:

...<<I movimenti registrati nella prima metà del XX secolo appaiono attribuibili, oltreché alla subsidenza naturale, ad abbassamenti della superficie freatica collegati agli ultimi interventi di bonifica o di miglioramento di condizioni di scolo delle acque superficiali. I maggiori movimenti visti per i decenni successivi appaiono invece soprattutto legati ad abbassamenti delle superfici piezometriche, legati ad eccessivi sfruttamenti di acquiferi confinati. Le ultime livellazioni esaminate (specie quelle tra 1990 e il 1999) segnalano ancora abbassamenti sensibili in varie zone, probabilmente riconducibili sempre ad estrazioni d'acqua, ma in generale il fenomeno risulta in attenuazione; tale attenuazione è certamente connessa alla chiusura di molti impianti industriali e frigoriferi per la conservazione della frutta, oltre al fatto che il prelievo dalle falde profonde è stato regolamentato. Anche i valori di abbassamento denunciati dagli ultimi rilievi risultano tuttavia ben più elevati di quelli attribuibili alla subsidenza naturale, anche in zone dove non risultano essere praticate (o essere state praticate) né estrazioni di acqua né di idrocarburi, e possono essere considerati ormai irrilevanti anche gli abbassamenti connessi alle bonifiche. A meno che ciò non dipenda da difetti di informazione sul prelievo di acque sotterranee, parrebbe plausibile che alle cause principali di subsidenza artificiale fin qui riconosciute se ne affianchino altre: una di queste potrebbe essere costituita dalle sollecitazioni (carichi e vibrazioni) determinate dal traffico che si sviluppa sulle strade presso le quali sono posizionati i caposaldi; un'altra potrebbe essere rappresentata dal controllo artificiale della falda freatica nelle campagne, con forti immissioni di acque per irrigare e forti drenaggi forzati>>...

In particolare, nel ferrarese, i fenomeni di subsidenza artificiale ...<<sono riconducibili soprattutto all'estrazione di fluidi dal sottosuolo: un caso classico è rappresentato dalla estrazione di metano misto ad acqua attuata nel Polesine e nel settore nord-orientale del Ferrarese, fra il 1938 e il 1964, da strati del Quaternario di profondità generalmente inferiori ai 200 m. Nel territorio del Comune di Ferrara questi fenomeni possono essere imputati soprattutto: - ad abbassamenti dei livelli piezometrici di falde di bassa e



*media profondità, causati da emungimenti di acqua in quantità eccessiva rispetto alla capacità di ricarica spontanea delle falde stesse - ad abbassamenti della falda freatica per fini di bonifica; tale pratica, iniziata su vaste aree fin dal tempo degli Estensi, è stata intensificata nei primi decenni del XX secolo con l'ausilio delle macchine idrovore. Fra le possibili cause vengono inoltre indicate le variazioni del chimismo delle acque sotterranee capaci di indurre riduzioni di volume dei minerali argillosi per fenomeni elettrochimici; particolari tipi di inquinamenti potrebbero quindi causare subsidenza>>...*

Ovviamente anche l'area in esame è stata interessata (cfr Tav. 3d) da fenomeni di subsidenza più accentuati nel periodo '70 - '90 (circa 8 mm/anno) e sensibilmente attenuati nel periodo '90 - '99 (circa 5mm/anno).

### **Idrogeologia**

Il drenaggio superficiale è regolato, in generale, da canali e tributari di destra idrografica del Po, tra cui il Canale di Burana ed il Po di Volano, che scorrendo con direzione WNW - ESE drenano la zona meridionale di Ferrara, oltre al Fosso di Circonvallazione ed allo Scolo di Gramicia, che drenano la parte settentrionale del centro storico. In ogni caso, trattandosi di un'area urbanizzata, è improprio parlare di reticolo idrografico, dato che il deflusso delle acque superficiali dovrebbe essere regolato prevalentemente dall'impianto fognario.

Il drenaggio profondo dei depositi alluvionali è generalmente abbastanza elevato: soprattutto dove si riscontrano lenti o livelli di materiale più grossolano (sabbie e ghiaie), abbiamo un'ottima permeabilità per porosità, mentre in corrispondenza di litologie più fini (limose, o argilloso limose), la circolazione delle acque sotterranee è almeno parzialmente inibita. A conferma di quanto affermato, la permeabilità superficiale dell'area in esame viene definita dalla cartografia di PS comunale "*tendenzialmente bassa con variazioni laterali*" (cfr. Tav.5 - Carta della permeabilità dei suoli), a testimonianza della presenza di una importante componente fine nei sedimenti di superficie.

Come evidenziato dalla Carta della Profondità della Superficie Freatica Comunale (cfr. Tav.5c - Isofreatiche ottobre '73 e giugno '74), la falda freatica ha una superficie libera sempre molto prossima al piano campagna, anche se, dall'analisi delle tavole di PSC "Morfologia della superficie freatica" del dicembre 2002 e del giugno 2003 (non allegate alla presente relazione), sembrerebbe evidente un generale abbassamento della tavola d'acqua, pari a circa 1-1.5m.

La falda freatica ...<<*generalmente presenta degli "alti" in corrispondenza dei paleoalvei, e dei "bassi" relativi in corrispondenza dai catini interfluviali. Le escursioni della superficie libera tra periodo invernale e periodo estivo sono mediamente inferiori a 1 m. Come evidenziato nella relazione idrogeologica allegata al quadro conoscitivo del PSC del Comune, la falda freatica, nelle zone studiate, non è interpretabile come un corpo d'acqua continuo ma piuttosto come un insieme di corpi idrici, separati e fluenti nei litosomi sabbiosi e sabbio-limosi, separati da plaghe argillose o limoso-argillose ove è più corretto parlare di zona di saturazione e non di falda vera e propria*>>... (vedi anche. Tav.2a - Sezione idrostratigrafica tipo).

Le misure della tavola d'acqua effettuate nell'area in esame nei perfori delle indagini in situ (misurazioni dirette e dati di bibliografia), confermano una superficie piezometrica posta a circa 2.5m dal piano campagna, quindi leggermente depressa rispetto alle quote degli anni '70 (Tav.5c) ed in accordo con le interpretazioni dei primi anni 2000.

Oltre alla falda freatica, superficiale, ospitata nei livelli relativamente più permeabili della copertura, è presente una falda in pressione, ospitata nelle sabbie würmiane. Le due falde sono alimentate dai canali principali (in connessione idraulica con la falda superficiale) e dal fiume Po (in probabile comunicazione con la falda in pressione). Nella presente relazione ci siamo occupati esclusivamente della falda freatica, esulando l'acquifero in pressione dagli scopi di progetto.

La capacità trasmissiva (o trasmissività) della falda freatica, viene espressa dal prodotto dello spessore del serbatoio acquifero per la sua conducibilità idraulica è essenziale per la valutazione della



produttività dell'acquifero o, in altri termini, della sua capacità intrinseca di condurre acqua. La Carta della trasmissività / produttività dell'acquifero freatico, tratta dalla cartografia di P.S.C. di Ferrara (cfr. Tav.5a), pur non interessando direttamente la zona in esame, fornisce indicazioni sulla **classe di produttività**, che può essere considerata **media** ( $1.3 \cdot 10^{-5} \text{mq/s} < T < 2.7 \cdot 10^{-4} \text{mq/s}$ ), analogamente alle aree adiacenti.

La vulnerabilità di un acquifero è definita come la propensione di un corpo idrico sotterraneo a subire una contaminazione e la Carta della vulnerabilità degli acquiferi "*consiste in una zonazione del territorio che, in base alle caratteristiche litologiche dei terreni superficiali, definisce la possibilità di penetrazione e diffusione in profondità di un inquinante idroveicolato*". Dall'osservazione della Carta della vulnerabilità dell'acquifero freatico, anch'essa tratta dalla cartografia di P.S.C. di Ferrara (cfr. Tav.5b) si evidenzia quanto affermato precedentemente: ovvero quanto la vulnerabilità sia direttamente dipendente dalle variazioni litologiche. Infatti avremo una classe di *Vulnerabilità bassa o media* in quanto affiorano associazioni litologiche a prevalente componente argillosa la cui particolare natura strutturale e tessiturale ostacola completamente o parzialmente sia la circolazione idrica sotterranea, sia la percolazione e l'infiltrazione delle acque di scorrimento superficiale. La vulnerabilità della falda nei confronti dell'inquinamento proveniente dal suolo e dal sovrasuolo è stata considerata, relativamente all'area in studio, in classe di **Vulnerabilità/Infiltrabilità media** (*10 ore < t < 16 giorni*) nei confronti dell'inquinamento proveniente dal suolo e dal sovrasuolo, in ragione di una componente litologica a granulometria media e medio fine.

### **3. CONSIDERAZIONI SULLA PERICOLOSITÀ DELL'AREA**

Dal punto di vista sismico l'area in studio presenta evidenti problematiche per quanto riguarda l'amplificazione stratigrafica - F.A.= 1.5 (cfr. Tav.6a), per quanto riguarda il potenziale di liquefazione - IL  $\leq$  5 Potenziale di liquefazione basso (cfr. Tav.6b), e per quanto riguarda la suscettibilità ai cedimenti post sismici (cfr. Tav.6c). La "Carta di sintesi degli effetti di sito", realizzata dal Prof. Ing. Vincenzo Fioravante (2008) ed allegata al PSC di Ferrara, riassume efficacemente quanto affermato (cfr. tav. 6d).

Anche la profondità del substrato sismico (cfr. Tav.6 - tratta dallo studio di Microzonazione Sismica 2013), - prima interfaccia risonante posta a profondità di circa 110m dal p.c., pur essendo piuttosto profonda, non sembra garantire l'assenza di effetti di doppia risonanza e di amplificazioni dovute ad impedenza sismica.

Dal punto di vista idraulico l'area in esame è compresa, secondo l'Autorità di Bacino del Fiume Po - Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), nella fascia C "fascia di inondazione per piena catastrofica non protetta da difese idrauliche" (cfr. Tav.6e - Fasce di Tutela Fluviale).

Invece dal punto di vista geomorfologico l'area in esame, trattandosi di piana alluvionale, non risulta classificata.

### **4. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO – INDAGINI IN SITU**

Al fine di acquisire elementi utili alla caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni in esame, sono state realizzate, nelle immediate vicinanze dell'edificio due prove penetrometriche dinamiche DL30. L'indagine geognostica, realizzata da IGEA S.A.S., è stata sostanzialmente finalizzata alla valutazione.

Al fine di acquisire elementi utili alla classificazione sismica del sito in esame, è stata realizzata un'indagine MASW (preferita alla sismica a rifrazione per la presenza di rumore di fondo), effettuando un allineamento per una lunghezza totale di circa 25m. Per la valutazione delle caratteristiche geologico tecniche del terreno, sono state effettuate due prove penetrometriche dinamiche (DL30), che hanno raggiunto rispettivamente la profondità di 7.00 (P1) e di 5.00 (P2) m dal p.c. (cfr. Tav.9 - carta dell'ubicazione delle indagini in situ). I risultati delle indagini geofisica e geognostica (realizzate nel maggio 2017), sono riportati nella Relazione Tecnica redatte da IGEA S.A.S. e sono parte integrante del presente lavoro.

Inoltre le risultanze delle indagini in situ effettuate sono state confortate da numerosi dati di bibliografia,



ubicati nelle immediate vicinanze dell'area in esame (cfr. Indagini di bibliografia, allegate alla presente relazione). Più precisamente le indagini comprendono due sondaggi geognostici (P483-S27, P4085-S01), due prove penetrometriche statiche (C327-CPT1, C329-CPT3), tre prove penetrometriche SCPTU con cono sismico (B084-SCPTU08, B085-SCPTU09, B051-SCPTU13), oltre a due indagini HVSR (R013, R014). I dati bibliografici sono tratti dalla "Cartografia Geologica della Regione Emilia Romagna – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli". Per l'ubicazione ed i certificati delle indagini di bibliografia, facciamo riferimento a "Indagini di bibliografia – Comune di Ferrara", riportate in allegato.

#### 4.1 Inquadramento stratigrafico

L'esame delle indagini in situ di bibliografia e delle penetrometrie effettuate, ha fornito una ricostruzione stratigrafica di massima, riportata nella tabella seguente, che mette in evidenza l'esistenza di alternanze, più o meno regolari, di orizzonti limoso argillosi, argilloso limosi, limoso sabbiosi e sabbiosi fino alla profondità di circa 20 metri dal piano campagna.

NORD		SUD	
CPT327	S4084	S483	P1
0.0-0.6 riporto	0.0-0.3 riporto	0.0-4.0 argille limose	0.0-0.6 riporto
0.6-6.2 limi argillosi	0.3-5.0 limi argillosi e limi debolmente sabbiosi		0.6-2.4 limi sabbiosi e limi argillosi
		4.0-5.0 limi sabbiosi	2.4-5.2 argille limose e limi sabbiosi
6.2-7.8 limi sabbiosi	5.0-7.7 limi sabbiosi e limi argillosi		5.2-6.4 limi sabbiosi
			6.4-7.0 sabbie limose
7.8-16.2 argille limose	7.7-16.1 argille limose e limi argillosi		
16.2-18.2 sabbie limose	16.1-20.0 sabbia fine debolmente limosa		

Sembra quindi evidente che, localmente, i terreni in esame siano costituiti da granulometrie prevalentemente medio fini, in accordo con la cartografia allegata allo Strumento Urbanistico.

#### 4.2 Inquadramento geotecnico

Dal punto di vista geotecnico, grazie alle due penetrometrie effettuate, stato possibile ricostruire il sottostante schema di massima dei terreni sottostanti le strutture fondali (si ricorda che le prove DL30 forniscono valori soltanto indicativi, da verificare in fase di progettazione strutturale):

strati	P1				P2			
	Dr (%)	$\phi$ (°)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Eed (kg/cm <sup>2</sup> )	Dr (%)	$\phi$ (°)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Eed (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>a</b>	25	28	-	35	25	29	-	35
<b>b</b>	-	-	-	-	15	27	-	14
<b>c</b>	44	30	-	95	28	29	-	42
<b>d</b>	38	29	-	85	38	30	-	64
<b>e</b>	70	33	-	156				

Mediamente il valore dell'angolo di attrito che caratterizza i terreni sottostanti le fondazioni esistenti, probabilmente impostate sullo strato a, può essere considerato pari a circa 28°. Si ricorda tuttavia che esistono, più in profondità, importanti orizzonti limoso sabbiosi compressibili e/o suscettibili di liquefazione: un modesto livello a caratteristiche geotecniche assai scadenti (**liv. b** - evidenziato in grigio), è stato intercettato anche durante l'esecuzione della prova penetrometrica P2.



## INQUADRAMENTO SISMICO

Il rischio sismico è il risultato dell'interazione tra il fenomeno naturale e le principali caratteristiche della comunità esposta. Viene definito "come l'insieme dei possibili effetti che un terremoto di riferimento può produrre in un determinato intervallo di tempo, in una determinata area, in relazione alla sua probabilità di accadimento ed al relativo grado di intensità (severità del terremoto). La determinazione del rischio è legata a tre fattori principali:

- **PERICOLOSITÀ:** esprime la probabilità che, in un certo intervallo di tempo, un'area sia interessata da terremoti che possono produrre danni. Dipende dal tipo di terremoto, dalla distanza tra l'epicentro e la località interessata nonché dalle condizioni geomorfologiche. La pericolosità è indipendente e prescinde da ciò che l'uomo ha costruito.
- **ESPOSIZIONE:** è una misura dell'importanza dell'oggetto esposto al rischio in relazione alle principali caratteristiche dell'ambiente costruito. Consiste nell'individuazione, sia come numero che come valore, degli elementi componenti il territorio o la città, il cui stato, comportamento e sviluppo può venire alterato dall'evento sismico (il sistema insediativo, la popolazione, le attività economiche, i monumenti, i servizi sociali).
- **VULNERABILITÀ:** consiste nella valutazione della possibilità che persone, edifici o attività subiscano danni o modificazioni al verificarsi dell'evento sismico. Misura da una parte la perdita o la riduzione di efficienza, dall'altra la capacità residua a svolgere ed assicurare le funzioni che il sistema territoriale nel suo complesso esprime in condizioni normali. Ad esempio nel caso degli edifici la vulnerabilità dipende dai materiali, dalle caratteristiche costruttive e dallo stato di manutenzione ed esprime la loro resistenza al sisma.

### 4.3 Zonazione sismica

La zonazione sismica in pratica, la visione generale del potenziale sismico di un'ampia area, ottenuta individuando le aree sismiche e non sismiche, verificando la ricorrenza dei terremoti ed infine valutando la scuotibilità dell'area. Quindi consiste nell'individuazione della pericolosità sismica a livello regionale. Integrando i dati storici con la ricostruzione delle strutture geodinamiche si ottiene un modello sismotettonico che individua le sorgenti sismiche, le leggi di ricorrenza, la massima magnitudo ed i relativi parametri. Caratterizzata la sorgente attraverso un modello probabilistico di ricorrenza, è possibile passare alla previsione per ogni sito, dello scuotimento e dei parametri di moto.

Nella carta a fianco (fig.1), sono rappresentati gli epicentri dei terremoti in Italia, che negli ultimi mille anni hanno superato la soglia del danno grave (l'intensità uguale o maggiore al VII grado della scala Mercalli ovvero circa 5,5 della scala Richter).

La macrozonazione sismica del territorio italiano è stata aggiornata e revisionata nell'ambito della "**Ord. P.C.M. 3274 del 20.03.03 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica**" e successive modifiche. L'ordinanza ha approvato i criteri generali per la

classificazione sismica del territorio nazionale e le normative tecniche per le costruzioni in zona sismica, sulla base della Proposta del 1998 del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e Servizio Sismico Nazionale, istituito dal Dipartimento della Protezione Civile, in accordo con le Regioni alle quali restano ferme le competenze di cui all'art. 93, comma 1, lettera g) del decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112. In tale occasione è stata redatta una mappa della pericolosità sismica di base per tutto il territorio italiano, con la individuazione di quattro zone sismiche a pericolosità decrescente (zona 1, zona 2, zona 3, zona 4) e la formazione degli elenchi dei comuni compresi in ciascuna zona. Ogni zona è contrassegnata da un diverso valore del parametro  $a_g$  corrispondente alla accelerazione di picco orizzontale del suolo, con probabilità di superamento del 10%

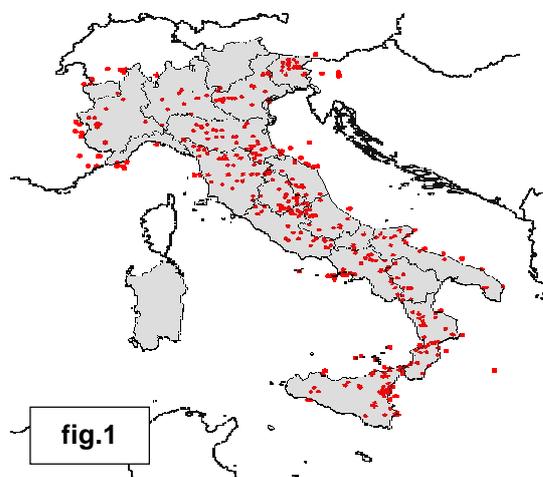


fig.1



in 50 anni, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale, secondo la seguente tabella:

Zona sismica	Valore di $a_g$
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

Le prime tre zone corrispondono alle zone già definite dalla Legge 64 del 02.02.74; la quarta è invece di nuova introduzione ed in essa è data facoltà alle regioni di imporre l'obbligo della progettazione antisismica. L'Ord. P.C.M. 3274 20.03.2003 ha anche suddiviso, sulla base della velocità media nei primi 30 metri di terreno delle onde sismiche S o seconde ( $V_{S30}$ ), i terreni di fondazione in cinque diverse tipologie, con diverso comportamento alle sollecitazioni sismiche.

Tale suddivisione è riportata nella seguente tabella.

SUOLO DI FONDAZIONE	$V_{S30}$
<b>A:</b> Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{S30}$ superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale $>800$ m/s, di spessore massimo pari a 5 m	$>800$ m/s
<b>B:</b> Depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, spessori di diverse decine di metri, 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	$>360$ m/s $<800$ m/s
<b>C:</b> Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, tra 180 m/s e 360 m/s	$>180$ m/s
<b>D:</b> Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 180$ m/s	$<180$ m/s
<b>E:</b> Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di $V_{S30}$ simili a quelli dei tipi C e D e spessore compreso tra 5 e 20 m giacenti su un substrato di materiale più rigido con $V_{S30} > 800$ m/s	$<360$ m/s

Il Comune di Ferrara, secondo la precedente classificazione, ricade in zona sismica 3.

Partendo dalla pericolosità sismica di base indicata dalla normativa statale, OPCM 3274/2003 e successive modifiche e integrazioni, viene valutata la risposta sismica locale (microzonazione sismica) necessaria per la pianificazione del territorio e per la progettazione delle opere, secondo quanto previsto normative regionali.

Attraverso la microzonazione sismica è possibile prevedere e mitigare gli effetti sismici che possono interessare il territorio comunale. Eventi sismici, provenienti da varie zone sismogenetiche, possono assumere caratteristiche diverse, anche a distanze di poche decine di metri, in relazione alle condizioni locali (litologiche, morfologiche idrogeologiche) tanto da provocare danni assai diversi a parità di tipologie costruttive e stato di conservazione delle costruzioni.

Quindi l'obiettivo della microzonazione sismica è l'individuazione delle aree caratterizzate dallo stesso scenario sismico e la verifica della risposta sismica locale con indagini e metodologie affidabili, al fine di prevedere il comportamento dei terreni superficiali interessati dalle costruzioni attuali e future, quando sono sottoposti ad un evento sismico.

Tale caratterizzazione sismica poggia sulla Mappa di Pericolosità Sismica [GRUPPO DI LAVORO (2004) - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile. INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici], prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20.03.2003; tale mappa è



stata approvata con Ordinanza PCM 28 aprile 2006 n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".

Questa iniziativa è stata rivolta a soddisfare l'esigenza di una mappa di pericolosità sismica di riferimento per l'individuazione delle zone sismiche, esigenza formulata dall'Ordinanza PCM 20.03.2003 n. 3274, che ne fissa criteri e scadenza. In particolare:

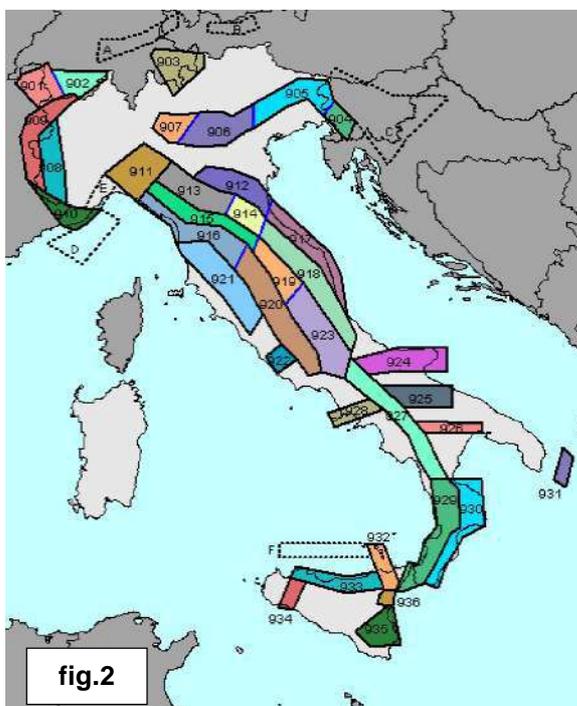


fig.2

- è stata elaborata una nuova zonazione sismogenetica, denominata **ZS9**, a partire da un sostanziale ripensamento della precedente zonazione (ZS4), alla luce delle evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni acquisite negli ultimi anni. ZS9 è corredata, per ogni ZS, da un meccanismo focale prevalente e da un valore di profondità, determinati nella prospettiva di utilizzo con le relazioni di attenuazione. La suddivisione in zone sismogenetiche è riportata a lato, in fig.2.
- è stata prodotta una versione aggiornata del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, detta inizialmente CPT12; tutt'ora il Catalogo viene continuamente aggiornato: attualmente la versione più recente è la CPT15;
- sono state verificate le relazioni di attenuazione di  $a_{max}$  definite a scala nazionale ed europea;
- sono stati determinati, con approcci storici e statistici, due insiemi di completezza dei dati del Catalogo Parametrico

Il Comune di Ferrara è stato inserito nella parte centro-ovest della Zona Sismogenetica 912 (Dorsale Ferrarese).

Successivamente è stata realizzata una nuova mappa di pericolosità sismica per l'intero territorio nazionale, definita dall'Ordinanza PCM 28 aprile 2006 n. 3519. Più in particolare la Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (cfr. fig.3, a lato), nell'elaborato "Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800\text{m/s}$ ; cat.A, punto 3.2.1. del D.M. 14.09.2005) - riferimento O.P.C.M. del 28.04.06 n° 3519, All.1b", esprime la pericolosità sismica del territorio comunale di Ferrara con l'accelerazione massima ( $a_{max}$ )  $0.152 < a_g \leq 0.150$ , valori che sono riferibili alla **zona sismica 3**.

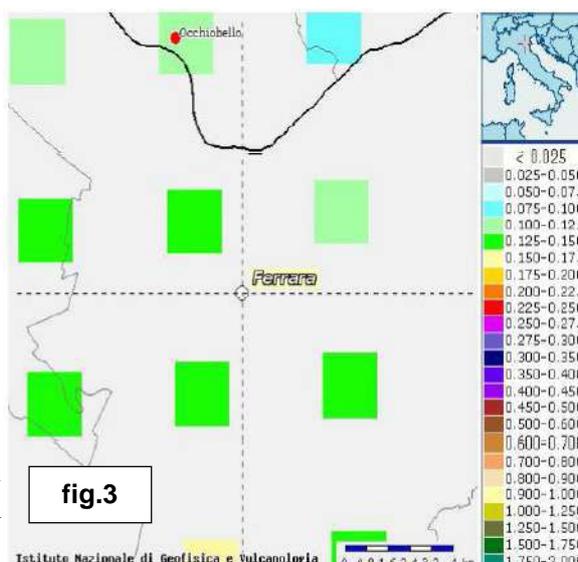


fig.3

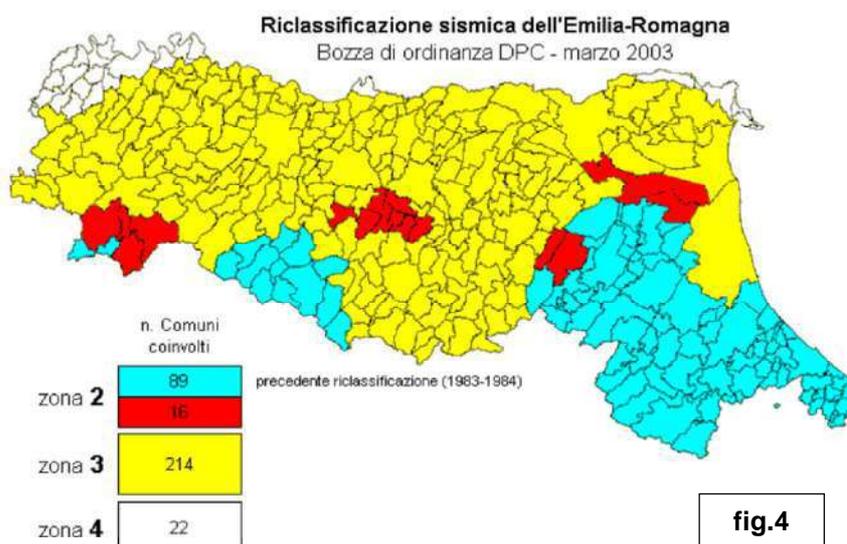


L'Ord. P.C.M. 3519 del 28.04.06, ha infatti modificato la classificazione delle zone sismiche secondo la seguente tabella:

zona	accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g)	accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (ag/g)
1	$0,25 < ag \leq 0,35$ g	0,35 g
2	$0,15 < ag \leq 0,25$ g	0,25 g
<b>3</b>	<b><math>0,05 &lt; ag \leq 0,15</math> g</b>	<b>0,15 g</b>
4	$ag \leq 0,05$ g	0,05 g

La zonizzazione sismica regionale, prevede una classificazione in cui i 341 comuni che fanno parte della Regione Emilia Romagna sono così catalogati (cfr. fig.4):

- 105 Comuni appartenenti alla Zona 2
- 214 Comuni appartenenti alla Zona 3
- 22 Comuni appartenenti alla Zona 4



Quindi, secondo la carta di macrozonazione della Regione Emilia Romagna (cfr. *Classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia Romagna*), il Comune di Ferrara risulta inserito nella **Zona 3** (Zona a sismicità bassa) con accelerazione massima di riferimento, secondo la classificazione, che raggiunge valori massimi di PGA compresi tra **0.05 g e 0.15g**. Tali valori d'accelerazione sono relativi al bedrock, ovvero a formazioni litoidi o terreni omogenei molto rigidi.

Inoltre, la Del. Assemblea Legislativa n°112 - Oggetto n°2131 del 2007, indica, per il Comune di Ferrara, un valore della accelerazione massima orizzontale di picco al suolo ( $T=0$ ), pari a **0.132g**. (cfr. Allegato A4 – Tabella 2 della Deliberazione dell'Assemblea Legislativa n° 112 – Oggetto n° 2131 del 02/05/2007 - Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione Territoriale ed Urbanistica).

Dall'interrogazione del recente "*Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Versione CPTI15* – A.Rovida, M.Locati, R.Camassi, B. Lollì, P.Gasperini, 2016" è stata estrapolata, tramite il motore di ricerca INGV (CPTI15), la "storia sismica di Ferrara", dove è considerata una serie di 137 eventi, in

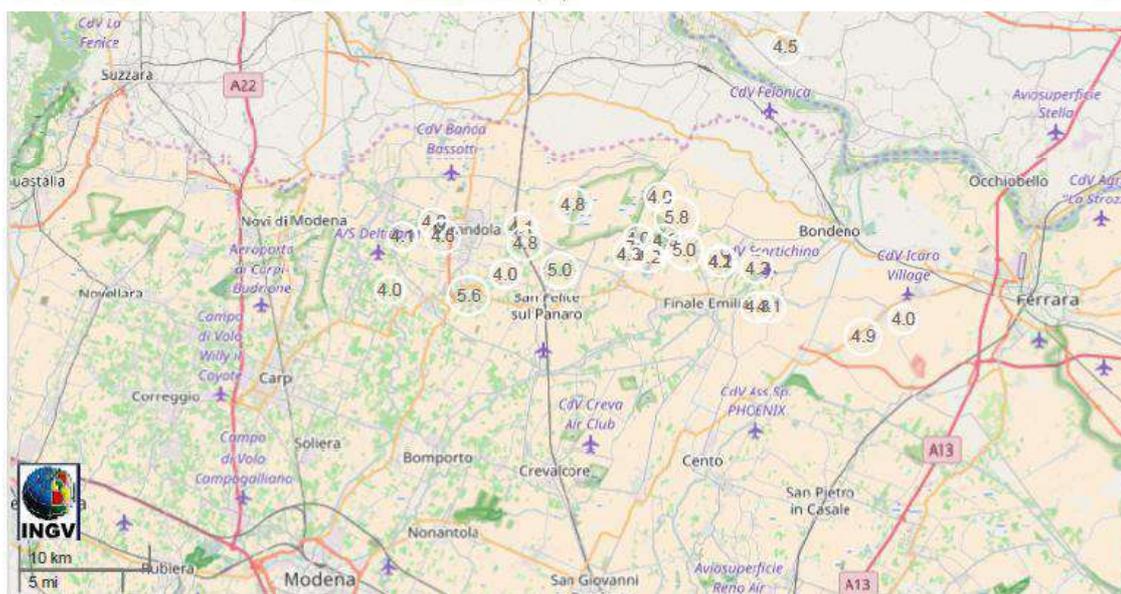


ordine cronologico, dal 1117 al 2011 (cfr. Tav.7a - Storia sismica di Ferrara).

Invece la sismicità recente che ha interessato il territorio comunale di Ferrara è stata ricavata dalla Lista Terremoti aggiornata in tempo reale elaborata dal Centro Nazionale Terremoti (INGV-CNT). Nello specifico sono stati ricercati i terremoti aventi una magnitudo minima pari a 4.0, registrati dal 2007 ad oggi, in un raggio di 50 Km dal Comune di Ferrara. I principali eventi sismici registrati sono riportati nella seguente tabella.

Data e Ora (Italia) [F]	Magnitudo [M]	Zona [Z]	Profondità [P]	Latitudine	Longitudine
2012-05-29 13:07:04	ML 4.0	3 km W Mirandola (MO)	8	44.89	11.03
2012-05-29 12:03:25	ML 4.0	2 km E Medolla (MO)	3	44.86	11.10
2012-05-29 11:29:37	ML 4.1	1 km SE San Possidonio (MO)	6	44.88	11.00
2012-05-29 10:27:22	ML 4.6	2 km W Mirandola (MO)	6	44.88	11.04
2012-05-29 09:07:20	ML 4.0	3 km W Cavezzo (MO)	4	44.05	10.99
2012-05-29 09:00:02	Mw 5.6	1 km SW Medolla (MO)	8	44.84	11.07
2012-06-21 18:37:31	ML 4.1	4 km N Finale Emilia (MO)	4	44.87	11.31
2012-05-20 19:08:14	ML 4.6	6 km NW Finale Emilia (MO)	4	44.00	11.25
2012-05-20 19:37:14	Mw 4.2	4 km N Finale Emilia (MO)	5	44.87	11.31
2012-06-20 16:21:05	ML 4.1	4 km E Finale Emilia (MO)	8	44.83	11.35
2012-05-20 15:18:01	Mw 4.9	2 km SW Mirabello (FE)	3	44.81	11.44
2012-05-20 11:13:18	ML 4.2	6 km NW Finale Emilia (MO)	7	44.87	11.24
2012-06-20 05:02:47	ML 5.0	2 km NE San Felice sul Panaro (MO)	9	44.86	11.15
2012-05-20 04:39:07	ML 4.0	8 km NW Finale Emilia (MO)	7	44.88	11.23
2012-06-20 04:35:32	ML 4.0	1 km E Mirabello (FE)	26	44.83	11.48
2012-05-20 04:21:50	ML 4.1	4 km E Mirandola (MO)	5	44.89	11.12
2012-05-20 04:12:40	ML 4.3	7 km E San Felice sul Panaro (MO)	7	44.87	11.22
2012-05-20 04:11:45	ML 4.3	5 km NE Finale Emilia (MO)	11	44.86	11.34
2012-05-20 04:09:48	ML 4.3	3 km E Finale Emilia (MO)	5	44.83	11.34
2012-05-20 04:07:28	ML 5.0	5 km NW Finale Emilia (MO)	6	44.87	11.27
2012-05-20 04:06:26	ML 4.8	7 km N San Felice sul Panaro (MO)	4	44.91	11.17
2012-05-20 04:06:12	ML 4.8	4 km E Mirandola (MO)	5	44.88	11.12
2012-05-20 04:03:50	Mw 5.8	7 km NW Finale Emilia (MO)	10	44.90	11.26
2012-06-20 01:13:25	Mw 4.0	9 km NW Finale Emilia (MO)	9	44.91	11.25
2011-07-17 20:30:27	Mw 4.5	1 km SW Ceneselli (RO)	2	45.01	11.37

10R





Infine, in base al progetto DPC dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Milano) “Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di  $M$ ,  $R$ ,  $\epsilon$ ”, si è definita l'incidenza di sorgenti sismogenetiche poste ad una distanza  $R$ , capaci di generare terremoti significativi di magnitudo  $M$ . In pratica è possibile individuare l'evento sismico dominante relativo allo scenario di pericolosità ricostruito, detto terremoto scenario. Il terremoto di scenario è quindi l'evento di magnitudo  $M$ , a distanza  $R$  dal sito in esame che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica.

**La valutazione della disaggregazione, calcolata sulla base di tali parametri, individua un probabile terremoto scenario con magnitudo media pari a 4.96, distanza epicentrale pari a 12.1 km ed epsilon pari a 0.584** (cfr. Tav.7a - Valutazione della disaggregazione).

Si precisa comunque che la massima magnitudo attesa per la zona sismogenetica 912 è  $M = 6.14$  (“Indirizzi e criteri per microzonazione sismica”, I.C.M.S. 2009), anche se tutti gli eventi sismici precedentemente individuati sono caratterizzati da Magnitudo sensibilmente inferiore.

## 5. MICROZONAZIONE SISMICA

Il recente Piano Operativo Comunale (Studio di microzonazione sismica di III° livello – Prof. Ing. Vincenzo Fioravante ed Ing. Daniela Giretti – ottobre 2013), relativamente agli effetti di sito attesi nel territorio comunale, cita testualmente: ...<<Sulla base delle informazioni di natura geologica, geomorfologica e geotecnica precedentemente esposte e seguendo le indicazioni per l'individuazione delle condizioni locali che possono determinare effetti di sito nel territorio dell'Emilia-Romagna fornite dalla normativa regionale di riferimento per la pianificazione, sono state svolte alcune considerazioni di tipo qualitativo circa il comportamento sotto sollecitazione dinamica dei terreni che caratterizzano il territorio del comune di Ferrara. L'area in esame è un bacino sedimentario caratterizzato dalla presenza di strati di terreno molto deformabili (depositi fluvio-deltizi) sovrastanti un substrato di più elevata rigidità: **in queste condizioni il moto sismico risultante in superficie può differire notevolmente dal moto in ingresso al basamento, a causa dell'azione filtrante esercitata dai depositi di terreni sciolti, con possibilità di esaltazione dell'ampiezza e della durata del moto sismico. Non esistono dunque zone stabili e tutta l'area è potenzialmente suscettibile di effetti stratigrafici di amplificazione delle sollecitazioni e del moto sismico. In corrispondenza dei paleovalvi principali, dei paleovalvi secondari e dei ventagli e depositi di rotta e tracimazione, sono presenti corpi di materiale limoso-sabbioso sottofalda, da profondità variabili a seconda dell'epoca di origine (più o meno recente) del ramo fluviale e dell'eventuale epoca di estinzione. Questi corpi sabbiosi risultano potenzialmente liquefacibili e addensabili in caso di sisma, anche se l'occorrenza di tali fenomeni è fortemente condizionata dall'entità dello scuotimento sismico. Nelle zone di transizione le lenti sabbiose sono potenzialmente liquefacibili e addensabili. Tutte le zone di paleovalve e di transizione sono quindi considerate potenzialmente instabili**>>...

...<<È possibile notare come la  $V_sH$  sia generalmente compresa tra 150 e 250 m/s, con un valore medio pari a circa 180 m/s. Questo implica che i terreni presenti sono tutti di categoria D o C secondo la classificazione prevista dalle NTC2008, riportata in Tabella 5.3, tranne quelli ove **risultano presenti i fattori predisponenti la liquefazione che ricadono nella categoria S2**. Si può inoltre osservare come le misure più elevate corrispondano in genere agli ambienti di paleovalve o transizione, dove sono presenti strati di terreni a grana grossa, mentre le misure più basse corrispondano alle aree interfluviali, dove prevale la matrice fine, spesso intercalata da argille organiche o torba>>...

### 5.1 **Caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione**

Nella già citata relazione illustrativa dello studio di Microzonazione Sismica (2013) è stata effettuata, tramite abachi, la procedura per la caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti d'amplificazione, che consiste nella stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (F.A.); lo studio è condotto con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche.

Il valore di F.A. si riferisce al PGA e agli intervalli di periodo tra 0.1 - 0.5 s e 0.5 - 1.5 s: in particolare l'intervallo tra 0.1 - 0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5 - 1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.. I Fattori di Amplificazione



(F.A.) sono riferiti al Suolo A come previsto dall'Eurocodice 8, parte 1, e dal D.M. 14/9/2005 "Norme tecniche per le costruzioni", punto 3.2.1. La scheda di riferimento, messa a punto dalla Regione Emilia Romagna "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" di cui alla deliberazione n. 112 del 2/5/2007 dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna" (D.A.L. 112/2007), che si adatta meglio al modello geofisico - geotecnico è definita PIANURA 2. - In ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (>100m da p.c.).

Nel contesto geologico "PIANURA 2", la Del. 112/2007 prescrive, per la determinazione dei fattori di amplificazione (F.A.), l'utilizzo di tabelle specifiche, di seguito riportate:

F.A. P.G.A.

$V_{s30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.1s < T_0 < 0.5s$

$V_{s30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.5s < T_0 < 1.0s$

$V_{s30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

Si tiene a precisare che gli abachi in oggetto possono essere utilizzati esclusivamente nell'ambito degli studi di microzonazione sismica di livello 2 e che è fatto assoluto divieto di utilizzo dei dati di output di secondo livello in attività connesse alla determinazione dell'azione sismica a corredo della progettazione edilizia. Relativamente all'area in esame, essendo le velocità  $V_{s30}$  molto prossime a 250 m/s (243m/s), possono essere considerati i F.A. della seconda colonna (in rosso).

In accordo con quanto previsto dalla normativa regionale, lo studio di microzonazione sismica comunale ha stabilito:

- nella Carta MOPS (Tav.8) l'area in esame è stata definita **suscettibile di instabilità per liquefazione**;
- nella Carta di Microzonazione sismica di liv.2 (Tav.8b) l'area in esame è stata definita **suscettibile di instabilità per liquefazione con Fattore di Amplificazione PGA =1.5-1.6** (Fa intensità spettrale  $0.1s < T_0 < 0.5s = 1.8$  e  $0.5 s < T_0 < 1.0s = 2.3$ );
- nella Carta di Microzonazione sismica di liv.3 (Tav.8c) l'area in esame è stata definita **suscettibile di instabilità per liquefazione – Rischio di liquefazione moderato ( $2 < IL < 5$ )**;
- nella Carta della velocità delle onde di taglio (Tav.8a), l'area in esame presenta velocità  $V_{s30}$  di circa 180-200m/s, in sostanziale accordo a quanto ricavato dalle indagini in situ ( $V_{s30} = 243m/s$ );
- nella Carta delle frequenze naturali dei terreni (Tavv. 8d ed 8e) sono stati evidenziati due massimi ben distinguibili, uno in bassissima frequenza (**0.25-0.3 Hz**) e uno in bassa frequenza (**0.8-0.9 Hz**).



## 6. ANALISI SISMICA DI SITO – RISPOSTA SISMICA LOCALE

Con l'entrata in vigore del D.M. 14.01.08- Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente"; quindi l'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto degli stati limite presi in considerazione, viene definita partendo dalla pericolosità di base del sito in esame, elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Per definire l'azione sismica di progetto, si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, come indicato dalle NTC (Tab.3.2.II e Tab.3.2.III).

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ 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 $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ 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 $V_{s,30}$ 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).
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 $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
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).

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ 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.

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della **velocità equivalente  $V_{s30}$**  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità, definita dalla seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$$

$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo  
 $V_i$  = Velocità dell'onda di taglio i-esima  
 $N$  = Numero di strati

### 6.1 Indagine sismica

Al fine di acquisire elementi utili all'identificazione della categoria di sottosuolo è stata realizzata un'indagine MASW (Multichannel Analysis of surface Waves), effettuando un allineamento composto da 12 geofoni verticali con spaziatura 2.0m, per un totale di circa 27.5m. Per i principi teorici della tecnica MASW, per il metodo di acquisizione ed elaborazione, per la presentazione dei dati e per l'ubicazione del profilo sismico, facciamo riferimento a quanto prodotto nella Relazione Tecnica redatta da IGEA srl. che completa di elaborati grafici, è parte integrante del presente lavoro.

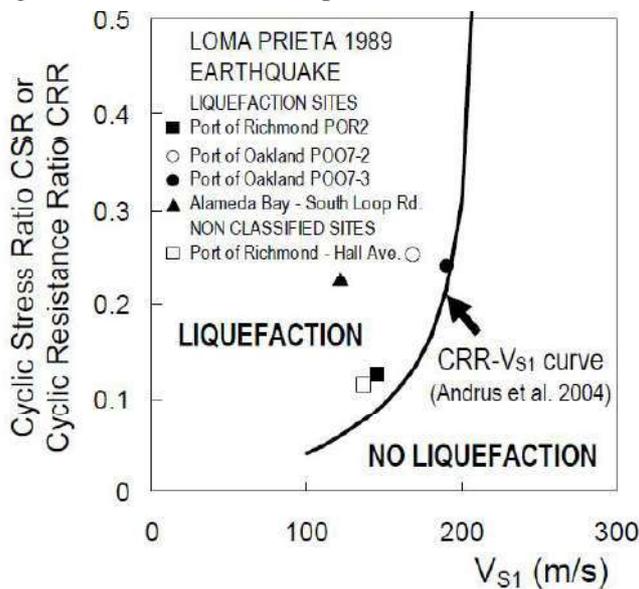


In particolare, relativamente alla velocità delle onde di taglio entro i primi 30m di profondità dell'area indagata, Igea fornisce le seguenti considerazioni: ...“Considerando le velocità degli strati e gli spessori rilevati, si ottiene dal piano di campagna, un valore delle VS30 pari a 243 m/sec”...

### 6.2 Liquefazione

Il fenomeno della liquefazione si verifica, in terreni non coesivi saturi d'acqua, quando in seguito a sforzi ciclici indotti dalle sollecitazioni sismiche, le pressioni interstiziali aumentano progressivamente fino ad eguagliare la pressione di confinamento. Il terreno subisce quindi una drastica diminuzione della resistenza al taglio e viene a trovarsi in uno stato assimilabile a quello di un fluido viscoso.

I terreni maggiormente interessati da tale fenomeno sono quindi prevalentemente sabbie monogranulari, mentre, in pratica, la liquefazione non interessa terreni eterogenei, a granulometria fine e medio grossolana, che sembrano presenti nell'area in esame.



È anche possibile verificare la predisposizione alla liquefazione dei terreni presenti nell'area con uno dei principali metodi quantitativi semplificati, sintetizzato nel grafico qui a lato.

Il metodo mette in correlazione la suscettibilità alla liquefazione con le velocità delle onde sismiche di taglio del terreno ( $V_s$ ), individuando sperimentalmente una velocità (200 m/s) al di sopra della quale la propensione alla liquefazione è minima.

Sembra quindi evidente come il terreno in studio, caratterizzato da valori delle velocità delle onde  $V_s$  superficiali inferiori ai 200m/s (valori minimi del livello superficiale pari a circa 180m/s), presenti una moderata suscettibilità ai fenomeni di liquefazione.

### 6.3 Spettri di riferimento

Nella figura a fianco (Fig.2.8 – tratta dalla Relazione illustrativa del già citato “P.O.C. Di Ferrara –

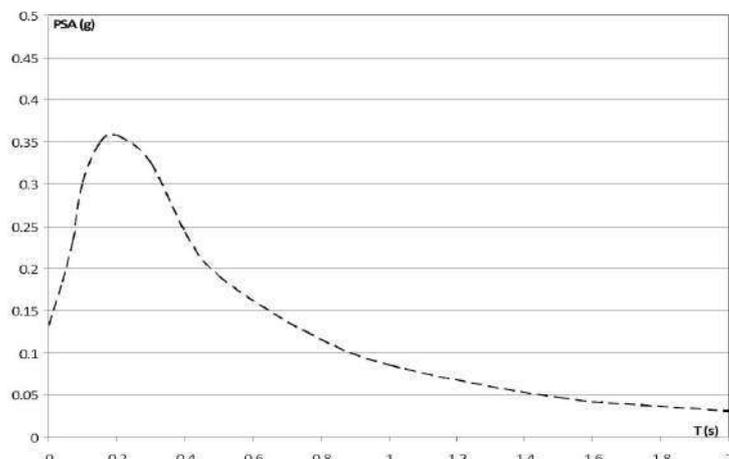


Figura 2.8. Spettro di risposta per il comune di Ferrara per gli studi di microzonazione sismica.

Studio di Microzonazione Sismica di terzo livello”) viene ...<<rap-presentato lo spettro di risposta in accelerazione rappresentativo del moto sismico atteso per il comune di Ferrara, per un periodo di ritorno di 475 anni e su suolo di riferimento rigido, secondo gli “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica”. Lo spettro è ancorato a una  $PGA0 = 0.132g$ . Tale valore è stato assunto come valore di input per le analisi>>...



...<< come segnali di riferimento per il calcolo della risposta sismica locale, sono stati utilizzati gli accelerogrammi previsti per l'area in esame dagli "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". Tali segnali, rappresentati in Figura 2.9, sono rappresentativi dello scuotimento atteso su suolo rigido di riferimento. In Tabella 2.3 sono elencate le ... caratteristiche degli stessi>>...

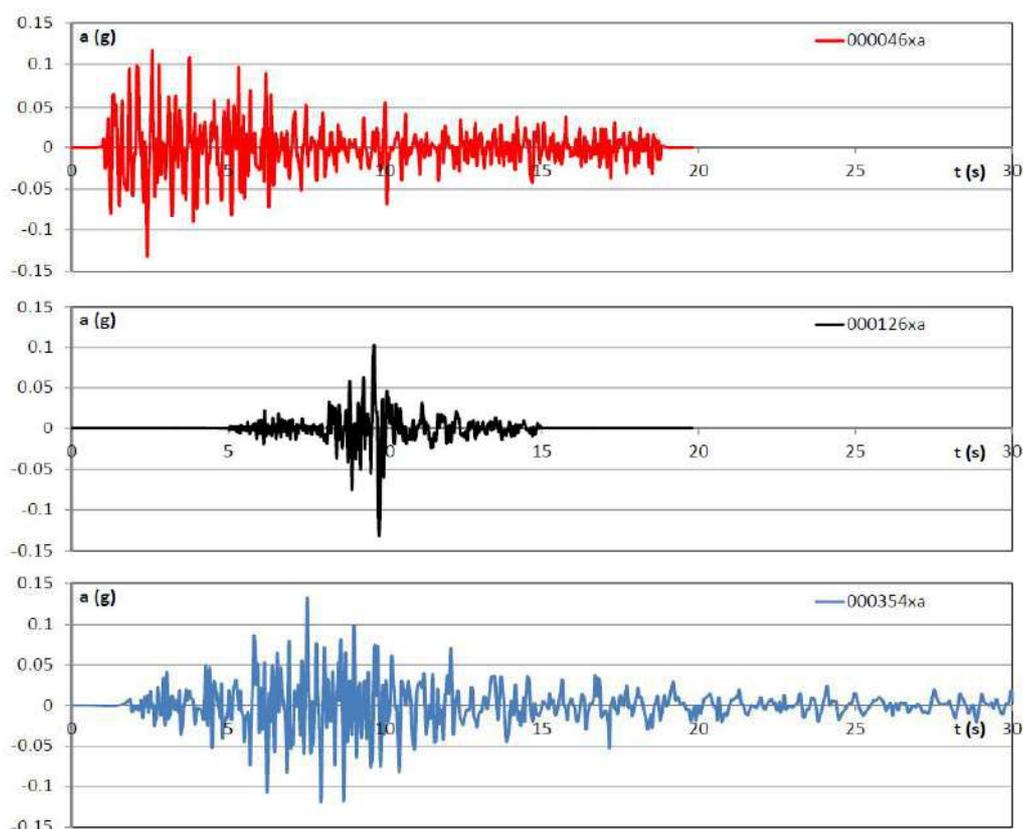


Figura 2.9 Accelerogrammi dei segnali sismici di riferimento.

Tabella 2.3 Principali caratteristiche dei segnali sismici di riferimento.

codice	PGA [g]	PGV [m/s]	PGD [m]	d <sub>90</sub> [s]	I <sub>a</sub> [m/s]	SI [m]	SI <sub>05</sub> [m]	SI <sub>15</sub> [m]
000046xa_038008	0.132	0.060	0.006	13.480	0.197	0.168	0.048	0.094
000126xa_038008	0.132	0.075	0.006	3.525	0.054	0.180	0.045	0.096
000354xa_038008	0.132	0.065	0.014	15.355	0.212	0.279	0.048	0.143

Tutte le figure e le tabelle del presente paragrafo sono tratte dal "Piano Operativo Comunale (Studio di microzonazione sismica di III° livello – Prof. Ing. Vincenzo Fioravante ed Ing. Daniela Giretti – ottobre 2013), relazione illustrativa".



Gli spetti di risposta in pseudoaccelerazione sono rappresentati in Figura 7.8 e Figura 7.15

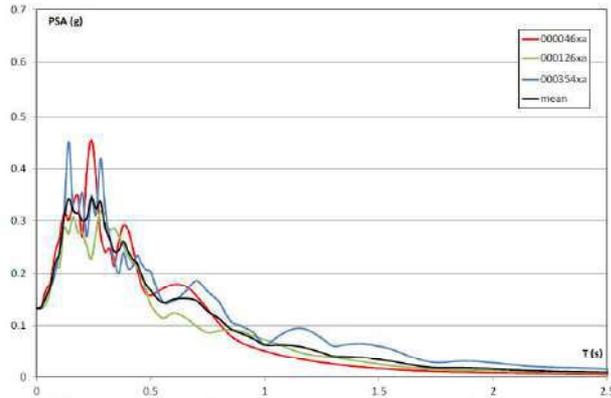


Figura 7.8 Spetti di risposta degli accelerogrammi di input utilizzati per le simulazioni di risposta sismica locale.

Tabella 7.8 Sequenza litostratigrafica 7.

Castello Estense, Uffici Provincia, Uffici Comune P. Repubblica

z da [m]	a [m]	LITOLOGIA	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]
0	18	L	18	170
18	22	S	18	280
22	30	L	18	250
30	56	S	18	30
56	78	A	18	56
78	97	S	18	78
97	126	A	18	97
>126		S	20	800

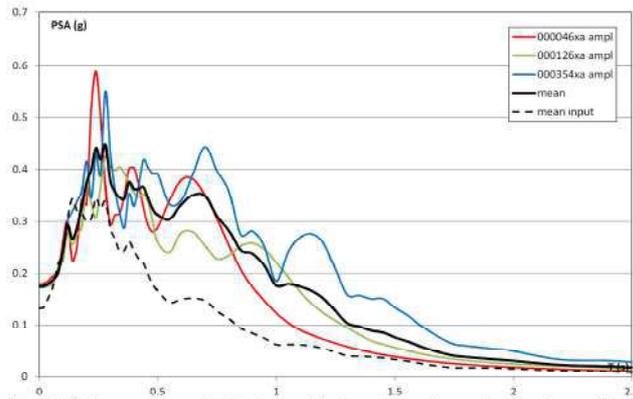


Figura 7.15 Sequenza litostratigrafica 7, spetti di risposta in pseudo-accelerazione in superficie.

Tabella 7.31 Sequenza litostratigrafica 7, caratteristiche dei moti in superficie.

codice	PG/A	PGV	PGD	$d_{90}$	$I_a$	SI	SI <sub>05</sub>	SI <sub>15</sub>
	[g]	[m/s]	[m]	[s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]
000046xa_038008_ampl	0.179	0.123	0.015	13.260	0.268	0.345	0.065	0.216
000126xa_038008_ampl	0.172	0.130	0.017	3.440	0.107	0.406	0.063	0.252
000354xa_038008_ampl	0.170	0.118	0.024	19.260	0.509	0.621	0.069	0.373

Tabella 7.32 Sequenza litostratigrafica 7, fattori di amplificazione.

codice	FA <sub>0.1-0.5</sub>	FA <sub>0.5-1.5</sub>	FH <sub>0.1-0.5</sub>	FH <sub>0.5-1.5</sub>
000046xa_038008	1.356	1.344	2.300	1.254
000126xa_038008	1.303	1.419	2.636	1.332
000354xa_038008	1.289	1.430	2.604	1.307
media	1.316	1.398	2.513	1.298



#### 6.4 Calcolo del Coefficiente di Reazione

Sulla base dei parametri geotecnici a nostra disposizione, è stato eseguito un calcolo di massima del **Coefficiente Di Reazione (Ks)** del terreno, ipotizzando pari ad un metro sia larghezza (B) della fondazione, sia la sua profondità di imposta (D); una valutazione più attendibile dovrà essere effettuata avendo a disposizione tipologia e dimensioni delle strutture fondali:

1. (Bowles)  $K_s = 40 F_s q$
2. (Bowles)  $K_s = E_s / B(1 - \nu^2)$

dove:

<b>B</b>	larghezza della fondazione	<b>E<sub>s</sub></b>	modulo di Young statico
<b>q</b>	capacità portante	<b>ν</b>	modulo di Poisson
<b>F<sub>s</sub></b>	coefficiente di sicurezza		

Secondo le precedenti ipotesi, avremo rispettivamente i seguenti valori del coefficiente di reazione del terreno (**Ks**):

- **Ks = 0.64 Kg/cm<sup>2</sup>**
- **Ks = 1.04 Kg/cm<sup>2</sup>**

Per un valore medio di **Ks** pari a circa **0.9**. Ovviamente dovranno essere applicati gli opportuni fattori correttivi nel caso che i software di calcolo richiedano il valore di K orizzontale e/o in condizioni dinamiche.

#### 7. RISULTATI

Dal punto di vista geologico e sismico, si ritiene che, per i contrasti di velocità, gli spessori e le caratteristiche dei materiali, il sito in esame ricada, secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2008, nella categoria di sottosuolo S2, essendo l'area considerata, nel PSC di Ferrara, come suscettibile a fenomeni di liquefazione (rischio di liquefazione moderato –  $2 < IL < 5$ ).

⇒ <b>S2</b>	<i>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.</i>
-------------	---

Inoltre è possibile affermare che:

- la velocità equivalente delle onde di taglio (Vs30) è stata calcolata, mediamente, pari a 243 m/s;
- è probabile un leggero incremento delle velocità delle Vs30 in corrispondenza del piano fondale, dato che l'asportazione dei materiali superficiali tende ad aumentare il valore del parametro Vs30, diminuendo lo spessore dei terreni a bassa velocità; il modesto incremento di velocità non sarà comunque sufficiente per una variazione di categoria di sottosuolo;
- le caratteristiche stratigrafiche e sismiche di bibliografia dei terreni investigati risultano coerenti con le risultanze dell'indagine sismica MASW e con le penetrometrie effettuate, anche se si ritiene che, localmente, le velocità delle onde di taglio VsH misurate, siano leggermente superiori a quelle previste dallo Strumento Urbanistico;
- la valutazione della disaggregazione ha individuato un "terremoto scenario" con M media pari a 4.96, R pari a 12.1 km ed ε pari a 0.584;
- l'area, dal punto di vista sismico, presenta problematiche relativamente ad amplificazione stratigrafica ed a suscettibilità a cedimenti post sismici;



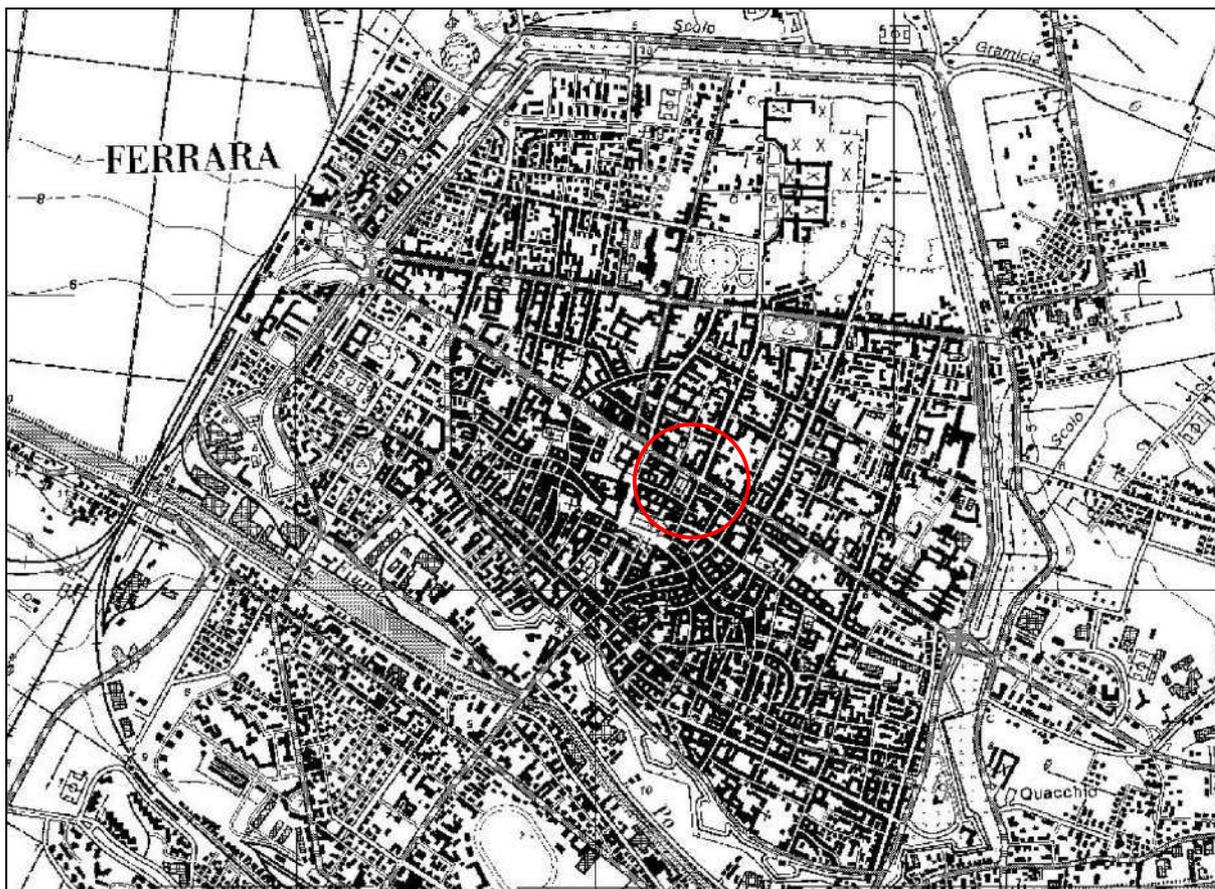
- l'area, dal punto di vista idraulico, è inserita in “fascia C – fascia di inondazione per piena catastrofica non protetta da difese idrauliche”.

Il presente studio ha inoltre permesso di evidenziare, nella porzione superficiale, un terreno con caratteristiche geomeccaniche sufficienti, anche se in più profondità esistono orizzonti limoso sabbiosi compressibili, con proprietà geotecniche piuttosto scadenti.

Firenze, 24.06.2017

Il tecnico:  
Dott. Geol. Luca Tofacchi

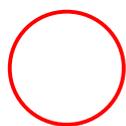




## TAV.1 - CARTA DI UBICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO

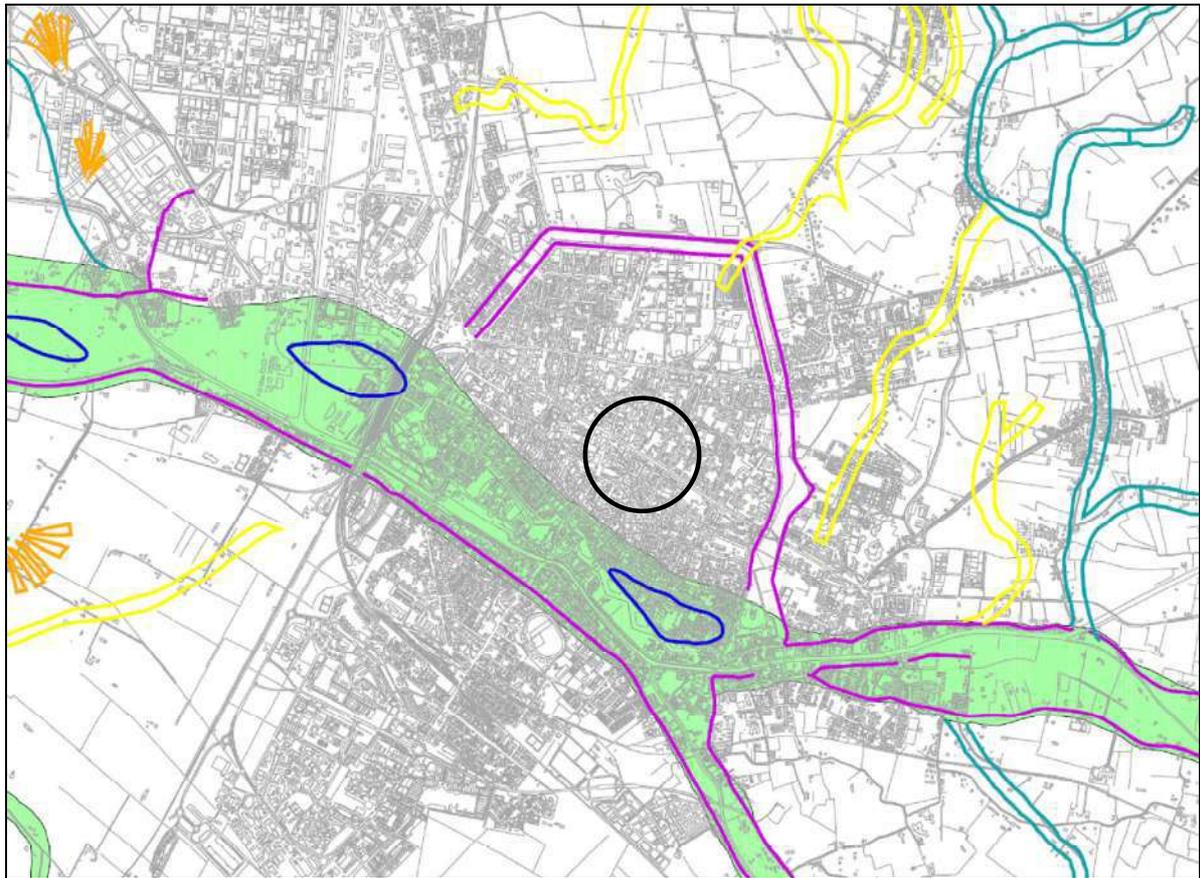
GEOPORTALE REGIONE EMILIA ROMAGNA

CARTA TECNICA REGIONALE



Area di studio

Scala 1:25.000



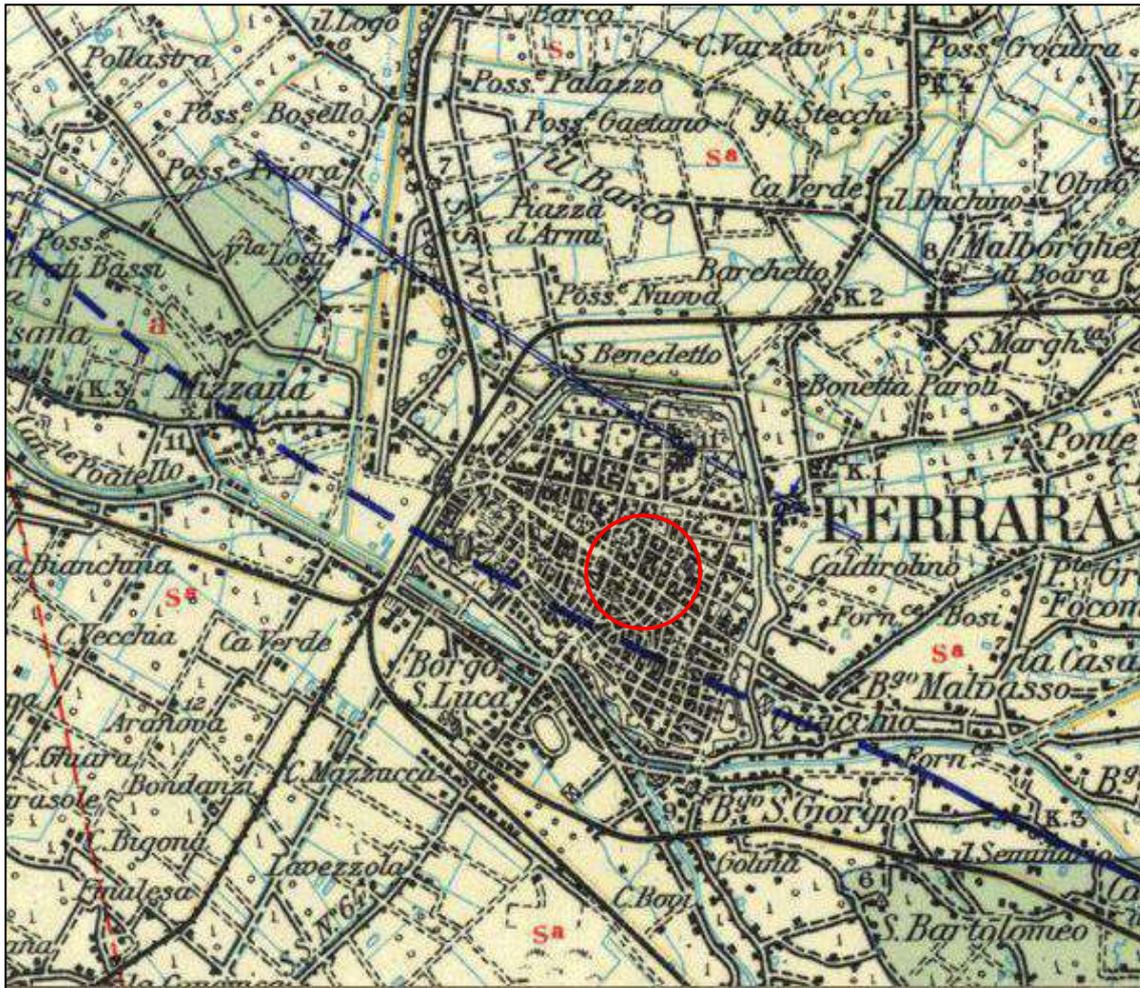
Scala  $\approx$ 1:50.000

**TAV.2 - CARTA GEOMORFOLOGICA**  
tratta dal Piano Strutturale Comunale di Ferrara (Quadro Conoscitivo - 2003)

**LEGENDA**







### TAV.3 – CARTA GEOLOGICA

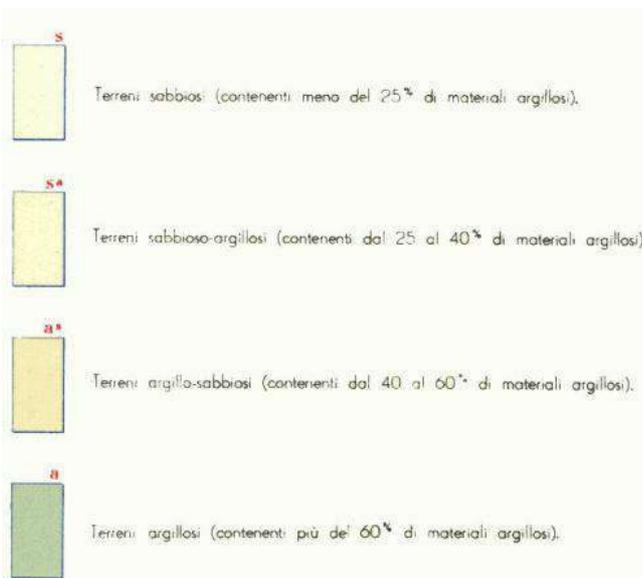
Tratta da "CARTA GEOLOGICA D'ITALIA, FOGLIO 76 – FERRARA - SCALA 1:100.000

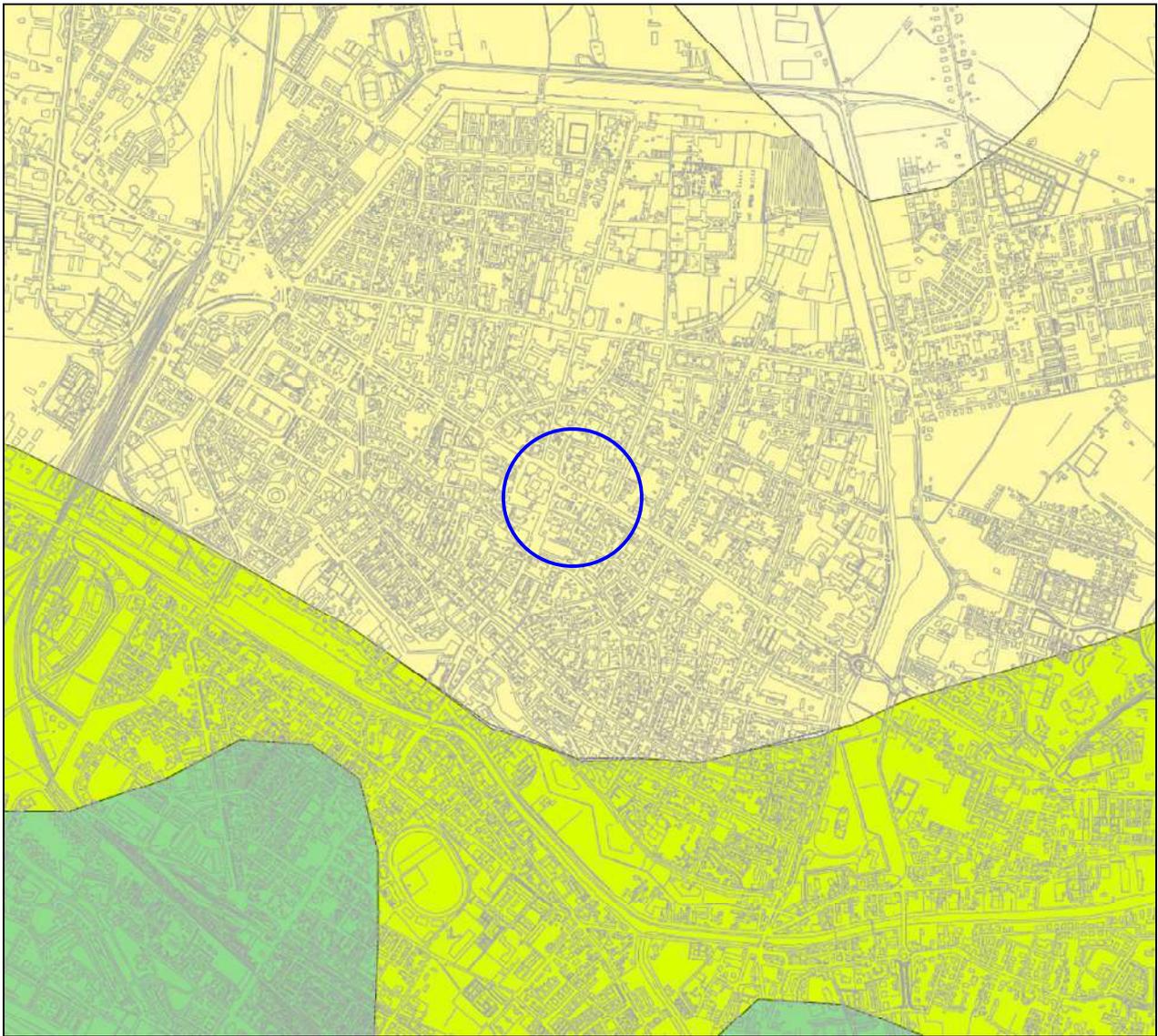
Legenda

Litologia superficiale

 Area in studio

Alluvionale



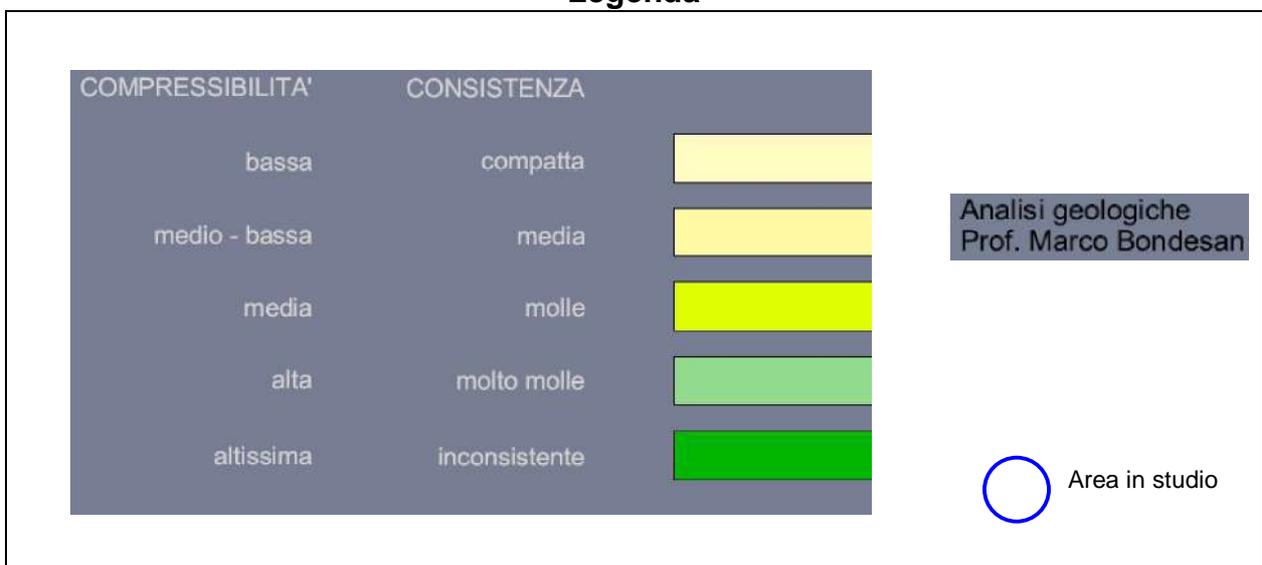


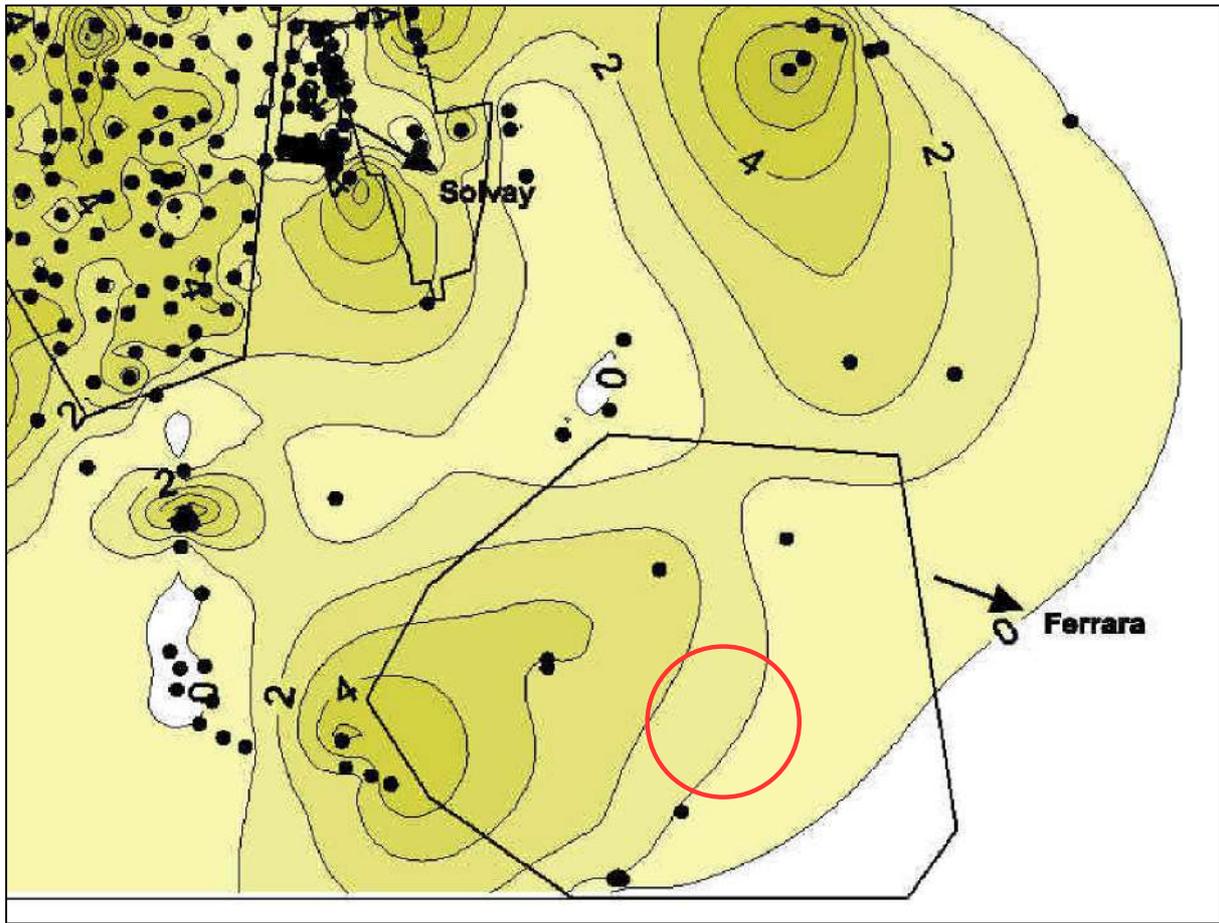
scala ≈1:25.000

### TAV.3a – CARTA GEOTECNICA

tratta dal Piano Strutturale Comunale di Ferrara (Quadro Conoscitivo 2003)

#### Legenda



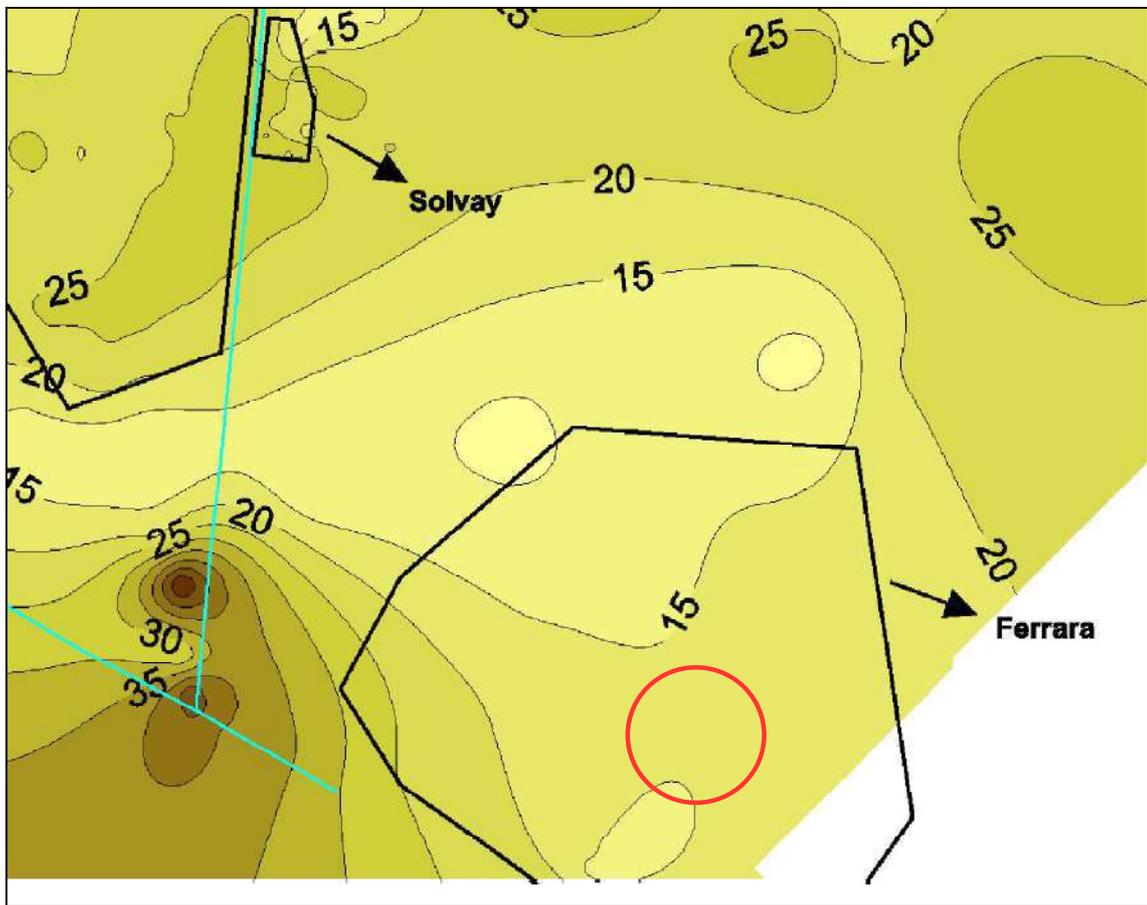


Scala  $\approx$  1:30.000

**TAV.3b - Carta delle isopache delle sabbie superficiali**  
 tratta dal Piano Strutturale Comunale di Ferrara (Quadro Conoscitivo 2003)

**LEGENDA**





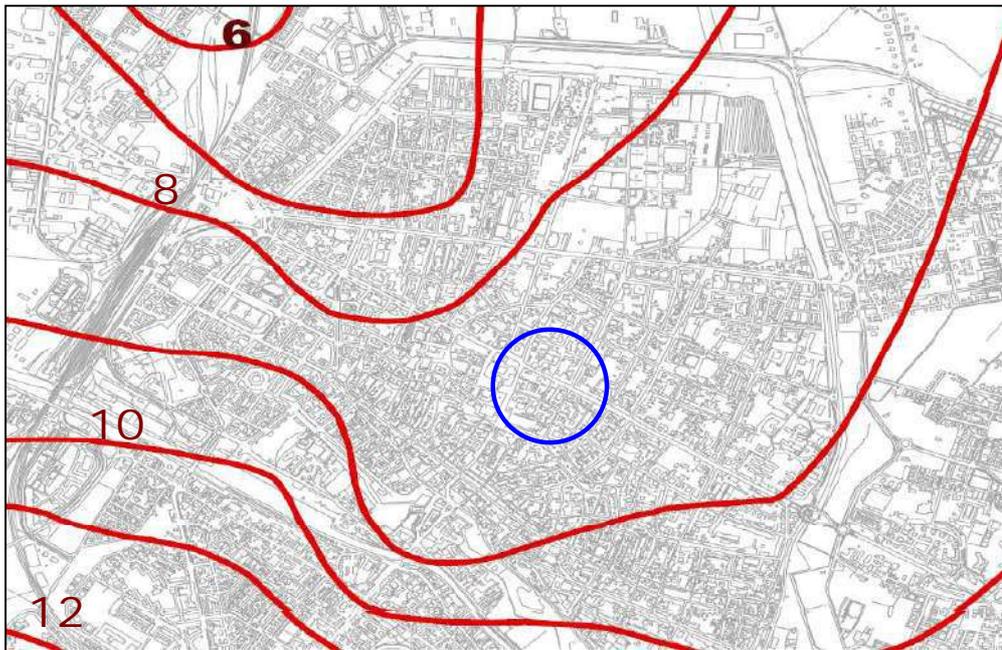
Scala  $\approx$  1:30.000

**TAV.3c - Carta delle isopache delle sabbie würmiane**  
 tratta dal Piano Strutturale Comunale di Ferrara (Quadro Conoscitivo 2003)

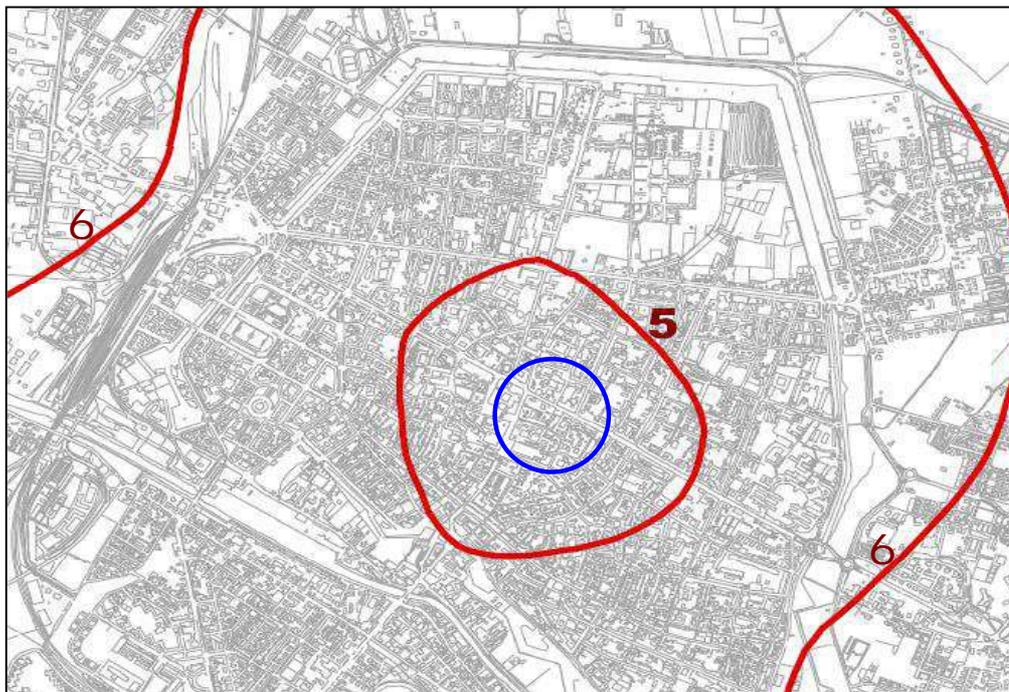
**LEGENDA**



 Area in studio



PERIODO '70 - '90 - scala  $\approx 1:30.000$

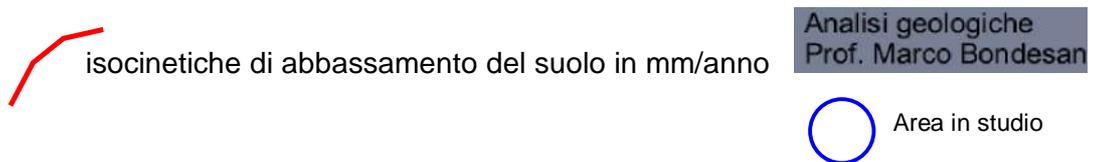


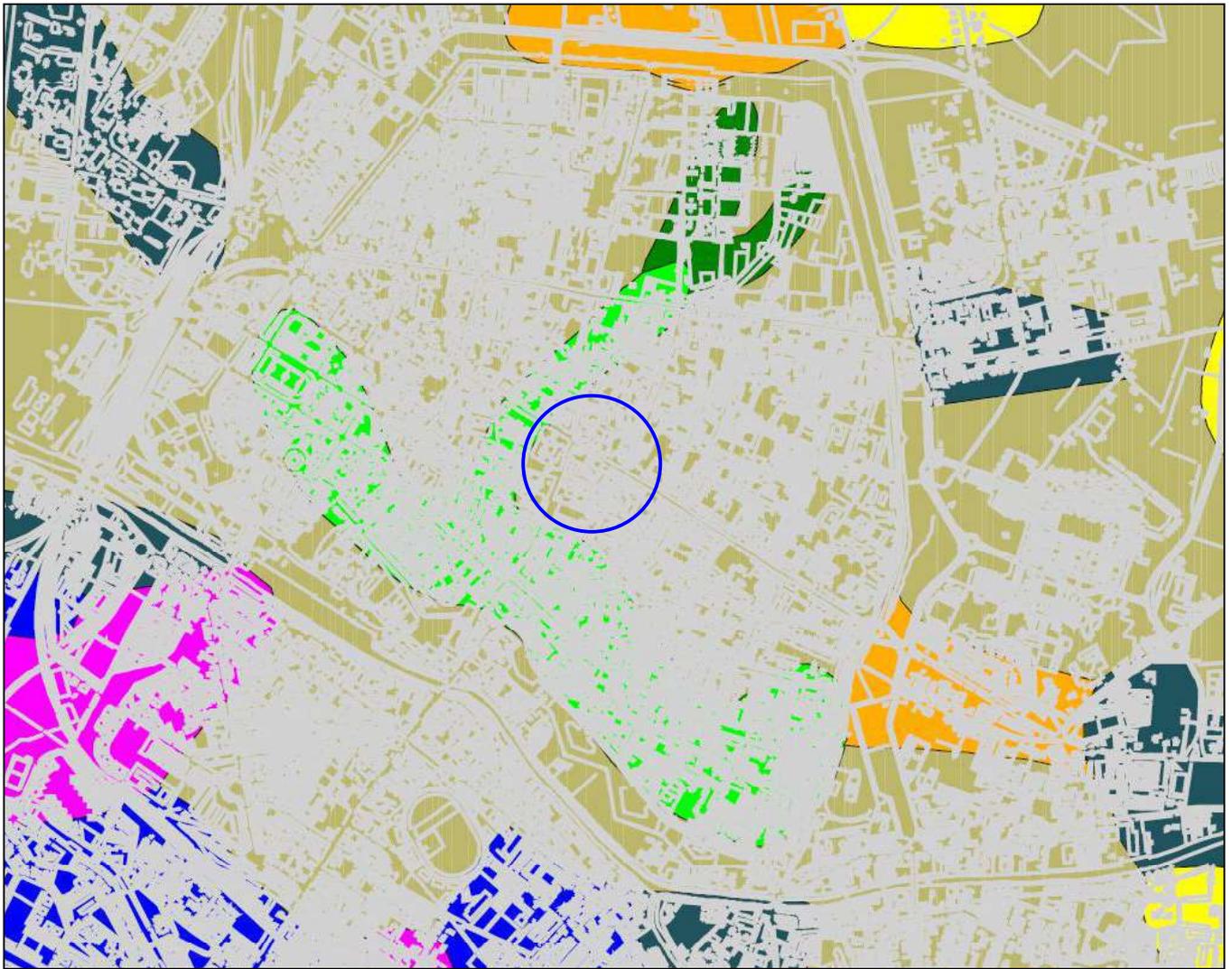
PERIODO '90 - '99 - scala  $\approx 1:30.000$

**TAV.3d – CARTE DELLA SUBSIDENZA** (periodi '70 - '90 e '90 - '99)

tratta dal Piano Strutturale Comunale di Ferrara (Quadro Conoscitivo 2003)

Legenda





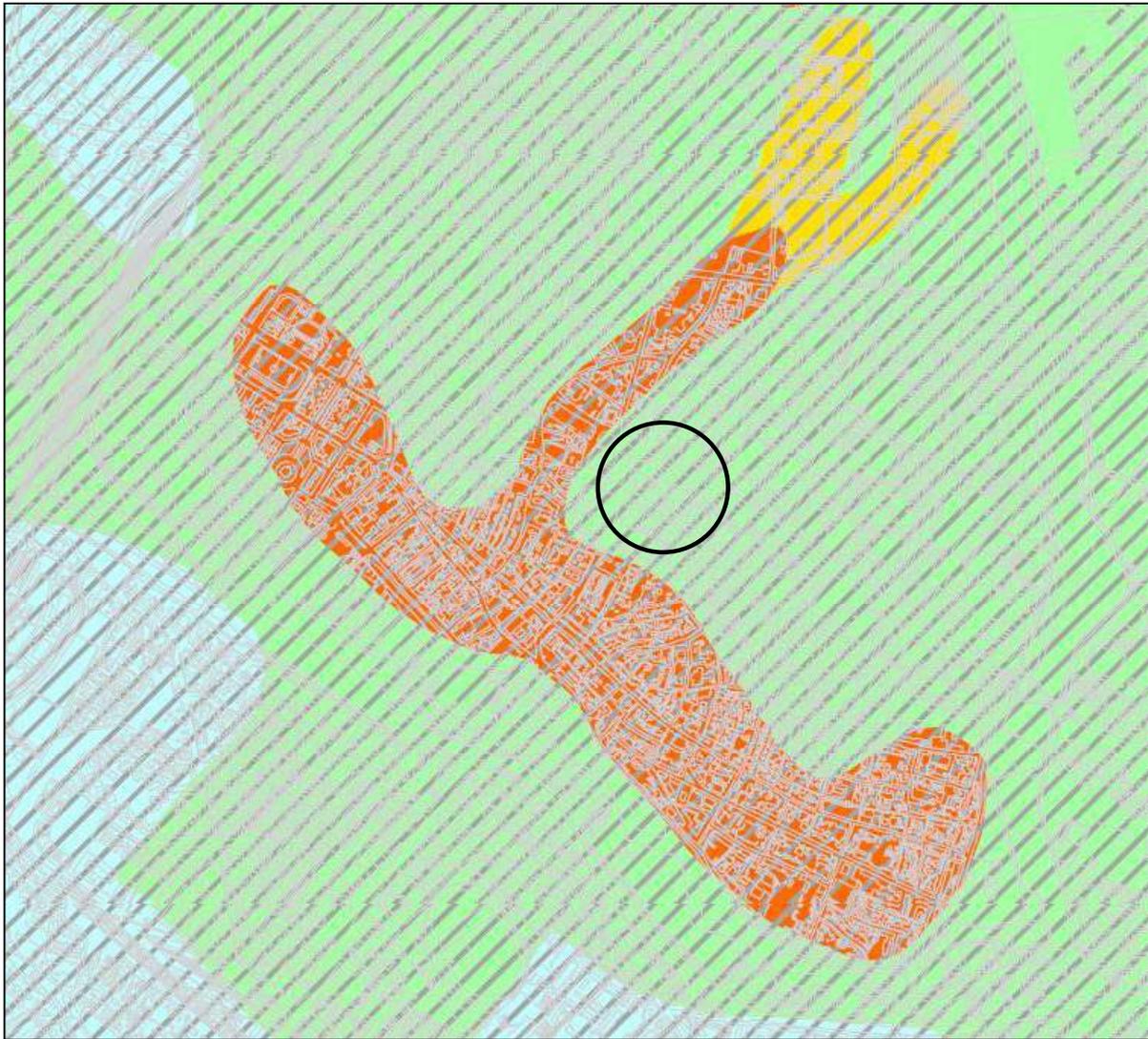
scala 1:25.000

### TAV.4 – CARTA DELLA LITOLOGIA DI SUPERFICIE

tratta dal Piano Strutturale Comunale di Ferrara (Quadro Conoscitivo 2003)

#### Legenda





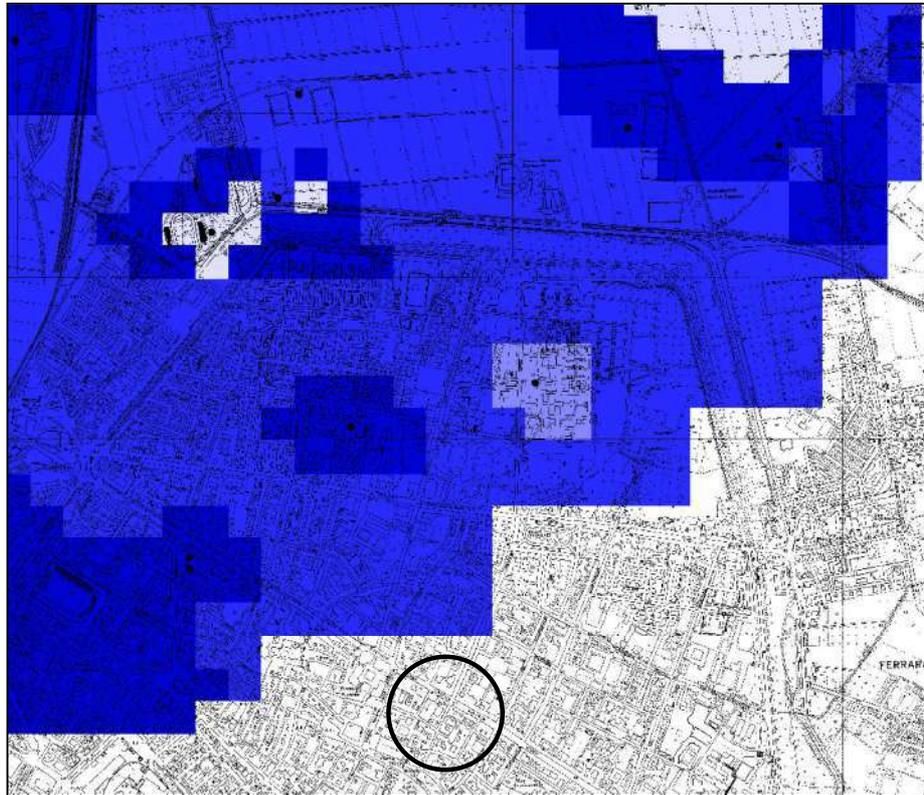
scala 1:10.000

### TAV.5 – Carta della permeabilità dei suoli

tratta dal Piano Strutturale Comunale di Ferrara (Quadro Conoscitivo 2003)

#### LEGENDA

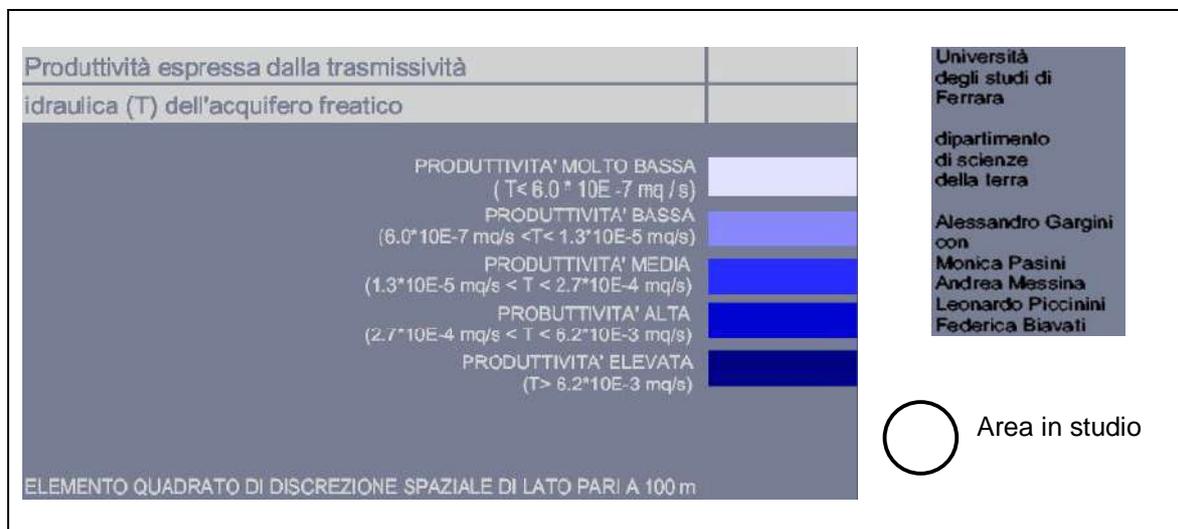




scala 1:25.000

**TAV.5a - Carta della trasmissività / produttività acquifero freatico**  
tratta dal Piano Strutturale Comunale di Ferrara (Quadro Conoscitivo 2003)

**LEGENDA**



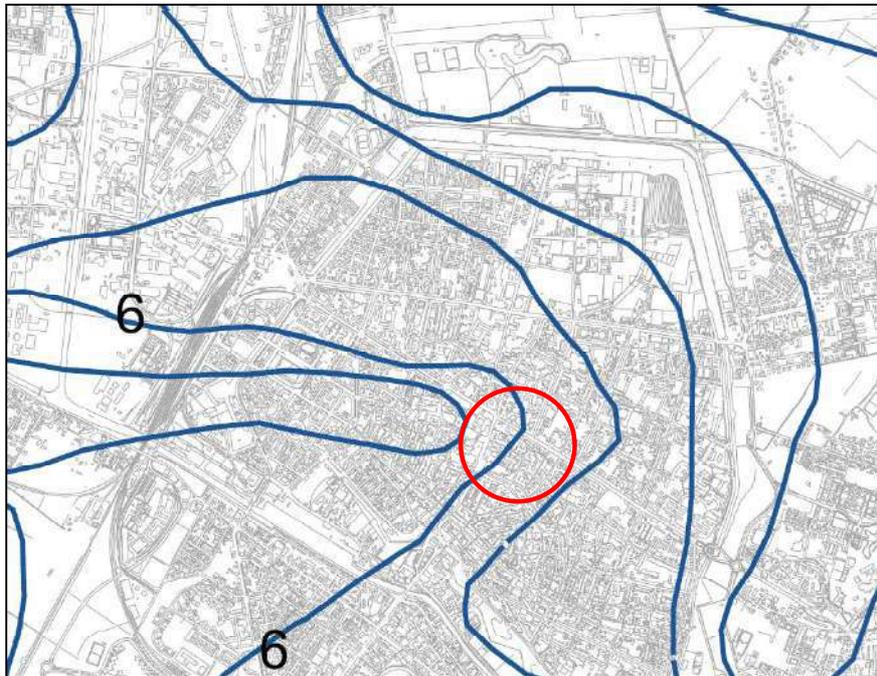


scala 1:25.000

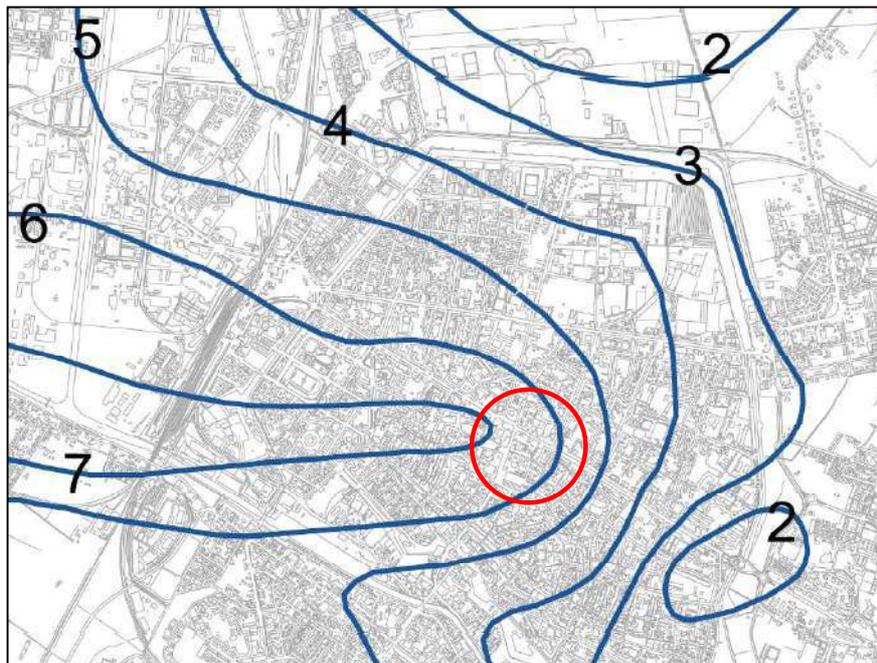
**TAV.5b – Carta della vulnerabilità dell'acquifero freatico**  
tratta dal Piano Strutturale Comunale di Ferrara (Quadro Conoscitivo 2003)

**LEGENDA**





**OTTOBRE '73 - scala  $\approx$ 1:40.000**



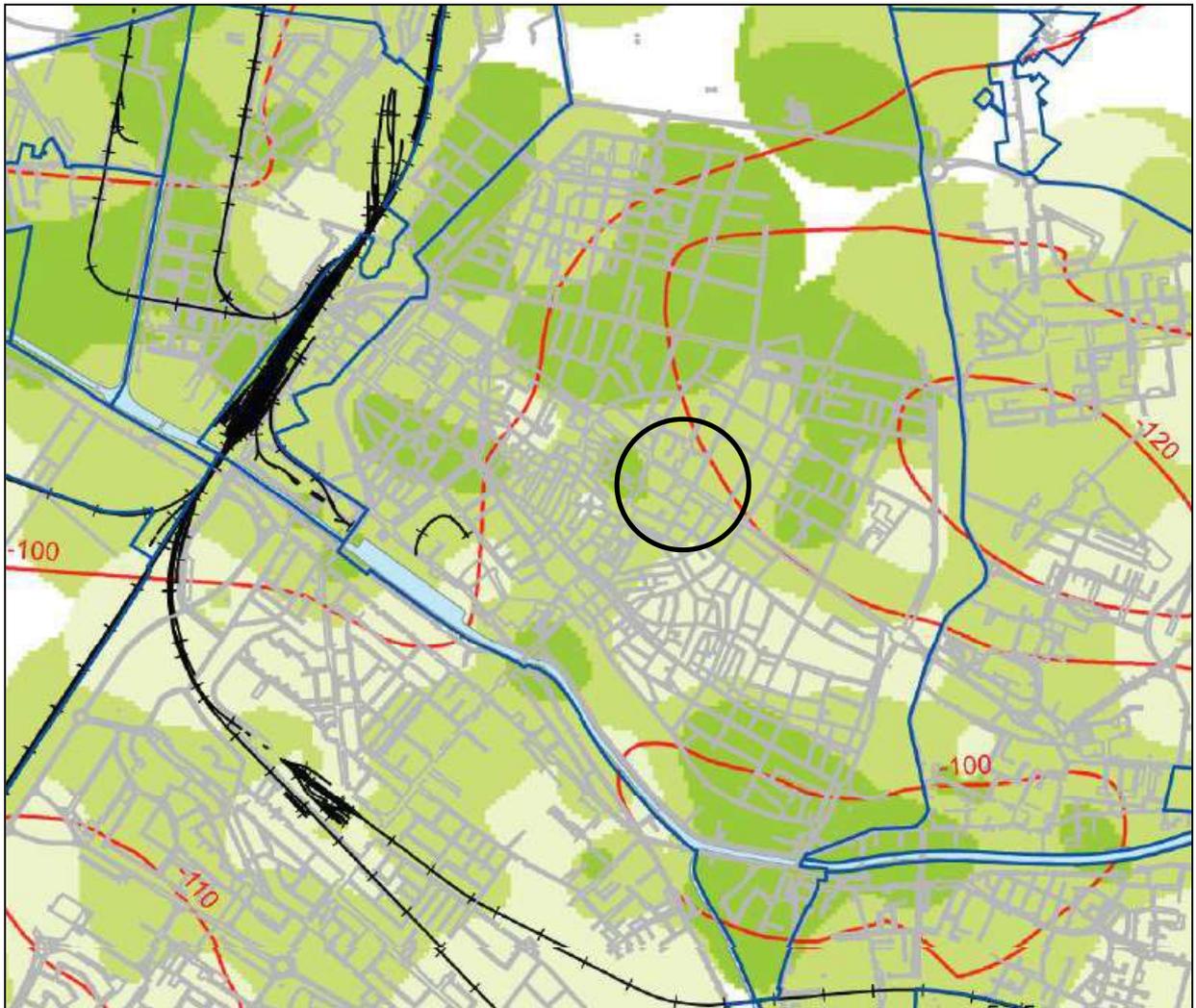
**GIUGNO '74 - scala  $\approx$ 1:40.000**

**TAV.5b – ISOFREATICHE OTTOBRE '73 E GIUGNO '74**

tratta dal Piano Strutturale Comunale di Ferrara (Quadro Conoscitivo 2003)

Legenda

<p>quote delle isofreatiche in m riferite al livello medio marino</p>	<p>5</p>	<p>Analisi geologiche Prof. Marco Bondesan</p>
		<p> Area in studio</p>

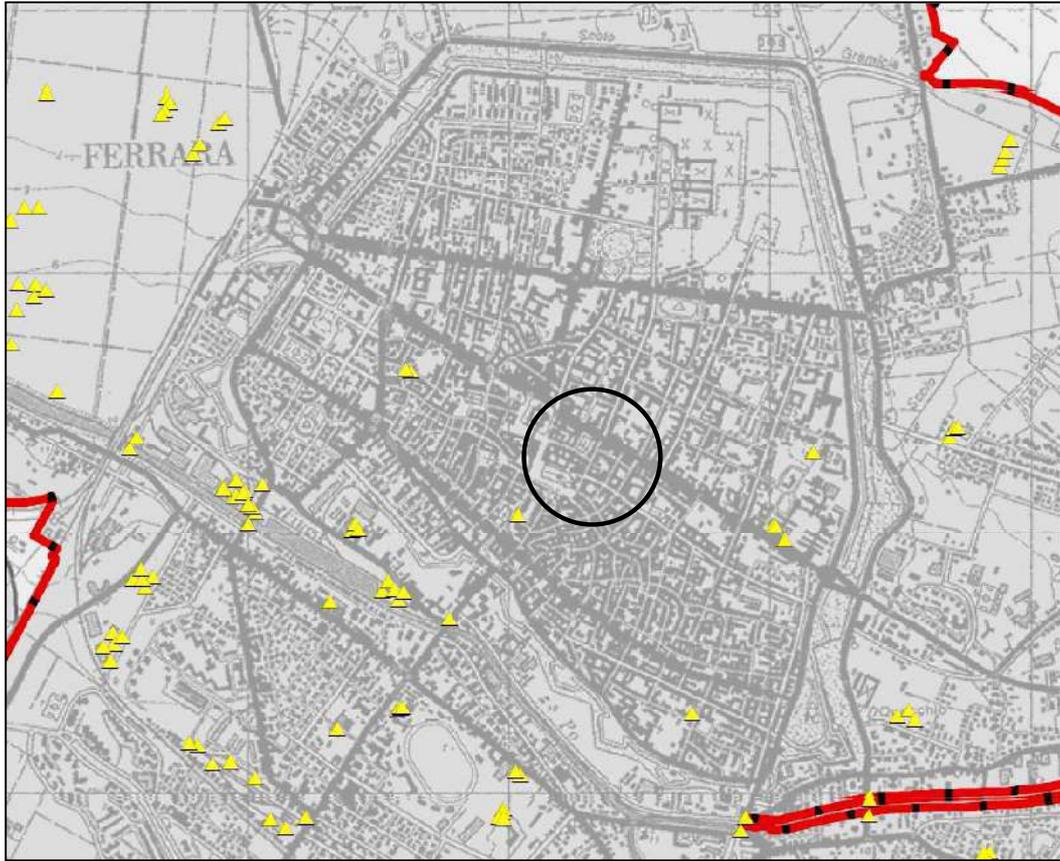


scala 1:30.000

**TAV.6 - Elementi del sottosuolo che possono influenzare il moto in superficie (2013)**  
 Tratta da: PSC di Ferrara – Microzonazione Sismica – Att. Art. 11 L. 24.06.2009 n.77 – Regione Emilia Romagna

**LEGENDA**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pozzi freatici</li> <li>Quota falda s.l.m.m. (m)</li> <li>— Base depositi continentali</li> <li>— Prima interfaccia risonante</li> <li>Quota s.l.m.m. (m)</li> <li>— Base Pleistocene Superiore</li> <li>Quota s.l.m.m. (m)</li> <li>○ area in esame</li> </ul>	<p>Profondità tetto depositi sabbioso-limosi superficiali</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ <math>z &lt; 5\text{ m}</math></li> <li>■ <math>5\text{ m} &lt; z &lt; 20\text{ m}</math></li> <li>■ <math>z &gt; 20\text{ m}</math></li> <li>— Confine Comunale</li> <li>□ Perimetri territorio urbanizzato e urbanizzabile</li> </ul>
--	--



scala 1:30.000

**TAV.6a – Carta dell'amplificazione stratigrafica**  
tratta dal Piano Strutturale Comunale di Ferrara (2008)

**LEGENDA**

controdedotto con delibera consiliare PG 91706/08		03/12/2008	Prof. Ing. Vincenzo Fioravante
Perimetro sistemi			
FATTORE DI AMPLIFICAZIONE			
FA = 1,5			 Area in studio

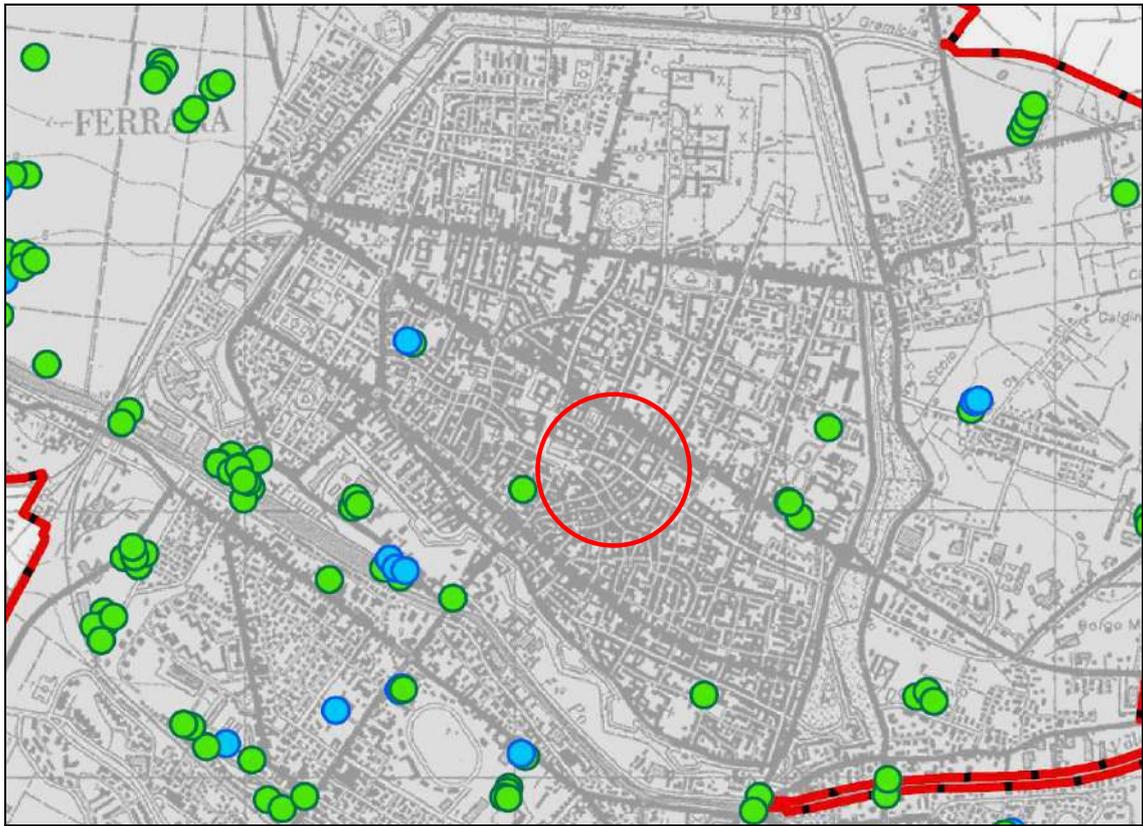


scala 1:30.000

**TAV.6b – Carta del potenziale di liquefazione**  
 Analisi Sismica - tratta dal Piano Strutturale Comunale di Ferrara (2008)

**LEGENDA**

controdedotto con delibera consiliare PG 91706/08		03/12/2008
Perimetro sistemi		Prof. Ing. Vincenzo Fioravante
INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE, $I_L$		
$I_L \leq 5$ Potenziale di liquefazione basso		Area in studio
$5 < I_L \leq 15$ Potenziale di liquefazione elevato		
$I_L > 15$ Potenziale di liquefazione molto elevato		



scala 1:30.000

**TAV.6c – Valutazione locale della suscettibilità a cedimenti post sismici**  
 tratta dal Piano Strutturale Comunale di Ferrara (Analisi Sismica 2008)

**LEGENDA**

Perimetro sistemi	
<b>SUSCETTIBILITA' AI CEDIMENTI</b>	
assente	
presente	

Prof. Ing. Vincenzo Fioravante

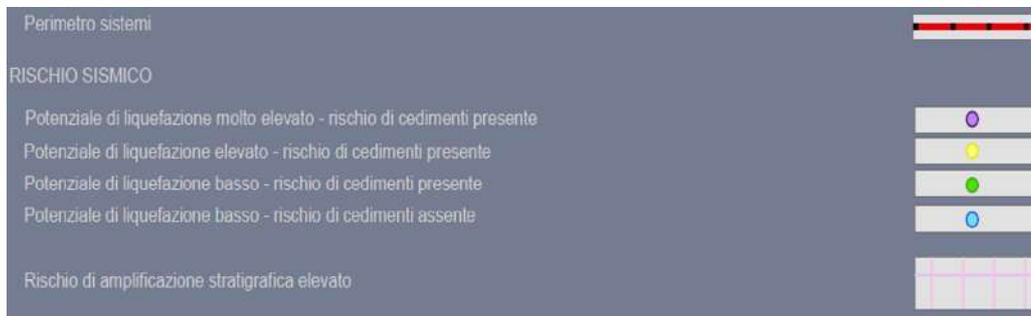
 Area in studio



1:30.000

**TAV.6d - Carta di sintesi degli effetti di sito**  
tratta dal Piano Strutturale Comunale di Ferrara (Analisi sismica 2008)

**LEGENDA**



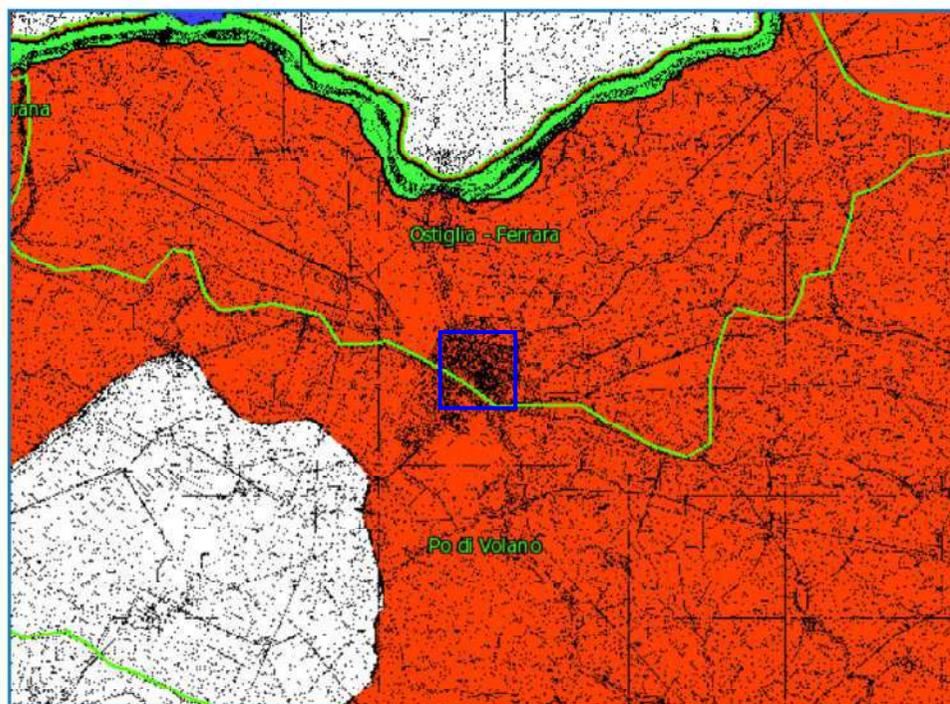
Area in studio

Prof. Ing. Vincenzo Fioravante



Autorità di bacino del fiume Po

Bacino di rilievo nazionale



- Badni minori
- Sottobacini
- Bacini
- Limite fascia C
- Limite fascia B
- Limite fascia A
- Fascia C
- Fascia B
- Fascia A

area in studio



0 2 4 6 8 km

### Tav.6e - FASCE DI TUTELA FLUVIALE

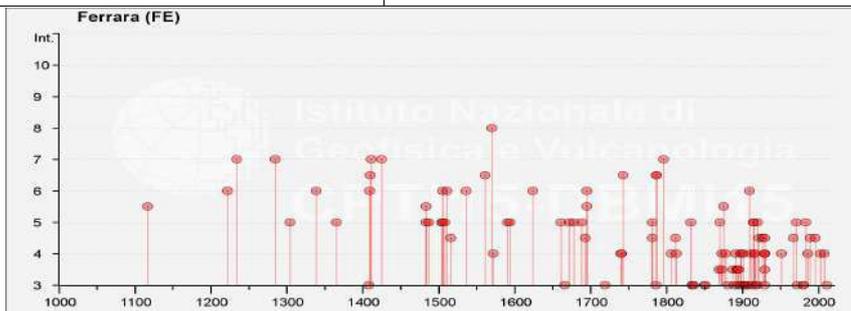
Autorità di Bacino del Fiume Po -Piano Stralcio Assetto idrogeologico (PAI) - Carta delle fasce fluviali

**Ferrara**

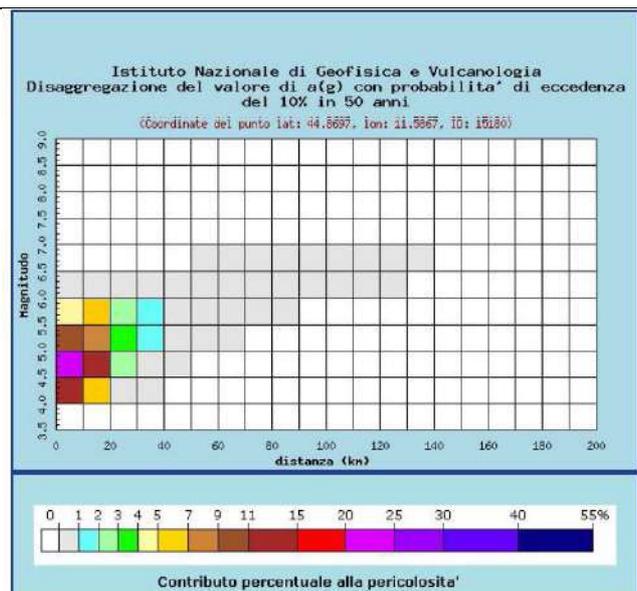
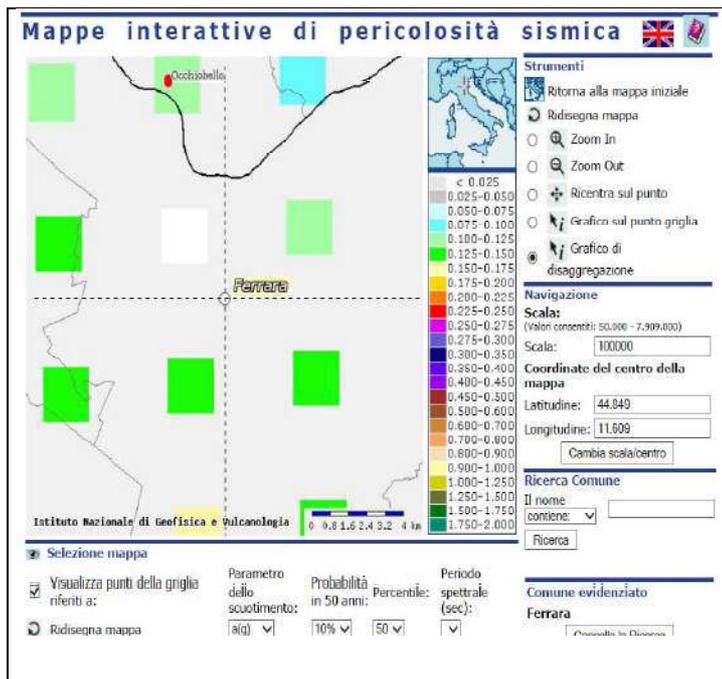
PlaceID IT\_40627  
 Coordinate (lat, lon) 44.835, 11.620  
 Comune (ISTAT 2015) Ferrara  
 Provincia Ferrara  
 Regione Emilia-Romagna  
 Numero di eventi riportati 137

Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw							
S-6	1117 01 03 15 15	Veronese	55	9 6.52							
F	1174 08 17 18	Val Padana	3	4-5 3.92							
6	1222 12 25 12 30	Bresciano-Veronese	18	7-8 5.68							
7	1234 03 20	Ferrara	1	7 5.10							
7	1285 12 13	Ferrara	2	7 5.10							
S	1304 10 23 00 45	Pianura emiliana	4								
6	1339 11 16 14 10	Ferrara	1	6 4.63							
S	1365 03 04	Pianura Veneta	4	5 4.62							
F	1399 07 20 23	Appennino modenese	6	7 5.10							
3	1408 01 03 16 30	Bologna	2	4 3.70							
6	1409 08 17 00 35	Ferrara	1	6 4.63							
6-7	1410 05 09 22 30	Ferrara	1	6-7 4.96							
F	1410 06 10 21	Verona	5								
7	1411 01 09 02	Ferrara	1	7 5.10							
7	1425 08 10	Ferrarese	2	6 4.62							
S-6	1483 03 03 22	Ferrara	1	5-6 4.40							
S	1483 08 11 19 40	Romagna	14	8 5.69							
S	1487 01 11 15 40	Ferrara	3	4 3.70							
F	1501 06 05 10	Modenese	17	9 6.05							
S	1504 12 31 04	Bolognese	15	6 5.02							
6	1505 01 03 02	Bolognese	31	8 5.62							
S	1505 01 20 23 50	Bolognese	11	5-6 4.76							
F	1508 10 18	Ferrarese	1	4 3.70							
S	1508 10 26	Ferrarese	1	5 4.16							
6	1511 03 26 15 30	Friuli-Slovenia	120	9 6.32							
HD	1511 03 28 14 30	Friuli-Slovenia	7								
D	1511 04 01 17	Friuli-Slovenia	5								
4-5	1516 05 20 23	Pianura Padana	4								
6	1536 08 17 00 05	Appennino settentrionale	10	6-7 5.12							
6-7	1561 11 24 01 28	Ferrarese	3	5-6 4.40							
S	1570 11 17 19 10	Ferrarese	58	7-8 5.44							
4	1572 06 04 22	Parmense	5	6 4.63							
F	1574 03 17 03 40	Finale Emilia	4	8 4.83							
S	1591 07 10	Romagna	6	6-7 5.13							
S	1594 10 03	Ferrara	1	5 4.16							
6	1624 03 19	Argenta	16	7-8 5.43							
S	1661 03 22 12 50	Appennino forlivese	79	9 6.05							
3	1666 04 14 18 58	Bolognese	3	5 4.16							
S	1672 04 14 15 45	Riminense	92	8 5.59							
S	1678 07 18	Ferrara	1	8 4.16							
S	1688 04 11 12 20	Romagna	39	8-9 5.84							
4-5	1693 07 06 09 15	Mantovano	13	7 5.23							
6	1695 02 25 05 30	Asolano	107	10 6.40							
S-6	1695 02 28	Ferrara	1	5-6 4.40							
3	1719 01 07	Italia nord-orientale	11	5-6 4.94							
4	1740 03 06 05 40	Garfagnana	32	8 5.64							
4	1741 04 24 09 20	Fabrianese	135	9 6.17							
6-7	1743 08 29	Ferrara	1	6-7 4.86							
F	1779 11 23 18 30	Bolognese	14	5 4.70							
4-5	1781 04 04 21 20	Fuentino	96	6-10 6.12							
S	1781 07 17 09 40	Faentino	46	8 5.61							
3	1786 12 25 01	Riminense	50	8 5.66							
6-7	1787 07 16 10	Ferrara	3	5-6 4.40							
6-7	1787 07 26 07 15	Ferrara	1	6-7 4.96							
7	1796 10 22 04	Emilia orientale	27	7 5.45							
4	1806 02 12	Reggiano	28	7 5.21							
4-5	1812 10 25 07	Fordenonese	34	7-8 5.62							
4	1813 09 21 07 45	Romagna	12	7 5.28							
F	1831 09 11 18 15	Pianura emiliana	25	7-8 5.48							
F	1832 01 13 13	Valle Umbra	101	10 6.43							
S	1832 03 13 03 30	Reggiano	97	7-8 5.81							

3	1834 07 04 00 45	Val di Taro-Lunigiana	24	6-7 5.08						
3	1834 10 04 19	Bolognese	12	6 4.71						
3	1836 06 12 02 30	Asolano	26	8 5.53						
3	1850 09 18 06 20	Modenese	7	5 4.16						
3	1851 08 03	Valli Giudicarie	15	6 4.92						
F	1857 02 01	Farnese-Reggiano	22	6-7 5.11						
3-4	1869 12 13 02 53	Sassuolo	13	8 4.57						
5	1870 10 30 18 34	Forlivese	51	8 5.61						
3-4	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8 5.95						
4	1873 06 29 03 58	Alpago Canalgio	197	9-10 6.29						
NF	1874 10 07	Imolese	80	7 4.96						
5-6	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8 5.74						
4	1878 03 12 21 36	Bolognese	31	6 4.84						
3	1881 01 24 16 14	Bolognese	38	7 5.22						
F	1881 01 25 07 06	Bolognese	18	5 4.59						
NF	1885 02 26 20 48	Pianura Padana	78	6 5.01						
3-4	1887 02 23 05 21 5	Liguria occidentale	1511	9 6.27						
3	1889 03 08 02 57 0	Bolognese	38	5 4.53						
4	1891 06 07 01 06 1	Valle d'Illasi	403	8-9 5.07						
2	1891 08 01 13 32 2	Lugo	15	4-5 4.36						
3-4	1892 08 09 07 58	Valle d'Alpone	160	6-7 4.91						
3-4	1894 11 27 05 07	Bresciano	193	6 4.99						
2-3	1895 03 23	Comacchio	33	6 4.65						
NF	1895 05 18 19 55 1	Fiorentino	401	8 5.50						
3	1895 07 30 10 47	Comacchio	10	5 4.47						
3-4	1895 08 07 19 49 3	Appennino tosco-emiliano	84	5 4.67						
2	1925 08 05 17 30 2	Adriatico centrale	103	6 5.11						
NF	1897 12 18 07 24 2	Alta Valtiberina	132	7 5.09						
4	1898 01 16 13 10	Romagna settentrionale	110	6 4.59						
3	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8 5.37						
4	1898 03 05 11 43	Romagna settentrionale	68	6 4.58						
4	1901 10 30 14 49 5	Garda occidentale	289	7-8 5.44						
3	1902 03 05 07 06	Garfagnana	83	7 4.98						
2	1903 07 27 03 46	Lunigiana	79	7-8 5.18						
3	1904 02 25 18 47 5	Reggiano	62	6 4.81						
3	1904 03 10 04 23 0	Slovenia nord-occidentale	57							
NF	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7 5.10						
3	1907 04 25 04 52	Veronese	132	6 4.79						
2	1908 07 10 02 13 3	Carnia	119	7-8 5.31						
6	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	967	6-7 5.36						
4	1911 02 19 07 18 3	Forlivese	181	7 5.26						
2-3	1911 03 20 15 47	Forlivese	25	6 5.06						
3	1913 11 25 20 55	Appennino parmense	73	4-5 4.65						
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7 5.63						
2	1915 01 13 08 52 4	Marsica	1041	11 7.08						
5	1915 10 10 23 10	Reggiano	30	6 4.97						
4	1916 05 17 12 50	Riminense	132	8 5.82						
4	1916 08 16 07 06 1	Riminense	257	8 5.82						
3	1919 11 10 15 12 2	Appennino forlivese	107	9 5.96						
3	1919 06 29 15 06 1	Mugello	565	10 6.38						
F	1919 07 12 12 06	Asolano	7	4-5 5.03						
5	1920 09 07 05 55 4	Garfagnana	750	10 6.83						
4-5	1922 05 24 21 17 2	Ferrarese	7	4 3.70						
4-5	1926 01 01 18 04 0	Carniola interna	63	7-8 5.72						
4	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6 5.05						
4	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7 5.13						
4	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7 5.36						
3	1929 04 22 08 26	Bolognese	41	6-7 5.10						
3-4	1929 04 22 14 19	Bolognese	12	5-6 4.61						
4-5	1929 05 11 18 23	Bolognese	64	6-7 5.29						
4	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7 5.17						
2-3	1956 02 20 01 29 4	Argenta	17	5-6 4.96						
4-5	1967 12 30 04 19	Emilia Romagna orientale	40	6 5.05						
5	1971 07 15 01 33 2	Parmense	228	8 5.51						
3	1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	8 4.97						
3	1980 11 23 18 34 5	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.81						
3	1980 12 23 12 01 0	Piacentino	69	6-7 4.57						
5	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7 5.04						
NF	1984 04 29 05 02 5	Umbria settentrionale	709	7 5.62						
4	1986 12 06 17 07 1	Ferrarese	604	6 4.43						
4-5	1988 09 13 21 54 0	Dolci Vicentina	779	6-7 4.85						
4-5	1996 10 15 09 55 5	Pianura emiliana	135	7 5.38						
NF	2002 11 02 10 57 4	Ferrarese	79	4 4.21						
4	2003 09 14 21 42 5	Appennino Bolognese	133	6 5.24						
4	2008 12 23 15 24 2	Parmense	291	6-7 5.36						
3	2011 07 17 18 30 2	Pianura Lombardo-veneta	73	5 4.75						



**Tav.7 – STORIA SISMICA DI FERRARA**  
 (tratta da INGV: DBMI15- Catalogo Parametrico Terremoti Italiani Versione CPT115 - 2016)

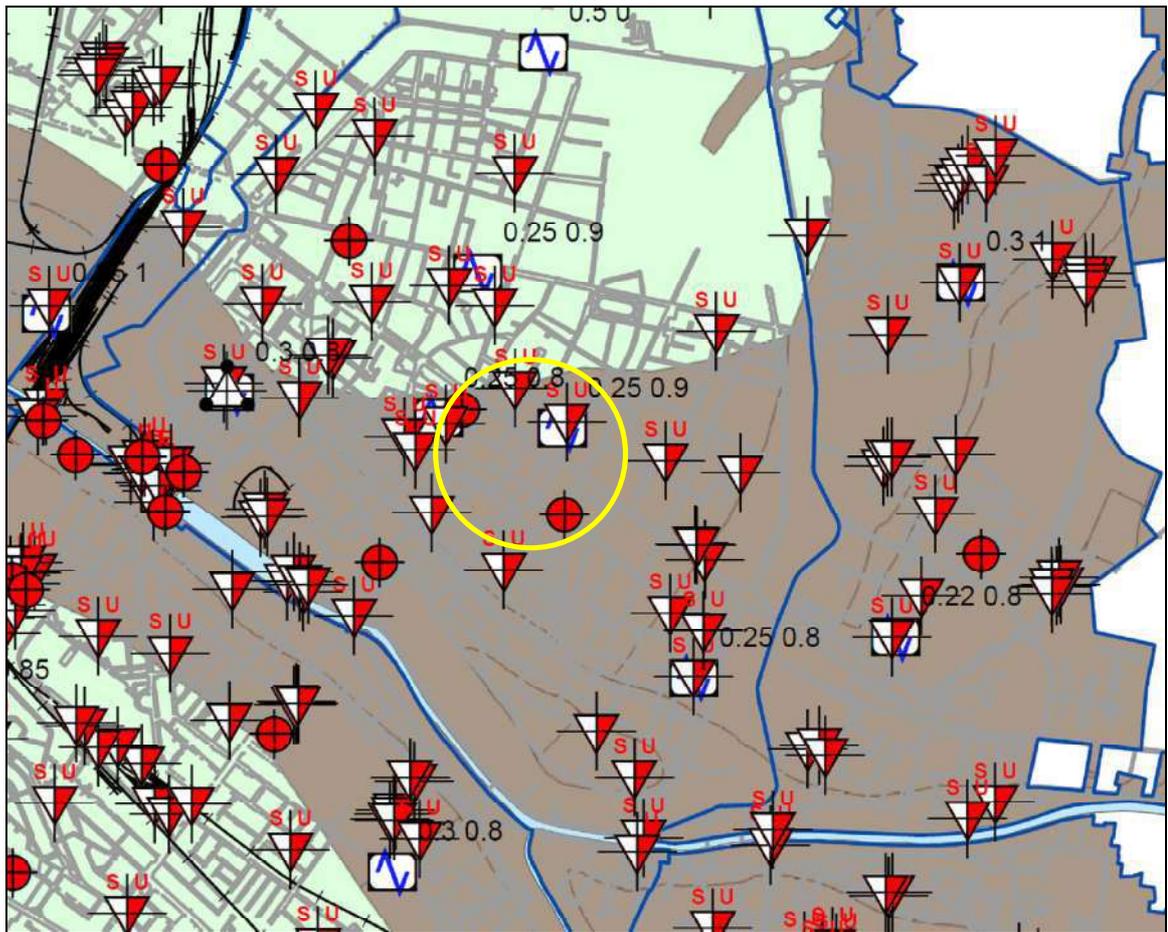


Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.8697, lon: 11.5867, ID: 15180)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	14.300	22.800	10.500	4.280	0.455	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	5.170	11.900	8.750	5.250	0.696	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.821	2.970	3.390	2.900	0.471	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.021	0.568	1.240	1.440	0.274	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.027	0.360	0.627	0.118	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.050	0.244	0.050	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.002	0.090	0.063	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.051	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.035	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.960	12.100	0.584

## Tav.7a – VALUTAZIONE DELLA DISAGGREGAZIONE

tratta da Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) - dati di pericolosità sismica nazionale (progetto DPC-INGV-S1)

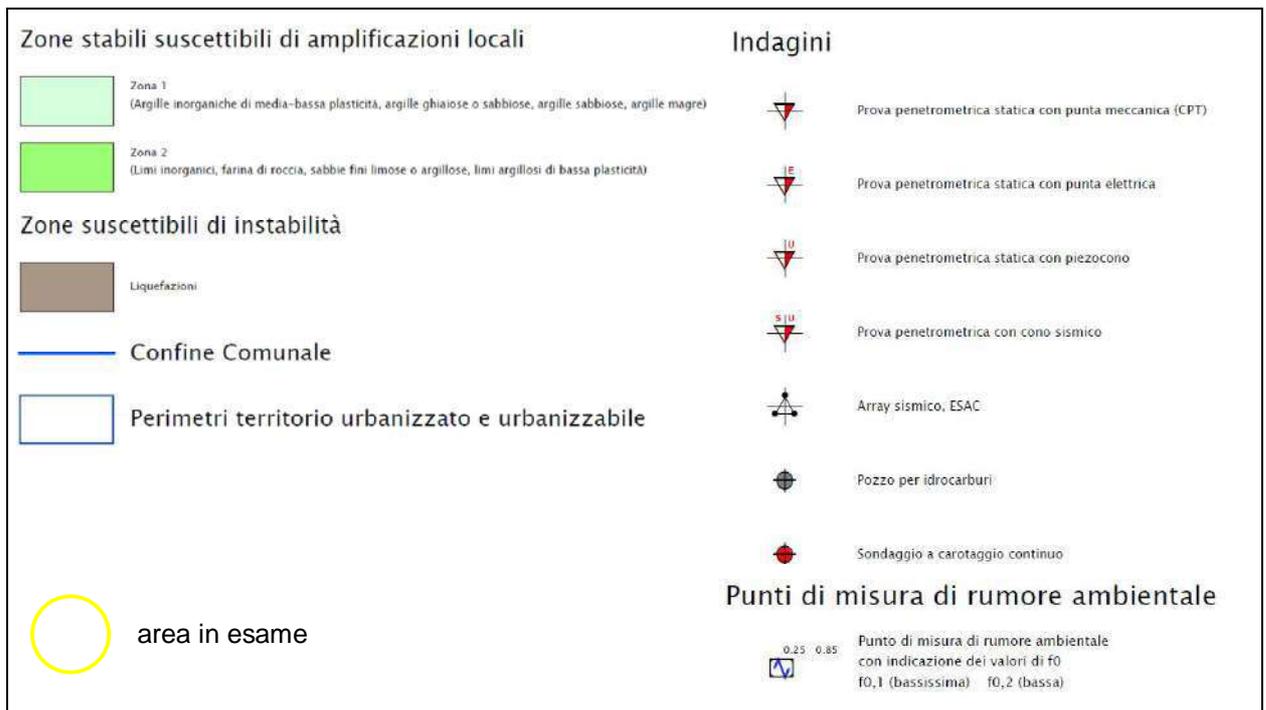


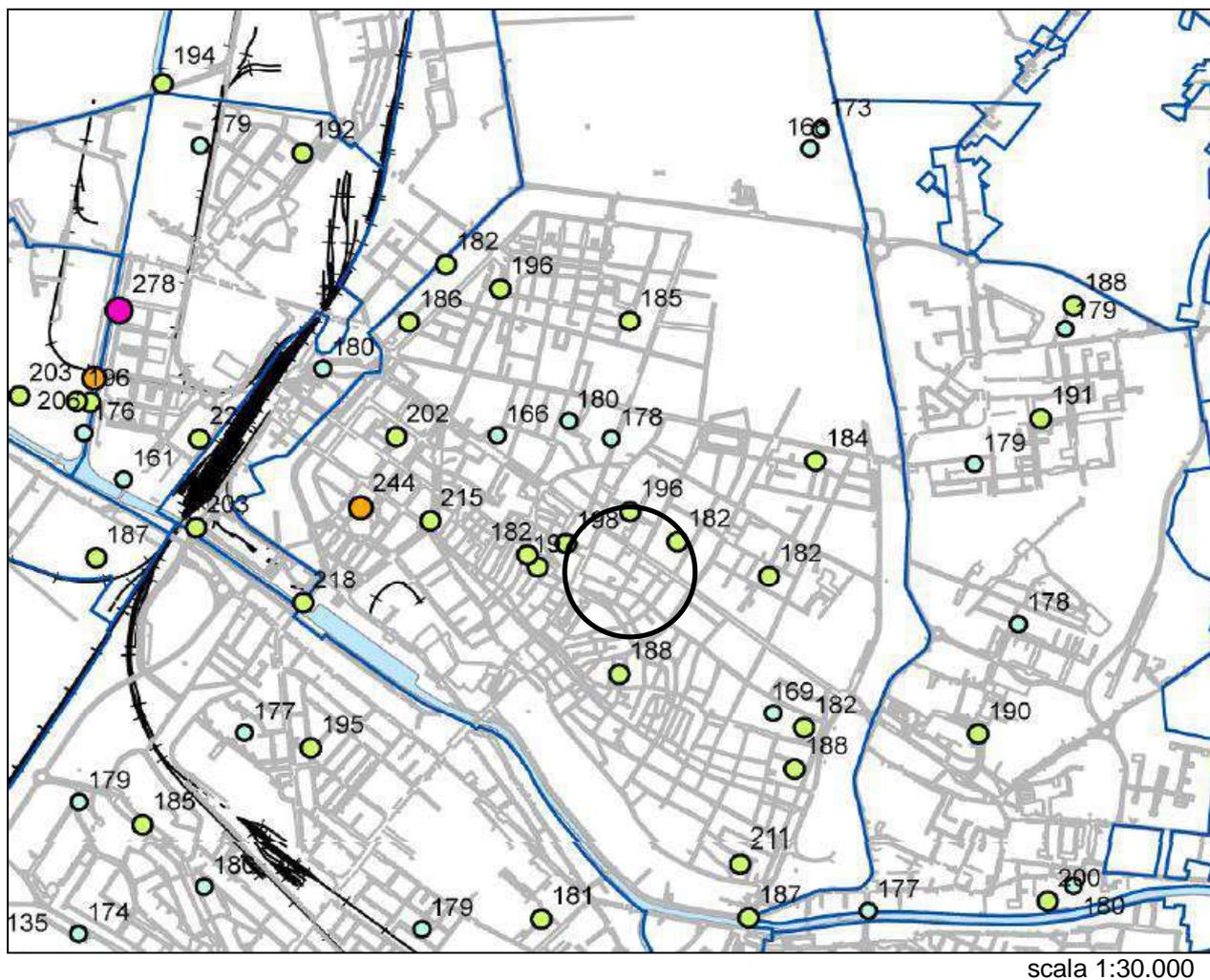
Scala 1:30.000

### TAV.8 - Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (2013)

Tratta da: PSC di Ferrara – Microzonazione Sismica – Att. Art. 11 L. 24.06.2009 n.77 Regione Emilia Romagna

#### LEGENDA





### TAV.8a – Carta della velocità delle onde di taglio (2013)

Tratta da: PSC di Ferrara – Microzonazione Sismica – Att. Art. 11 L. 24.06.2009 n.77 Regione Emilia Romagna

#### LEGENDA

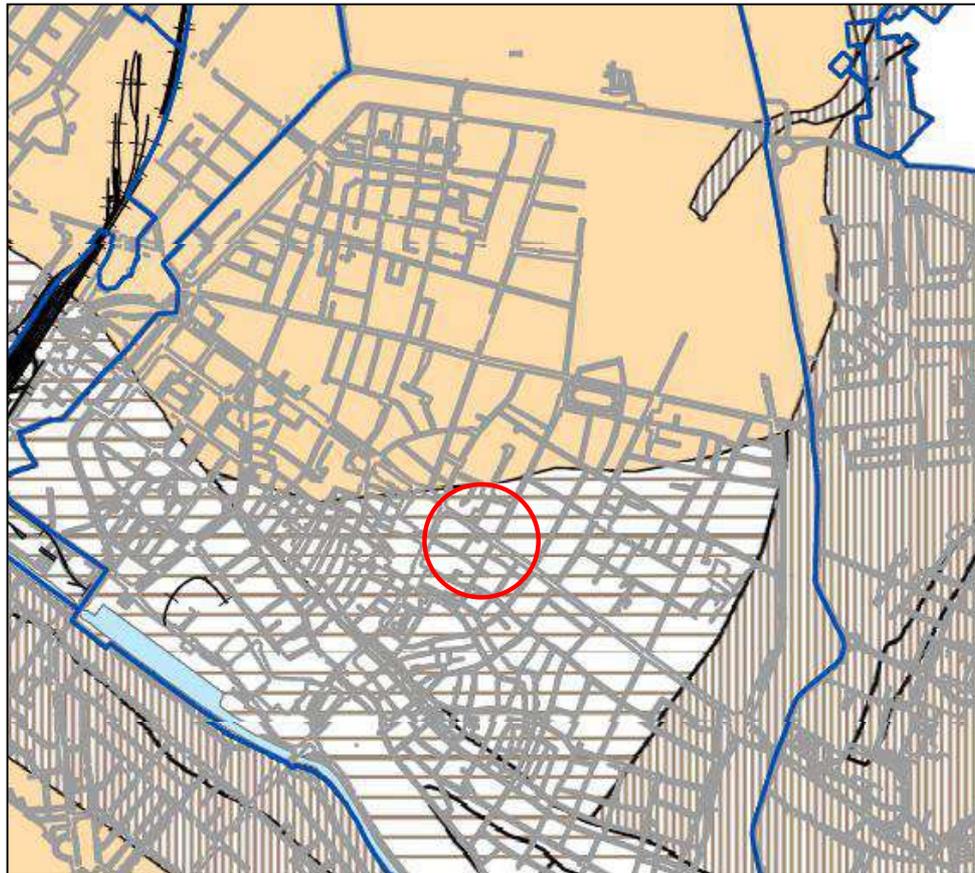
VS,30 (m/s)

- 135 – 180
- 181 – 220
- 221 – 260
- 261 – 300

— Confine Comunale

□ Perimetri territorio urbanizzato e urbanizzabile

○ area in esame



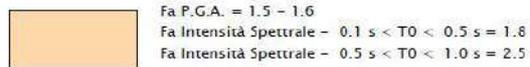
scala 1:25.000

### TAV.8b – Carta di microzonazione sismica di liv.2

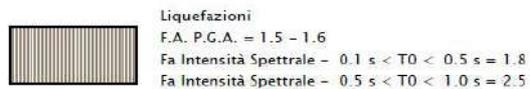
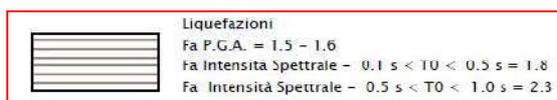
Tratta da: PSC di Ferrara – Microzonazione Sismica – Att. Art. 11 L. 24.06.2009 n.77 Regione Emilia Romagna

#### LEGENDA

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



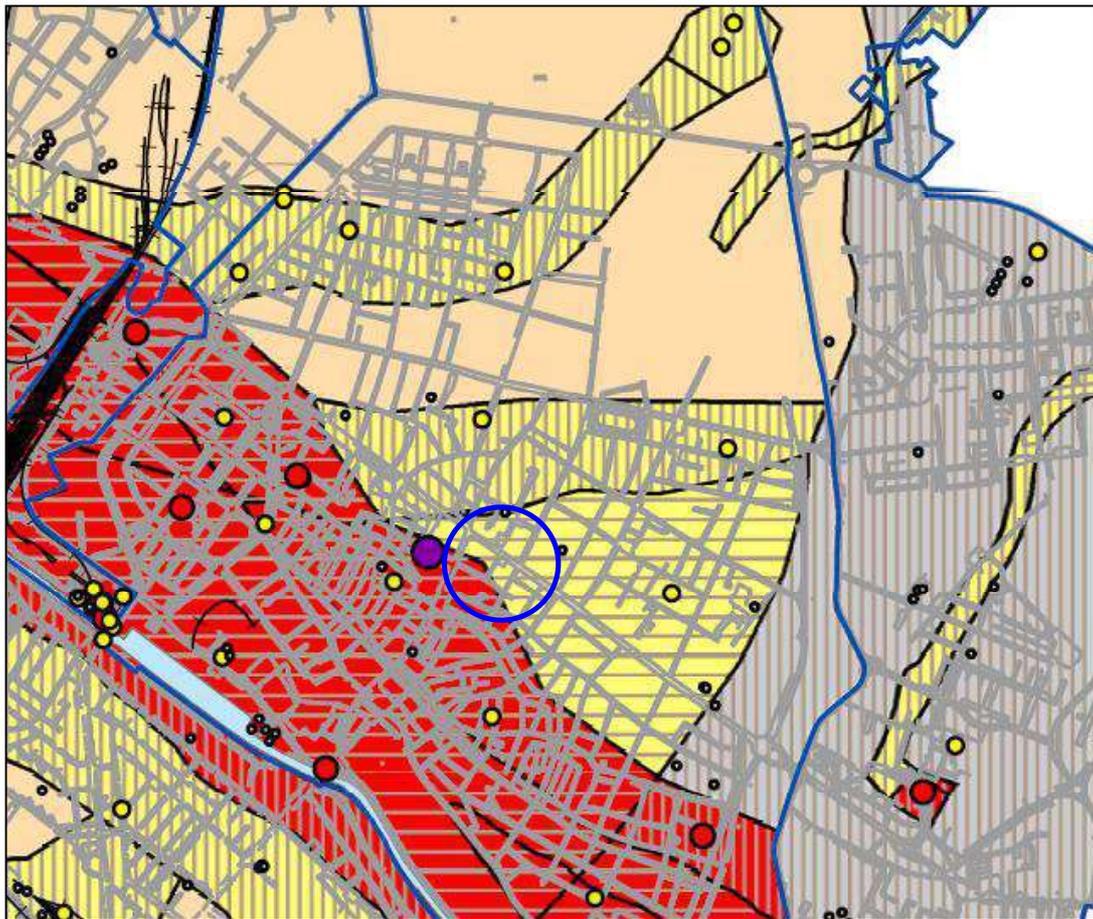
Zone suscettibili di instabilità



— Confine Comunale

□ Perimetri territorio urbanizzato e urbanizzabile

○ Area in studio



scala 1:25.000

### TAV.8c – Carta di microzonazione sismica di liv.3

Tratta da: PSC di Ferrara – Microzonazione Sismica – Att. Art. 11 L. 24.06.2009 n.77 Regione Emilia Romagna

#### LEGENDA

Indice puntuale del potenziale di liquefazione IL da CPT

- Basso ( $IL < 2$ )
- Moderato ( $2 < IL < 5$ )
- Elevato ( $5 < IL < 15$ )
- Molto elevato ( $IL > 15$ )

Zone instabili suscettibili di liquefazione: IL

- Rischio di liquefazione basso ( $IL < 2$ )
- Rischio di liquefazione moderato ( $2 < IL < 5$ )
- Rischio di liquefazione elevato e localmente molto elevato ( $IL > 5$ )

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- Fa P.G.A. = 1.5 - 1.6  
Fa Intensità Spettrale -  $0.1 s < T_0 < 0.5 s = 1.8$   
Fa Intensità Spettrale -  $0.5 s < T_0 < 1.0 s = 2.5$

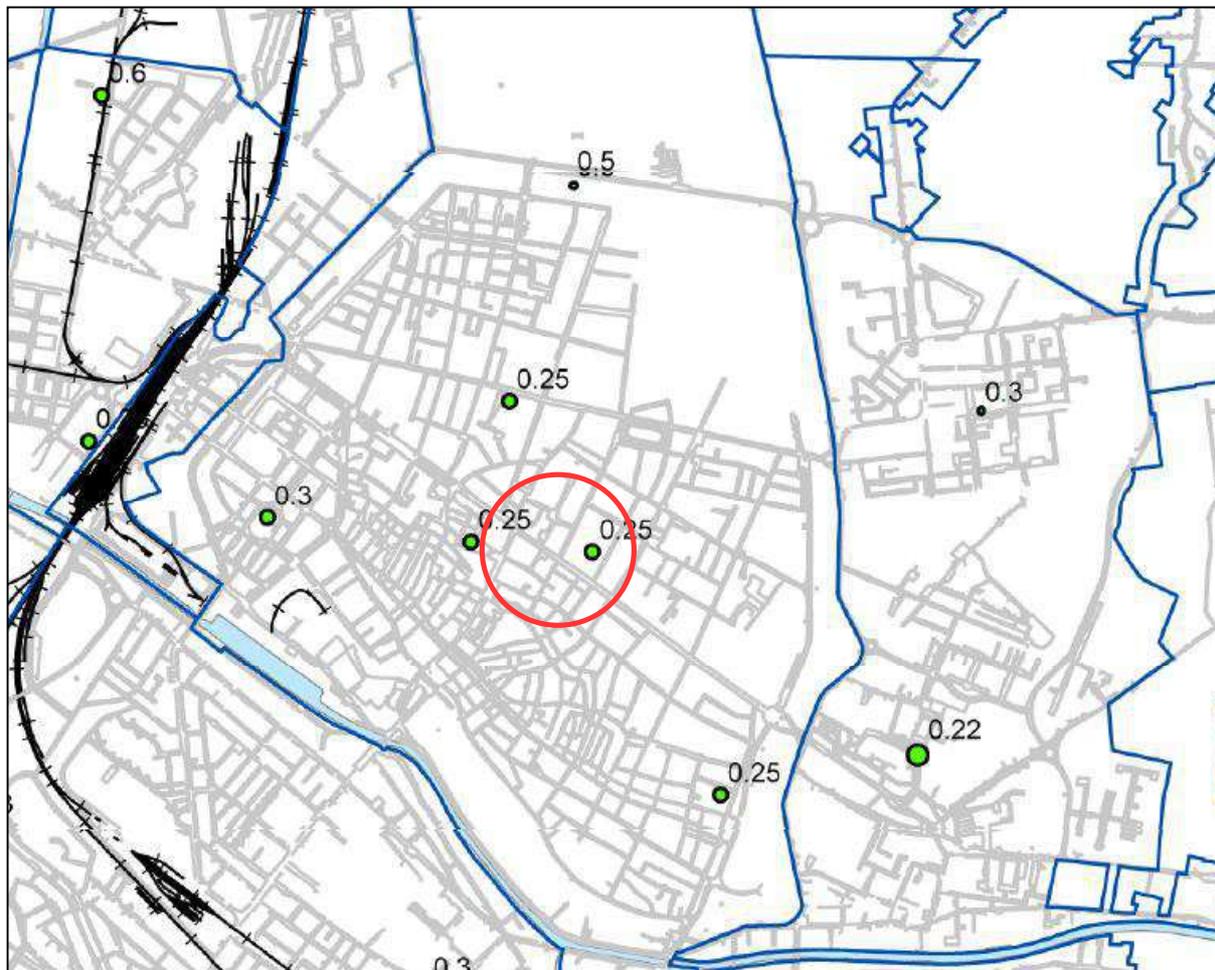
Zone instabili suscettibili di liquefazione: Fa

- Liquefazioni  
Fa P.G.A. = 1.5 - 1.6  
Fa Intensità Spettrale -  $0.1 s < T_0 < 0.5 s = 1.8$   
Fa Intensità Spettrale -  $0.5 s < T_0 < 1.0 s = 2.5$
- Liquefazioni  
Fa P.G.A. = 1.5 - 1.6  
Fa Intensità Spettrale -  $0.1 s < T_0 < 0.5 s = 1.8$   
Fa Intensità Spettrale -  $0.5 s < T_0 < 1.0 s = 2.5$

Confine Comunale

Perimetri territorio urbanizzato e urbanizzabile

Area in studio



scala 1:30.000

### TAV.8d – Carta della frequenza naturale dei terreni ( $f_{0,1} = 0-0.5$ )

Tratta da: PSC di Ferrara – Microzonazione Sismica – Att. Art. 11 L. 24.06.2009 n.77 Regione Emilia Romagna

#### LEGENDA

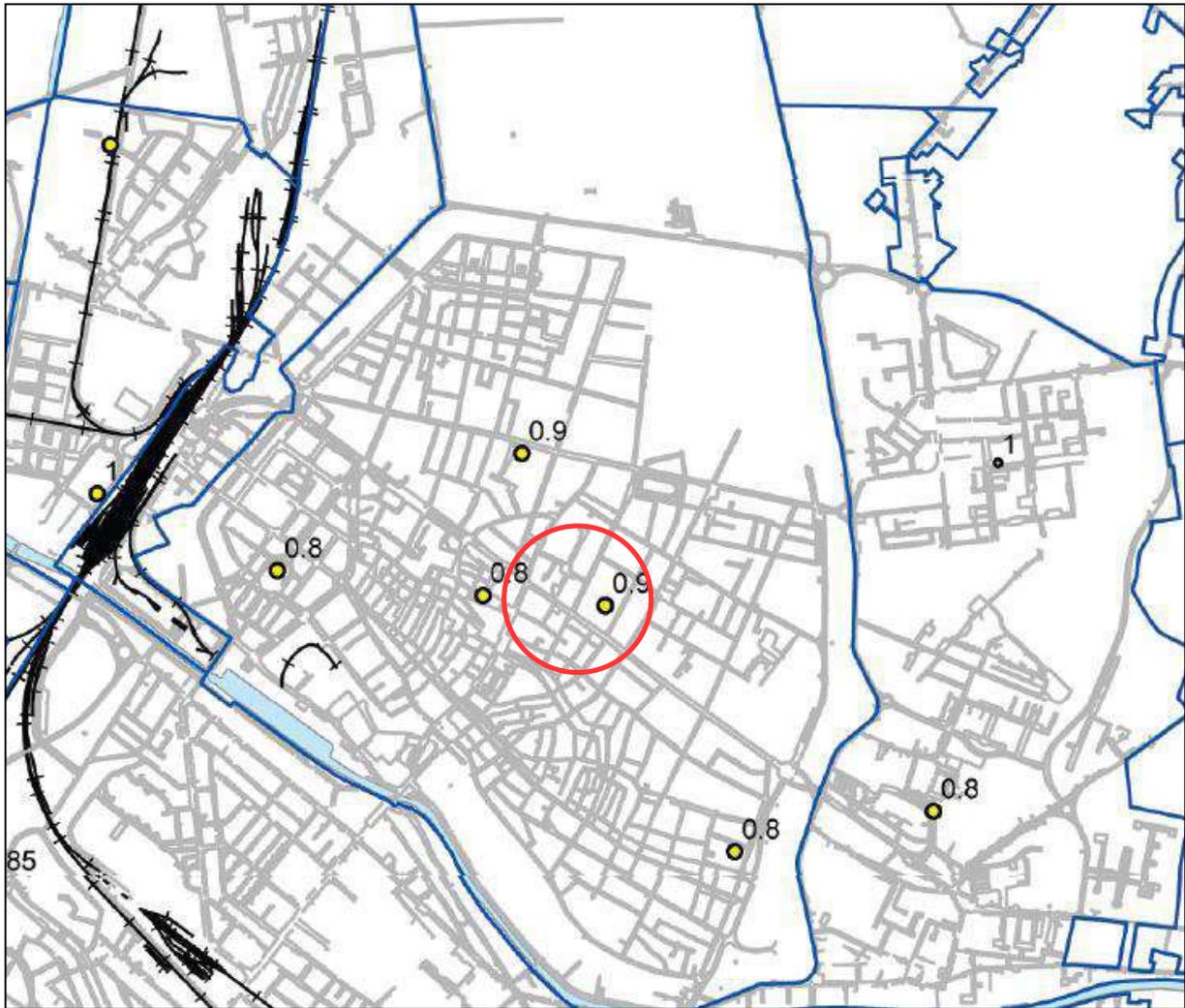
Ampiezza picco a bassissima frequenza ( $f_{0,1} = 0 - 0.5$ )

- 0-2
- 2-3.5
- 3.5-5
- 5-6

— Confine Comunale

□ Perimetri territorio urbanizzato e urbanizzabile

○ Area in studio



scala 1:30.000

### TAV.8e – Carta della frequenza naturale dei terreni ( $f_{0,2} = 0.5-1$ )

Tratta da: PSC di Ferrara – Microzonazione Sismica – Att. Art. 11 L. 24.06.2009 n.77 Regione Emilia Romagna

#### LEGENDA

Ampiezza picco a bassa frequenza ( $f_{0,2} = 0.5 - 1$ )

• 0 - 2

◦ 2 - 3,5

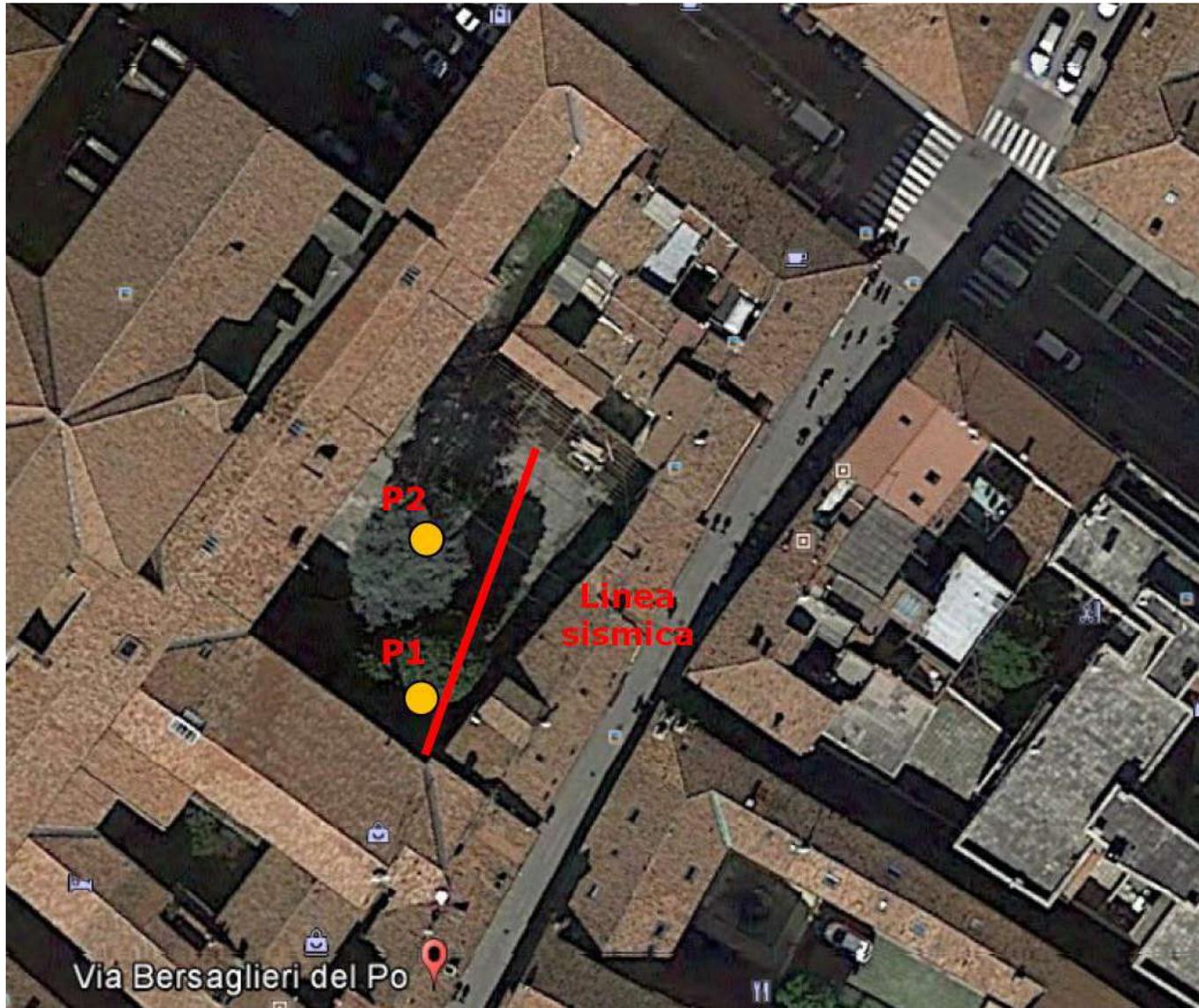
◐ 3,5 - 5  
3,5 - 5

◑ 5 - 6

▭ Perimetri territorio urbanizzato e urbanizzabile

— Confine Comunale

○ Area in studio



TAV. 9

UBICAZIONE DELLE  
INDAGINI IN SITU

 **P1** Penetrometria dinamica

 Analisi MASW

Scala  $\approx$  1:500



CANTIERE FERRARA (FE) – VIA BERSAGLIERI DEL PO, 22
PROSPEZIONI SISMICHE CON METODOLOGIA MASW-REMI
PROVE PENETROMETRICHE DL30

RELAZIONE TECNICA

IGeA sas

Dott. Geol. Guglielmo Braccesi

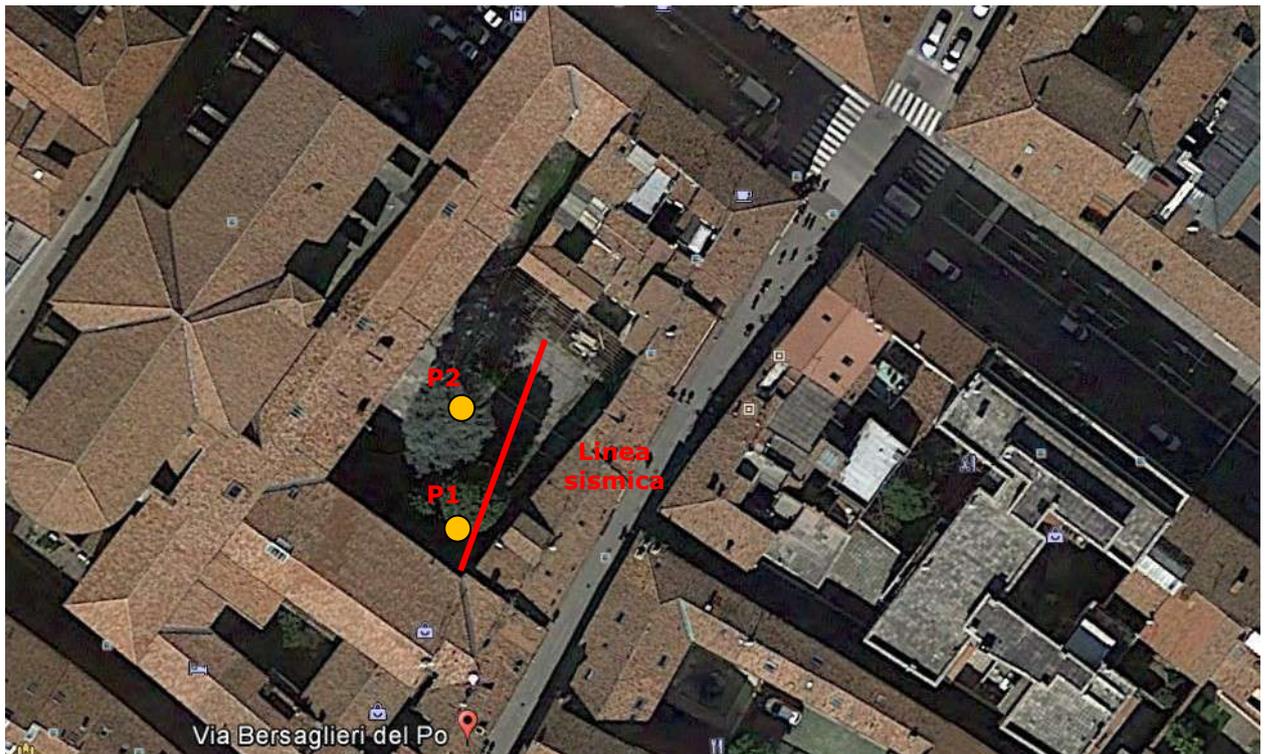


Table with 7 columns: REV., DATA, DESCRIZIONE, REDATTO, CONTR, AFFORATO, AUTOC. Row 1: 1.0, 16/05/17, C:/Documenti/LAVORI/2017/43\_17\_Sicuring srl Ferrara/ Relazione.doc



## 1 PREMESSA

Il giorno 11/05/17, è stata realizzata un'indagine sismica con metodologia MASW-REMI oltre a due prove penetrometriche presso Via Bersaglieri del Po, 22 a Ferrara (FE).



*Ubicazione dell'area di indagine*



## 2 METODOLOGIA MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è classificabile come tecnica di indagine sismica simile alla sismica a rifrazione e alla sismica a riflessione, perché il principio alla base della prova sperimentale in sito è analogo e consiste nel misurare le onde superficiali sul suolo. Rispetto alla sismica a rifrazione il metodo MASW presenta i vantaggi di superare i problemi legati alla presenza di strati soffici compresi tra strati più rigidi o di strati più rigidi compresi tra strati più soffici; o nel caso di sismica a rifrazione con onde P alla presenza della falda superficiale, che nasconde gli strati di terreno con velocità delle onde P inferiore alla velocità delle onde nell'acqua.

Il metodo MASW consente di individuare il profilo di velocità Vs anche in presenza di contrasti di rigidità tra gli strati del suolo. La presenza della falda è modellata assegnando un valore del coefficiente di Poisson prossimo a 0.5, tra 0.4 e 0.5, in funzione del grado di saturazione. I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°. Nella pratica è stato osservato che, se si esegue la prova con lo stendimento dei sensori lungo la direzione di massima pendenza, la presenza di forti acclività comporta una traslazione della curva di dispersione sperimentale. Il problema è mitigato disponendo lo stendimento dei sensori lungo una curva di livello in direzione perpendicolare alla direzione di massima pendenza.

Il metodo MASW (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 posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato, le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè la velocità di fase (o di gruppo) apparente dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è 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 MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (REMI), 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 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50 m, in funzione della rigidità del suolo. Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  è possibile procedere al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 m di profondità  $V_{s30}$  e quindi individuare la categoria sismica del suolo.

La linea acquisita ha una lunghezza di 27.5 metri e, per quanto riguarda il metodo attivo, è stata registrata con 1 energizzazione. La sorgente è costituita da una mazza dal peso di 10 kg battente una piastra metallica adagiata a terra. Per il metodo passivo, che sfrutta il rumore naturale senza bisogno di eseguire energizzazioni, il sismografo è stato lasciato in acquisizione per un periodo di tempo pari a 30 secondi.

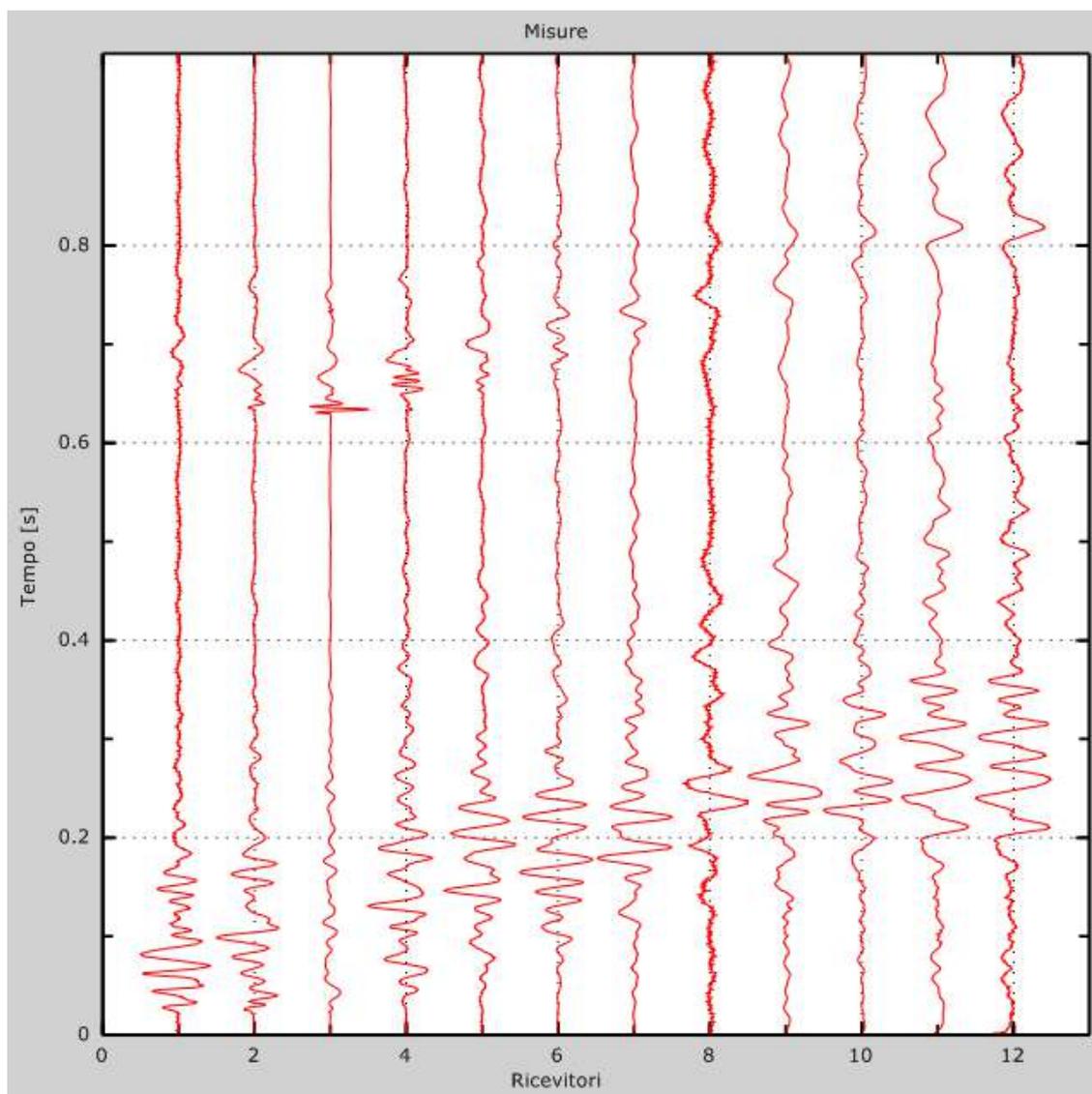
Il sistema di ricezione è costituito da 12 geofoni posizionati ad una distanza intergeofonica pari a 2.0 metri.

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.

Il sistema di acquisizione dati è un sismografo marca AMBROGEO, modello ECHO 12/24, sistema multicanale (12 canali) in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica a 16 bit. 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. Di seguito si riportano alcuni stralci dell'elaborazione.



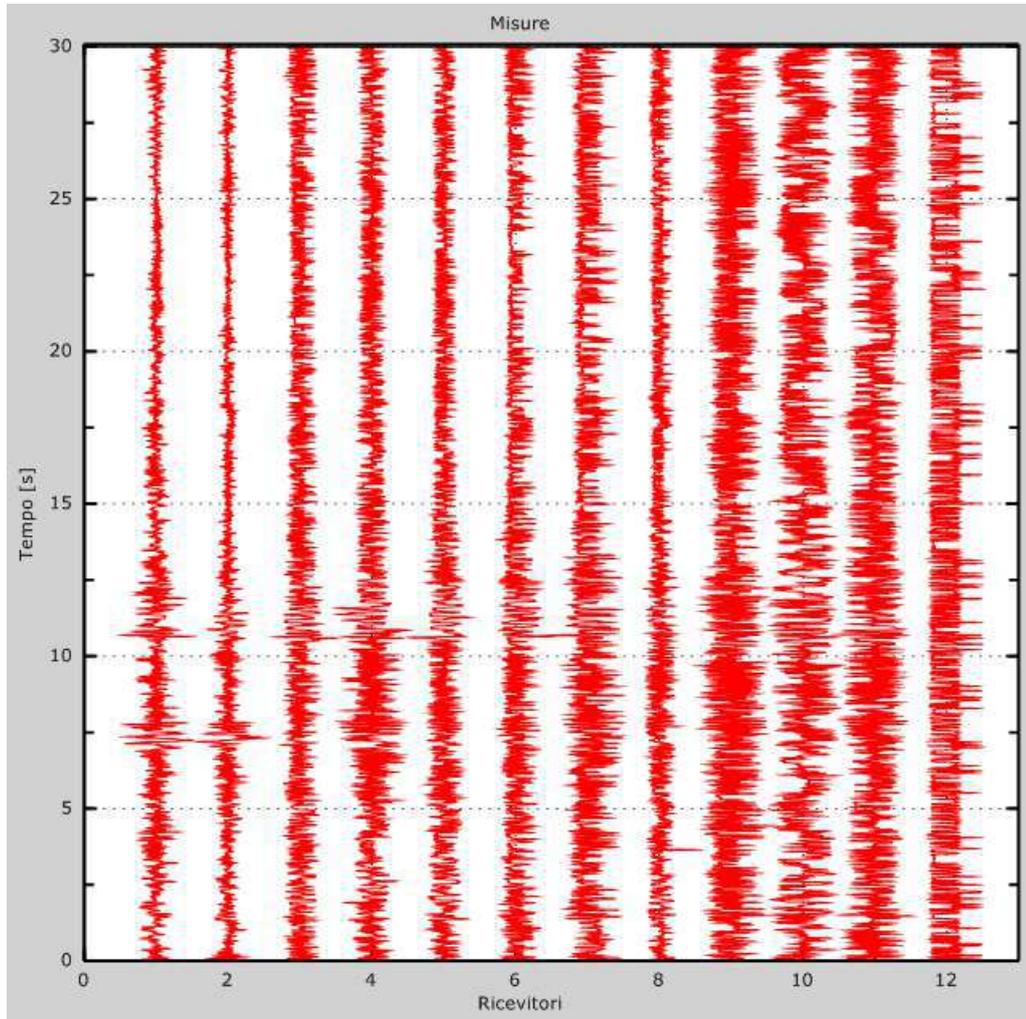
TRACCE SISMICHE METODO ATTIVO



Numero di ricevitori ..... 12  
Distanza tra i sensori: ..... 2.0 m  
Numero di campioni temporali..... 7651  
Passo temporale di acquisizione..... 0.13ms  
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 12  
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a ..... 0ms  
L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 3000ms  
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)



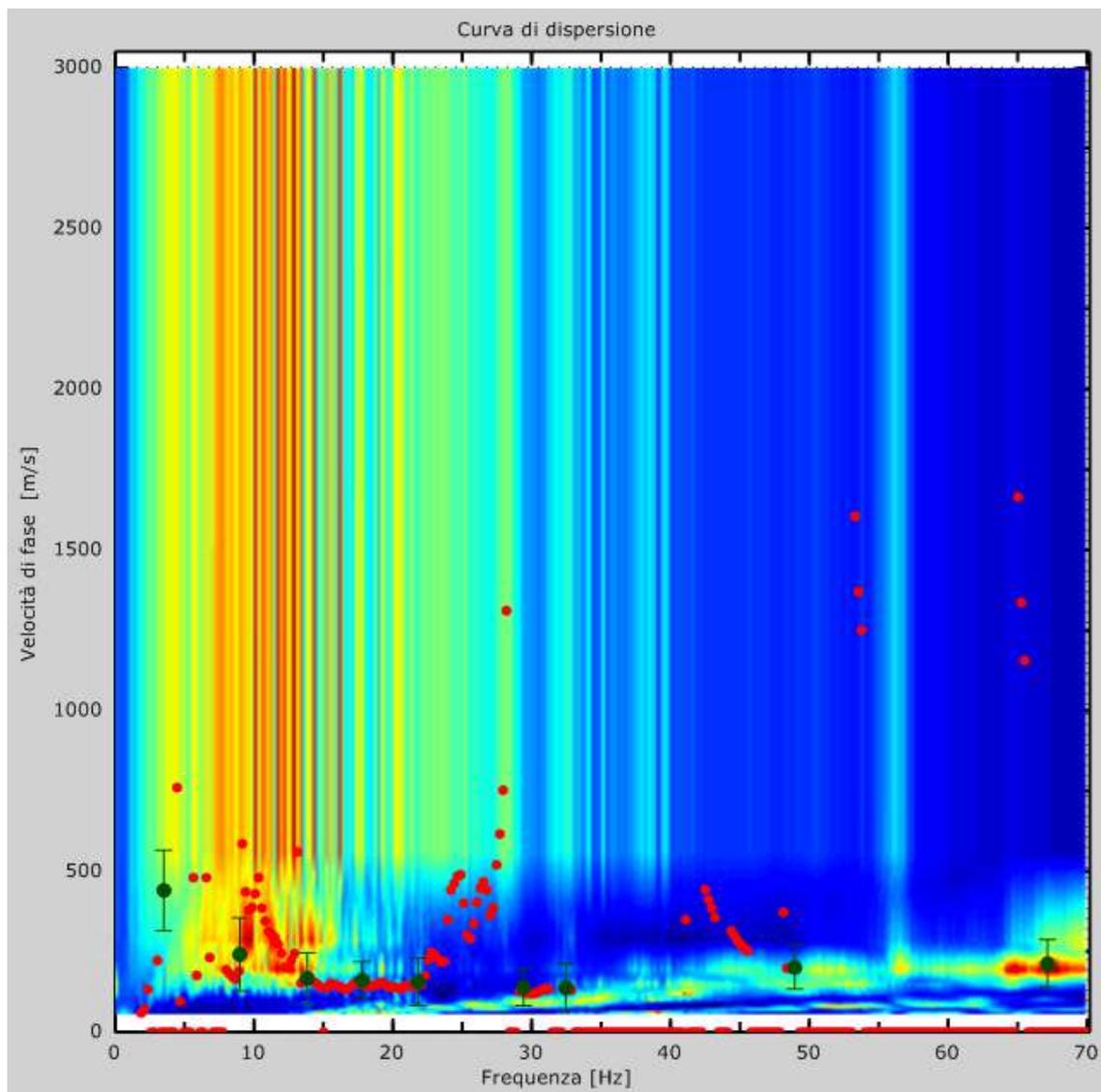
TRACCE SISMICHE METODO PASSIVO



Numero di ricevitori ..... 12  
 Numero di campioni temporali..... 3.26787e-312  
 Passo temporale di acquisizione..... 5.38ms  
 Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 12  
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a ..... 0ms  
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 30000ms  
 I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)



CURVA DI DISPERSIONE





PROFILO IN SITO

Numero di strati (escluso semispazio) ..... 9  
 Spaziatura ricevitori ..... 2.5m  
 Numero ricevitori.....12  
 Numero modi ..... 6

**Strato 1**

h [m] ..... 2  
 z [m] ..... -2  
 Vs fin.[m/s] ..... 237

**Strato 2**

h [m] ..... 3  
 z [m] ..... -5  
 Vs fin.[m/s] ..... 180

**Strato 3**

h [m] ..... 3  
 z [m] ..... -8  
 Vs fin.[m/s] ..... 186

**Strato 4**

h [m] ..... 4  
 z [m] ..... -12  
 Vs fin.[m/s] ..... 269

**Strato 5**

h [m] ..... 4  
 z [m] ..... -16  
 Vs fin.[m/s] ..... 269

**Strato 6**

h [m] ..... 5  
 z [m] ..... -21  
 Vs fin.[m/s] ..... 269

**Strato 7**

h [m] ..... 5  
 z [m] ..... -26  
 Vs fin.[m/s] ..... 269

**Strato 8**

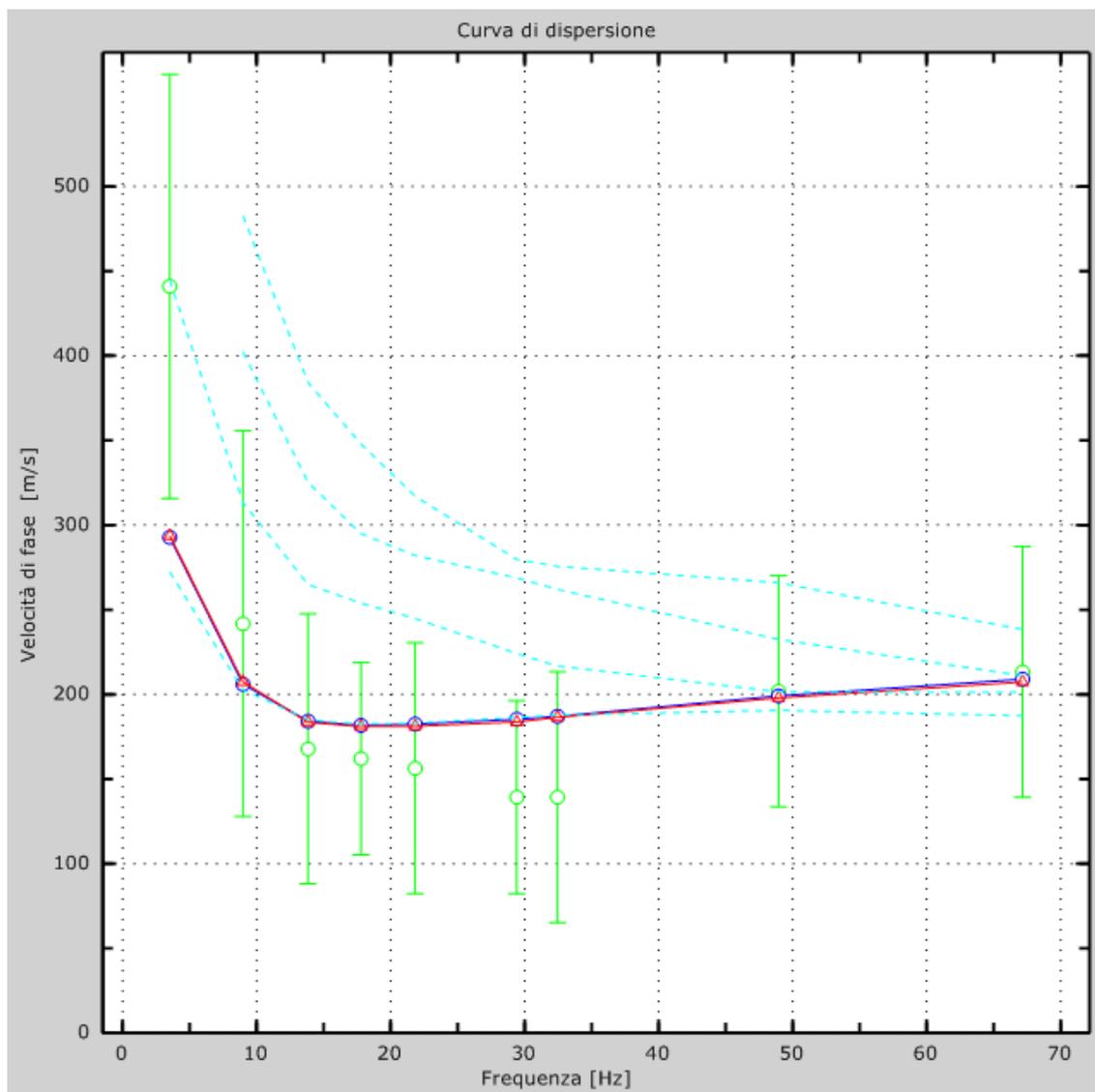
h [m] ..... 6  
 z [m] ..... -32  
 Vs fin.[m/s] ..... 269

**Strato 9**

h [m] ..... 0  
 z [m] ..... -00  
 Vs fin.[m/s] ..... 490

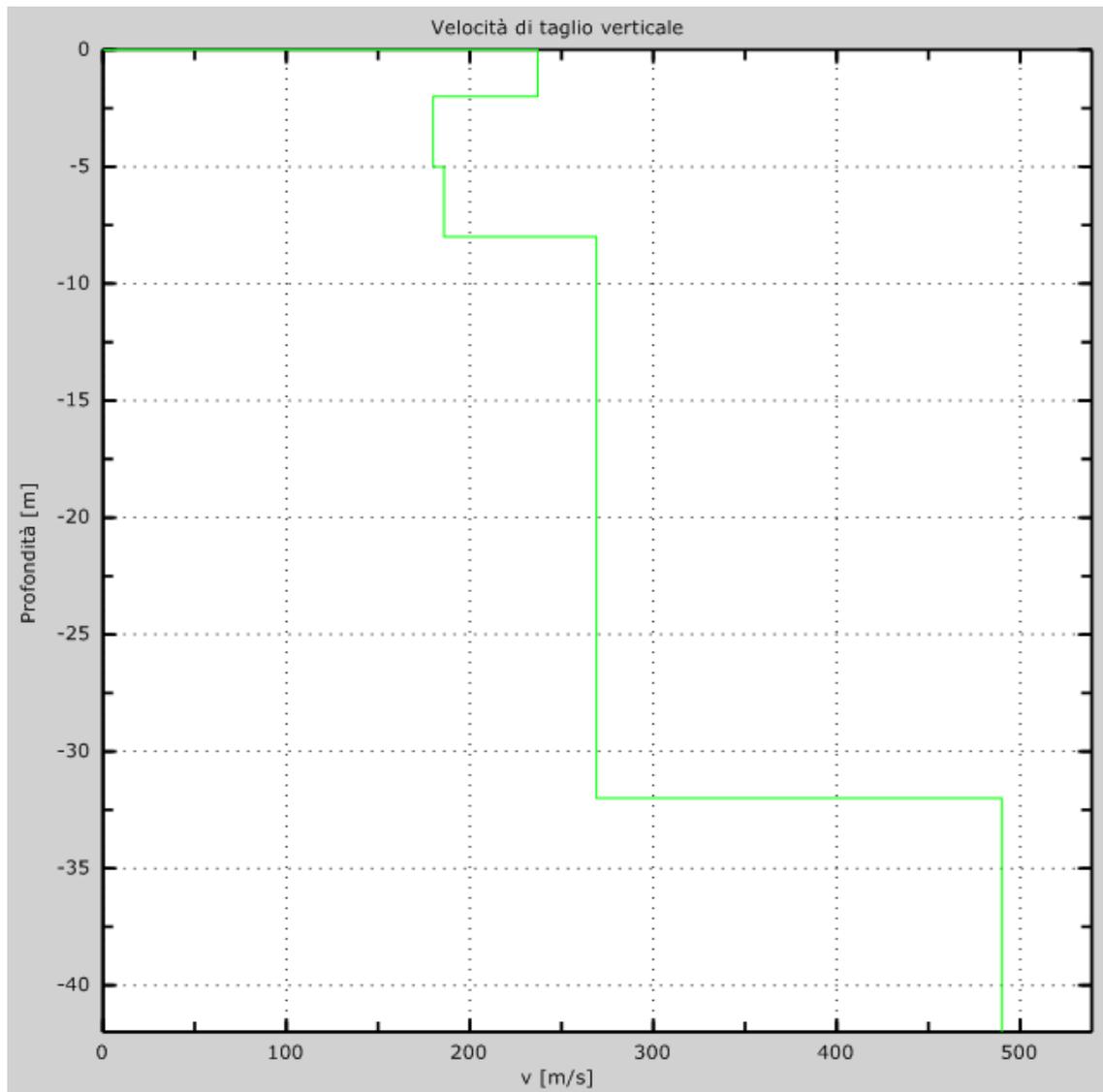


VELOCITÀ NUMERICHE - PUNTI SPERIMENTALI (VERDE), MODI DI RAYLEIGH (CIANO),  
CURVA APPARENTE (BLU), CURVA NUMERICA (ROSSO)





PROFILO DI VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO VERTICALI





### 3 CALCOLO DELLE $V_{s30}$

Per  $V_{s30}$  s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione, calcolata secondo la relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 metri superiori.

La Normativa Italiana (Ordinanza 3274), coerentemente con quanto indicato nell'Eurocodice 8, prevede una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde S nella copertura che dello spessore della stessa. Vengono identificate 5 classi, A, B, C, D e E ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Classe	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).



In generale il fenomeno dell'amplificazione sismica diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe E. Alle cinque categorie descritte se ne aggiungono altre due per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare.

Classe	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{S30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{U30} < 20$ 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.

Considerando le velocità degli strati e gli spessori rilevati, si ottiene dal piano di campagna, un valore delle  $V_{S30}$  pari a **243 m/sec**.



PROVA 1

IGEA 636

pag.1

Via Sagginalese, 128  
50032 - Borgo San Lorenzo (FI)  
Tel. 055/8402324 - Fax 055/5609272  
Info@igeasas.it - www.igeasas.it

Committente:					
Località:				Quota s.l.m.(m):	
Data inizio cantiere:		Data fine cantiere:		Sigla:	Prova 1
Attrezzatura:					
Coordinate geografiche:					

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

ALLEGATI N.6



IGEA sas

pag.2

Via Sagginalese, 128  
50032 - Borgo San Lorenzo (FI)  
Tel. 055/8402324 - Fax 055/5609272  
Info@igeasas.it - www.igeasas.it

Committente:					
Località:				Quota s.l.m.(m):	
Data inizio cantiere:		Data fine cantiere:		Sigla:	Prova 1
Attrezzatura:					
Coordinate geografiche:					

**TABELLA DATI PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**

N.	Prof.(m)	N.punta	N.riv.to	Nspt eq.	N.riv.c.	N.	Prof.(m)	N.punta	N.riv.to	Nspt eq.	N.riv.c.
1	0,10	2		2		51	5,10	25		25	
2	0,20	3		3		52	5,20	27		27	
3	0,30	7		7		53	5,30	25		25	
4	0,40	3		3		54	5,40	23		23	
5	0,50	5		5		55	5,50	19		19	
6	0,60	7		7		56	5,60	17		17	
7	0,70	4		4		57	5,70	12		12	
8	0,80	3		3		58	5,80	12		12	
9	0,90	3		3		59	5,90	12		12	
10	1,00	8		8		60	6,00	15		15	
11	1,10	17		17		61	6,10	15		15	
12	1,20	7		7		62	6,20	16		16	
13	1,30	5		5		63	6,30	18		18	
14	1,40	3		3		64	6,40	22		22	
15	1,50	1		1		65	6,50	27		27	
16	1,60	6		6		66	6,60	35		35	
17	1,70	4		4		67	6,70	35		35	
18	1,80	3		3		68	6,80	36		36	
19	1,90	5		5		69	6,90	35		35	
20	2,00	5		5		70	7,00	36		36	
21	2,10	4		4							
22	2,20	8		8							
23	2,30	4		4							
24	2,40	4		4							
25	2,50	5		5							
26	2,60	7		7							
27	2,70	7		7							
28	2,80	8		8							
29	2,90	9		9							
30	3,00	11		11							
31	3,10	10		10							
32	3,20	11		11							
33	3,30	11		11							
34	3,40	11		11							
35	3,50	11		11							
36	3,60	11		11							
37	3,70	12		12							
38	3,80	12		12							
39	3,90	14		14							
40	4,00	15		15							
41	4,10	16		16							
42	4,20	16		16							
43	4,30	17		17							
44	4,40	18		18							
45	4,50	17		17							
46	4,60	17		17							
47	4,70	18		18							
48	4,80	18		18							
49	4,90	20		20							
50	5,00	22		22							



IGEA sas

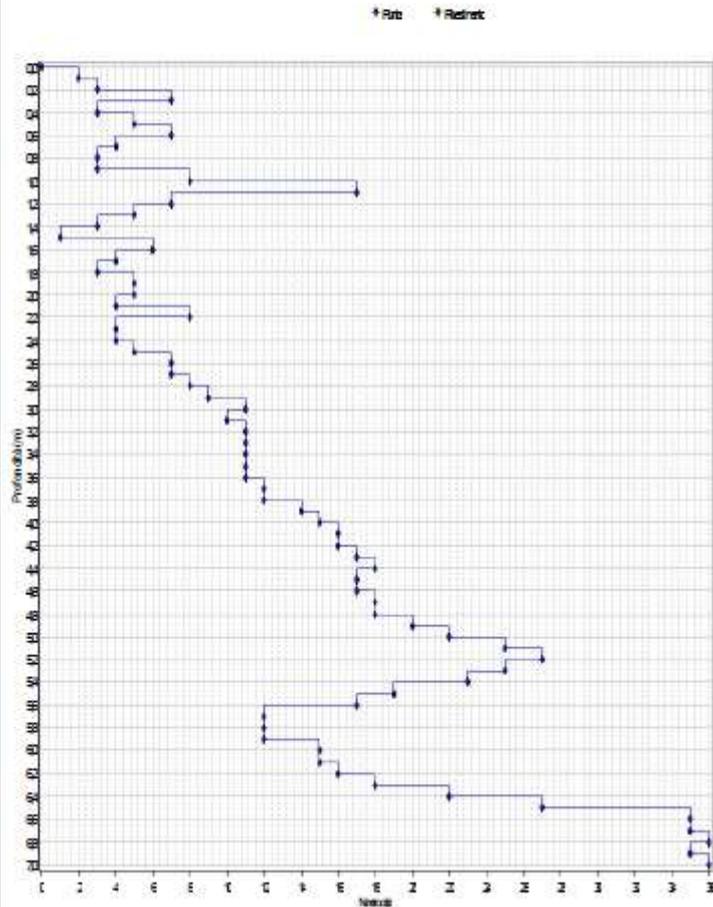
pag.3

Via Sagginalese, 128  
50032 - Borgo San Lorenzo (FI)  
Tel. 055/8402324 - Fax 055/5609272  
Info@igeasas.it - www.igeasas.it

Committente:			
Località:		Quota s.l.m.(m):	
Data inizio cantiere:	Data fine cantiere:	Sigla:	Prova 1
Attrezzatura:			
Coordinate geografiche:			

TABELLA E GRAFICO DATI PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

N.	Prof.(m)	N.punta	N.riv.to
1	0,10	2	
2	0,20	3	
3	0,30	7	
4	0,40	6	
5	0,50	6	
6	0,60	6	
7	0,70	6	
8	0,80	6	
9	0,90	6	
10	1,00	17	
11	1,10	17	
12	1,20	17	
13	1,30	17	
14	1,40	17	
15	1,50	17	
16	1,60	17	
17	1,70	17	
18	1,80	17	
19	1,90	17	
20	2,00	17	
21	2,10	17	
22	2,20	17	
23	2,30	17	
24	2,40	17	
25	2,50	17	
26	2,60	17	
27	2,70	17	
28	2,80	17	
29	2,90	17	
30	3,00	17	
31	3,10	17	
32	3,20	17	
33	3,30	17	
34	3,40	17	
35	3,50	17	
36	3,60	17	
37	3,70	17	
38	3,80	17	
39	3,90	17	
40	4,00	17	
41	4,10	17	
42	4,20	17	
43	4,30	17	
44	4,40	17	
45	4,50	17	
46	4,60	17	
47	4,70	17	
48	4,80	17	
49	4,90	17	
50	5,00	17	
51	5,10	17	
52	5,20	17	
53	5,30	17	
54	5,40	17	
55	5,50	17	
56	5,60	17	
57	5,70	17	
58	5,80	17	
59	5,90	17	
60	6,00	17	
61	6,10	17	
62	6,20	17	
63	6,30	17	
64	6,40	17	
65	6,50	17	
66	6,60	17	
67	6,70	17	
68	6,80	17	
69	6,90	17	
70	7,00	17	





IGEA 636

pag.4

Via Sagginalese, 128  
50032 - Borgo San Lorenzo (FI)  
Tel. 055/8402324 - Fax 055/5609272  
Info@igeasas.it - www.igeasas.it

Committente:			
Località:		Quota s.l.m.(m):	
Data inizio cantiere:	Data fine cantiere:	Sigla:	Prova 1
Attrezzatura:			
Coordinate geografiche:			

**TABELLA RIASSUNTIVA STRATIGRAFIA**

N.	Prof.(m)	Nspt eq.	Descrizione	Tipo	Rd(kg/cmq)	RdSPT(kg/cmq)
1	0,1	2	Sabbia molto sciolta	U	0,08	9,9
2	0,2	3	Sabbia molto sciolta	U	0,12	14,85
3	0,3	7	Sabbia sciolta	U	0,29	34,66
4	0,4	3	Sabbia molto sciolta	U	0,12	14,85
5	0,5	7	Sabbia sciolta	U	0,21	24,76
6	0,6	7	Sabbia sciolta	U	0,29	34,66
7	0,7	4	Sabbia sciolta	U	0,15	19,91
8	0,8	3	Sabbia molto sciolta	U	0,12	14,85
9	0,9	3	Sabbia molto sciolta	U	0,12	14,85
10	1,0	8	Sabbia sciolta	U	0,33	39,61
11	1,1	17	Sabbia compatta	U	0,62	79,29
12	1,2	7	Sabbia sciolta	U	0,27	32,63
13	1,3	5	Sabbia sciolta	U	0,19	23,31
14	1,4	3	Sabbia molto sciolta	U	0,12	13,98
15	1,5	1	Sabbia molto sciolta	U	0,04	4,66
16	1,6	0	Sabbia sciolta	U	0,23	27,97
17	1,7	0	Sabbia sciolta	U	0,15	18,66
18	1,8	0	Sabbia molto sciolta	U	0,12	13,98
19	1,9	0	Sabbia sciolta	U	0,19	23,31
20	2,0	0	Sabbia sciolta	U	0,19	23,31
21	2,1	4	Sabbia sciolta	U	0,15	18,66
22	2,2	0	Sabbia sciolta	U	0,29	35,23
23	2,3	4	Sabbia sciolta	U	0,14	17,62
24	2,4	4	Sabbia sciolta	U	0,14	17,62
25	2,5	5	Sabbia sciolta	U	0,18	22,02
26	2,6	7	Sabbia sciolta	U	0,25	30,83
27	2,7	7	Sabbia sciolta	U	0,25	30,83
28	2,8	9	Sabbia sciolta	U	0,29	35,23
29	2,9	9	Sabbia sciolta	U	0,32	39,61
30	3,0	11	Sabbia compatta	U	0,4	48,44
31	3,1	10	Sabbia compatta	U	0,36	44,04
32	3,2	11	Sabbia compatta	U	0,37	45,9
33	3,3	11	Sabbia compatta	U	0,37	45,9
34	3,4	11	Sabbia compatta	U	0,37	45,9
35	3,5	11	Sabbia compatta	U	0,37	45,9
36	3,6	11	Sabbia compatta	U	0,37	45,9
37	3,7	12	Sabbia compatta	U	0,41	50,08
38	3,8	12	Sabbia compatta	U	0,41	50,08
39	3,9	14	Sabbia compatta	U	0,46	56,42
40	4,0	15	Sabbia compatta	U	0,51	62,59
41	4,1	16	Sabbia compatta	U	0,54	66,77
42	4,2	16	Sabbia compatta	U	0,51	63,44
43	4,3	17	Sabbia compatta	U	0,55	67,41
44	4,4	18	Sabbia compatta	U	0,58	71,37
45	4,5	17	Sabbia compatta	U	0,55	67,41
46	4,6	17	Sabbia compatta	U	0,55	67,41
47	4,7	18	Sabbia compatta	U	0,56	71,37
48	4,8	18	Sabbia compatta	U	0,58	71,37
49	4,9	20	Sabbia compatta	U	0,64	79,3
50	5,0	22	Sabbia compatta	U	0,71	87,23
51	5,1	25	Sabbia compatta	U	0,8	99,13
52	5,2	27	Sabbia compatta	U	0,82	101,98
53	5,3	25	Sabbia compatta	U	0,79	98,44
54	5,4	23	Sabbia compatta	U	0,7	86,87
55	5,5	19	Sabbia compatta	U	0,58	71,37
56	5,6	17	Sabbia compatta	U	0,52	64,21
57	5,7	12	Sabbia compatta	U	0,37	45,32
58	5,8	12	Sabbia compatta	U	0,37	45,32
59	5,9	15	Sabbia compatta	U	0,37	45,32
60	6,0	15	Sabbia compatta	U	0,46	56,66
61	6,1	15	Sabbia compatta	U	0,46	56,66
62	6,2	16	Sabbia compatta	U	0,46	56,66
63	6,3	18	Sabbia compatta	U	0,52	64,91
64	6,4	22	Sabbia compatta	U	0,64	79,33
65	6,5	27	Sabbia compatta	U	0,76	97,36
66	6,6	35	Sabbia densa	U	1,01	126,21
67	6,7	35	Sabbia densa	U	1,01	126,21
68	6,8	36	Sabbia densa	U	1,04	129,82
69	6,9	35	Sabbia densa	U	1,01	126,21
70	7,0	36	Sabbia densa	U	1,04	129,82



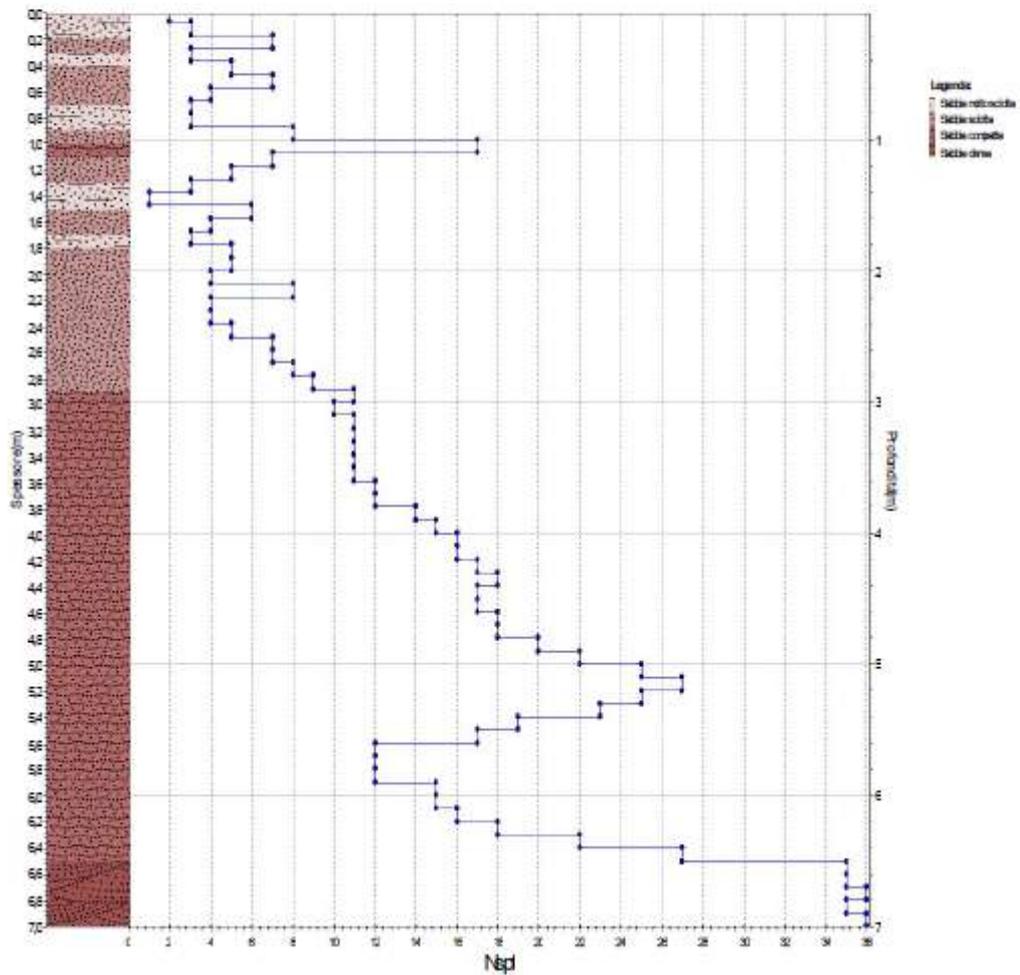
IGEA sas

pag.5

Via Sagginalese, 128  
50032 - Borgo San Lorenzo (FI)  
Tel. 055/8402324 - Fax 055/5609272  
Info@igeasas.it - www.igeasas.it

Committente:				Quota s.l.m.(m):			
Località:				Data inizio cantiere:		Data fine cantiere:	
Data inizio cantiere:				Sigla:		Prova 1	
Attrezzatura:							
Coordinate geografiche:							

COLONNA STRATIGRAFICA RIASSUNTIVA





IGEA SAS

pag.6

Via Sagginalese, 128
50032 - Borgo San Lorenzo (FI)
Tel. 055/8402324 - Fax 055/5609272
Info@igeasas.it - www.igeasas.it

Table with project details: Committente, Località, Quota s.l.m.(m), Data inizio cantiere, Data fine cantiere, Sigla, Prova 1, Attrezzatura, Coordinate geografiche.

TABELLA RIASSUNTIVA DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Main data table with columns: N, Prof.(m), Nspt eq., Phi picco(\*), Phi c.v.(\*), Gamma(kg/cm3), Dr %, Cu(kg/cm3), E Young(kg/cm3), E edom.(kg/cm3). Contains 70 rows of geotechnical parameters.



PROVA 2

IGEA sas

pag.1

Via Sagginalese, 128  
50032 - Borgo San Lorenzo (FI)  
Tel. 055/8402324 - Fax 055/5609272  
Info@igeasas.it - www.igeasas.it

Committente:					
Località:				Quota s.l.m.(m):	
Data inizio cantiere:		Data fine cantiere:		Sigla:	Prova 1
Attrezzatura:					
Coordinate geografiche:					

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

ALLEGATI N.6



IGEA S35

pag.2

Via Sagginalese, 128  
50032 - Borgo San Lorenzo (FI)  
Tel. 055/8402324 - Fax 055/5609272  
Info@igeasas.it - www.igeasas.it

Committente:									
Località:		Quota s.l.m.(m):							
Data inizio cantiere:		Data fine cantiere:	Sigla: Prova 1						
Attrezzatura:									
Coordinate geografiche:									
TABELLA DATI PROVA PENETROMETRICA DINAMICA									
N.	Prof.(m)	N.punta	N.riv.lo	N.riv.c.	N.	Prof.(m)	N.punta	N.riv.lo	N.riv.c.
1	0,10	2		2					
2	0,20	10		10					
3	0,30	16		16					
4	0,40	8		8					
5	0,50	9		9					
6	0,60	8		8					
7	0,70	4		4					
8	0,80	9		9					
9	0,90	7		7					
10	1,00	5		5					
11	1,10	13		13					
12	1,20	13		13					
13	1,30	9		9					
14	1,40	6		6					
15	1,50	3		3					
16	1,60	5		5					
17	1,70	4		4					
18	1,80	4		4					
19	1,90	3		3					
20	2,00	4		4					
21	2,10	2		2					
22	2,20	2		2					
23	2,30	2		2					
24	2,40	2		2					
25	2,50	2		2					
26	2,60	4		4					
27	2,70	3		3					
28	2,80	5		5					
29	2,90	6		6					
30	3,00	5		5					
31	3,10	5		5					
32	3,20	6		6					
33	3,30	5		5					
34	3,40	4		4					
35	3,50	6		6					
36	3,60	6		6					
37	3,70	6		6					
38	3,80	6		6					
39	3,90	8		8					
40	4,00	10		10					
41	4,10	8		8					
42	4,20	9		9					
43	4,30	9		9					
44	4,40	8		8					
45	4,50	9		9					
46	4,60	11		11					
47	4,70	12		12					
48	4,80	14		14					
49	4,90	18		18					
50	5,00	27		27					



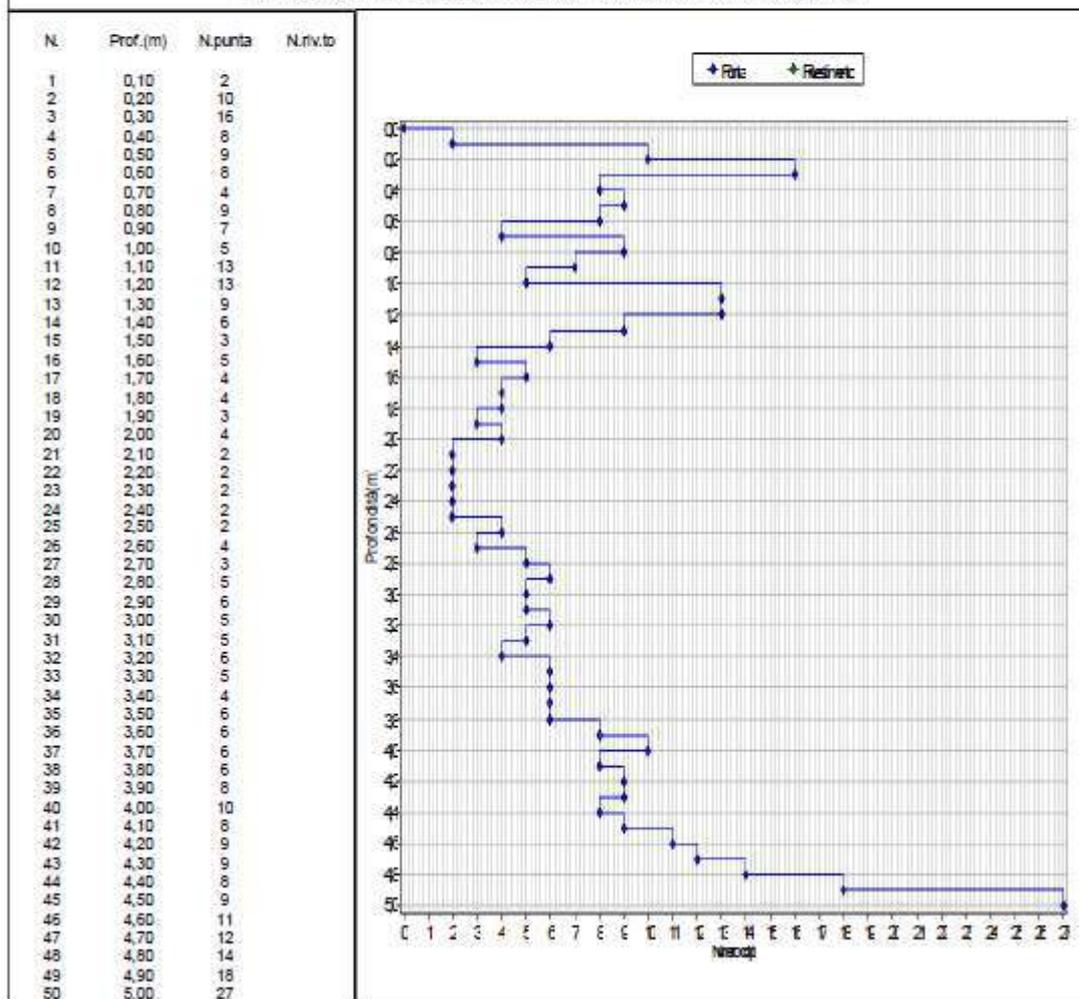
IGEA sas

pag.3

Via Sagginalese, 128  
50032 - Borgo San Lorenzo (FI)  
Tel. 055/8402324 - Fax 055/5609272  
Info@igeasas.it - www.igeasas.it

Committente:			
Località:		Quota s.l.m.(m):	
Data inizio cantiere:	Data fine cantiere:	Sigla:	Prova 1
Attrezzatura:			
Coordinate geografiche:			

TABELLA E GRAFICO DATI PROVA PENETROMETRICA DINAMICA





IGEA 636

pag.4

Via Sagginalese, 128  
50032 - Borgo San Lorenzo (FI)  
Tel. 055/8402324 - Fax 055/5609272  
Info@igeasas.it - www.igeasas.it

Committente:			
Località:		Quota s.l.m.(m):	
Data inizio cantiere:		Data fine cantiere:	Sigla: Prova 1
Attrezzatura:			
Coordinate geografiche:			

## TABELLA RIASSUNTIVA STRATIGRAFIA

N.	Prof.(m)	Nspt eq.	Descrizione	Tipo	Rd(kg/cmq)	RdSPT(kg/cmq)
1	0,1	2	Sabbia molto sciolta	0	0,08	9,9
2	0,2	10	Sabbia compatta	0	0,41	49,51
3	0,3	16	Sabbia compatta	0	0,66	79,22
4	0,4	8	Sabbia sciolta	0	0,33	39,61
5	0,5	9	Sabbia sciolta	0	0,37	44,56
6	0,6	8	Sabbia sciolta	0	0,33	39,61
7	0,7	4	Sabbia sciolta	0	0,16	19,81
8	0,8	9	Sabbia sciolta	0	0,37	44,56
9	0,9	7	Sabbia sciolta	0	0,29	34,66
10	1,0	5	Sabbia sciolta	0	0,21	24,76
11	1,1	13	Sabbia compatta	0	0,5	60,6
12	1,2	13	Sabbia compatta	0	0,5	60,6
13	1,3	9	Sabbia sciolta	0	0,35	41,95
14	1,4	6	Sabbia sciolta	0	0,23	27,97
15	1,5	3	Sabbia molto sciolta	0	0,12	13,98
16	1,6	5	Sabbia sciolta	0	0,19	23,31
17	1,7	4	Sabbia sciolta	0	0,15	18,65
18	1,8	4	Sabbia sciolta	0	0,15	18,65
19	1,9	3	Sabbia molto sciolta	0	0,12	13,98
20	2,0	4	Sabbia sciolta	0	0,15	18,65
21	2,1	2	Sabbia molto sciolta	0	0,08	9,32
22	2,2	2	Sabbia molto sciolta	0	0,07	8,81
23	2,3	2	Sabbia molto sciolta	0	0,07	8,81
24	2,4	2	Sabbia molto sciolta	0	0,07	8,81
25	2,5	2	Sabbia molto sciolta	0	0,07	8,81
26	2,6	4	Sabbia sciolta	0	0,14	17,62
27	2,7	3	Sabbia molto sciolta	0	0,11	13,21
28	2,8	5	Sabbia sciolta	0	0,18	22,02
29	2,9	6	Sabbia sciolta	0	0,22	26,42
30	3,0	5	Sabbia sciolta	0	0,18	22,02
31	3,1	5	Sabbia sciolta	0	0,18	22,02
32	3,2	6	Sabbia sciolta	0	0,2	25,04
33	3,3	5	Sabbia sciolta	0	0,17	20,86
34	3,4	4	Sabbia sciolta	0	0,14	16,69
35	3,5	6	Sabbia sciolta	0	0,2	25,04
36	3,6	6	Sabbia sciolta	0	0,2	25,04
37	3,7	6	Sabbia sciolta	0	0,2	25,04
38	3,8	6	Sabbia sciolta	0	0,2	25,04
39	3,9	8	Sabbia sciolta	0	0,27	33,38
40	4,0	10	Sabbia compatta	0	0,34	41,73
41	4,1	8	Sabbia sciolta	0	0,27	33,38
42	4,2	9	Sabbia sciolta	0	0,29	35,69
43	4,3	9	Sabbia sciolta	0	0,29	35,69
44	4,4	8	Sabbia sciolta	0	0,26	31,72
45	4,5	9	Sabbia sciolta	0	0,29	35,69
46	4,6	11	Sabbia compatta	0	0,35	43,62
47	4,7	12	Sabbia compatta	0	0,39	47,58
48	4,8	14	Sabbia compatta	0	0,45	55,51
49	4,9	18	Sabbia compatta	0	0,58	71,37
50	5,0	27	Sabbia compatta	0	0,87	107,05

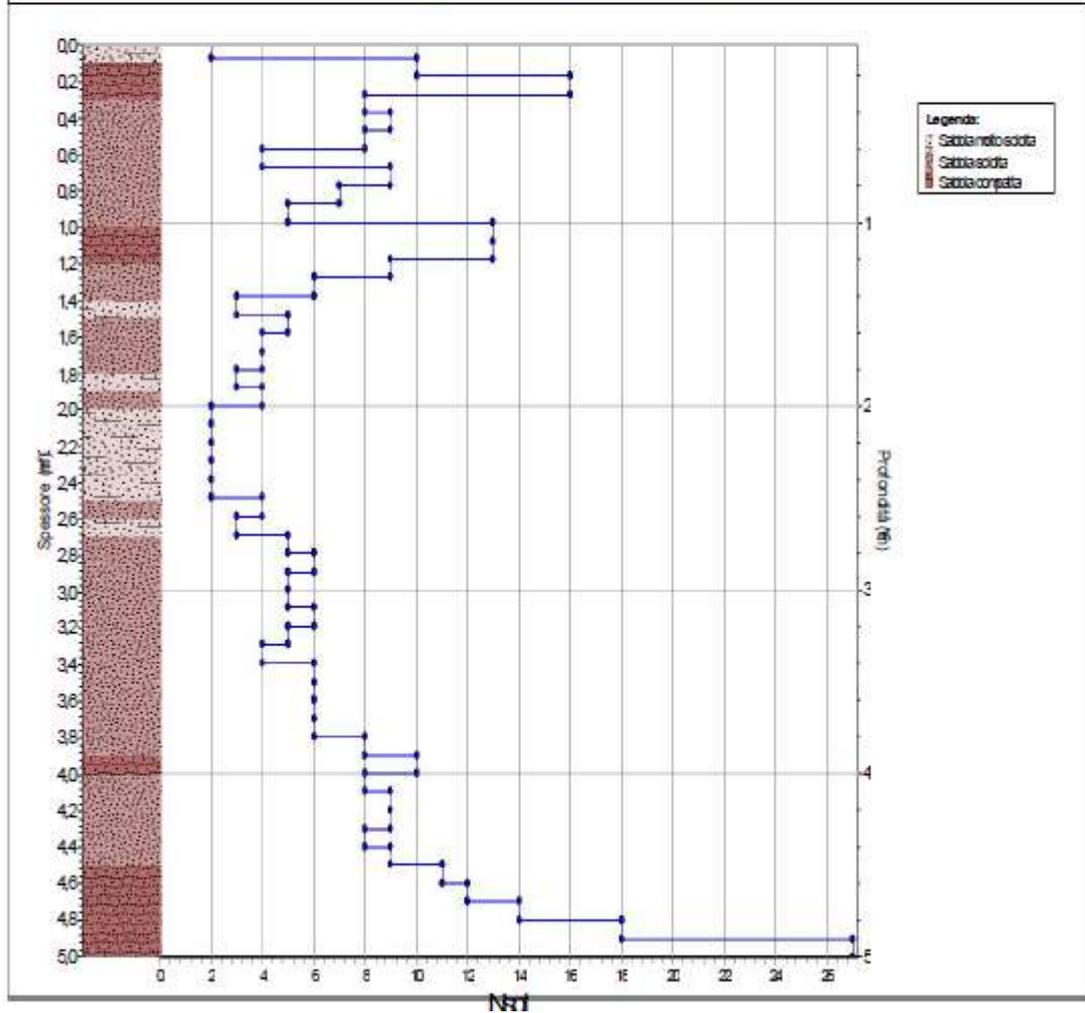


IGEA sas

pag.5

Via Sagginalese, 128  
50032 - Borgo San Lorenzo (FI)  
Tel. 055/8402324 - Fax 055/5609272  
Info@igeasas.it - www.igeasas.it

Committente:			
Località:		Quota s.l.m.(m):	
Data inizio cantiere:		Data fine cantiere:	
Attrezzatura:		Sigla:	Prova 1
Coordinate geografiche:			
<b>COLONNA STRATIGRAFICA RIASSUNTIVA</b>			





IGEA 636

pag.5

Via Sagginalese, 128  
50032 - Borgo San Lorenzo (FI)  
Tel. 055/8402324 - Fax 055/5609272  
Info@igeasas.it - www.igeasas.it

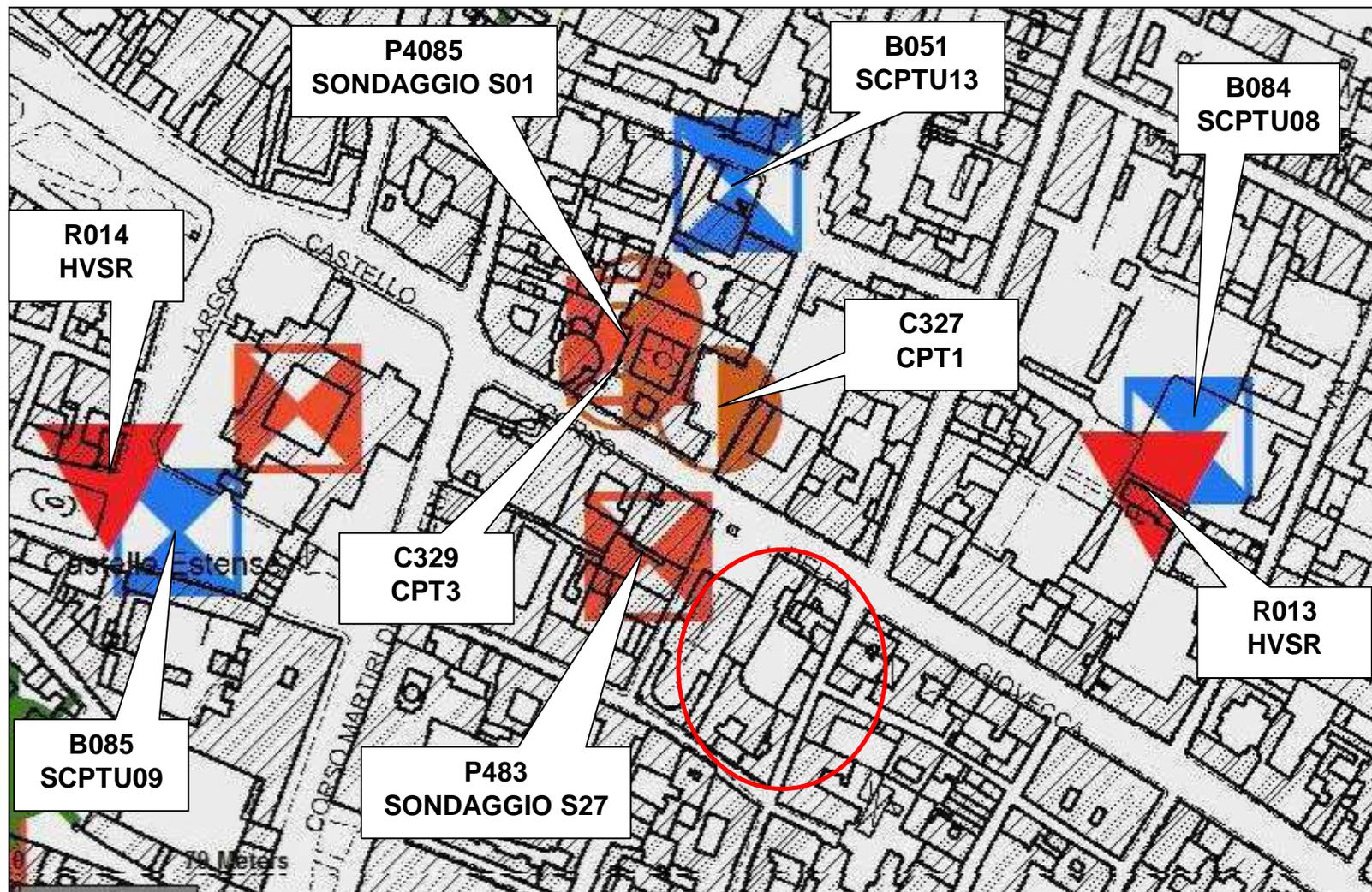
Committente:			
Località:		Quota s.l.m.(m):	
Data inizio cantiere:	Data fine cantiere:	Sigla:	Prova 1
Attrezzatura:			
Coordinate geografiche:			

**TABELLA RIASSUNTIVA DEI PARAMETRI GEOTECNICI**

N.	Prof.(m)	Nspt eq.	Phi plico(*)	Phi c.v.(*)	Gamma(kg/mc)	Dr %	Cu(kg/cmq)	E Young(kg/cmq)	E edom.(kg/cmq)
1	0,1	2	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	34,73	14,2
2	0,2	10	30,0	27,8	1800,0	35,0	0,0	270,28	71,0
3	0,3	16	31,8	28,2	1830,0	44,0	0,0	534,3	113,6
4	0,4	8	29,3	28,1	1833,33	28,0	0,0	197,91	56,8
5	0,5	9	29,7	27,9	1866,67	32,0	0,0	233,04	63,9
6	0,6	8	29,3	28,1	1833,33	28,0	0,0	197,91	56,8
7	0,7	4	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	79,63	28,4
8	0,8	9	29,7	27,9	1866,67	32,0	0,0	233,04	63,9
9	0,9	7	29,0	28,3	1800,0	25,0	0,0	164,93	49,7
10	1,0	5	28,3	28,3	1733,33	18,0	0,0	105,73	35,5
11	1,1	13	30,9	27,9	1815,0	40,0	0,0	393,97	92,3
12	1,2	13	30,9	27,9	1815,0	40,0	0,0	393,97	92,3
13	1,3	9	29,7	27,9	1866,67	32,0	0,0	233,04	63,9
14	1,4	6	28,7	28,5	1766,67	22,0	0,0	134,19	42,6
15	1,5	3	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	55,94	21,3
16	1,6	5	28,3	28,3	1733,33	18,0	0,0	105,73	35,5
17	1,7	4	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	79,63	28,4
18	1,8	4	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	79,63	28,4
19	1,9	3	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	55,94	21,3
20	2,0	4	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	79,63	28,4
21	2,1	2	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	34,73	14,2
22	2,2	2	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	34,73	14,2
23	2,3	2	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	34,73	14,2
24	2,4	2	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	34,73	14,2
25	2,5	2	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	34,73	14,2
26	2,6	4	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	79,63	28,4
27	2,7	3	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	55,94	21,3
28	2,8	5	28,3	28,3	1733,33	18,0	0,0	105,73	35,5
29	2,9	6	28,7	28,7	1766,67	22,0	0,0	134,19	42,6
30	3,0	5	28,3	28,3	1733,33	18,0	0,0	105,73	35,5
31	3,1	5	28,3	28,3	1733,33	18,0	0,0	105,73	35,5
32	3,2	6	28,7	28,7	1766,67	22,0	0,0	134,19	42,6
33	3,3	5	28,3	28,3	1733,33	18,0	0,0	105,73	35,5
34	3,4	4	28,0	28,0	1700,0	15,0	0,0	79,63	28,4
35	3,5	6	28,7	28,7	1766,67	22,0	0,0	134,19	42,6
36	3,6	6	28,7	28,7	1766,67	22,0	0,0	134,19	42,6
37	3,7	6	28,7	28,7	1766,67	22,0	0,0	134,19	42,6
38	3,8	6	28,7	28,7	1766,67	22,0	0,0	134,19	42,6
39	3,9	8	29,3	29,0	1833,33	28,0	0,0	197,91	56,8
40	4,0	10	30,0	28,9	1800,0	35,0	0,0	270,28	71,0
41	4,1	8	29,3	29,1	1833,33	28,0	0,0	197,91	56,8
42	4,2	9	29,7	29,0	1866,67	32,0	0,0	233,04	63,9
43	4,3	9	29,7	29,1	1866,67	32,0	0,0	233,04	63,9
44	4,4	8	29,3	29,1	1833,33	28,0	0,0	197,91	56,8
45	4,5	9	29,7	29,1	1866,67	32,0	0,0	233,04	63,9
46	4,6	11	30,3	29,2	1805,0	37,0	0,0	309,56	78,1
47	4,7	12	30,6	29,4	1810,0	38,0	0,0	350,81	85,2
48	4,8	14	31,2	29,6	1820,0	41,0	0,0	438,98	99,4
49	4,9	18	32,4	30,2	1840,0	47,0	0,0	636,26	127,8
50	5,0	27	35,1	31,3	1885,0	61,0	0,0	1163,74	191,7

## Indagini di bibliografia – Comune di Ferrara

Prove in situ - tratte da "Cartografia Geologica della Regione Emilia Romagna – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli"



 Area in studio

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

Procedura di riferimento: ASTM D 3441-94

Certificato di prova n°:

rev.	data emiss.	Sperimentatore	Responsabile
0	04/05/2010	Ranzini	Saccenti

Committente:

Cantiere:

Prova:

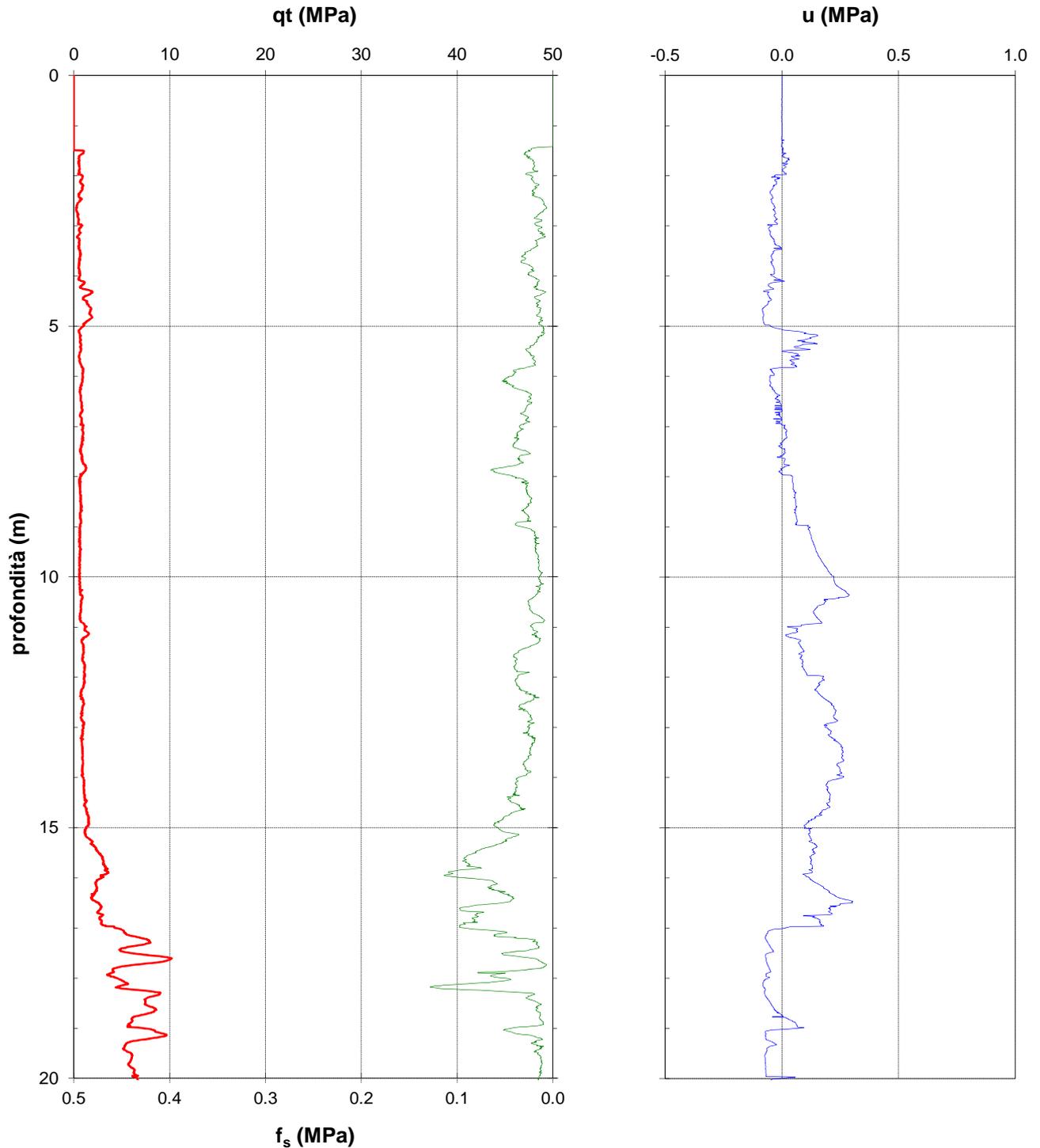
Data prova:

CFR

Teatro Boldini

SCPTU 13

22 aprile 2010



Coordinate:

X =

Y =

Z =

Quote (m):

inizio prova = piano campagna

fine prova = 31.00 (30.97)

Note:

Prova eseguita con piezocono n. 543

Eseguito preforo superficiale mediante puntazza da m 0.00 a m 1.50

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

Procedura di riferimento: ASTM D 3441-94

Certificato di prova n°:

rev.	data emiss.	Sperimentatore	Responsabile
0	04/05/2010	Ranzini	Saccenti

Committente:

Cantiere:

Prova:

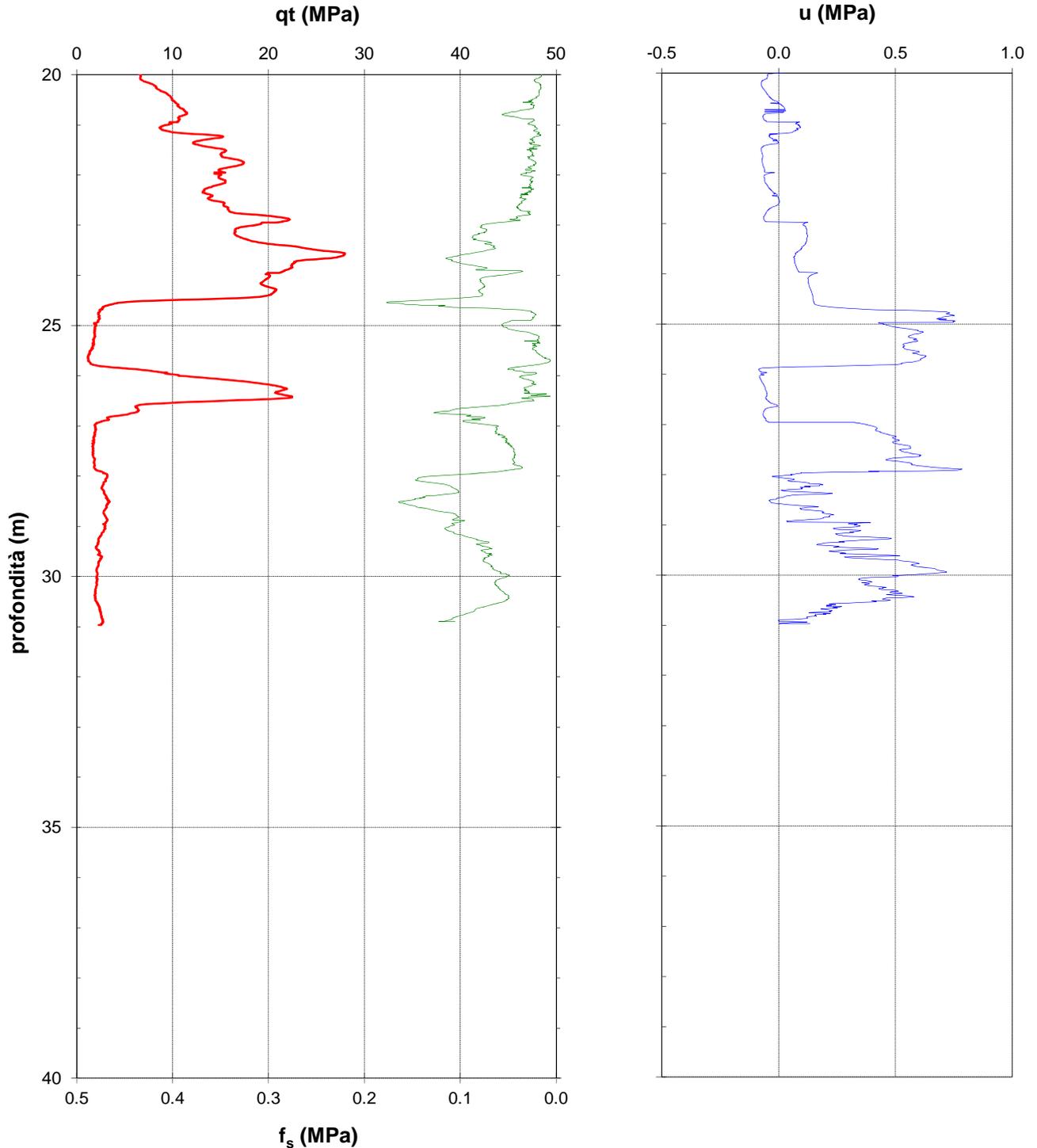
Data prova:

CFR

Teatro Boldini

SCPTU 13

22 aprile 2010



Coordinate:

X =

Y =

Z =

Quote (m):

inizio prova = piano campagna

fine prova = 31.00 (30.97)

Note:

Prova eseguita con piezocono n. 543

Eseguito preforo superficiale mediante puntazza da m 0.00 a m 1.50

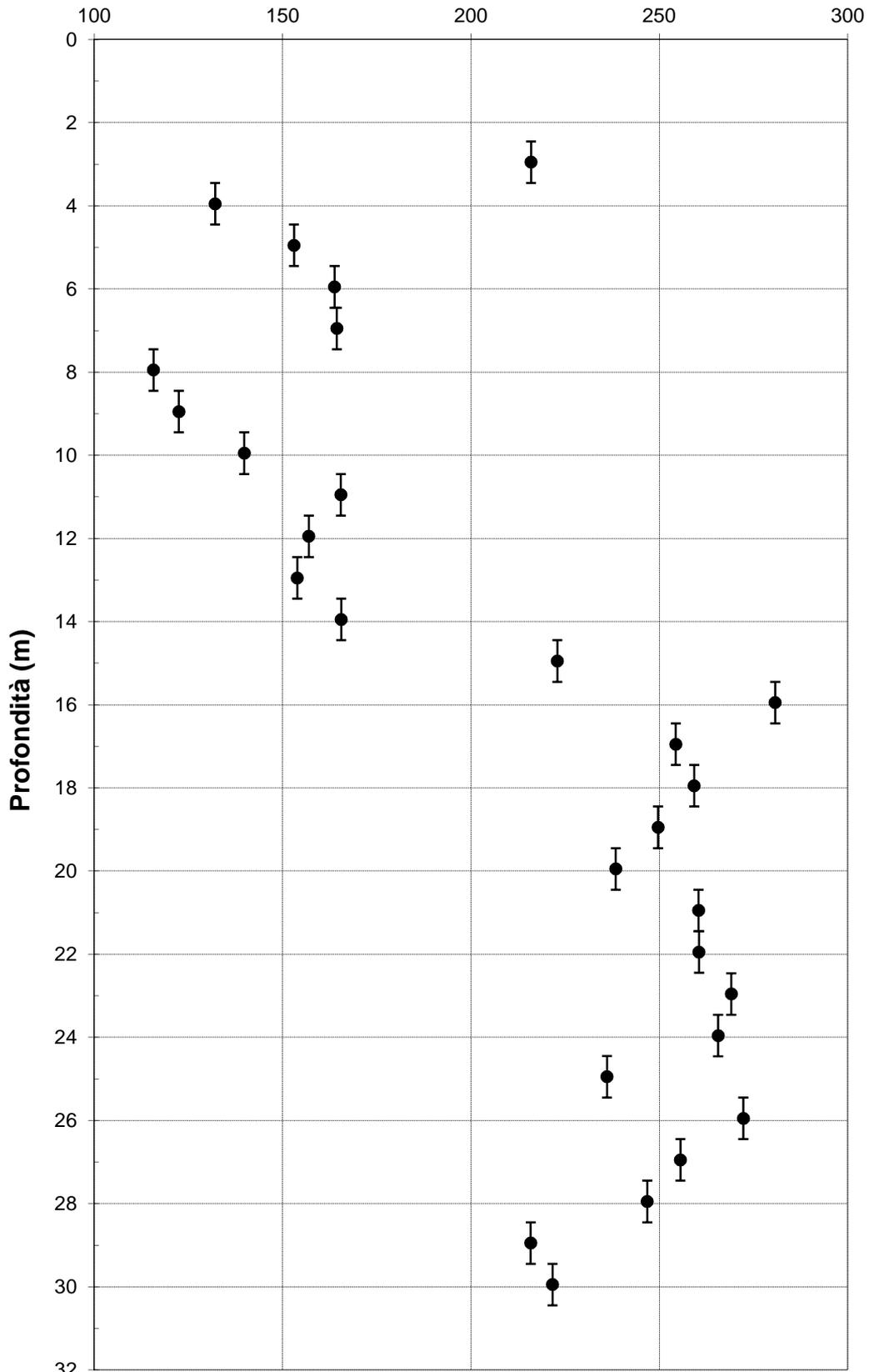
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

rev.	data emiss.	eseguito da	elaborato da
0		Ranzini	Capoferri

Procedura di riferimento: PT 162

Committente:	Comune di Ferrara
Cantiere:	Alda Costa
Prova:	DH 13
Data prova:	22/04/2010

## Velocità onde di taglio $V_{SVH}$ (m/s)



Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

Procedura di riferimento: ASTM D 3441-94

Certificato di prova n°:

rev.	data emiss.	Sperimentatore	Direttore
0	28/03/2013	Ranzini	Saccenti

Committente:

CFR

Cantiere:

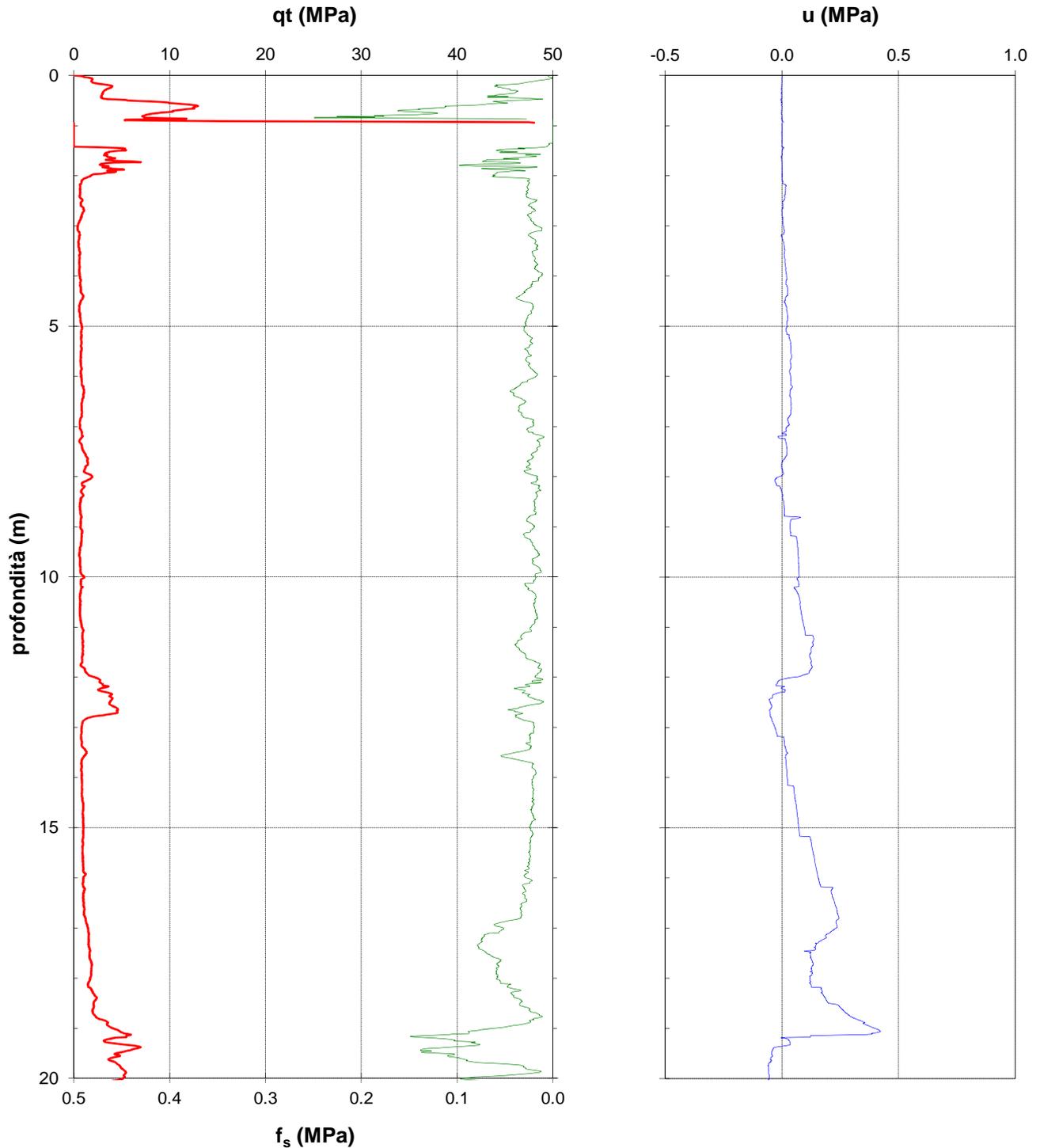
Parceggio San Guglielmo

Prova:

SCPTU 08

Data prova:

5 marzo 2013



Coordinate:

X =

Y =

Z =

Quote (m):

inizio prova = piano campagna

fine prova = 30.27 (30.22)

Note:

Prova eseguita con piezocono n. 529

Eseguito preforo superficiale mediante puntazza fino a m 1.42 in seguito al ritrovamento di un ostacolo alla profondità di m 0.95

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

Procedura di riferimento: ASTM D 3441-94

Certificato di prova n°:

rev.	data emiss.	Sperimentatore	Direttore
0	28/03/2013	Ranzini	Saccenti

Committente:

CFR

Cantiere:

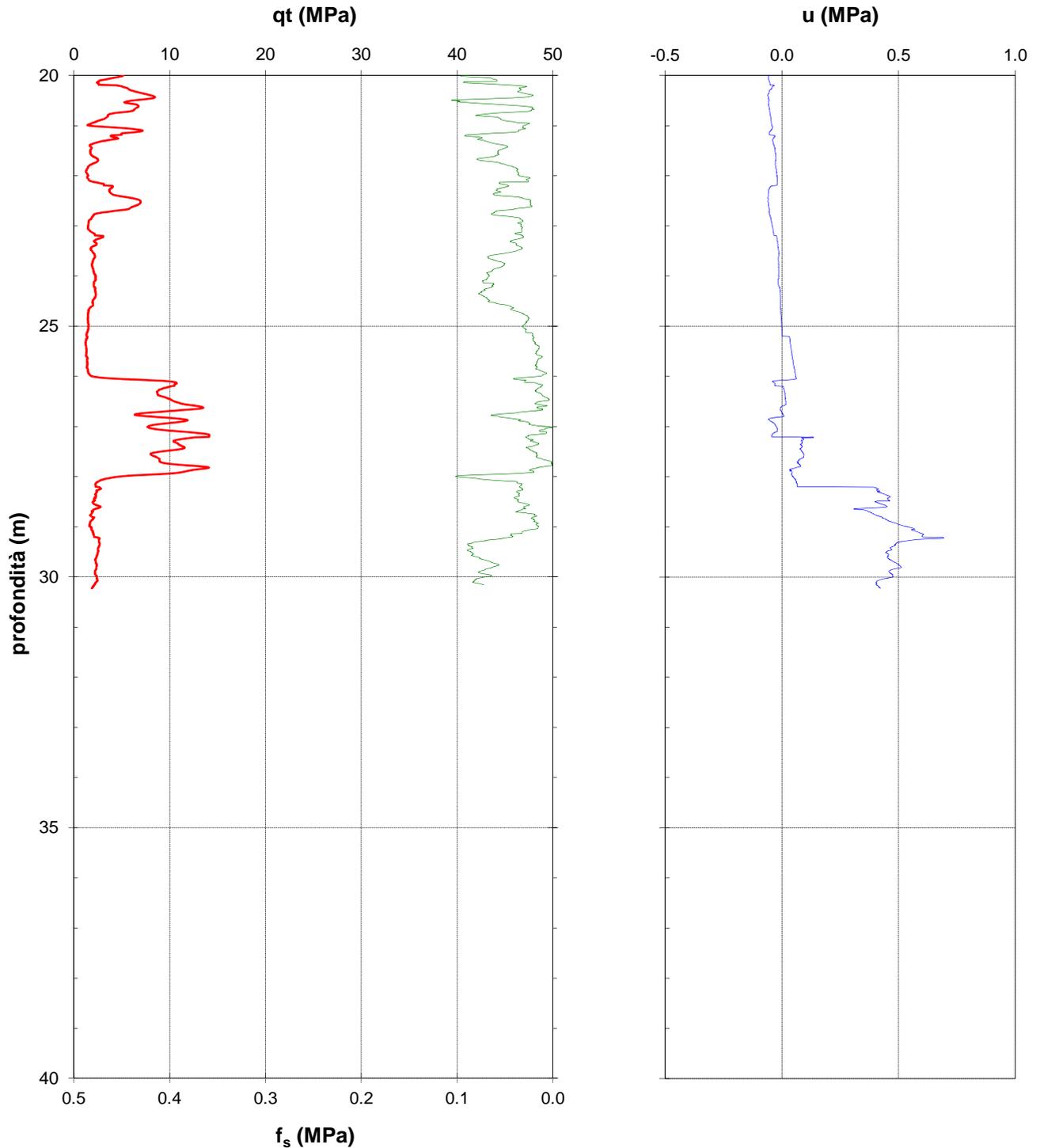
Parceggio San Guglielmo

Prova:

SCPTU 08

Data prova:

5 marzo 2013



Coordinate:

X =

Y =

Z =

Quote (m):

inizio prova = piano campagna

fine prova = 30.27 (30.22)

Note:

Prova eseguita con piezocono n. 529

Eseguito preforo superficiale mediante puntazza fino a m 1.42 in seguito al ritrovamento di un ostacolo alla profondità di m 0.95

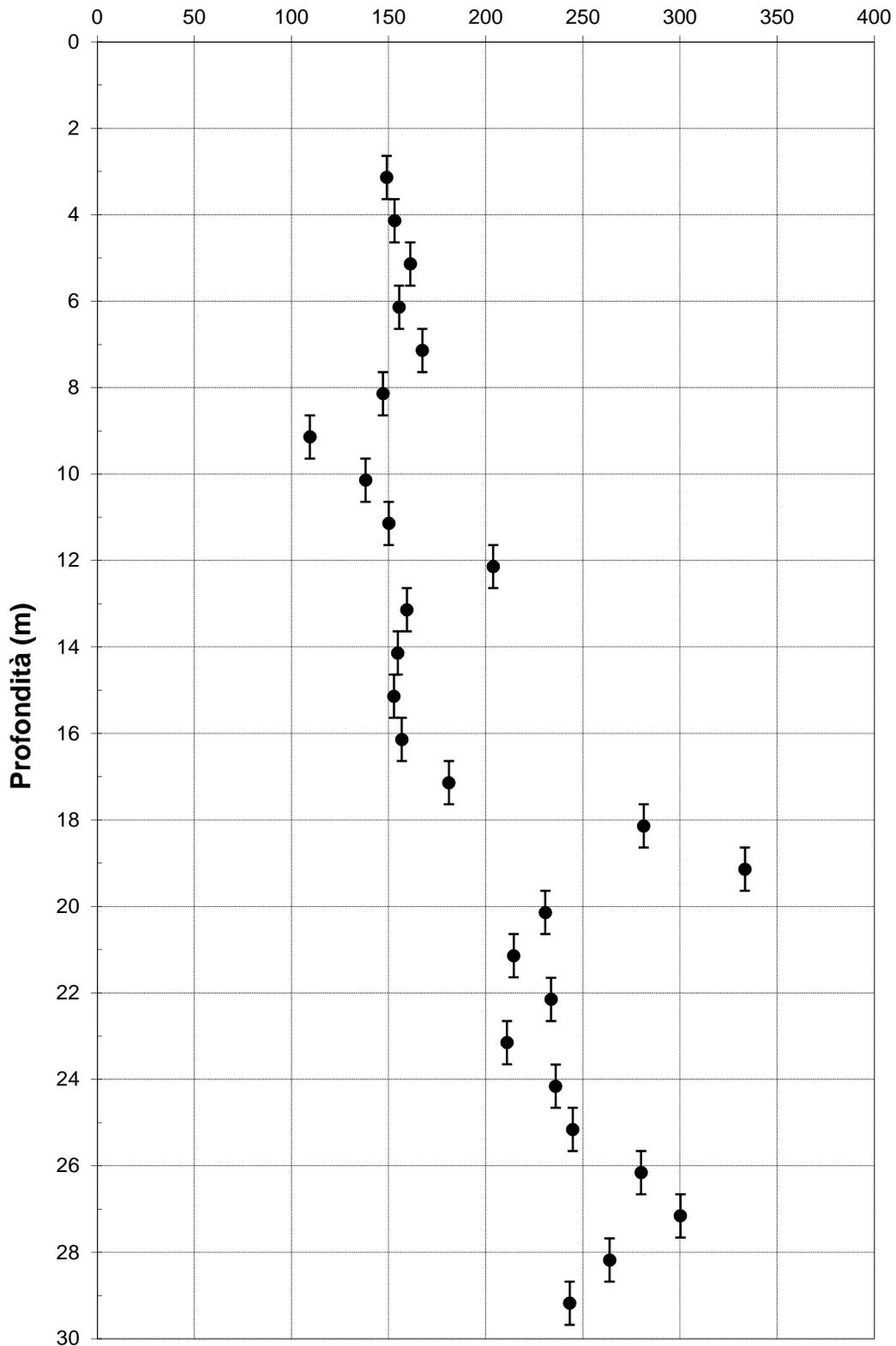
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

rev.	data emiss.	eseguito da	Direttore
0	28/03/2013	Ranzini	Saccenti

Procedura di riferimento: PT 162

Committente:	CFR
Cantiere:	Parcheggio San Guglielmo
Prova:	DH 08
Data prova:	5 marzo 2013

## Velocità onde di taglio $V_{SVH}$ (m/s)



Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

Procedura di riferimento: ASTM D 3441-94

Certificato di prova n°:

rev.	data emiss.	Sperimentatore	Direttore
0	28/03/2013	Ranzini	Saccenti

Committente:

CFR

Cantiere:

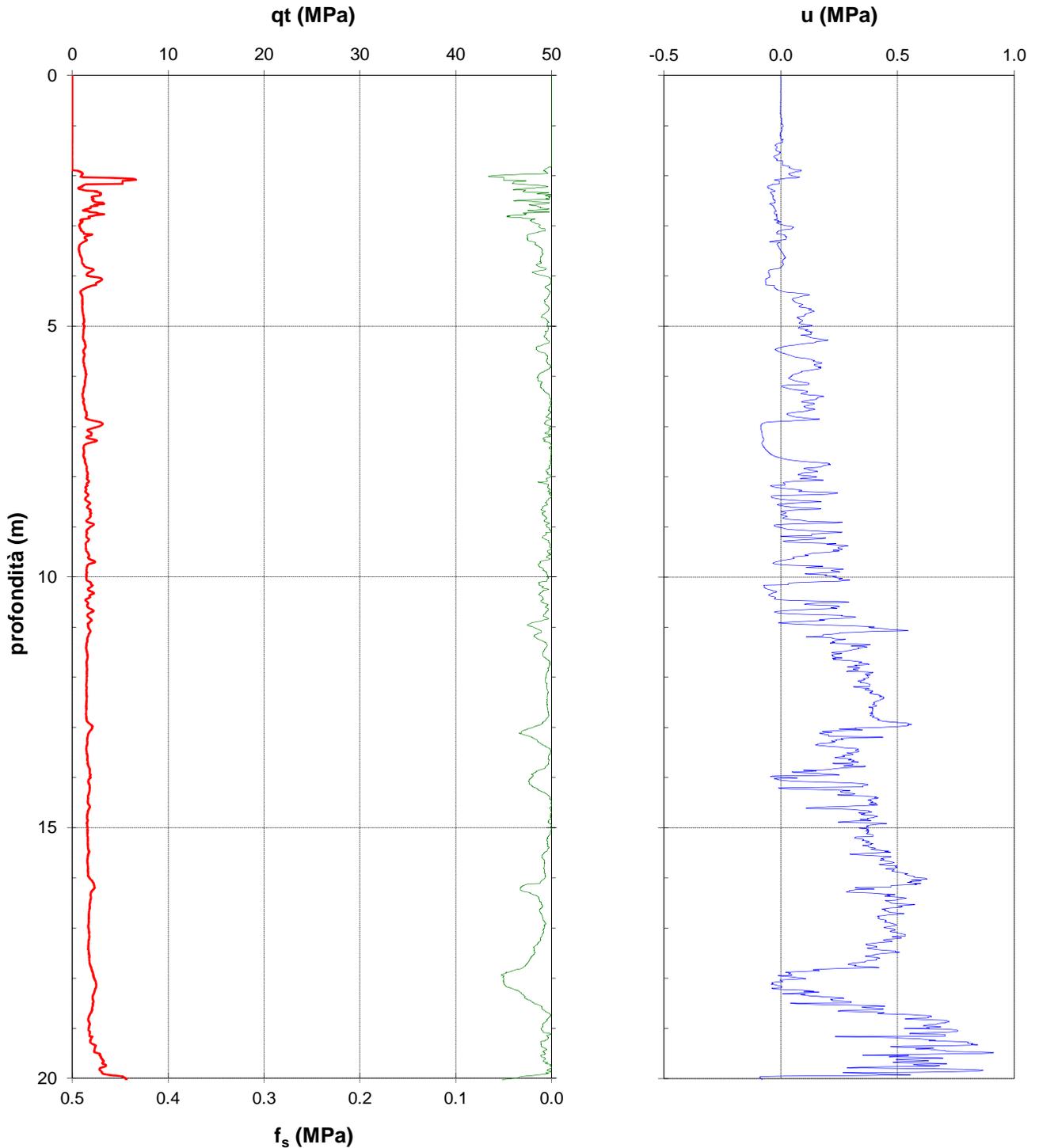
Piazza della Repubblica

Prova:

SCPTU 09

Data prova:

6 marzo 2013



Coordinate:

X =

Y =

Z =

Quote (m):

inizio prova = piano campagna

fine prova = 30.30 (30.23)

Note:

Prova eseguita con piezocono n. 540

Eseguito preforo superficiale mediante puntazza da m 0.00 a m 1.90

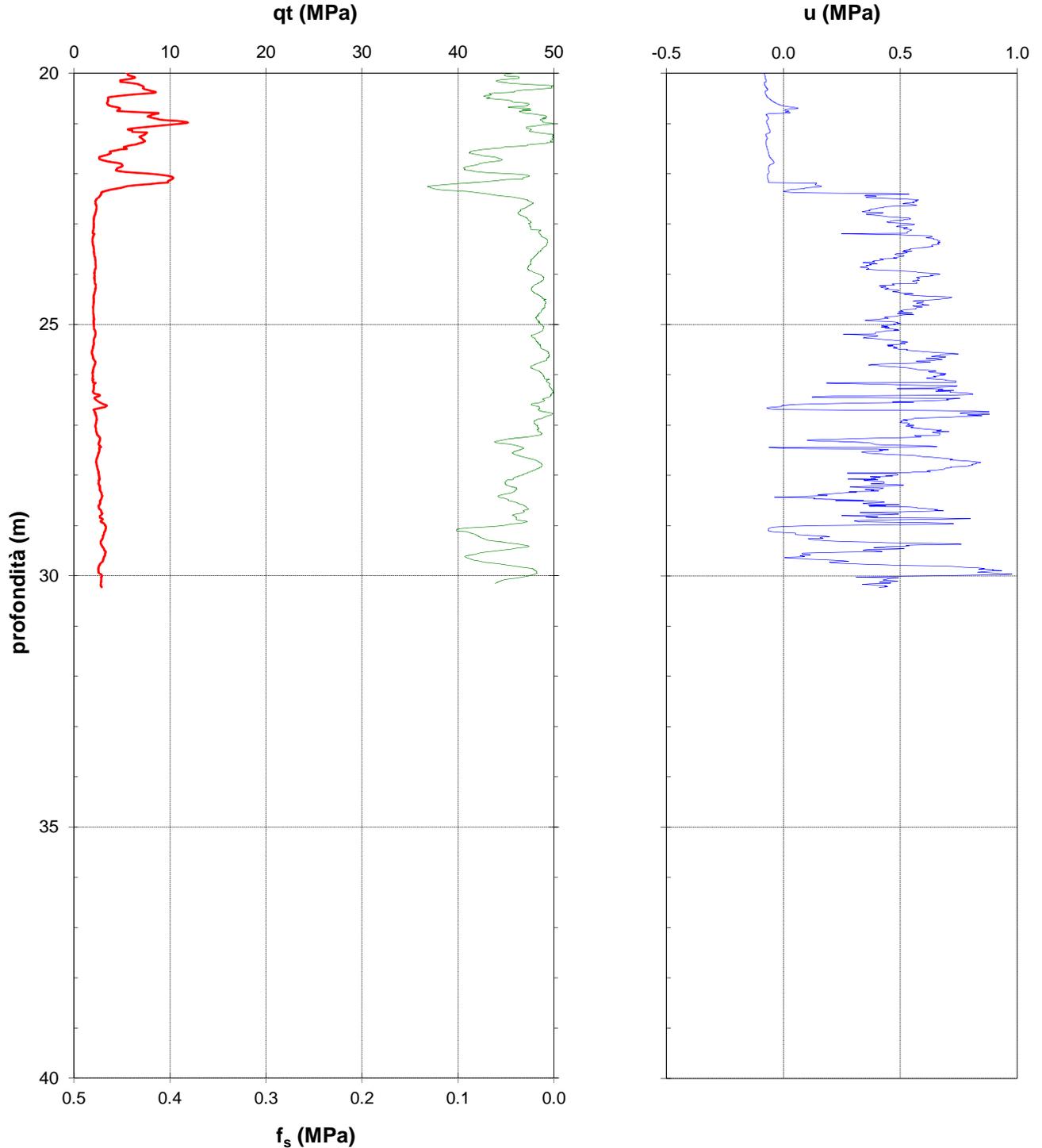
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

Procedura di riferimento: ASTM D 3441-94

Certificato di prova n°:

rev.	data emiss.	Sperimentatore	Direttore
0	28/03/2013	Ranzini	Saccenti

Committente:	CFR
Cantiere:	Piazza della Repubblica
Prova:	SCPTU 09
Data prova:	6 marzo 2013



Coordinate:	X =	Y =	Z =
Quote (m):	inizio prova = piano campagna		fine prova = 30.30 (30.23)

Note: Prova eseguita con piezocono n. 540  
 Eseguito preforo superficiale mediante puntazza da m 0.00 a m 1.90

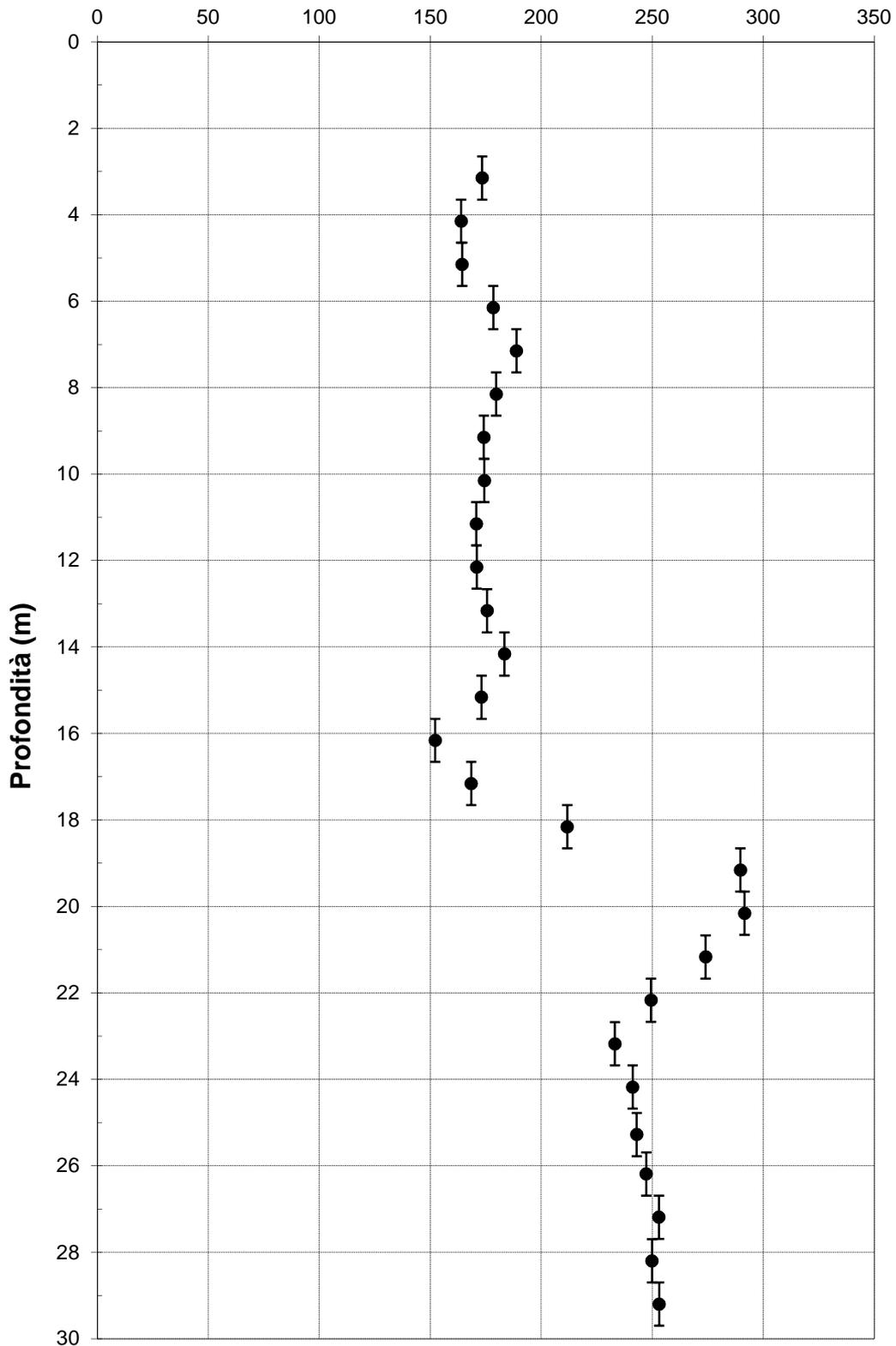
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

rev.	data emiss.	eseguito da	Direttore
0	28/03/2013	Ranzini	Saccenti

Procedura di riferimento: PT 162

Committente:	CFR
Cantiere:	Piazza della Repubblica
Prova:	DH 09
Data prova:	6 marzo 2013

## Velocità onde di taglio $V_{SVH}$ (m/s)



ARCHIVIARE - 27/09/04

Committente:	<b>PRESTIGE IMMOBILIARE s.r.l.</b> C.so Giovecca, 29 - Ferrara ,
--------------	---

Oggetto:	<b>Indagini geognostiche eseguite in Piazzetta S. Anna (FE)</b> <b>185160C327</b>
----------	--

12 V/11



**elletipi s.r.l.**  
Via A. Zucchini, 69 44100 FERRARA  
Tel. 0532.56771 - Telefax 0532.56119  
www.elletipi.it elletipi@libero.it  
**NUMERO VERDE 800-211558**



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - C. 651/10211/1/1996 - Aut. Dec. n° 5047 del 18/08/2003  
Iscritta al Registro Anagrafe Imprese di Ricerca del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
Ministero delle Attività Produttive - OPS 105 del 23/04/1993 per la certificazione CE del personale



- Prove materiali L.1086/71
- Laboratorio rocce e terre
- Geotecnica in sito
- Conglomerati bituminosi
- Diagnostica e rilievi strutturali
- Collaudi e monitoraggi
- Rilievi topografici, GPS e fotogrammetrici
- Chimica ambientale
- Metallurgia, certificazione saldature
- Resine e vernici
- Plastiche e geotessili
- Certificazione qualità materiali e prodotti
- Marcatura CE

**laboratorio prove  
ricerca e certificazione  
della Vostra qualità  
nel costruire**

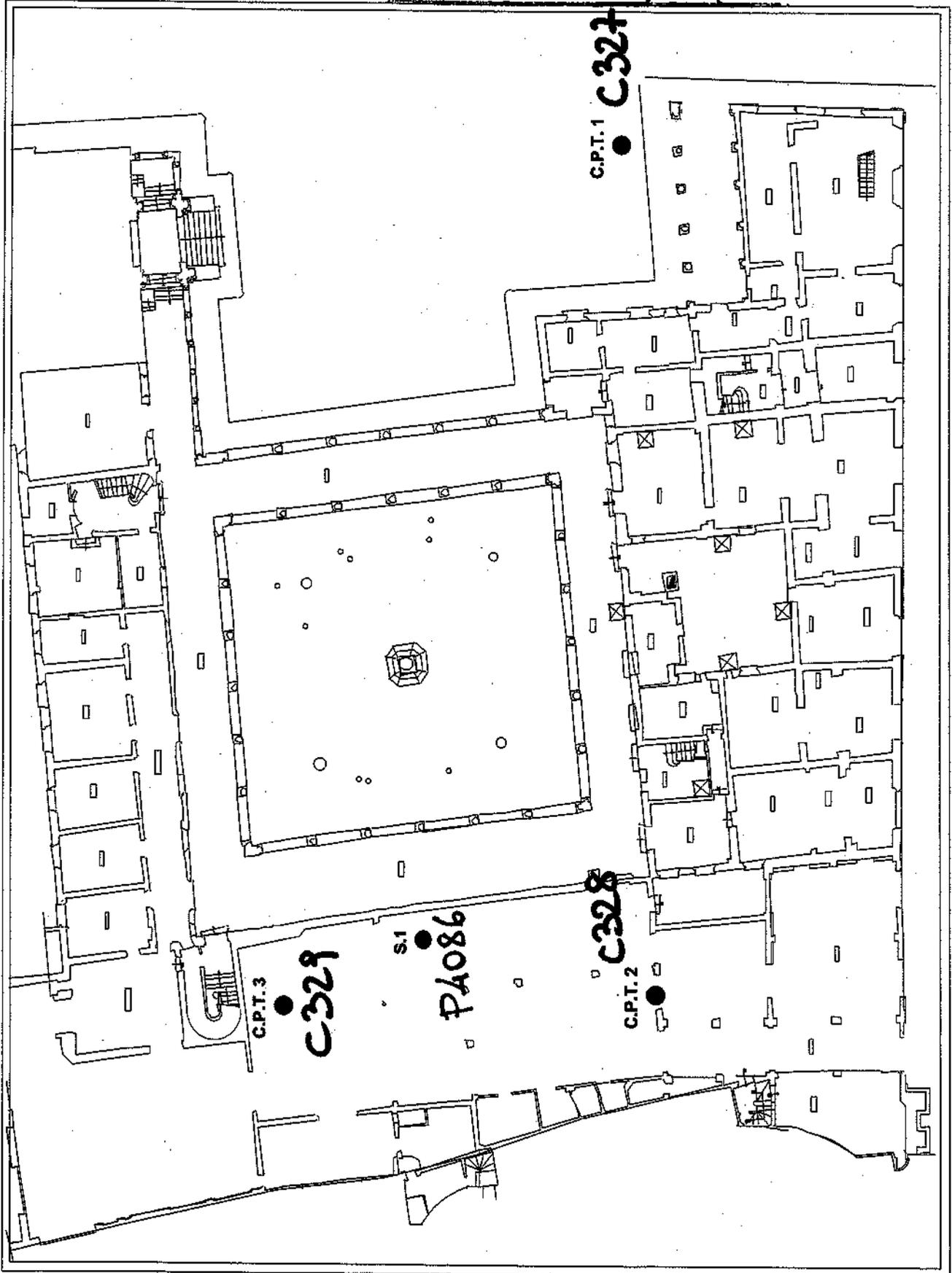




Si dichiara che il presente documento  
è una copia conforme all'originale

**elletipi** s.r.l.  
L'Amministratore Unico

Ferrara, *data*



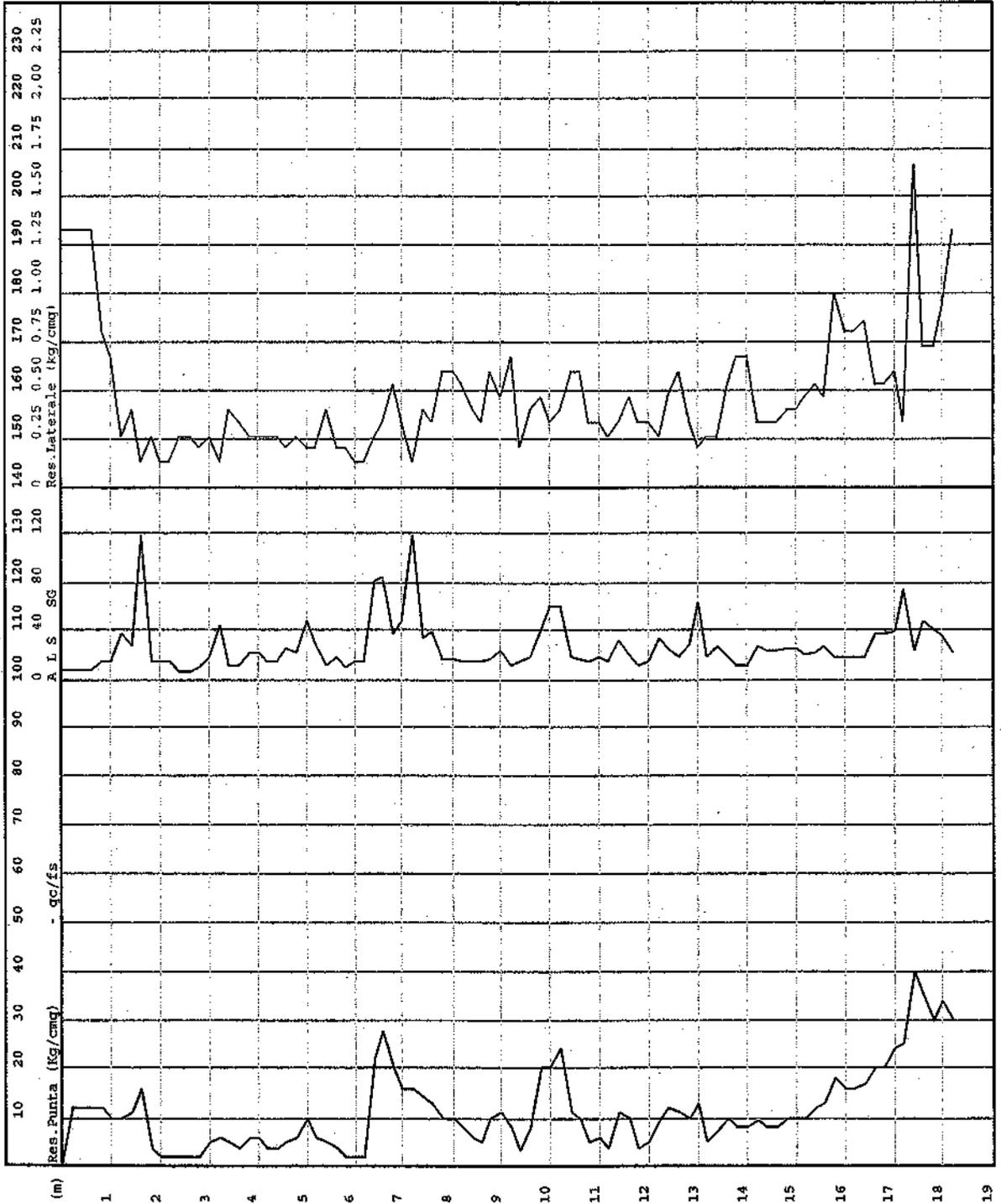
PLANIMETRIA UBICAZIONE PROVE - SCALA 1:330 -

185160C32A



Si dichiara che il presente documento  
è una copia conforme all'originale  
**elletipi** s.r.l.  
L'Amministratore Unico  
Ferrara, 06/09/04

COMMITTENTE: Prestige Immobiliare  
LOCALITA': P.zza S. Anna - Ferrara - C.P.T. 1 Piazzetta -  
DATA : Febbraio 2004 - FALDA : -2,60 m da p.c. - COMM. 1672/2003



qc: 1 cm = 10 Kg/cm2  
fs: 1 cm = 0,25 Kg/cm2  
qc/fs: 1 cm = 40

# 185160C327

COMMITTENTE: Prestige Immobiliare  
 LOCALITA': P.zza S. Anna - Ferrara - C.P.T. 1 Piazzetta -  
 DATA: Febbraio 2004 - PALDA: -2,60 m da p.c. - COMM. 1672/2003



Prof ml	Resistenza di punta					Resistenza laterale			Rapporto qc/ls			
	10	20	30	40	50	0.80		1.60	A	L	S	SG
0.20	12.0					1.33			9.0			
0.40	12.0					1.33			9.0			
0.60	12.0					1.33			9.0			
0.80	12.0					0.80			15.0			
1.00	10.0					0.67			15.0			
1.20	10.0					0.27			37.5			
1.40	11.0					0.40			27.5			
1.60	16.0					0.13			120.0			
1.80	4.0					0.27			15.0			
2.00	2.0					0.13			15.0			
2.20	2.0					0.13			15.0			
2.40	2.0					0.27			7.5			
2.60	2.0					0.27			7.5			
2.80	2.0					0.20			10.0			
3.00	5.0					0.27			18.7			
3.20	6.0					0.13			45.0			
3.40	5.0					0.40			12.5			
3.60	4.0					0.33			12.0			
3.80	6.0					0.27			22.5			
4.00	6.0					0.27			22.5			
4.20	4.0					0.27			15.0			
4.40	4.0					0.27			15.0			
4.60	5.0					0.20			25.0			
4.80	6.0					0.27			22.5			
5.00	10.0					0.20			50.0			
5.20	6.0					0.20			30.0			
5.40	5.0					0.40			12.5			
5.60	4.0					0.20			20.0			
5.80	2.0					0.20			10.0			
6.00	2.0					0.13			15.0			
6.20	2.0					0.13			15.0			
6.40	22.0					0.27			82.5			
6.60	28.0					0.33			84.0			
6.80	20.0					0.53			37.5			
7.00	16.0					0.33			48.0			
7.20	16.0					0.13			120.0			
7.40	14.0					0.40			35.0			
7.60	13.0					0.33			39.0			
7.80	10.0					0.60			16.7			
8.00	10.0					0.60			16.7			
8.20	8.0					0.53			15.0			
8.40	6.0					0.40			15.0			
8.60	5.0					0.33			15.0			
8.80	10.0					0.60			16.7			
9.00	11.0					0.47			23.6			
9.20	8.0					0.67			12.0			
9.40	3.0					0.20			15.0			
9.60	8.0					0.40			20.0			
9.80	20.0					0.47			42.9			
10.00	20.0					0.33			60.0			
10.20	24.0					0.40			60.0			
10.40	11.0					0.60			18.3			
10.60	10.0					0.60			16.7			
10.80	5.0					0.33			15.0			
11.00	6.0					0.33			18.0			
11.20	4.0					0.27			15.0			
11.40	11.0					0.33			33.0			
11.60	10.0					0.47			21.4			
11.80	4.0					0.33			12.0			
12.00	5.0					0.33			15.0			
12.20	9.0					0.27			33.7			
12.40	12.0					0.47			25.7			
12.60	11.0					0.60			18.3			
12.80	10.0					0.33			30.0			
13.00	13.0					0.20			65.0			
13.20	5.0					0.27			18.7			
13.40	7.0					0.27			26.2			
13.60	10.0					0.53			18.7			
13.80	8.0					0.67			12.0			
14.00	8.0					0.67			12.0			
14.20	9.0					0.33			27.0			
14.40	8.0					0.33			24.0			
14.60	8.0					0.33			24.0			
14.80	10.0					0.40			25.0			
15.00	10.0					0.40			25.0			
15.20	10.0					0.47			21.4			
15.40	12.0					0.53			22.5			
15.60	13.0					0.47			27.9			
15.80	18.0					1.00			18.0			
16.00	16.0					0.80			20.0			
16.20	16.0					0.80			20.0			
16.40	17.0					0.87			19.6			
16.60	20.0					0.53			37.5			
16.80	20.0					0.53			37.5			
17.00	24.0					0.60			40.0			
17.20	25.0					0.33			75.0			
17.40	40.0					1.67			24.0			
17.60	35.0					0.73			47.7			
17.80	30.0					0.73			40.9			
18.00	34.0					0.93			36.4			
18.20	30.0					1.33			22.5			

Si dichiara che il presente documento  
 è una copia conforme all'originale  
**elletipi** s.r.l.  
 L'Amministratore Unico  
 Ferrara, 04/04/04

ARCHIVIARE - 27/09/04

Committente:	<b>PRESTIGE IMMOBILIARE s.r.l.</b> C.so Giovecca, 29 - Ferrara
--------------	---

Oggetto:	<b>Indagini geognostiche eseguite in Piazzetta S.Anna (FE)</b>
----------	--

12 V/11 185160 C329



**elletipi s.r.l.**  
Via A. Zucchini, 69 44100 FERRARA  
Tel. 0532.56771 - Telefax 0532.56119  
www.elletipi.it elletipi@libero.it  
**NUMERO VERDE 800-211558**



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - C. 651/19211/1/1996 - Aut. Dec. 07/2047 del 18/08/2001  
Iscritta al Registro Anagrafe Imprese del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
Ministero delle Attività Produttive - OPS 105 del 23/04/1993 per la certificazione CE del personale



- Prove materiali L.1086/71
- Laboratorio rocce e terre
- Geotecnica in sito
- Conglomerati bituminosi
- Diagnostica e rilievi strutturali
- Collaudi e monitoraggi
- Rilievi topografici, GPS e fotogrammetrici
- Chimica ambientale
- Metallurgia, certificazione saldature
- Resine e vernici
- Plastiche e geotessili
- Certificazione qualità materiali e prodotti
- Marcatura CE

**laboratorio prove  
ricerca e certificazione  
della Vostra qualità  
nel costruire**

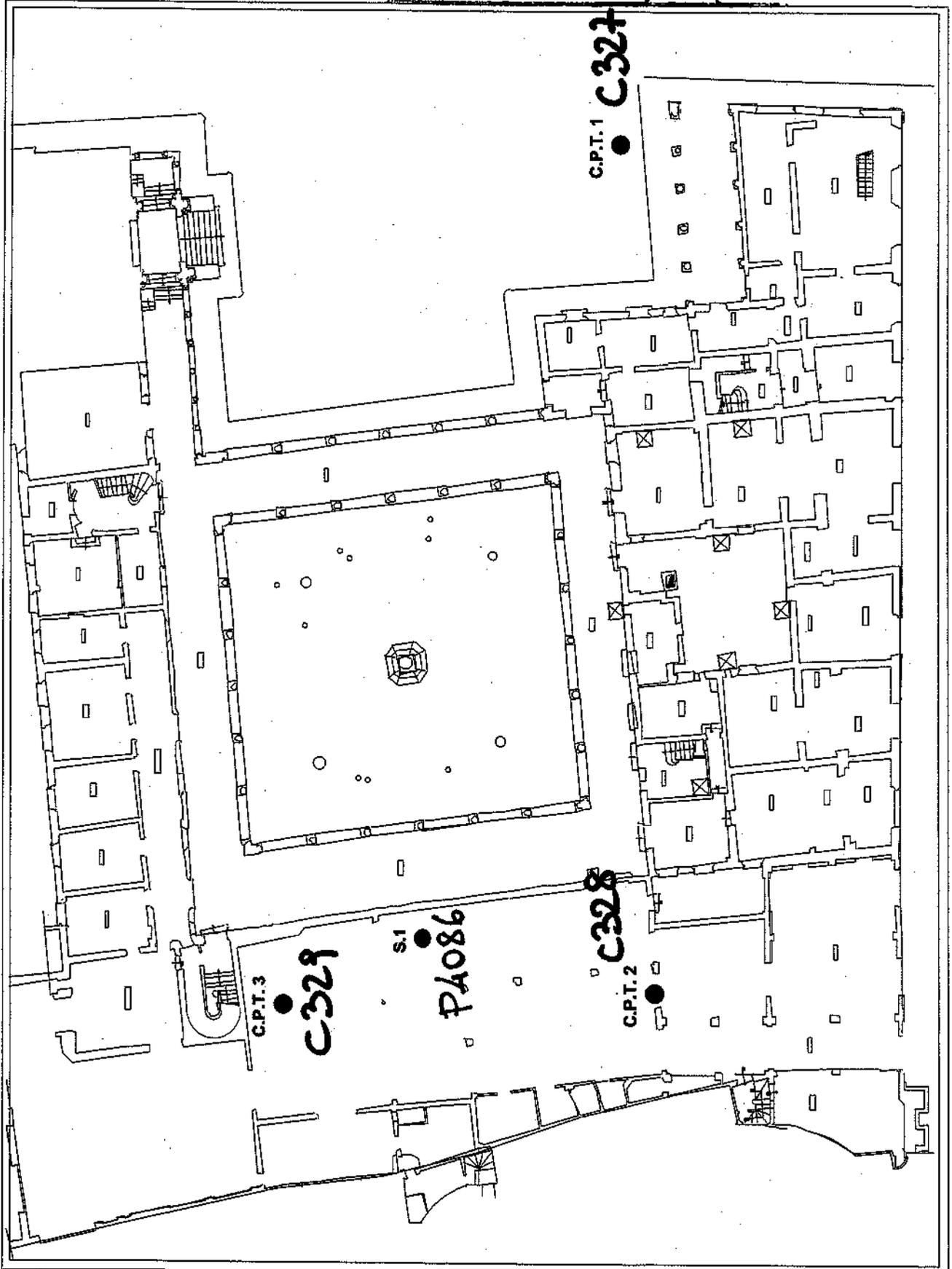




Si dichiara che il presente documento  
è una copia conforme all'originale

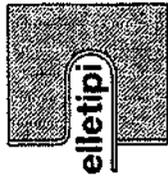
**elletipi** s.r.l.  
L'Amministratore Unico

Ferrara, *data*



PLANIMETRIA UBICAZIONE PROVE - SCALA 1:330 -

185160C329



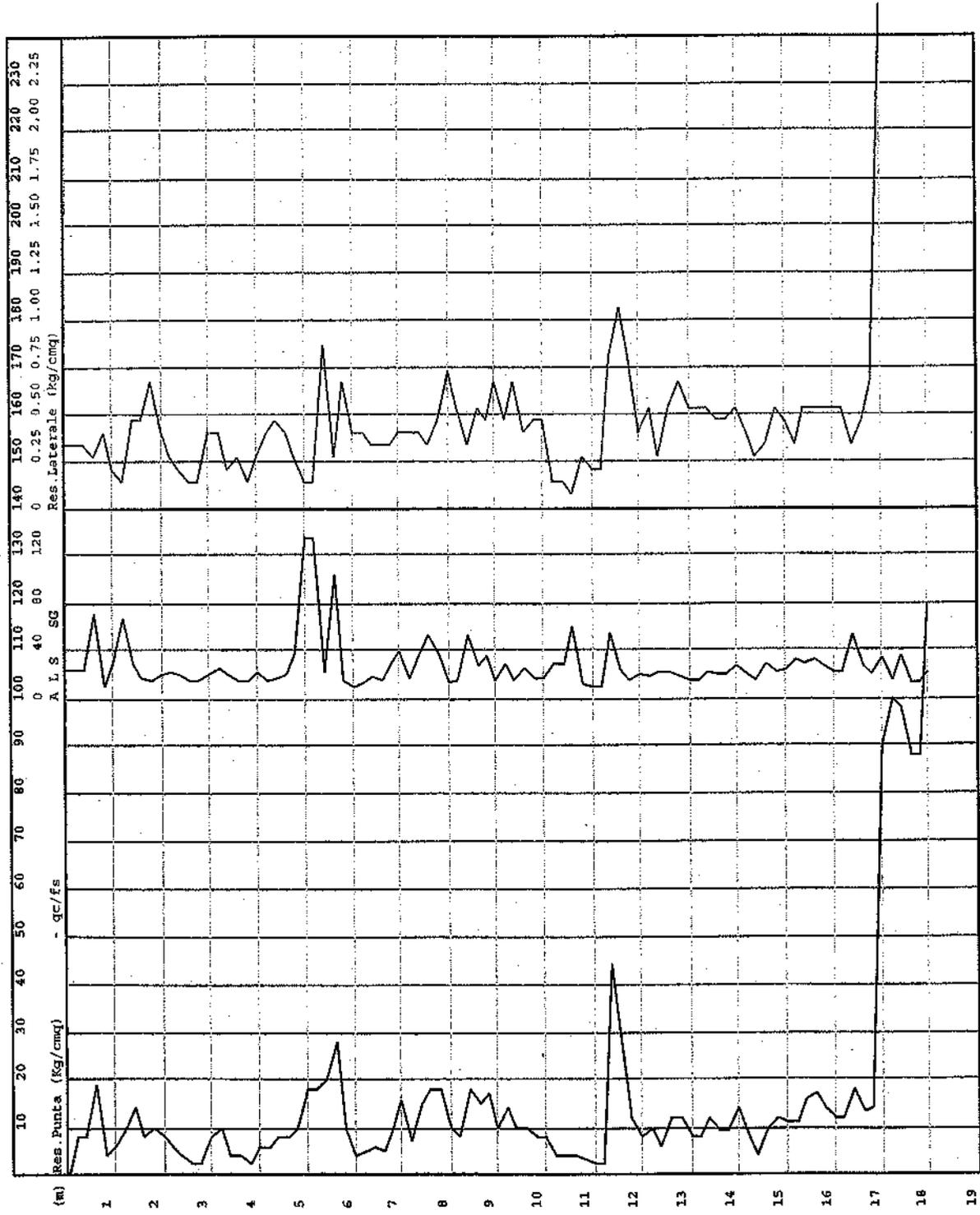
Si dichiara che il presente documento  
è una copia conforme all'originale

**elletipi** s.r.l.

L'Amministratore Unico

Ferrara, *[Signature]*

COMMITTENTE: Prestige Immobiliare  
LOCALITÀ : P.zza S. Anna - Ferrara - C.P.T. 3 Cort. int. verso Baldini -  
DATA : Febbraio 2004 - FALDA : -2,40 m da p.c. - COMM. 1672/2003



qc: 1 cm = 10 Kg/cm2  
fs: 1 cm = 0.25 Kg/cm2  
qc/fs: 1 cm = 40

# 185160C329

COMMITTENTE: Prestige Immobiliare  
 LOCALITA': P.zza S. Anna - Ferrara - C.P.T. 3 Cort. int. verso Baldini -  
 DATA: Febbraio 2004 - FALDA: -2,40 m da p.c. - COMM. 1672/2003



Prof ml	Resistenza di punta					Resistenza laterale			Rapporto qc/Es			
	20	40	60	80	100	1.00	2.00	A	L	S	SG	
0.20	8.0					0.33		24.0				
0.40	8.0					0.33		24.0				
0.60	19.0					0.27		71.2				
0.80	4.0					0.40		10.0				
1.00	6.0					0.20		30.0				
1.20	9.0					0.13		67.5				
1.40	14.0					0.47		30.0				
1.60	8.0					0.47		17.1				
1.80	10.0					0.67		15.0				
2.00	8.0					0.40		20.0				
2.20	6.0					0.27		22.5				
2.40	4.0					0.20		20.0				
2.60	2.0					0.13		15.0				
2.80	2.0					0.13		15.0				
3.00	8.0					0.40		20.0				
3.20	10.0					0.40		25.0				
3.40	4.0					0.20		20.0				
3.60	4.0					0.27		15.0				
3.80	2.0					0.13		15.0				
4.00	6.0					0.27		22.5				
4.20	6.0					0.40		15.0				
4.40	8.0					0.47		17.1				
4.60	8.0					0.40		20.0				
4.80	10.0					0.27		37.5				
5.00	18.0					0.13		135.0				
5.20	18.0					0.13		135.0				
5.40	20.0					0.87		23.1				
5.60	28.0					0.27		105.0				
5.80	10.0					0.67		15.0				
6.00	4.0					0.40		10.0				
6.20	5.0					0.40		12.5				
6.40	6.0					0.33		18.0				
6.60	5.0					0.33		15.0				
6.80	10.0					0.33		30.0				
7.00	15.0					0.40		40.0				
7.20	7.0					0.40		17.5				
7.40	15.0					0.40		37.5				
7.60	18.0					0.33		54.0				
7.80	18.0					0.47		38.6				
8.00	10.0					0.73		13.6				
8.20	8.0					0.53		15.0				
8.40	18.0					0.33		54.0				
8.60	15.0					0.53		28.1				
8.80	17.0					0.47		36.4				
9.00	10.0					0.67		15.0				
9.20	14.0					0.47		30.0				
9.40	10.0					0.67		15.0				
9.60	10.0					0.40		25.0				
9.80	8.0					0.47		17.1				
10.00	8.0					0.47		17.1				
10.20	4.0					0.13		30.0				
10.40	4.0					0.13		30.0				
10.60	4.0					0.07		60.0				
10.80	3.0					0.27		11.2				
11.00	2.0					0.20		10.0				
11.20	2.0					0.20		10.0				
11.40	44.0					0.80		55.0				
11.60	26.0					1.07		24.4				
11.80	12.0					0.80		15.0				
12.00	8.0					0.40		20.0				
12.20	10.0					0.53		18.7				
12.40	6.0					0.27		22.5				
12.60	12.0					0.53		22.5				
12.80	12.0					0.67		18.0				
13.00	8.0					0.53		15.0				
13.20	8.0					0.53		15.0				
13.40	12.0					0.53		22.5				
13.60	9.0					0.47		19.3				
13.80	9.0					0.47		19.3				
14.00	14.0					0.53		26.2				
14.20	8.0					0.40		20.0				
14.40	4.0					0.27		15.0				
14.60	10.0					0.33		30.0				
14.80	12.0					0.53		22.5				
15.00	11.0					0.47		23.6				
15.20	11.0					0.33		33.0				
15.40	16.0					0.53		30.0				
15.60	17.0					0.53		31.9				
15.80	14.0					0.53		26.2				
16.00	12.0					0.53		22.5				
16.20	12.0					0.53		22.5				
16.40	18.0					0.33		54.0				
16.60	13.0					0.47		27.9				
16.80	14.0					0.67		21.0				
17.00	90.0					2.67		33.8				
17.20	100.0					6.67		15.0				
17.40	98.0					2.80		35.0				
17.60	88.0					6.13		14.3				
17.80	88.0					6.13		14.3				
18.00	120.0					5.33		22.5				

Si dichiara che il presente documento  
 è una copia conforme all'originale  
**elletipi s.r.l.**  
 Ferrara, Odore di Ferrarese Unico  
 [Signature]

LOCALITA' zona CORSO GIOVECCA area BANCA NAZIONALE DELL'AGRICOLTURA

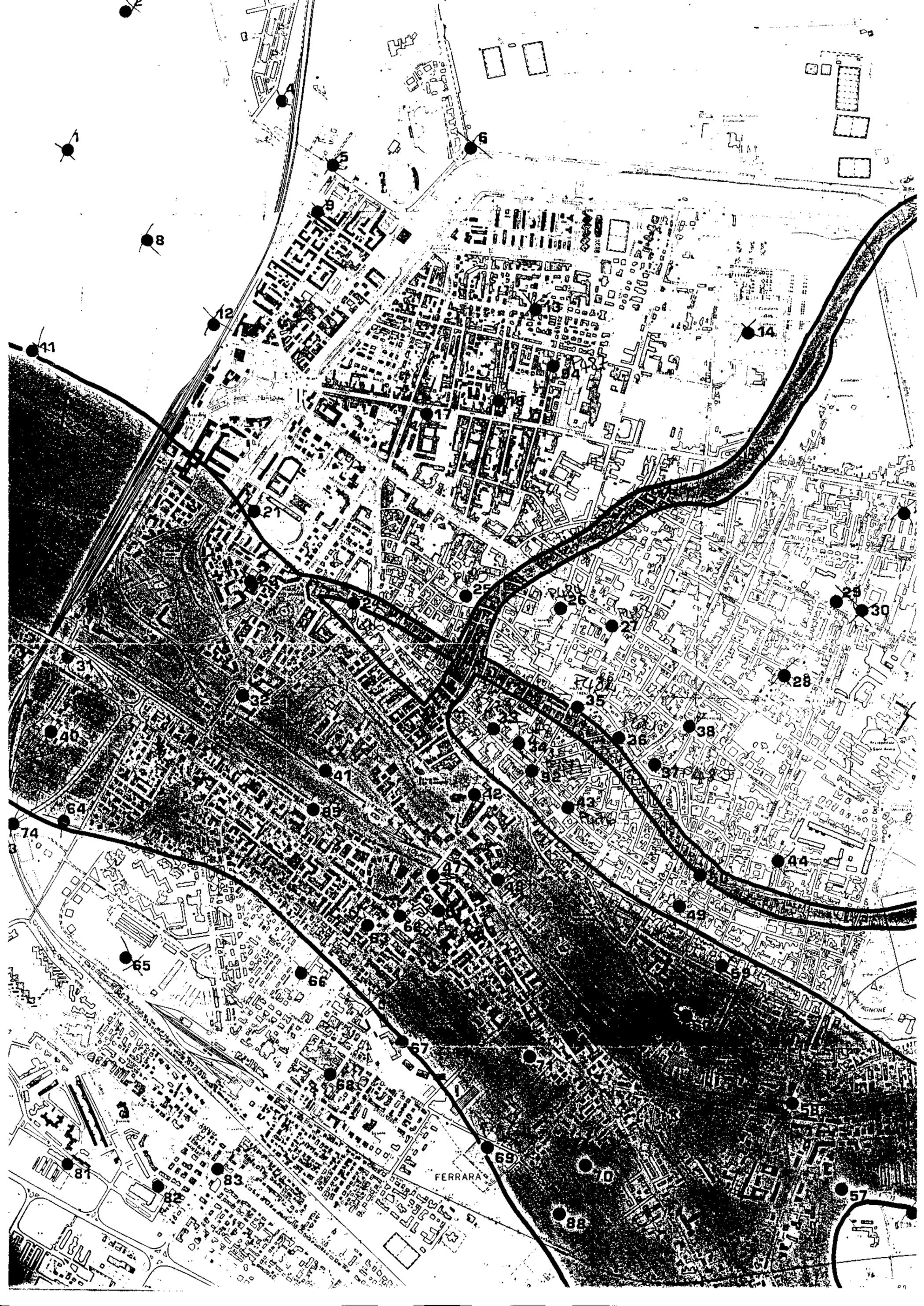
SONDAGGIO

N. S27

METRI	SIMBOLOGIA STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	LIVELLO FALDA
			1.50 MT
1		riporto	
2		argilla limosa	
3			
4		sabbia limosa	
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

18016 T405 spettro  
UBRUG4

185160 P483 DATO: R  
OPC: 7,6 m PROFONDITA': 5 m  
COMUNE: FERRARA



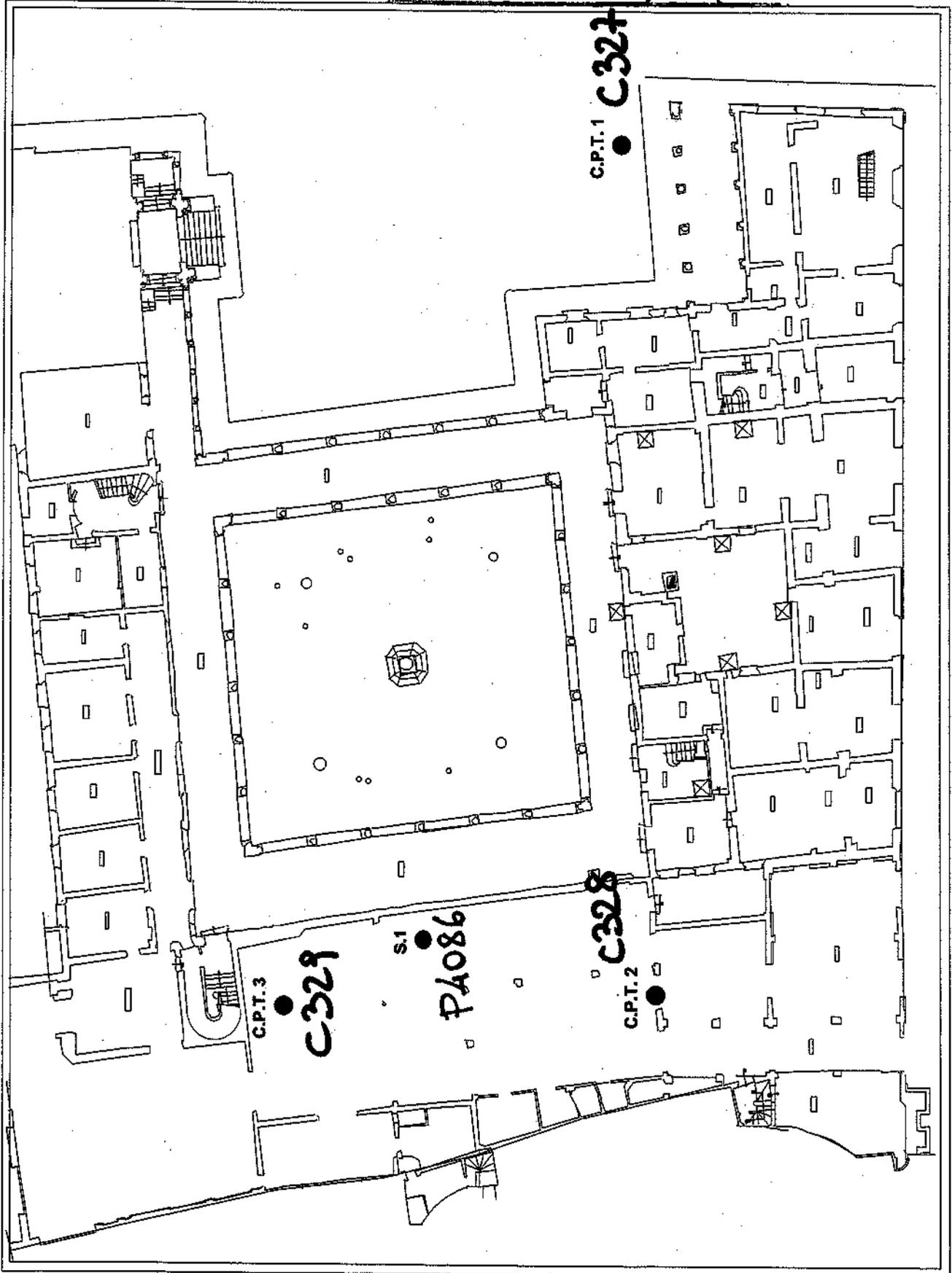




Si dichiara che il presente documento  
è una copia conforme all'originale

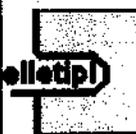
**elletipi** s.r.l.  
L'Amministratore Unico

Ferrara, *data*



PLANIMETRIA UBICAZIONE PROVE - SCALA 1:330 -

185160P4086

 <b>elletipi s.r.l.</b> Via Modena, 107/109 44100 FERRARA Tel. (0532) 56.771 Telefax (0532) 56.119	Inizio Esecuzione 29/01/04	Fine Esecuzione 30/01/04	Metodo Perfor. carotaggio continuo	Sondaggio S 1										
	Quota p.campagna		Attrezzo carotiere semplice diam. 101 mm											
Committente PRESTIGE IMMOBILIARE S.r.l. - COMM. 1672/04			Località Piazza S. Anna - Ferrara											
Campioni Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN]		Foto 4 x 4 casse	Livello Acqua Data 30/01/04	Prof. Foro Mt. p.c. 2.20	Prof. Riv. 20.00 18.50	Assistente Rossi Operatore Fabbri								
MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBO LOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	%	P.P.	T.V.	S.P.T.			Liv. acqua	Piezometro
			tipo	num	PROF					R.Q.D.	kg/cm2	kg/cm2		
1	0,30					Pavimentazione in mattone								
2	1,30					Limo argilloso marrone con frammenti di mattone sparsi								
3	2,70					Limo argilloso azzurro con rari ciottoli di mattone e resti organici sparsi							2,20	
4	3,30					limo verdastro a tratti debolmente sabbioso								
5	5,00		SH 1	4,5-5,00		Limo argilloso marrone verdastro con tracce di ossidazione								
6	6,50		SH 2	6-6,50		Altemanze centimetriche di limi sabbiosi ed argillosi marrone verdastro								
7	7,30					Argilla debolmente limosa grigio verde								
8	7,70					Limo sabbioso azzurro con livello organico marrone scuro								
9	8,30		SH 3	8,5-8,00		Argilla debolmente limosa grigi verde								
10						Argilla limosa organica grigio nerastra								
11	11,00													
12														
13						Limo argilloso azzurro								
14														
15	14,80 15,00					Torba marrone bruno								
16	15,60 16,10					Argilla grigio scuro								
17						Argilla grigio chiaro con noduli calcarei sparsi								
18														
19						Sabbia fine debolmente limosa grigio chiaro								
	20,00													

elletipi s.r.l.  
 CERTIFICATO DI PROVA IN SITO  
 Prof. N° 11/04  
 Pag. 1 di 1  
 Data 23/02/04  
 Il Direttore:

Si dichiara che il presente documento è una copia conforme all'originale  
 elletipi s.r.l.  
 L'Amministratore Unico  
 Ferrara, 23/02/04

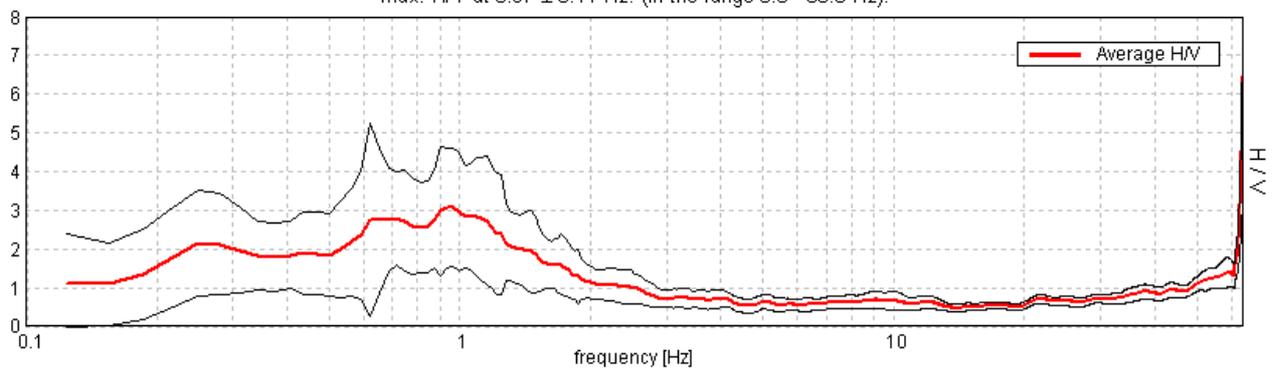
## FERRARA MZS, S.GUGLIELMO PARCHEGGIO

Instrument: TE3-0006/01-13  
Start recording: 04/05/13 10:52:51      End recording: 04/05/13 11:32:52  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
GPS data not available

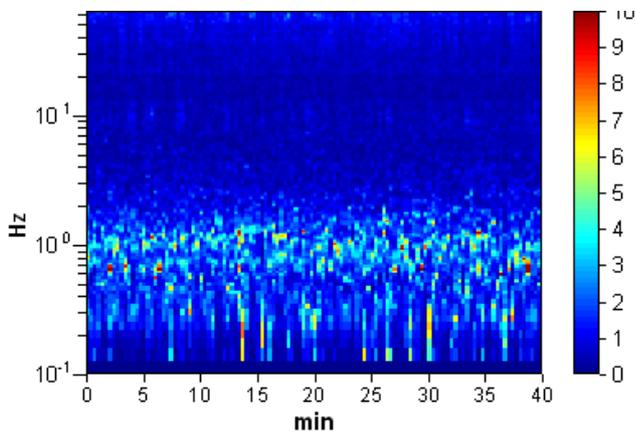
Trace length: 0h40'00".      Analysis performed on the entire trace.  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 20 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 5%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

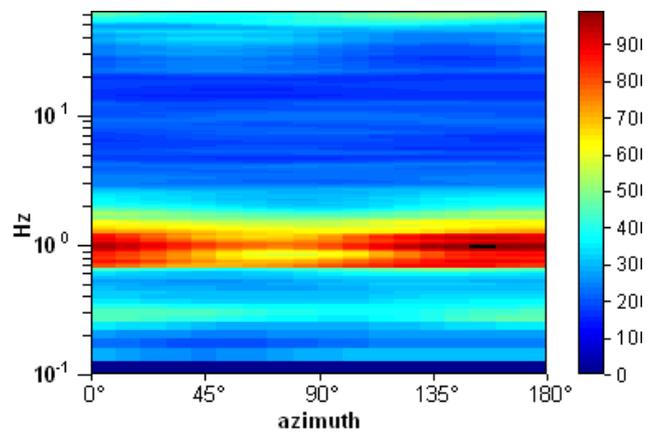
Max. H/V at  $0.97 \pm 0.11$  Hz. (In the range 0.0 - 50.0 Hz).



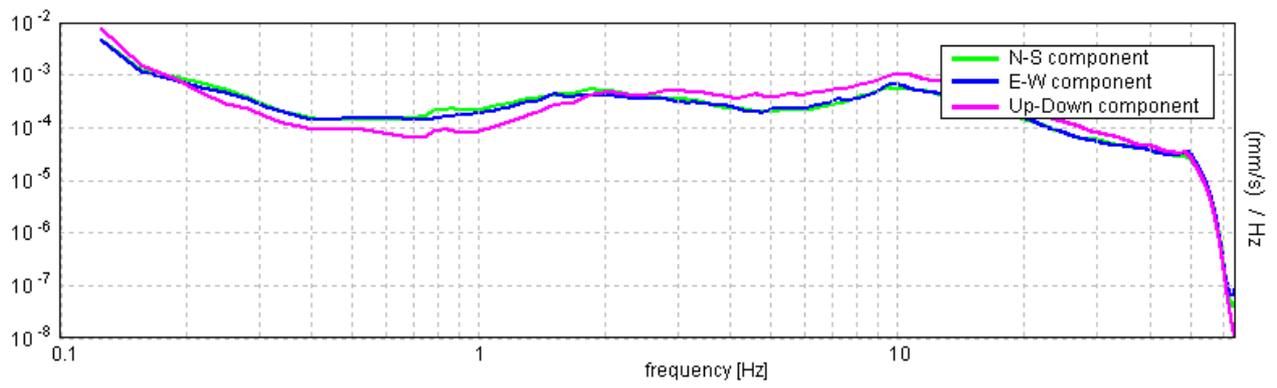
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $0.97 \pm 0.11$  Hz (in the range 0.0 - 50.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.97 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2325.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 1 out of 48 times		NO

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.07 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.11601  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.11238 < 0.14531$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.5416 < 2.0$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

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

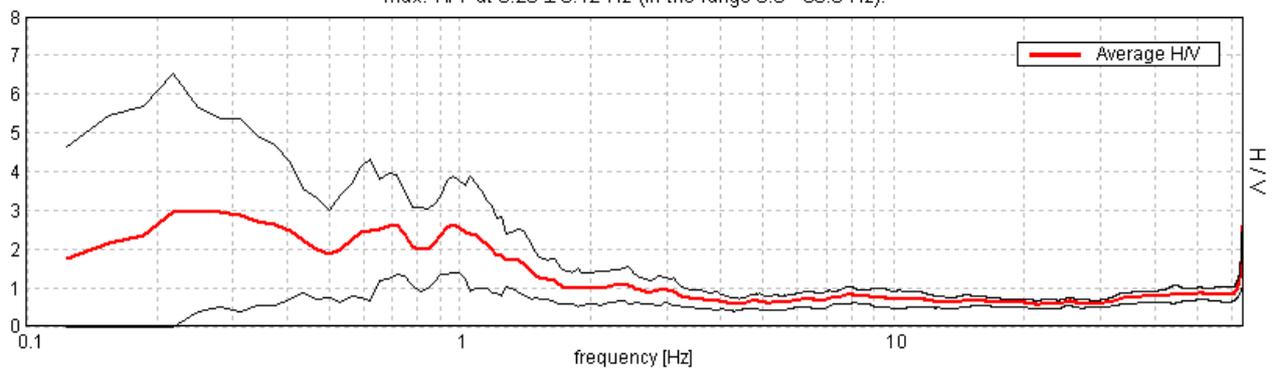
## FERRARA MZS, PIAZZA REPUBBLICA

Instrument: TE3-0006/01-13  
Start recording: 04/05/13 08:49:39 End recording: 04/05/13 09:29:39  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
GPS data not available

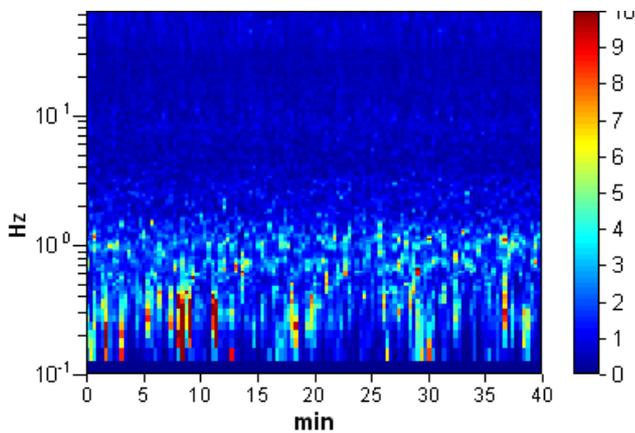
Trace length: 0h40'00". Analysis performed on the entire trace.  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 20 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 5%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

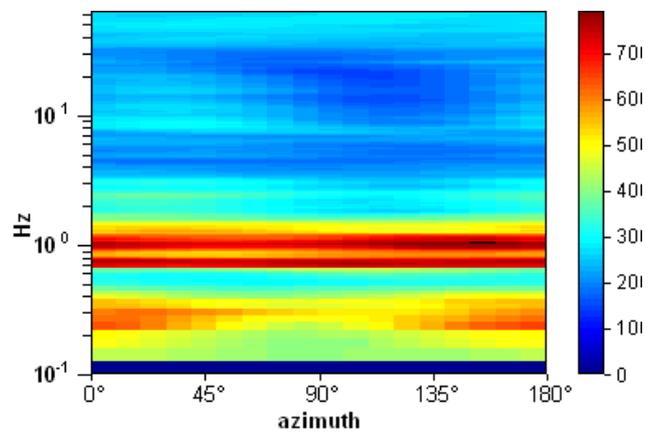
Max. H/V at  $0.25 \pm 0.12$  Hz (in the range 0.0 - 50.0 Hz).



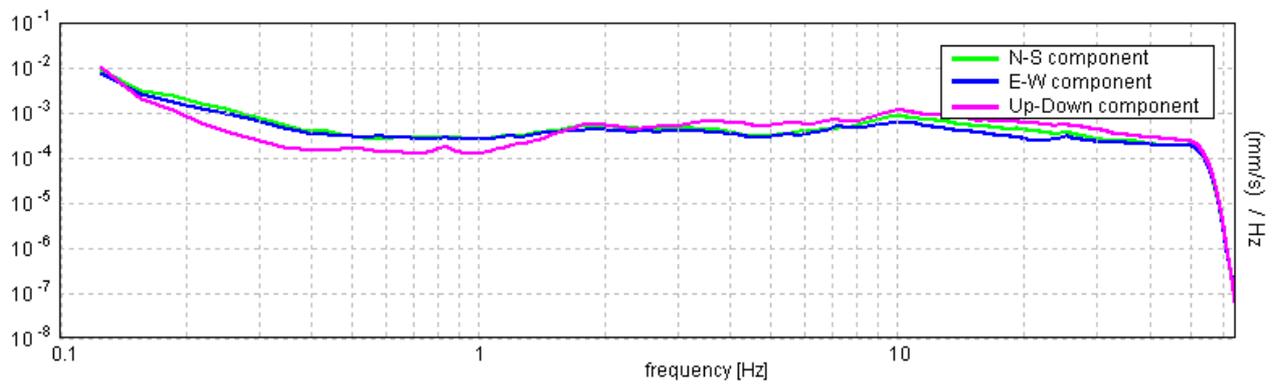
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $0.25 \pm 0.12$  Hz (in the range 0.0 - 50.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.25 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$600.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 3 out of 13 times		<b>NO</b>

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	<b>OK</b>	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
$A_0 > 2$	$3.01 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.4817  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.12042 < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$2.6291 < 2.5$		<b>NO</b>

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

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