

*Accordo Operativo per Ambito Insediativo  
A11-18, con destinazione Logistica e  
Terziario\_direzionale\_commerciale, posto  
su Via Amendola (comparto Ex Sfir).*

*Via Amendola  
(fg. 12 particelle 33,81, 106, 107, 108, 109,  
449, 452, 2324)*

**TAV.R1**

*Relazione Geologica e Sismica  
REV. 1*

*PROPRIETA':*

Bernardi Immobiliare  
via maestri del lavoro n. 100  
p.iva 03900670401

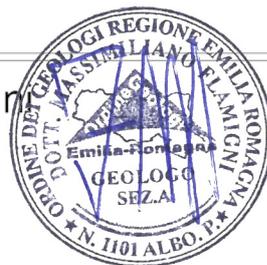
Data: febbraio 2021

Rif. Accordo Operativo

**Arch. Silvia Mazza**

via cesare battisti 13  
47034 forlimpopoli (FC)  
archsilviamazza@libero.it  
347 3175136  
0543 745460

geologo: Dott. Massimiliano Flamigni  
FLMMSM71A12D705G



progetto: Arch. Silvia Mazza  
piazza pompilio n. 6, forlimpopoli  
MZZSLV76H54C573K

## **INTRODUZIONE**

La BERNARDI IMMOBILIARE s.r.l. mi ha incaricato di predisporre la campagna di indagini geognostiche, effettuare le analisi e redigere la relazione geologica e sismica per verificare le condizioni generali di edificabilità di un comparto, a nord ovest dell'abitato di Forlimpopoli, in previsione dell'Accordo Operativo per Ambito Insediativo A11-18, con destinazione Logistica e Terziario/direzionale/commerciale, posto su Via Amendola (comparto Ex Sfir)".

Per questo lavoro si è proceduto:

- ad una accurata ricerca bibliografica con reperimento dei dati disponibili e delle cartografie di base e tematiche necessarie,
- ad un sopralluogo sull'area,
- alla organizzazione, predisposizione ed esecuzione di una campagna di indagini geognostiche,
- alla restituzione dei dati, all'analisi dei risultati ed alle stesura della presente relazione.

## **Allegati**

In calce alla presente relazione sono trasmessi i seguenti allegati:

- inquadramento corografico in scala 1:25.000,
- inquadramento topografico in scala 1:5.000,
- carta geologica pubblicata dalla regione Emilia-Romagna ingrandita alla scala 1:5.000,
- mappa della perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico della variante di coordinamento tra il Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli ed il Piano di Gestione del rischio alluvioni alla scala 1:25.000,
- mappa dei tiranti idrici di riferimento per le aree di pianura sottoposte a rischio di allagamento (Art. 6) della variante di coordinamento tra il Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli ed il Piano di Gestione del rischio alluvioni ingrandito alla scala 1:5.000,
- mappa dei tiranti idrici di riferimento (estratto dal DEM allegato alla direttiva idraulica) per le aree di pianura sottoposte a rischio di allagamento (Art. 6) della variante di coordinamento tra il Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli ed il Piano di Gestione del rischio alluvioni ingrandito alla scala 1:2.500,
- planimetria generale dell'intervento in scala 1:2500 con indicazione dei punti di esecuzione delle indagini geognostiche eseguite e disponibili,
- sezione geologica schematica,

- esiti delle indagini geognostiche e stratigrafie disponibili,
- esiti delle indagini geognostiche eseguite,
- esito dell'indagine geofisica eseguita.

### **INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO**

Sulle cartografie ufficiali della Regione Emilia-Romagna l'area di intervento è individuabile sulla Tavoletta – in scala 1:25.000 – 255 NO - Forlimpopoli (Tavola 1) e, ad una scala più grande, sull'Elemento – in scala 1:5.000 – 255024 – Forlimpopoli Ovest (Tavola 2).

Sulle planimetrie catastali del Comune di Forlimpopoli l'area è individuabile sul foglio 12 particelle 33, 81, 106, 107, 108, 109, 449, 452 e 2324 (Tavola 2 Bis).

### **INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE**

L'area di intervento si trova nella porzione orientale della pianura padana.

I depositi di pianura sono oggi classificati in base ai limiti stratigrafici inconformi (discontinuità nella sedimentazione) che li comprendono e che consentono di individuare diverse unità (unità allostratigrafiche) che consentono di differenziare depositi tessituralmente anche molto simili e pertanto in altra maniera non distinguibili.

Le varie unità, di rango via via “meno importante”, sono conosciute come supersintemi, sintemi e subsintemi.

Nel quadro geologico regionale della pianura tutti i depositi quaternari marini sono inseriti nel “Supersintema del Quaternario marino” e tutti i depositi continentali fanno invece parte del “Supersintema emiliano-romagnolo”.

Il “Supersintema emiliano-romagnolo” è, a sua volta, suddiviso in due unità (sintemi): il “Sintema emiliano-romagnolo inferiore” (AEI) e il “Sintema emiliano-romagnolo superiore” (AES).

La figura 1 (fonte Regione Emilia-Romagna) riporta la suddivisione in subsintemi all'interno del Sintema emiliano-romagnolo superiore ed è valida per il settore orientale e costiero della pianura padana, nel cui ambito consente di inquadrare correttamente i depositi presenti nel sottosuolo.

L'area in esame (vedi anche carta geologica di Tavola 3 in allegato) è impostata su depositi alluvionali che in affioramento sono di natura prevalentemente limoso-argillosa e limoso-sabbiosa.

Nel sottosuolo questi depositi sono organizzati in più cicli deposizionali grossolani alla base e fini al tetto ed il susseguirsi dei vari cicli ha originato una geometria complessa del sottosuolo della pianura.

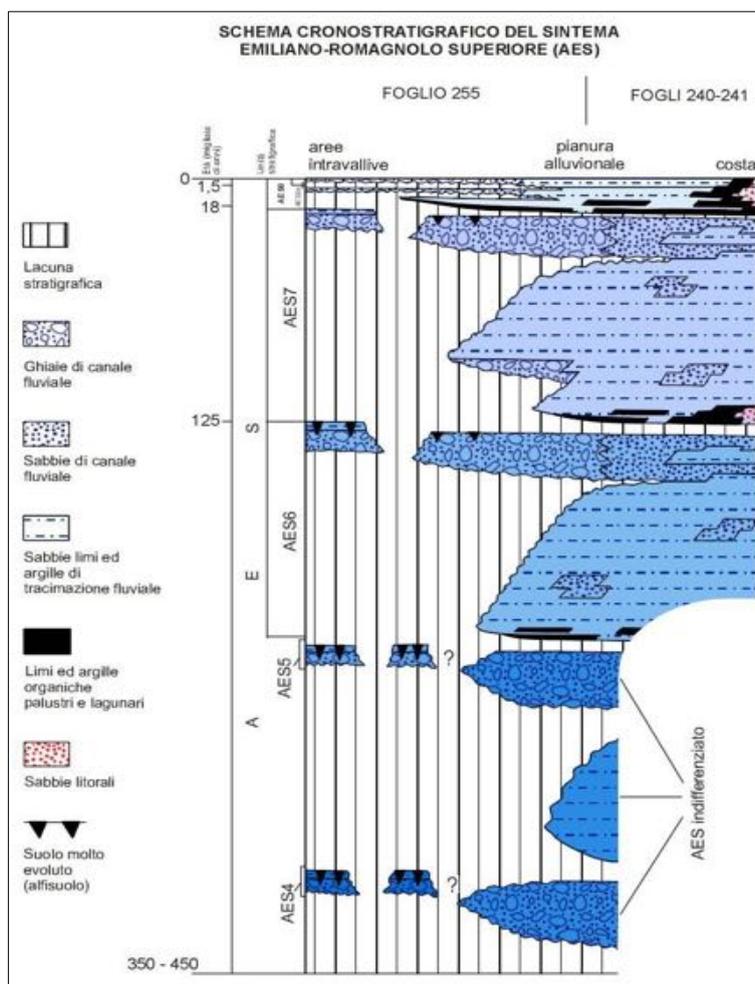


Figura 1: Schema del modello stratigrafico dell'AES adottato per il settore orientale e costiero della pianura emiliano – romagnola.

Lo stralcio di sezione geologica della figura sulla pagina seguente (l'immagine è stata ottenuta ritagliando la sezione 83, pubblicata dalla Regione Emilia-Romagna, nell'intorno dell'area di interesse) fornisce una rappresentazione del sottosuolo nell'intorno dell'area.

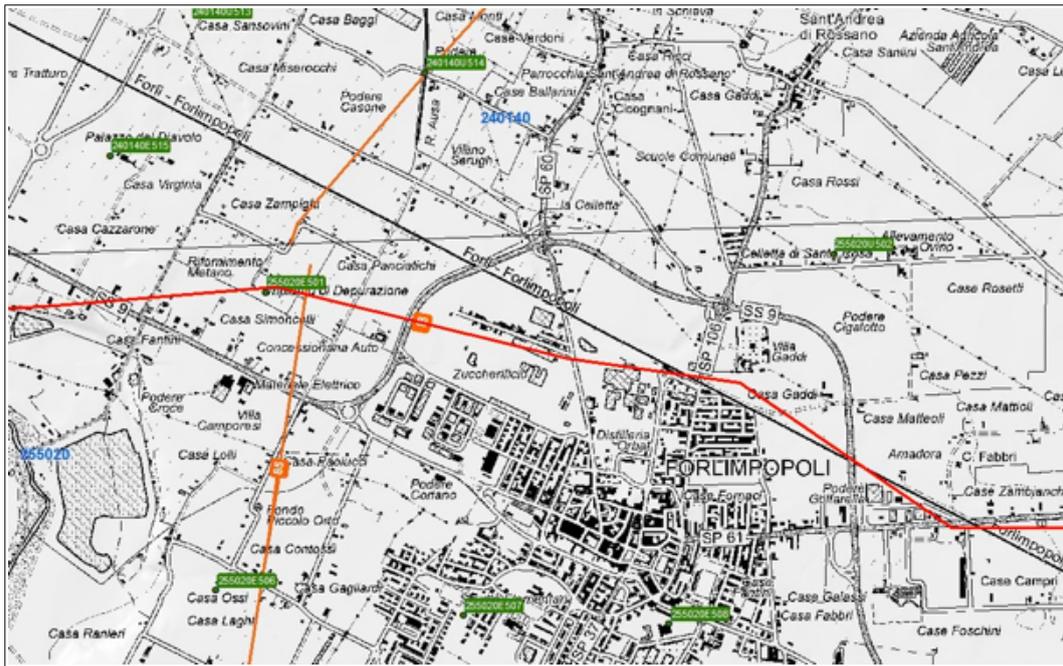


Figura 2: Tracce delle sezioni. Nella figura 3 è rappresentata una porzione della 83.

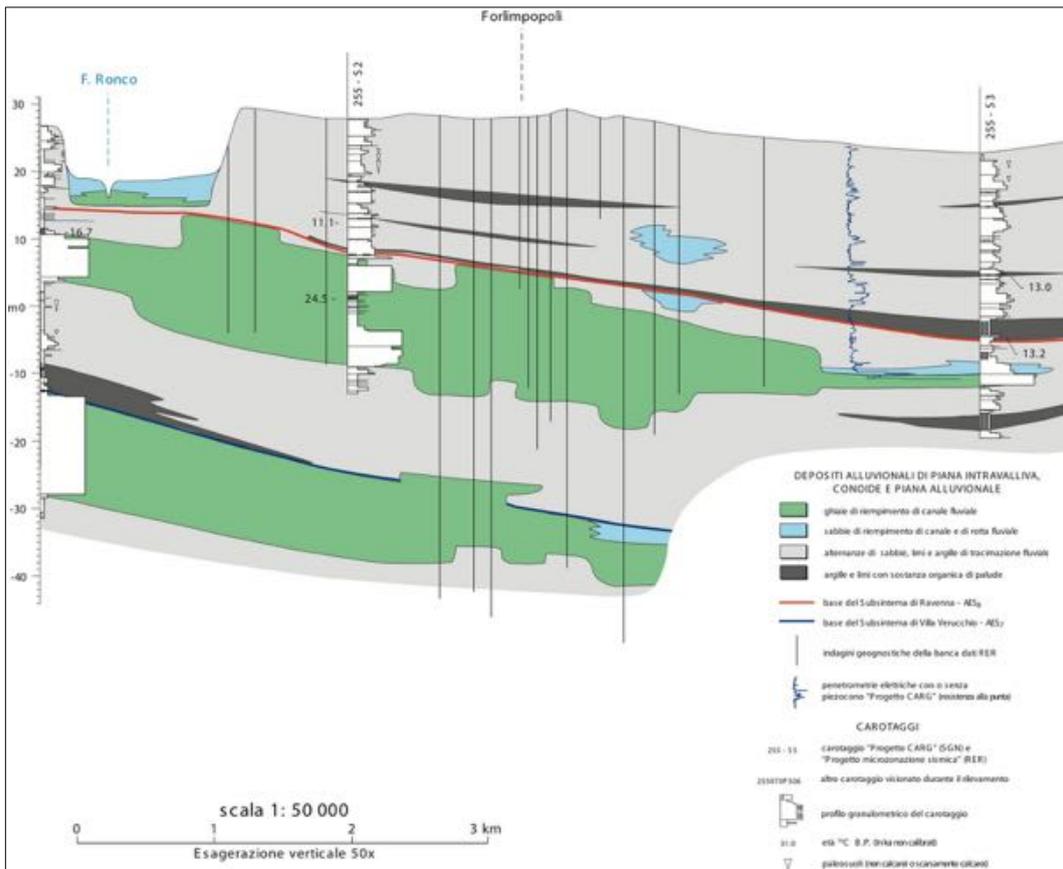


Figura 3: Tratto di sezione geologica pubblicata dalla Regione Emilia-Romagna.

## **INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

L'area di intervento è pianeggiante e stabile ed è caratterizzata da quote variabili (sulla base dei dati riportati sulla CTR) dai 26 ai 27 m.s.l.m.

Nella porzione orientale dell'ambito è presente un vasto piazzale asfaltato mentre in quella occidentale sono presenti in prevalenza campi agricoli.

Le importanti modifiche antropiche intervenute in questo territorio nell'arco di molti anni hanno comportato significative trasformazioni che non consentono in generale di riconoscere le originarie geoforme presenti.

## **PIANO STRALCIO PER IL RISCHIO IDROGEOLOGICO**

Sulla Tavola 4 in allegato è riportato un estratto della Perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli – Variante di coordinamento PAI-PGRA.

Su questa tavola l'area in esame è classificata fra quelle “di potenziale allagamento” di cui all'articolo 6 delle norme del piano:

### **“Art.6 Aree di potenziale allagamento**

- 1. Le aree di cui al presente articolo sono quelle nelle quali si riconosce la possibilità di allagamenti a seguito di piene del reticolo minore e di bonifica, nonché di sormonto degli argini da parte di piene dei corsi d'acqua principali di pianura, in corrispondenza di piene con tempo di ritorno non superiore ai 200 anni, senza apprezzabili effetti dinamici. Tali aree, individuate in conformità con il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni di cui alla Direttiva 2007/60/CE, sono indicate nelle tavole della Perimetrazione aree a rischio idrogeologico relative al territorio di pianura del bacino idrografico oggetto del presente piano.*
- 2. Al fine di ridurre il rischio nelle aree di potenziale allagamento la realizzazione di nuovi manufatti edilizi, opere infrastrutturali, reti tecnologiche, impiantistiche e di trasporto di energia sono subordinate all'adozione di misure in termini di protezione dall'evento e/o di riduzione della vulnerabilità.*
- 3. I Comuni il cui territorio ricade nelle aree di potenziale allagamento provvedono a definire e ad applicare tali misure in sede di revisione degli strumenti urbanistici comunali vigenti, e nel caso di adozione di nuove varianti agli stessi.*
- 4. L'Autorità di Bacino definisce, con la "Direttiva per le verifiche e il conseguimento degli obiettivi di sicurezza idraulica", approvata con Delibera Comitato Istituzionale n. 3/2 del 20/10/2003 e s. m. e i. , i tiranti idrici di riferimento e fornisce indicazioni riguardo agli*

accorgimenti tecnico-costruttivi e ai diversi gradi di cautela da adottare in funzione dei tiranti idrici di riferimento.

5. *Le previsioni degli strumenti urbanistici vigenti vengono attuate tenendo conto delle indicazioni di cui al presente articolo. In particolare, in sede di approvazione dei progetti e di autorizzazione degli interventi i Comuni, prescrivono l'adozione di tutti gli accorgimenti tecnico - progettuali di cui ai commi 3 e 4, necessari a evitare o limitare l'esposizione dei beni e delle persone a rischi connessi all'esondazione.*
6. *Qualora emergano motivi per modificare le perimetrazioni delle aree di cui al presente articolo, quali modifiche morfologiche dei siti, interventi di messa in sicurezza o nuove conoscenze di tipo idrologico e idraulico o topografico, l'Autorità di Bacino apporta le necessarie varianti cartografiche al piano secondo le medesime procedure individuate ai commi 6 e 7 dell'art. 3 precedente. “*

Sulla Tavola 4 bis, ingrandita in scala 1:5.000, sono rappresentate le classi di tiranti idrici relativi all'area come riportati sulle cartografie allegata alla “Direttiva Idraulica.” L'ambito in esame è interamente ricompreso nella classe di tirante idrico “fino a 50 cm”.

Informazioni più dettagliate sull'andamento dei tiranti idrici nell'area sono rappresentate sulla Tavola 4 ter che riporta un estratto del DEM (rappresentazione dei tiranti idrici con una *grid* a maglie quadrate di 10 metri di lato) ingrandito alla scala 1:2.500 sempre allegato alla “Direttiva idraulica”.

Dall'analisi della mappa si vede che i massimi tiranti attesi all'interno dell'ambito sono localizzati lungo una fascia centrale, allungata in direzione sud est – nord ovest, e sono dell'ordine dei 20 - 25 cm mentre la restante parte dell'ambito è caratterizzata da un tirante pari a 0.

## **INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO**

In linea del tutto generale in questo tratto della pianura romagnola è possibile riconoscere un acquifero superficiale, a falda libera, sovrapposto ad un sistema multiacquifero con falde “profonde”, sovrapposte, talora caratterizzate da salienza (falde confinate o semiconfinate contenenti acque in pressione).

Le falde in pressione appartengono al Sistema Acquifero della Pianura Padana che può essere sinteticamente considerato come un sistema acquifero multistrato formato dai complessi delle conoidi appenniniche ed alpine e dai complessi della media e bassa pianura. Tale struttura è limitata lateralmente da una parte dai rilievi montuosi e dall'altra dal mare Adriatico.

Per quanto riguarda il primo sottosuolo, nell'area in esame, sono presenti a varie profondità dal p.c. orizzonti di terreno a tessitura sabbiosa, permeabili, e che possono ospitare una o più falde freatiche (falda di base e falde sospese) caratterizzate da soggiacenze anche modeste e da

una certa variabilità temporale (tipicamente l'oscillazione stagionale può essere di oltre un metro).

### **CONDIZIONI GEOLOGICHE LOCALI**

Nei paragrafi seguenti vengono considerate le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche relative all'ambito in esame come ricostruite sulla base degli esiti delle indagini eseguite e disponibili e da quanto è stato possibile rilevare in sede di sopralluogo.

Le prove utilizzate per definire la stratigrafia e le principali caratteristiche meccaniche dei terreni presenti nel sottosuolo dell'ambito fanno riferimento a:

- n° 2 stratigrafie di pozzi per acqua e n° 1 prova CPT desunti dalla banca dati geognostici della Regione Emilia-Romagna,
- n° 5 prove penetrometriche statiche con punta elettrica eseguite appositamente per questo lavoro.

I punti di esecuzione delle indagini sono rappresentati sulla Tavola 5 in allegato.

Gli esiti e l'interpretazione delle prove eseguite e disponibili sono allegati in calce alla relazione.

### **PROVE PENETROMETRICHE**

Le prove penetrometriche sono state effettuate con un penetrometro statico semovente attrezzato con punta elettrica (CPTU) con "friction jacket cone" per la misura dell'attrito laterale locale, inclinometro per la valutazione dell'eventuale deviazione dalla verticale e piezocono (CPTU) per la misura della pressione di poro.

Durante l'esecuzione delle prove i suddetti dati sono stati rilevati ad intervalli di profondità prefissati (2 cm). Da tali dati si è poi ricavata, servendosi delle correlazioni riportate nella letteratura, la successione stratigrafica lungo la verticale di prova.

Utilizzando correlazioni reperibili nella letteratura tecnica è stato inoltre possibile "tradurre in parametri meccanici" i dati rilevati in campagna per i vari livelli di terreno attraversati.

Sulla seguente tabella sono riassunti, per ogni punto individuato sulla figura 5, il tipo di prova, la data di esecuzione e la profondità raggiunta.

PROVA	TIPO	PROF. RAGG. (m dal p.c.)	ANNO	FALDA (m dal p.c.)
CPTU1	CPTU	10	7 gennaio 2019	3,70
CPTU2	CPTU	21,5	7 gennaio 2019	Foro chiuso in sup.
CPTU3	CPTU	11	7 gennaio 2019	Foro chiuso 2,30
CPTU4	CPTU	11	7 gennaio 2019	6,50
CPTU5	CPTU	11	7 gennaio 2019	Foro chiuso 0,50

## **SUCCESSIONE STRATIGRAFICA “LOCALE” E CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI TERRENI**

Correlando gli esiti delle prove e i dati stratigrafici disponibili nell'intorno dell'area si è ricostruita la sezione geologica schematica rappresentata sulla Tavola 6 in allegato.

La sezione ottenuta è sostanzialmente sovrapponibile con quella rappresentata sulla figura 3 e mostra che nel sottosuolo dell'area, fino a 21 - 25 metri di profondità, sono presenti in prevalenza limi argillosi e argille limose, compatte o molto compatte, in alternanza con livelli lenticolari prevalentemente sabbiosi e sabbioso limosi.

A 25 metri dal p.c. si rinviene il primo orizzonte ghiaioso presente nel sottosuolo il cui spessore, di circa sei metri, è noto solo sulla base delle stratigrafie rilevate all'interno dei pozzi.

I livelli limoso-argillosi sono in prevalenza compatti (consistenza plastica) o molto compatti (consistenza solido-plastica).

I valori di coesione non drenata ( $c_u$ ) sono variabili dai circa 0,6 kg/cmq agli oltre 1,0 kg/cmq (in funzione della consistenza) ed il modulo edometrico ( $M$ ) varia dai circa 60 kg/cmq a oltre 80 kg/cmq.

Per quanto riguarda i livelli sabbiosi e limoso-sabbiosi sono da sciolti ( $D_r < 40\%$ ) a mediamente addensati ( $D_r \approx 53-60\%$ ) caratterizzati da valori di angolo di attrito variabili dai circa  $21^\circ$  (depositi sciolti) fino a circa  $40^\circ$ .

Le ghiaie, in matrice sabbiosa, sono da addensate a molto addensate ( $D_r > 60\%$ ) con angoli di attrito variabili dai  $39$  ai  $42^\circ$ .

Il sito è quindi caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali, compatti o addensati, pertanto le condizioni stratigrafiche e geomeccaniche che caratterizzano il sito sono, pur con i necessari approfondimenti che dovranno accompagnare la progettazione definitiva/esecutiva degli interventi edilizi, tali da consentire la realizzazione di un intervento nell'area.

## **STIMA PRELIMINARE DEL CARICO AMMISSIBILE E DEI CEDIMENTI**

Quanto esposto nel presente paragrafo rappresenta una stima preliminare di carico ammissibile e dei cedimenti sulla base della tipologia di opere fondali che di solito viene utilizzata per la realizzazione di questo tipo di strutture.

Il carico ammissibile viene stimato in via preliminare considerando che la futura struttura sia realizzata su plinti rettangolari (cm 450 x 550) impostati a circa 2 metri dal p.c. attuale.

Per la stima della capacità portante in via preliminare si utilizza la formulazione trinomia proposta da Terzaghi per fondazioni a platea o plinto:

$$q_d = (1 + 0,2 B/L) c N_c + \gamma D N_q + (1 - 0,2 B/L) \gamma B/2 N_\gamma$$

La verifica viene svolta in condizioni non drenate ( $\phi = 0$  e quindi senza il contributo dell'attrito nella formula trinomia) considerando nullo, a favore di sicurezza, anche l'apporto dovuto al sovraccarico del terreno ai lati della fondazione. Il calcolo della capacità portante si riduce a:

$$q_d = (1 + 0,2 B/L) c N_c$$

con:

- $B$  = dimensione minore della fondazione
- $L$  = dimensione maggiore della fondazione
- $c$  = coesione non drenata (per il livello interessato dalle fondazioni si è scelto un valore comunque cautelativo pari 0,8 kg/cmq prossimo al valore minimo riscontrato nel corso delle indagini)
- $N_c$  = fattore di capacità portante = 5,7

Nel caso in esame avremo  $q_d \approx 5,31$  kg/cmq cui corrisponde, considerando un "fattore di sicurezza" pari a 2,3 (in realtà si tratta del coefficiente di riduzione delle resistenze da applicare in ragione delle NTC 2018), un carico ammissibile pari ad 2,31 kg/cmq sicuramente compatibile con costruzioni come quelle da realizzare in futuro nell'ambito che trasmetteranno, verosimilmente, carichi molto più contenuti (di certo inferiori a 1 kg/cmq) .

Il carico ammissibile, che andrà comunque verificato nel corso delle successive fasi progettuali, non costituisce quindi un fattore limitante alla realizzazione di un "normale" intervento edilizio.

Per una stima preliminare dei cedimenti indotti dalla futura realizzazione dei fabbricati si è utilizzato il Metodo di Schmertmann che si basa sulla correlazione con gli esiti di prove CPT che abbiano interessato una profondità pari almeno a 2 - 4 volte maggiore rispetto alla larghezza della fondazione  $B$ .

Le formule utilizzate sono le seguenti:

$$s = c_1 \cdot c_2 \cdot (p - \sigma'_{vo}) \cdot \sum_i \left( \frac{Iz_i}{E_i} \cdot \Delta z_i \right) = [mm]$$

$$E = qc \cdot \left[ 2,5 + \left( \frac{L}{B} - 1 \right) \cdot 0,11 \right]$$

$$c_1 = 1 - 0,5 \cdot \frac{\sigma'_{vo}}{(p - \sigma'_{vo})} \geq 0,5 \quad c_2 = 1 + 0,2 \cdot \log \left( \frac{t}{0,1} \right)$$

dove

- p** carico applicato dalla fondazione sul terreno
- $\sigma'_{vo}$**  tensione verticale efficace preesistente alla quota del piano di posa della fondazione
- Iz** fattore di deformazione
- E** modulo elastico equivalente del terreno
- $\Delta z$**  spessore della striscia di terreno considerata
- $c_1$  e  $c_2$**  coefficienti correttivi
- L e B** sono la lunghezza e larghezza della fondazione, **t** tempo espresso in anni
- qc** resistenza alla punta del penetrometro (CPT)

Con il Metodo di Schmertmann il cedimento (s) viene calcolato dividendo il terreno al di sotto della fondazione in strisce all'interno delle quali si possono ritenere costanti il fattore di deformazione Iz ed il modulo di deformazione equivalente del terreno E.

Il fattore di influenza della fondazione Iz varia con la profondità e a seconda della geometria della fondazione come rappresentato sull'elaborato di calcolo inserito sulla pagina seguente.

Per quanto detto in precedenza si ipotizza che le future strutture trasmettano al terreno un carico pari a 98 kPa (circa 1,0 kg/cmq) comunque cautelativo in ragione delle strutture previste.

## Metodologia di calcolo dei Cedimenti - Prove CPT

### Fondazioni Superficiali

#### METODO DI SCHMERTMANN

$B = 4,50$  [m]  
 $D = 2,00$  [m]  
 $L = 5,50$  [m]

Fondaz. = **Nastriforme**

$\gamma = 1,90$  [t/m<sup>3</sup>]  
 $\gamma = 18,64$  [kPa]

$q' = 98$  [kPa]

$\sigma'_{vo} = 37,28$  [kPa]  
 $\Delta q' = 60,72$  [kPa]

$z = 6,50$  [m]  
 $\sigma'_{vi} = 121,15$  [kPa]

$l_{z\ max} = 0,571$

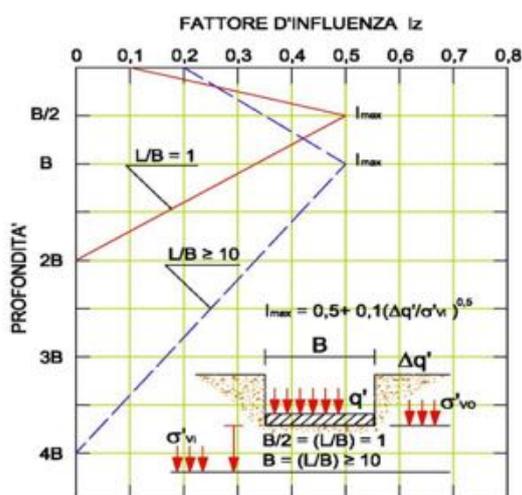
$C1 = 0,6930$

$t = 30$  [anni]

$C2 = 1,4954$

$H = 18,00$  [m]

(profondità significativa da suddividere in strisce  $\Delta z$ )



Strato n.	$\Delta z$ [m]	$l_z$ -	$q_c$ [Mpa]	$E$ [kPa]	$C1$ -	$\Delta q'$ [kPa]	$s$ [mm]
a	2,70	0,31	2,45	8,58	0,6930	60,72	4,12
b	0,70	0,45	1,76	6,16	0,6930	60,72	2,16
c	4,00	0,53	2,25	7,88	0,6930	60,72	11,39
d	0,40	0,44	3,43	12,01	0,6930	60,72	0,62
e	0,70	0,42	1,95	6,83	0,6930	60,72	1,80
f	1,90	0,36	3,62	12,67	0,6930	60,72	2,28
g	2,30	0,27	1,00	3,50	0,6930	60,72	7,54
h	2,40	0,17	1,47	5,15	0,6930	60,72	3,40
i	2,90	0,06	4,40	15,40	0,6930	60,72	0,49

Totale 18,00

Totale 33,80

cedimento immediato = 33,80 [mm]

cedimento nel tempo = 50,54 [mm]

Con tali assunzioni si ottengono cedimenti dell'ordine dei 3 - 4 cm sul breve periodo e di circa 5 nel lungo. Una variazione dei carichi o una diversa distribuzione degli stesi porterà ovviamente ad una modifica dei valori.

In linea generale si tratta comunque di valori "normali" che non pongono vincoli alla realizzazione di opere come quelle previste sul sito. Ovviamente anche in questo caso valutazioni più rigorose elaborate ai sensi delle vigenti NTC dovranno accompagnare le successive fasi della progettazione.

## SISMICITA' DEL TERRITORIO

Il territorio comunale di Forlimpopoli è stato interessato, nel corso dei terremoti passati, da intensità macrosismiche risentite pari a un VIII° grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg.

Il "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani" (CPTI2015 - A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi) riporta, per il comune di Forlimpopoli, intensità massime del VII grado MCS (figura 4) mentre la "Mappa delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni dell'Emilia-Romagna" (figura 5) indica per questo comune una intensità massima risentita pari al VII°/VIII° MCS. Il Comune di Forlimpopoli è comunque classificato sismico, di II categoria, fino dal 1983.

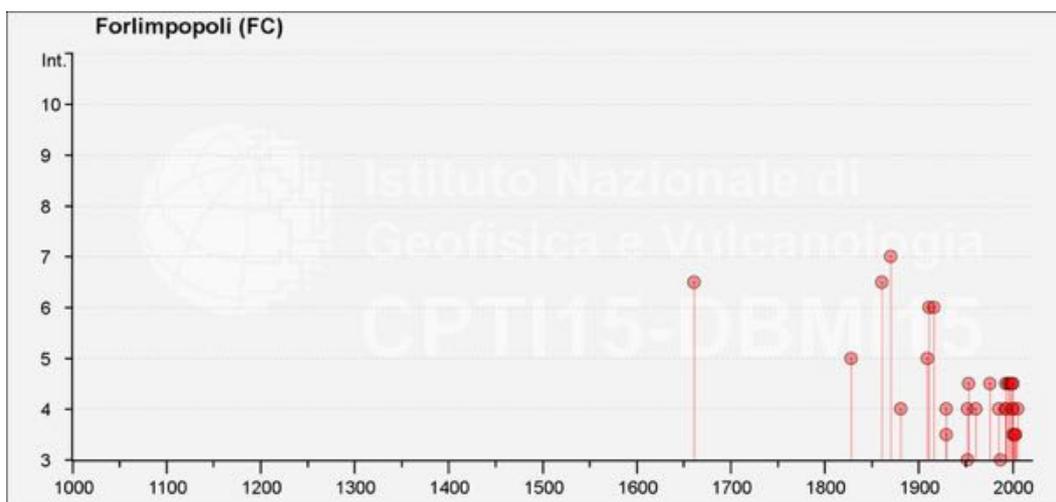


Figura 4: Storia sismica Comune di Forlimpopoli (CPTI 2015)

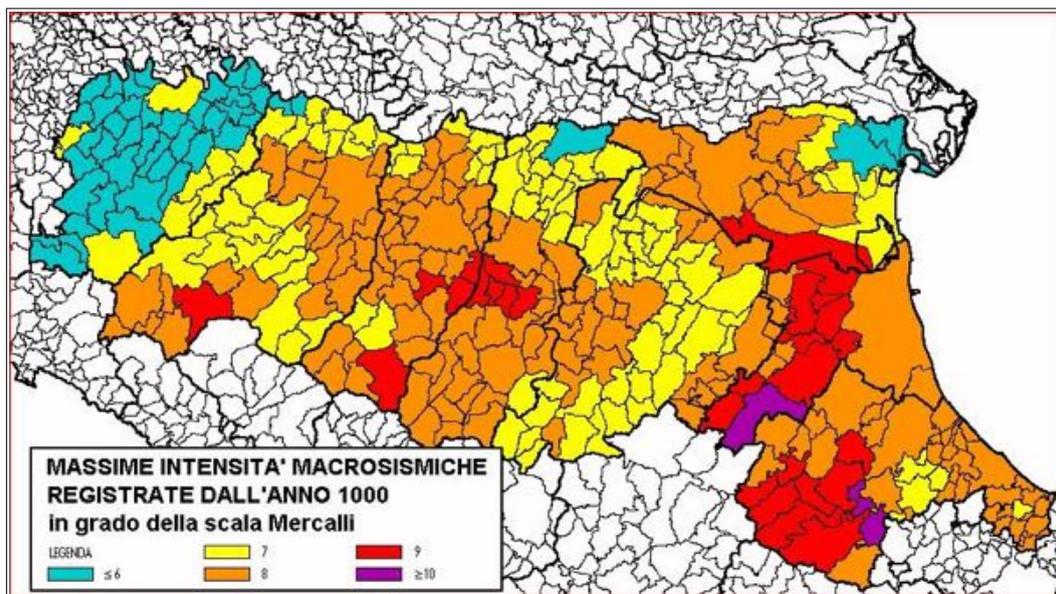


Figura 5: Mappa delle massime intensità macrosismiche osservate in Emilia-Romagna

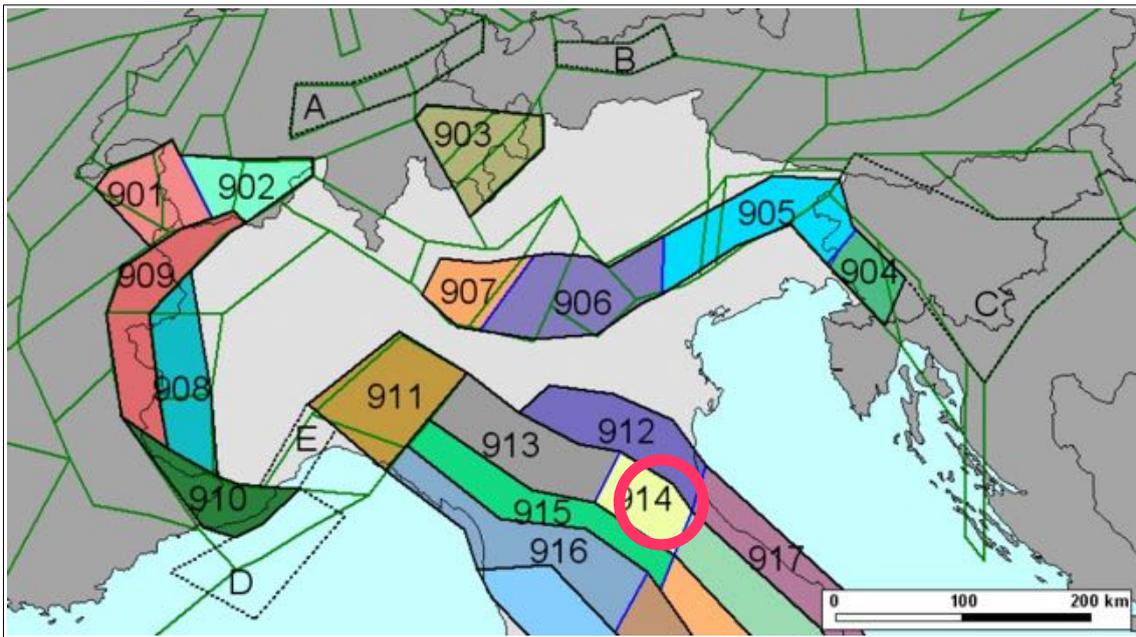


Figura 6: Zonazione sismogenetica ZS9

Nell'ambito della zonazione sismogenetica "ZS9" (figura 6) definita dal "Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica" dell'INGV, l'area di intervento ricade entro la zona 914.

Questa zona rappresenta, assieme alla 913 ed alla 918, una fascia di transizione, che si sviluppa da Parma si estende fino all'Abruzzo, nella quale convivono differenti meccanismi: terremoti prevalentemente compressivi si sviluppano nella parte nord occidentale dell'area e, "probabilmente distensivi nella porzione più sud orientale". Meccanismi trascorrenti sono caratteristici delle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture.

L'intera fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo, ciò non di meno, nel rapporto conclusivo della zonazione ZS9, in associazione alla 914 è riportato un di magnitudo massima pari a 6,14.

Con le Ordinanze del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 (OPCM 3274/2003) e n° 3519 del 28 aprile 2006 (OPCM 3519/2006) tutti i comuni italiani sono stati classificati (o ri-classificati) sulla scorta del valore assunto dal picco di accelerazione al suolo (Peak Ground Acceleration o PGA) desunto da studi di pericolosità sismica del Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia relativi all'intero territorio nazionale (sulla figura 7 si riporta la Mappa di pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale disponibile al sito web <http://zonesismiche.mi.ingv.it>).

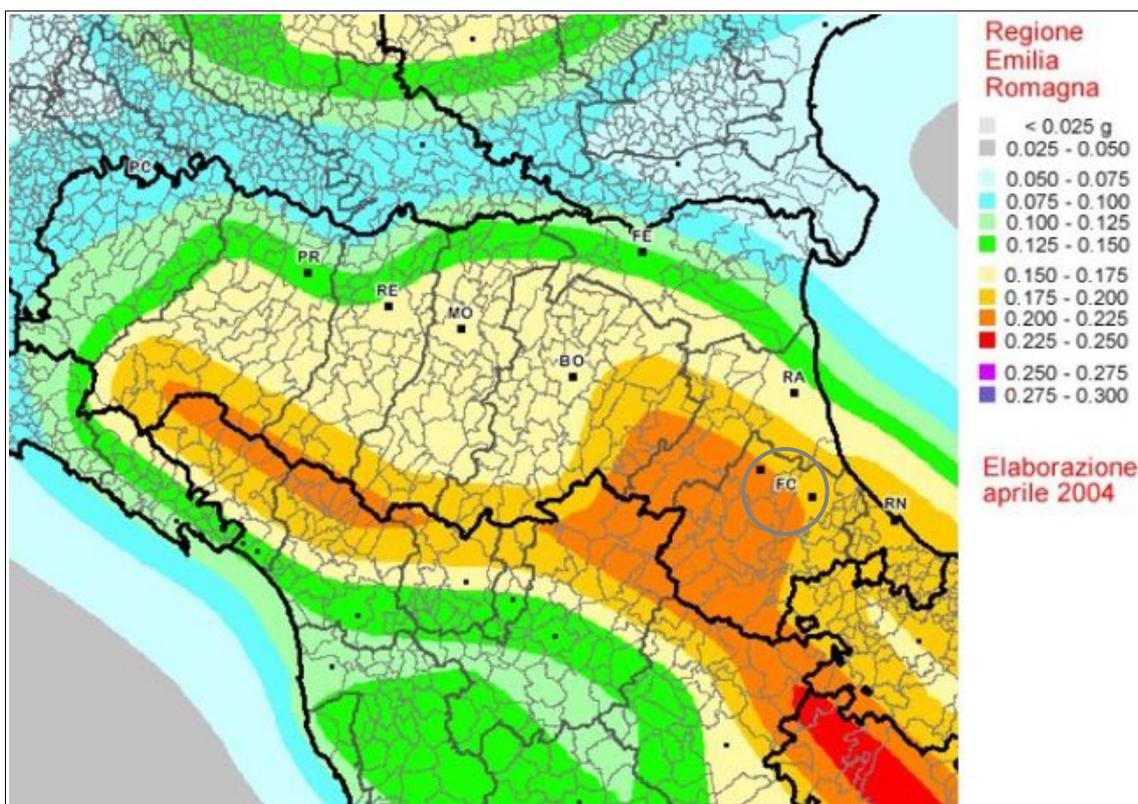


Figura 7: Mappa di pericolosità sismica di base della Regione Emilia-Romagna, ricavata dai valori di pericolosità disponibili per il territorio nazionale sul sito web <http://zonesismiche.mi.ingv.it> (OPCM del 28 aprile 2006 n.3519, All. 1b) e calcolati per una griglia di  $0,05^\circ$ , in termini di accelerazione massima del suolo (espressa come percentuale dell'accelerazione di gravità  $g$ ), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi e pianeggianti ( $V_s > 800\text{ m/s}$ ; categoria di sottosuolo A, par. 3.2.2 del DM 14/01/2008).

In base a questi studi il territorio italiano è stato raggruppato in 4 distinte classi, definite Zone sismiche, distinte in base alle differenti accelerazioni di picco su suolo rigido e quindi da una differente pericolosità sismica di base (vedi tabella seguente). In tale occasione il territorio comunale di Forlimpopoli era stato inserito in zona sismica 2 con accelerazioni massime su suolo A pari a  $0,25g$ .

	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g)
Zona 1	$> 0,25$
Zona 2	$0,15 - 0,25$
Zona 3	$0,05 - 0,15$
Zona 4	$< 0,05$

## ELEMENTI DI MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI FORLIMPOPOLI

Per il Comune di Forlimpopoli è disponibile uno studio di microzonazione sismica elaborato in “Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n. 77”.

L'analisi era stata realizzata in ottemperanza a quanto richiesto dall'allora vigente normativa regionale in materia di microzonazione sismica costituita dalla DGR 2193/2015.

Le tavole e le risultanze delle analisi allora effettuate, relativamente all'ambito qui in esame, sono brevemente analizzate e descritte all'interno del presente paragrafo.

Sulla Carta delle zone omogenee in prospettiva sismica (MOPS – figura 8) l'area in esame è inserita in Zona 8: “successione stratigrafica costituita da alternanze di depositi fini e grossolani, poggianti su un substrato coesivo sovraconsolidato stratificato non rigido ( $V_s < 800$  m/s), situato a profondità maggiori di 50 metri dal piano campagna. In superficie è presente un orizzonte limo-argilloso che ricopre un primo livello ghiaioso situato a profondità maggiori di 20 metri dal piano campagna”.

La carta delle  $V_s$  (figura 9) individua, nelle aree indagate più prossime all'ambito in esame, valori di  $V_{s30}$  variabili dai 233 ai 279 m/s.

Sulla Carta di microzonazione sismica FA P.G.A. (figura 10) l'area è inserita in una zona stabile suscettibile di amplificazioni locali con un fattore di amplificazione 1,5-1,6.

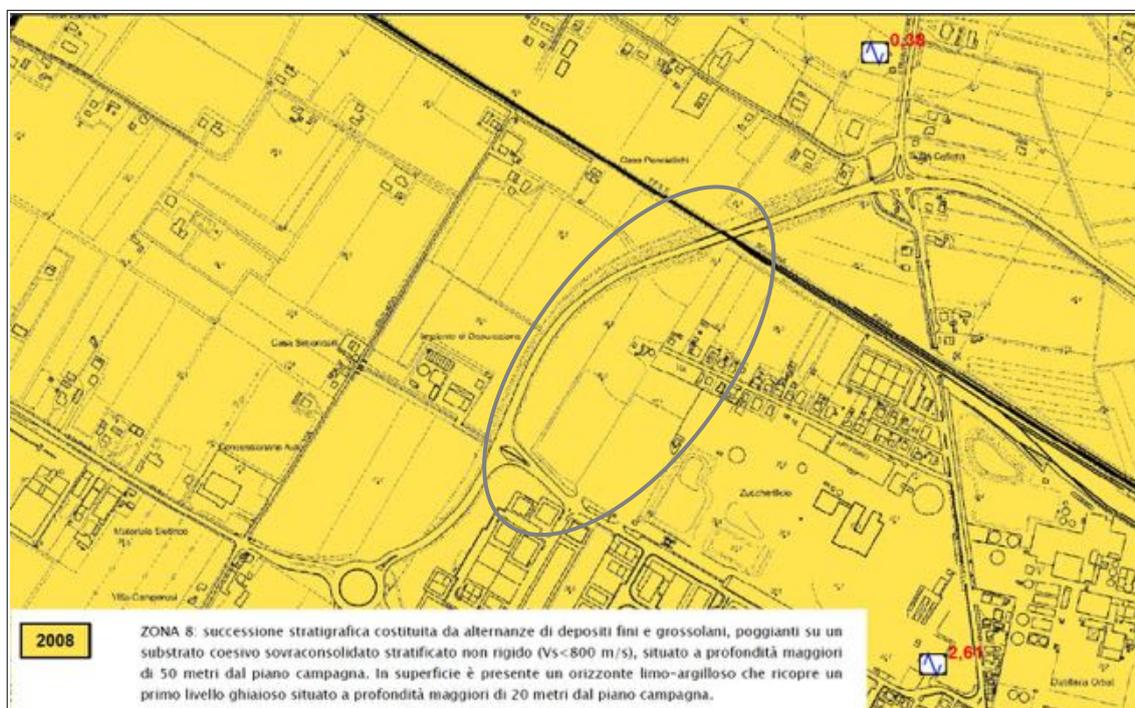


Figura 8: Carta delle zone omogenee in prospettiva sismica.



Figura 9: Carta delle Vs.



Figura 10: Carta di microzonazione sismica FA P.G.A.

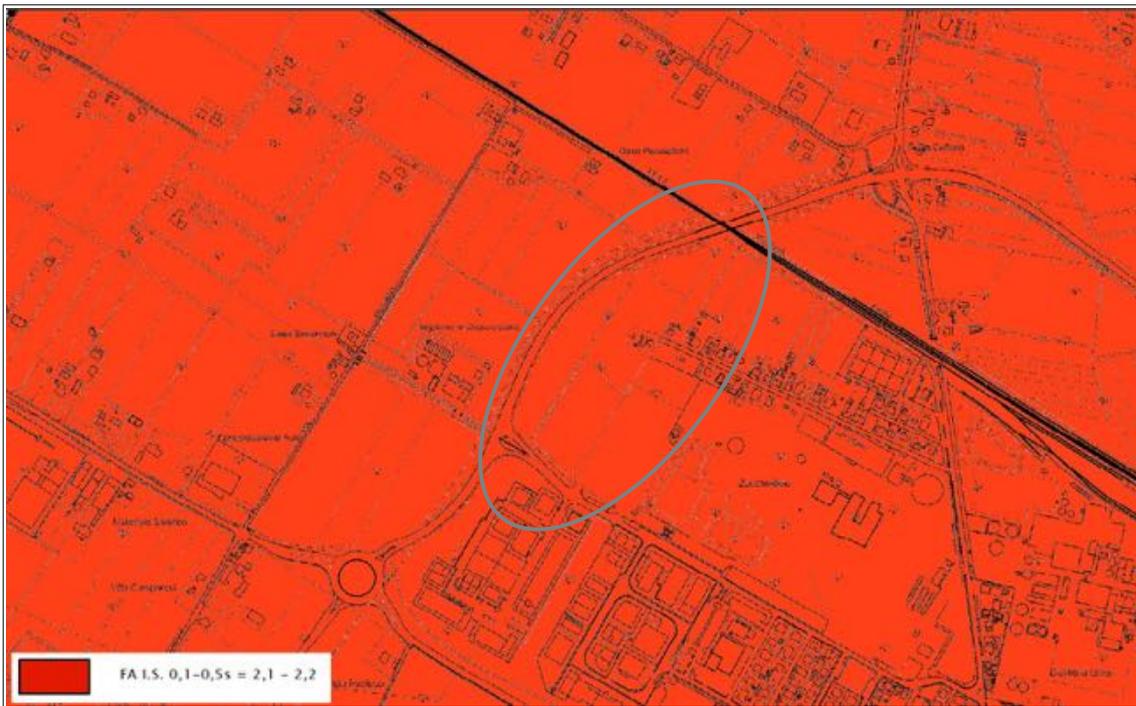


Figura 11: Carta di microzonazione sismica FA I.S. 0,1-0,5 s

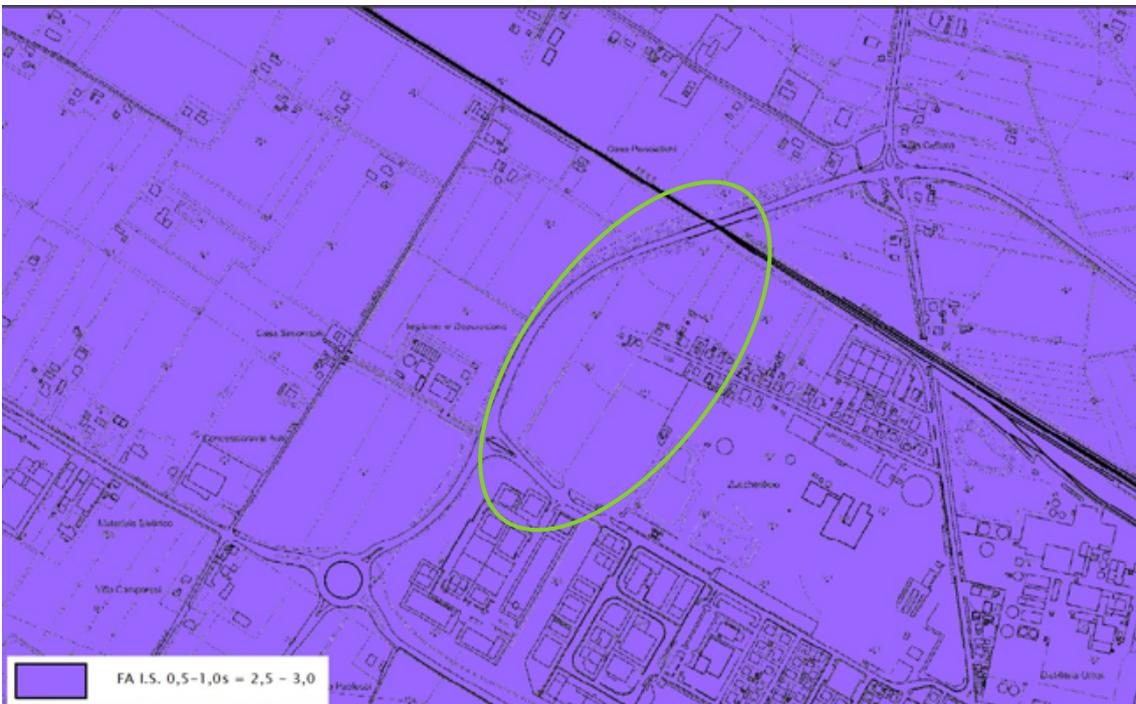


Figura 12: Carta di microzonazione sismica FA I.S. 0,5-1,0 s

Le figure 11 e 12 contengono infine i fattori di amplificazione dell'intensità spettrale per periodi da 0,1 a 0,5 s e per periodi da 0,5 a 1,0 s risultati rispettivamente pari a 2,1-2,2 e 2,5-3,0.

Riepilogando, sulla base degli studi di microzonazione sismica del Comune di Forlimpopoli, l'ambito in esame si trova in area pianeggiante e stabile, soggetta ad amplificazione del segnale sismico per caratteristiche litologiche.

La definizione dei fattori di amplificazione derivanti dall'applicazione del metodo semplificato previsto dalla DGR 2193/2015 ha condotto a valori di FA sinteticamente riassunti nella tabella sottostante:

FA PGA	1,5 - 1,6
FA S.I. (0,1 s < T < 0,5 s)	2,1 – 2,2
FA S.I. (0,5 s < T < 1,0 s)	2,5 – 3,0

Tali valori, derivanti dall'applicazione di metodi semplificati contenuti all'interno di un atto non più in vigore, sono da considerare solamente quali termini di confronto con quelli che deriveranno dalle analisi di microzonazione sismica di II livello effettuate per l'ambito in esame ai sensi della vigente DGR 630/2019 e sviluppate in uno dei paragrafi seguenti.

## INDAGINI GEOFISICHE

Per la ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo dell'area il 7 gennaio 2019 è stata eseguita una misura digitale del rumore sismico a stazione singola, con tomografo sismico e metodologia HVSR.

Il punto di esecuzione dell'indagine è rappresentato sulla Tavola 5 in allegato.

Gi esiti della stessa, assieme ad una breve spiegazione della metodologia utilizzata, sono contenuti nell'allegato "Misura digitale del rumore sismico".

La prova ha consentito di ricavare il seguente profilo di velocità:

Da m:	A m:	Velocità onde S (m/sec)
0	4,6	110
4,6	6,6	340
6,6	18,6	220
18,6	48,6	360
48,6	128,6	450
Inf.		550

A fronte di tale profilo di velocità è possibile calcolare la velocità equivalente delle onde di taglio per un determinato intervallo di riferimento:

$$V_{sH} = H / \sum_{i=1, N} (h_i / V_{si}) \quad (1)$$

dove:

- N = numero degli strati
- H = spessore copertura
- $h_i$  = spessore strato  $i$ -esimo
- $V_{si}$  = velocità onde di taglio nello strato  $i$ -esimo.

Se H (spessore delle coperture = profondità del bedrock sismico) è superiore a 30 metri (come nel nostro caso) la velocità equivalente viene calcolata per uno spessore complessivo di 30 metri ( $V_{sH} = V_{s30}$ ).

La  $V_{s30}$  calcolata con l'equazione (1) è pari a 224 m/s, dato piuttosto coerente con quanto riportato nei punti più prossimi al sito sulla mappa delle  $V_s$  dello studio di MZS di Forlimpopoli di figura 9.

La misura a stazione singola consente anche l'analisi delle frequenze fondamentali di amplificazione del sito per il quale permette di individuare l'amplificazione di risonanza tipica del terreno. Questo dato consentirà utili confronti con il modello sismico delle opere in progetto.

<i>Frequenze e periodo di risonanza del deposito, significative per l'ingegneria</i>		
	Frequenza	Periodo
T1	6.52 Hz	0.15 sec
T1	1.76+2.8 Hz	0.56+0.35 sec
T1	1.04 Hz	0.96 sec

#### **CARATTERIZZAZIONE DEL SITO AI SENSI DELLE DGR 630 DEL 29 APRILE 2019**

Nei paragrafi precedenti si sono analizzate le condizioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche dell'area interessata dall'ambito in esame e si sono brevemente descritte le risultanze, per l'area medesima, degli studi di microzonazione sismica disponibili per il Comune di Forlimpopoli.

I dati raccolti consentono di inquadrare correttamente l'ambito da un punto di vista geologico, geomorfologico e idrogeologico ed in particolare permettono di definire quanto segue:

- l'ambito in esame si trova in un tratto di pianura, prossimo al margine pedecollinare, caratterizzato dalla presenza di un potente orizzonte di depositi alluvionali,

- tali depositi sono, in superficie, di natura prevalentemente limoso-argillosa, generalmente consistenti con alternati, a vari livelli, orizzonti sabbiosi. A 21-22 metri dal p.c. nel sottosuolo dell'ambito si incontra il tetto di un orizzonte ghiaioso arealmente continuo rilevato oltre che dalla CPTU2 anche nelle stratigrafie di alcuni pozzi per acqua disponibili nei pressi dell'area,
- l'area è sede di falde freatiche sospese rilevate a profondità differenti dal p.c. Quella più "alta" è stata rilevata in occasione delle indagini a 3,7 m dal p.c.
- l'area di intervento è sub pianeggiante e priva di qualsivoglia problematica di stabilità.

Visto quanto appena esposto si ritiene possibile procedere all'approccio semplificato per l'approfondimento di II livello ai sensi della DGR Emilia-ROMAGNA n°n°630 del 29 aprile 2019. La definizione dei fattori di amplificazione (F.A.) dell'azione sismica può essere effettuata servendosi degli abachi contenuti nell'ALLEGATO A2 alla DGR: "Tabelle e formule per la stima dei fattori di amplificazione sismica per la microzonazione sismica (II livello di approfondimento)".

I fattori di amplificazione riportati negli abachi rappresentano il rapporto fra i vari parametri dello scuotimento sismico valutato per una determinata/specifica situazione geo-litologica ed il corrispondente scuotimento atteso su suolo rigido orizzontale (suolo A) così come definito nell'ambito della tabella 3.2.II delle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018:

*Suolo di categoria A, estratto della Tabella 3.2.II NTC2018*

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

I fattori di amplificazione dei parametri dello scuotimento che vengono considerati negli abachi sono stati valutati per tempi di ritorno TR = 475 anni con smorzamento del 5% e sono:

- il fattore di amplificazione in termini di accelerazione di picco orizzontale (PGA/PGA0)
- il fattore di amplificazione in termini di intensità spettrale in accelerazione SA/SA0 per differenti intervalli di periodo proprio

	<b>T1</b>	<b>T2</b>
<b>SA1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SA2</b>	0,4 s	0,8 s
<b>SA3</b>	0,7 s	1,1 s
<b>SA4*</b>	0,5 s	1,5 s

- il fattore di amplificazione in termini di intensità spettrale in velocità (o intensità di Housner)  $S_i/S_{i0}$  per differenti intervalli di periodo proprio

	<b>T1</b>	<b>T2</b>
<b>S11</b>	0,1 s	0,5 s
<b>S12</b>	0,5 s	1,0 s
<b>S13*</b>	0,5 s	1,5 s

Gli abachi riportati nell'ALLEGATO A2 sono differenziati in funzione dei differenti “*ambienti geomorfologici e litostratigrafici*” individuabili all'interno del territorio della Regione Emilia-Romagna pertanto bisogna, innanzi tutto, comprendere in quali condizioni (in quali ambienti) sia da inquadrare il sito in esame.

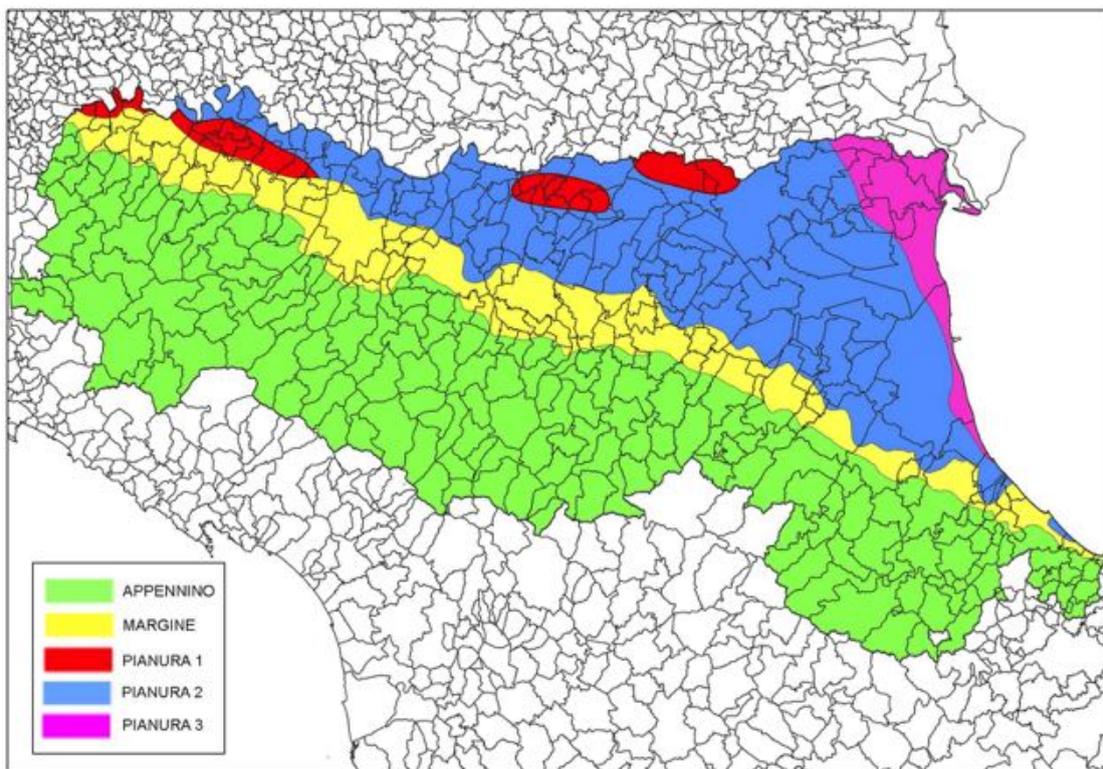


Figura 13: Localizzazione indicativa delle ambienti geomorfologici e litostratigrafici in Emilia-Romagna. La parte nord del Comune di Imola è in condizioni di Margine.

In prima approssimazione, all'interno della pubblicazione “*Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna*” (A. Tento, L. Martelli, A. Marcellini - CNR - Istituto per la dinamica dei processi ambientali, 2015) è

contenuta una mappa (figura 13) della localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici in Emilia-Romagna, che, sebbene sia stata realizzata per valutazioni inerenti la precedente DGR 2193/2015 (normativa regionale in materia di microzonazione sismica vigente fino all'emanazione della DGR 630/2019), è in genere ben sovrapponibile con le considerazioni sugli ambienti geomorfologici e litostratigrafici considerati anche all'interno dell'allegato A2 della vigente DGR. Su tale mappa l'ambito in esame si verrebbe a trovare in condizioni di margine.

Sulla base di quanto esposto nei paragrafi precedenti sulle condizioni geologiche e geomorfologiche dell'ambito l'area dell'accordo di programma in esame può essere classificata, anche guardando alla descrizioni contenute nell'Allegato A2 della DGR 630/2019, come in condizioni di MARGINE definito come *“settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, o la costa, caratterizzato da terreni alluvionali prevalentemente fini (argille, limi, sabbie) sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine o transizionali pleistoceniche (Sabbie Gialle) o dalla successione pelitica plio-pleistocenica (Argille Azzurre); il tetto del substrato geologico è a profondità indicativamente comprese tra 50 e 100 m.”*

Nell'allegato è inoltre specificato che il margine può essere:

- *“di tipo A: caratterizzato da terreni fini o grossolani poco consolidati, di spessore non superiore a 30 m, sovrastanti orizzonti prevalentemente grossolani a comportamento più rigido (indicativamente con valore di Vs media almeno doppio rispetto a quello dei sedimenti sovrastanti);*
- *di tipo B: caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini.”*

Pertanto essendo per l'area in esame il *bedrock* (orizzonte con Vs > 800 m/s) a profondità comunque superiori a 30 m si dovranno considerare i Fattori di Amplificazione relativi agli abachi compilati per il MARGINE di tipo B contenuti nell'Allegato A2 della DGR 630/2019.

L'abaco di riferimento per la valutazione dei fattori di amplificazione con metodo semplificato, è riportato sulla pagina seguente.

Per il corretto utilizzo dell'abaco specifico, facendo riferimento alle indagini geologiche e geofisiche disponibili per il sito, bisogna poi “entrare” con la velocità equivalente delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ) calcolate mediante la già citata formula (1) che, come già detto, è risultata pari a 224 m/s.

### **ABACO PER MARGINE DI TIPO B**

#### **Fattore di amplificazione PGA**

Vs30 (m/s)	150	<b>200</b>	250	300	350	400
PGA	1,6	<b>1,6</b>	1,6	1,6	1,6	1,5

#### **Fattori di amplificazione SA1 (0,1 s ≤ T ≤ 0,5 s), SA2 (0,4 s ≤ T ≤ 0,8 s), SA3 (0,7 s ≤ T ≤ 1,1 s), SA4 (0,5 s ≤ T ≤ 1,5 s),**

Vs30 (m/s)	150	<b>200</b>	250	300	350	400
SA1	1,8	<b>1,8</b>	1,8	1,7	1,7	1,5
SA2	2,6	<b>2,6</b>	2,3	2,1	1,9	1,7
SA3	3,1	<b>2,9</b>	2,7	2,4	2,3	2,1
SA4	3,0	<b>2,9</b>	2,6	2,3	2,1	1,9

#### **Fattori di amplificazione SI1 (0,1 s ≤ T ≤ 0,5 s), SI2 (0,5 s ≤ T ≤ 1,0 s), SI3 (0,5 s ≤ T ≤ 1,5 s)**

Vs30 (m/s)	150	<b>200</b>	250	300	350	400
SI1	1,9	<b>1,9</b>	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	2,9	<b>2,8</b>	2,5	2,3	2,1	2,0
SI3	3,3	<b>3,1</b>	2,7	2,4	2,2	2,0

A fronte dei valori di questo valore di Vs30 si possono quindi definire (cautelativamente) i seguenti fattori di amplificazione:

- FA PGA = 1,6
- FA SA1 (0,1 s ≤ T ≤ 0,5 s) = 1,8
- FA SA2 (0,4 s ≤ T ≤ 0,8 s) = 2,6
- FA SA3 (0,7 s ≤ T ≤ 1,1 s) = 2,9
- FA SA4 (0,5 s ≤ T ≤ 1,5 s) = 2,9
- FA SI1 (0,1 s ≤ T ≤ 0,5 s) = 1,9
- FA SI2 (0,5 s ≤ T ≤ 1,0 s) = 2,5
- FA SI3 (0,5 s ≤ T ≤ 1,5 s) = 2,7

### **CONSIDERAZIONE SUI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE DA MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI FORLIMPOPOLI E DA ANALISI SECONDO LA DGR 630/2019**

Da un raffronto fra quanto emerso nell'ambito delle analisi ai sensi della DGR 630/2019 e da quanto contenuto negli studi di microzonazione sismica del Comune di Forlimpopoli emerge che i dati sono in genere ben raffrontabili, almeno nei casi in cui il Fattore di Amplificazione (FA) sia contemplato da entrambe le normative di riferimento.

In particolare le analisi sono coerenti per quanto riguarda l'amplificazione in termini di PGA (FA P.G.A. = 1,6) e di intensità di Housner per  $0,5 \text{ s} \leq T \leq 1,0 \text{ s}$  (FA SI2 = 2,5) mentre risultano più contenuti per i periodi inferiori.

L'utilizzo di differenti abachi di riferimento rispetto a quelli sui quali è stata basata la microzonazione sismica del Comune di Forlimpopoli consentono di spiegare le comunque contenute discrepanze fra i valori trovati.

## **ANALISI DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE**

In presenza di terreni incoerenti saturi in occasione di un evento sismico possono instaurarsi fenomeni di liquefazione ciclica del terreno.

Per liquefazione si intende il quasi totale annullamento della resistenza al taglio del terreno con l'assunzione di un comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. Tale fenomeno dipende sia dalle caratteristiche geotecniche del terreno sottoposto a sollecitazione sismica che dal tipo e dalla durata della sollecitazione nonché da eventuali fattori ambientali.

Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti.

Durante un evento sismico vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza.

Se la scossa sismica produce un numero di cicli sufficiente a far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione.

Poiché la pressione di confinamento aumenta con la profondità e l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce, la resistenza alla liquefazione aumenta con la profondità.

In relazione alla durata della sollecitazione e all'ampiezza delle vibrazioni, tanto queste saranno maggiori, tanto più alta sarà la possibilità che si arrivi alla liquefazione.

Altri fattori che possono influenzare il fenomeno della liquefazione sono costituiti dalla presenza di condizioni statiche preesistenti che possono essere modificate dalla sollecitazione sismica (es. tipico dei versanti). In questo caso l'instaurarsi del fenomeno della liquefazione dipenderà anche dal rapporto che si stabilisce tra le tensioni di taglio indotte dal sisma e quelle statiche preesistenti.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso.

Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Anche la distribuzione, la forma delle particelle e il grado di uniformità influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso.

Per quanto riguarda la storia delle sollecitazioni sismiche su un deposito si può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di (ri)liquefazione.

I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono comunque i più recenti. A parità di composizione e di altre condizioni lo stesso deposito, se più antico, avrà sviluppato legami intergranulari e cementazioni sempre più forti.

Secondo quanto previsto dalla Delibera di Giunta Regionale 630/2019 la probabilità che nei terreni sabbiosi saturi si verifichino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla se si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

- 1 - Eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
  - 2 - Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni *free-field* minore di 0.1g;
  - 3 - Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni *free-field* minore di 0.15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
    - frazione di fine, FC, superiore al 20%, con indice di plasticità  $PI > 10$ ;
    - $FC \geq 35\%$  e resistenza  $(N1)_{60} > 20$ ;
    - $FC \leq 5\%$  e resistenza  $(N1)_{60} > 25$
  - 4 - Distribuzione granulometrica esterna a particolari fusi granulometrici indicati sulla figura 1 della direttiva,
  - 5 - Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna.
- Se sussiste una di queste condizioni può essere omessa la verifica a liquefazione.

Sulla base di quanto emerso nel corso della trattazione per il sito in esame non sussistono le condizioni dei casi di esclusione suddetti pertanto si è proceduto alla verifica a liquefazione dagli esiti di prove in sito con il metodo semplificato riportato sull'allegato A2 della DGR.

#### **Analisi della liquefazione sulla base degli esiti di prove in sito**

Per effettuare l'analisi viene *in primis* ricostruita la curva di resistenza alla liquefazione in termini di rapporto di tensione ciclica ( $CRR = \text{Cyclic Resistance Ratio}$ ) che discrimina i casi in cui si sono osservati fenomeni di liquefazione da quelli in cui la stessa non è avvenuta.

Questa viene poi "confrontata" con il parametro di carico sismico (sempre espresso come rapporto di tensione ciclica) CSR che viene stimato sulla base di considerazioni teoriche ed

empiriche e delle caratteristiche del terremoto (magnitudo e accelerazione di picco in superficie).

Il fattore di sicurezza FSL, nella verifica di resistenza alla liquefazione di un livello di terreno è per definizione il rapporto fra la capacità di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di resistenza ciclica,  $R=CRR$ , e la domanda di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di tensione ciclica,  $L=CSR$ , ovvero:

$$FSL=R/L=CRR/CSR$$

Pertanto per stimare il fattore di sicurezza FSL sono valutate le due variabili CSR e CRR.

Nel presente studio questa valutazione è stata effettuata con il metodo di *Boulangier e Idriss (2015)* raccomandato dalla DGR.

Per una rappresentazione sintetica del rischio di liquefazione il cui fattore di sicurezza viene valutato in corrispondenza di ogni livello liquefacibile è necessario riferirsi ad un unico valore numerico associato alla verticale di prova.

A tal fine si utilizza l'Indice di Potenziale alla Liquefazione LPI:

$$LPI = \int_0^{z_{crit}} F(z) W(z) dz$$

L'indice del potenziale di liquefazione esprime quantitativamente la severità del rischio di liquefazione. Nelle tabella seguente si riporta la classificazione secondo Iwasaki.

Valore di LPI	Rischio di liquefazione
$LPI \leq 5$	Basso
$5 < LPI \leq 15$	Elevato
$LPI > 15$	Estremamente elevato

Per l'implementazione del metodo, oltre ai dati di una CPTE/CPTU, il programma di calcolo richiede alcuni parametri specifici per l'area investigata:

- l'accelerazione massima attesa al suolo
- la magnitudo dell'evento atteso.

### **Stima dell'accelerazione al suolo e della magnitudo massima**

Per la stima dell'accelerazione da utilizzare nelle valutazioni della liquefazione si parte dai valori "noti" (stimati dagli studi di pericolosità sismica dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) sui nodi della rete INGV. Dai nodi circostanti, con media ponderata, si è ricavata l'accelerazione al *bedrock* per il sito in esame che, in corrispondenza del punto di esecuzione della prova CPTU2, è risultata pari a 0,201 g.

L'accelerazione al suolo, sulla base del Fattore di Amplificazione derivante dalle analisi di II livello effettuata nel paragrafo precedente, (peraltro in accordo con quanto emerso dagli studi di microzonazione sismica pubblicati dal Comune di Forlimpopoli) può essere ottenuta applicando a tale accelerazione un fattore di amplificazione (FA P.G.A.) pari ad 1,6.

L'accelerazione massima da utilizzare nei modelli di calcolo della liquefazione è quindi pari a:

$$A_{max} = 0,201 \times 1,6 = 0,322 \text{ g}$$

Per quanto riguarda la magnitudo dell'evento, sebbene il territorio di Forlimpopoli storicamente sia stato interessato da risentimenti che non lo pongono fra le aree sismicamente più pericolose a livello nazionale, si è comunque scelto di utilizzare il valore raccomandato dalla zonazione sismogenetica ZS9 pari a 6,14.

### **Applicazione della metodologia all'area di indagine**

L'analisi del rischio di liquefazione è stata effettuata con il software CPTPaGE dell'Università di Pisa (Stacul, S.; Giusti, I; Lo Presti, D. (2017). CPT PaGE: User Manual - Interpretation and Use. DOI: [10.13140/RG.2.2.27360.17929/1](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27360.17929/1)) che consente di interpretare le prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono e di effettuare le analisi del rischio di liquefazione valutando FSL anche con la metodologia di Boulanger e Idriss (2015) raccomandata dalla DGR 630/2019.

L'Indice di Potenziale alla Liquefazione LPI viene calcolato, per ogni verticale investigata, con il metodo di Iwasaki.

L'analisi è stata svolta per tutte le prove eseguite all'interno dell'area portando in generale a valutare un rischio di liquefazione basso.

Si segnala tuttavia che le indagini denominate CPTU1, CPTU3, CPTU4 e CPTU5 sono state limitate alla profondità di soli 11 metri e permettono quindi di valutare nei confronti della liquefazione solamente il contributo del più superficiale degli orizzonti sabbiosi presenti nel sottosuolo dell'ambito portando in genere a sottostimare, in corrispondenza delle verticali stesse, il rischio di liquefazione.

La prova CPTU2 invece è stata volutamente spinta fino all'orizzonte ghiaioso presente nel sottosuolo dell'area al fine di poter compiutamente valutare il rischio connesso alla liquefazione ciclica.

Per l'implementazione dell'analisi, oltre agli esiti della prova (profondità in cm,  $Q_c$  in Mpa, FS e U in kPa) è necessario fornire al programma: la profondità della falda (posta pari a 2,5 metri) l'accelerazione al suolo espressa in g e la magnitudo attesa dell'evento.

Gli esiti dell'analisi effettuata sulla prova CPTU2 sono riportati sulla figura della pagina seguente.

Come si vede, nonostante le assunzioni comunque molto cautelative in termini di magnitudo dell'evento ( $M = 6,14$ ) e di profondità della falda (2,5 m dal p.c.) l'Indice di Potenziale alla Liquefazione LPI derivante dall'implementazione del metodo di Bolunanger & Idriss è pari a 4,54 cui corrisponde, secondo al "classificazione" di Iwasaki, un rischio di potenziale liquefazione basso.

Si segnala inoltre che gli orizzonti sabbiosi, potenzialmente liquefacibili, si trovano comunque ad una certa profondità dal p.c. al di sotto di un orizzonte prevalentemente argilloso-limoso.

A tale riguardo sulla figura 15 è rappresentato l'"andamento" dell'indice del potenziale di liquefazione (LPI cumulativo) con la profondità.

Come si vede il rischio di potenziale liquefazione resta al di sotto del limite di 5 (rischio basso) e si incrementa anche oltre i 17/18 metri di profondità (profondità alle quali è noto che i fenomeni di liquefazione avvengono più raramente).

In conclusione, l'analisi del rischio di liquefazione effettuata secondo quanto richiesto dalla DGR 630/2019, con "parametri implicitamente cautelativi" (si pensi ad esempio che con l'approccio semplificato delle NTC2018 il valore di accelerazione massima per un terreno di tipo C [come quello del sito] nelle condizioni topografiche del sito in esame [T1] sarebbe pari a  $2,783 \text{ m/s}^2$  e cioè 0,284 g a fronte del valore da DGR 630/2019 qui utilizzato e pari a 0,322 g), conduce comunque a valori del rischio di liquefazione accettabili.

Bisogna inoltre tenere in considerazione che l'analisi è svolta in assenza dei carichi legati alle strutture (i quali in una certa misura contribuiscono ad abbattere il rischio) e che, a contribuire all'incremento del Indice del potenziale di liquefazione "totale" (l'LPI cumulativo) sono anche livelli sabbiosi, presenti a profondità superiori ai 16-17 metri, che assai difficilmente potranno essere interessati da fenomeni di liquefazione.

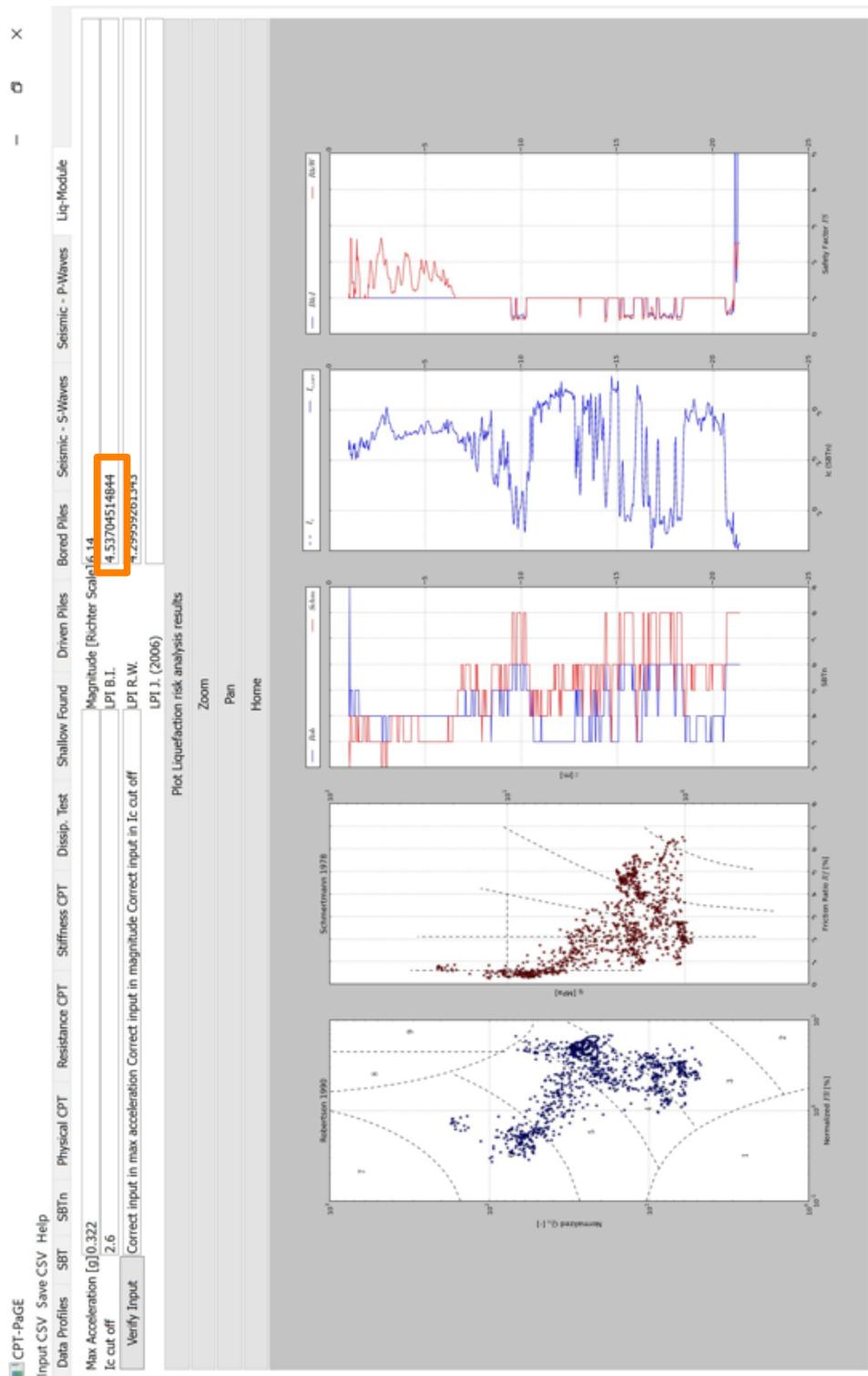


Figura 14: Esito dell'analisi di liquefazione con CPT PaGE

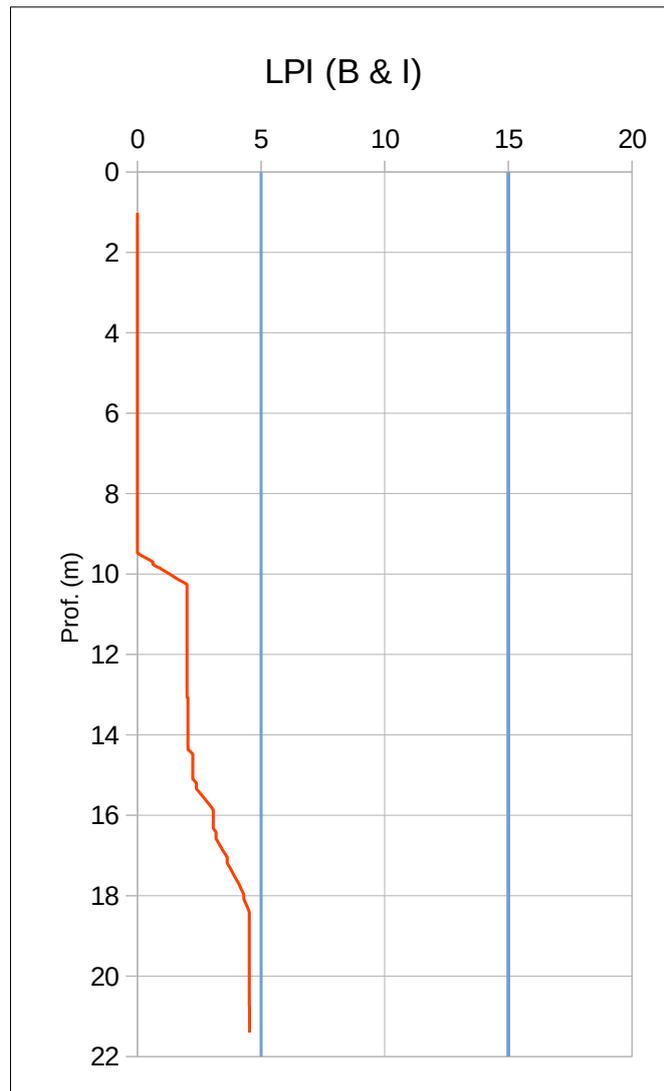


Figura 15: LPI cumulativo vs profondità

Concludendo, poiché il rischio di potenziale liquefazione, pure se contenuto, comunque sussiste ( $LPI > 0$ ), nel corso delle successive fasi progettuali dovrà essere attentamente analizzata questa problematica in ottemperanza a quanto disposto dalle NTC 2018 e, nel caso in cui risultasse non accettabile, si dovranno prevedere interventi volti alla mitigazione del rischio stesso.

## CONCLUSIONI

Si sono analizzate le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche di un'area, a nord ovest dell'abitato di Forlimpopoli, in previsione dell'Accordo Operativo per Ambito Insediativo A11-18, con destinazione Logistica e Terziario/direzionale/commerciale, posto su Via Amendola (comparto Ex Sfir) per verificare le condizioni generali di edificabilità del comparto.

L'area di interesse è pianeggiante e stabile e l'intensa antropizzazione non permette di riconoscere alcuna delle originarie geoforme presenti.

I terreni presenti sono di origine alluvionale e, nel primo sottosuolo, di natura prevalentemente limoso-argillosa e limoso-sabbiosa.

Si tratta di depositi generalmente compatti o molto compatti caratterizzati da parametri meccaniche tali da consentire la realizzazione nell'area di normali strutture e delle relative dotazioni territoriali.

Le stime preliminari effettuate sulla "portanza" dei terreni di fondazione e sui cedimenti attesi non pongono particolari limitazioni alla realizzazione di "normali" interventi edilizi.

La falda idrica, rilevata nel corso delle indagini a 3,7 m dal p.c., potrà trovarsi (in occasione dei periodi di massimo ravvenamento) a livelli assai più prossimi alla superficie (plausibilmente 2,0-2,5 m) con tutte le possibili problematiche ad essa connesse (es: necessità di impermeabilizzare le parti dei manufatti a contatto con il terreno per evitare la risalita capillare).

L'area è classificata fra quelle di potenziale allagamento ed i tiranti idrici raggiungono localmente livelli dell'ordine dei 20 – 25 cm, la maggior parte del comparto ha un tirante pari a 0.

Dal punto di vista sismico (DGR 630/2019) per il sito in esame si sono valutati i seguenti fattori di amplificazione in termini di PGA, intensità dello spettro di risposta in accelerazione e Intensità di Housner:

- FA PGA = 1,6
- FA SA1 ( $0,1 \text{ s} \leq T \leq 0,5 \text{ s}$ ) = 1,8
- FA SA2 ( $0,4 \text{ s} \leq T \leq 0,8 \text{ s}$ ) = 2,6

- FA SA3 ( $0,7 \text{ s} \leq T \leq 1,1 \text{ s}$ ) = 2,9
- FA SA4 ( $0,5 \text{ s} \leq T \leq 1,5 \text{ s}$ ) = 2,9
- FA SI1 ( $0,1 \text{ s} \leq T \leq 0,5 \text{ s}$ ) = 1,9
- FA SI2 ( $0,5 \text{ s} \leq T \leq 1,0 \text{ s}$ ) = 2,5
- FA SI3 ( $0,5 \text{ s} \leq T \leq 1,5 \text{ s}$ ) = 2,7

Tali valori sono in linea generale (quando presenti in entrambe le analisi di microzonazione) comparabili con quanto emerge dall'analisi degli elaborati di microzonazione sismica del Comune di Forlimpopoli e le discrepanze sono imputabili a cambiamenti negli abachi di riferimento della metodologia (norma regionale) utilizzata.

Sempre dal punto di vista sismico sulla base delle analisi eseguite i terreni granulari presenti nel sottosuolo dell'ambito, pur presentando localizzati rischi connessi alla liquefazione ciclica, conducono ad un rischio di liquefazione basso ( $LPI < 5$ ). Il rischio residuo dovrà essere attentamente analizzato in ottemperanza a quanto disposto dalle NTC 2018 e, nel caso in cui questo risultasse non accettabile, si dovranno prevedere interventi volti alla mitigazione del rischio stesso.

In conclusione, ferma restando la necessità delle ulteriori verifiche ed indagini geologiche e geotecniche che dovranno accompagnare i livelli successivi di progettazione definitiva ed esecutiva degli interventi edilizi ai sensi delle vigenti norme tecniche per le costruzioni, il comparto appare dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico adeguato alla realizzazione di interventi come quelli previsti.

TAVOLA 1: INQUADRAMENTO COROGRAFICO IN SCALA 1:25.000 -  
TAVOLETTA 255 NO - FORLIMPOPOLI



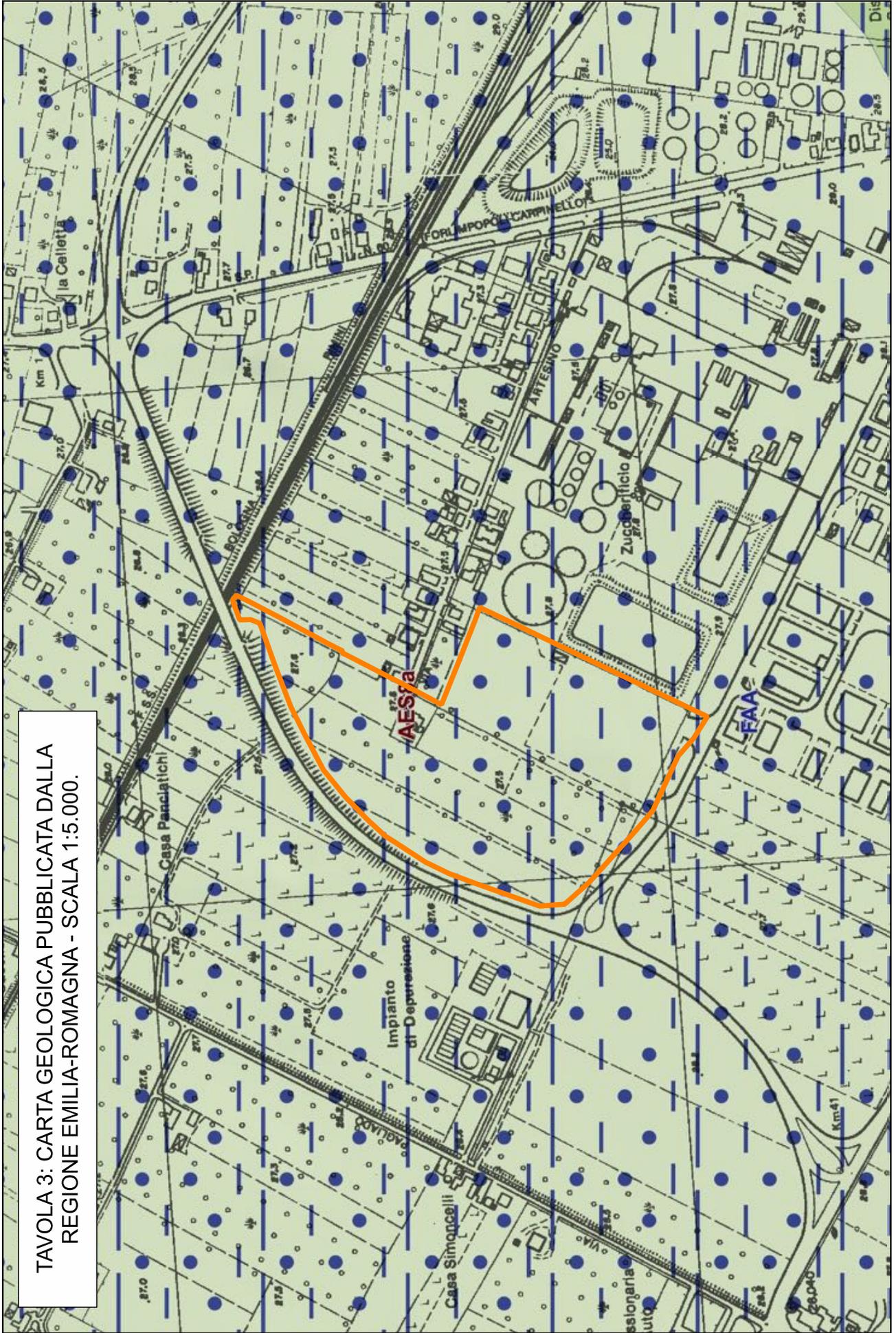
TAVOLA 2: INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO IN SCALA  
1:5.000: ELEMENTO 255024 - FORLIMPOPOLI OVEST



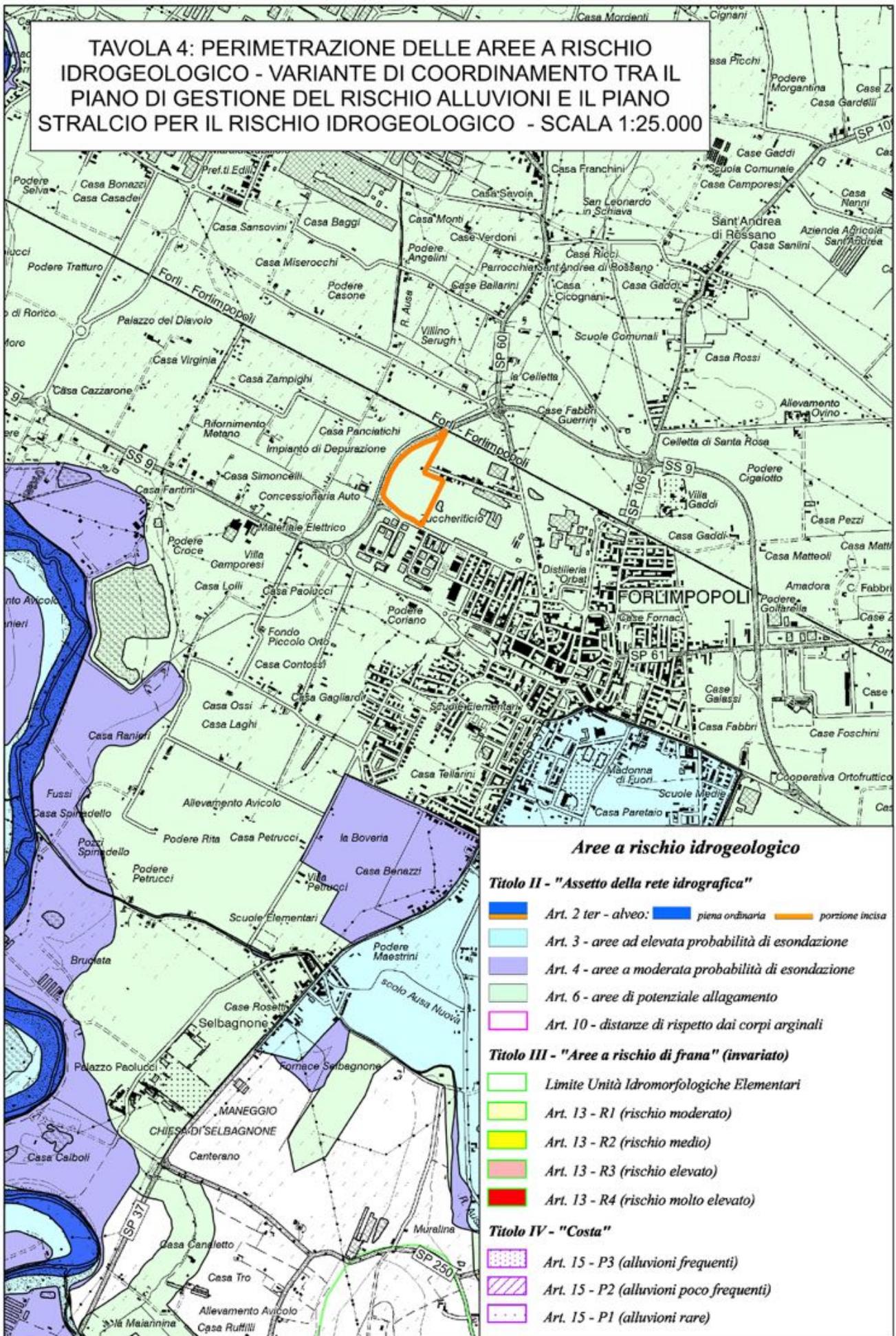
**TAVOLA 2 BIS: INQUADRAMENTO SU  
PLANIMETRIA CATASTALE DEL COMUNE DI  
FORLIMPOPOLI - FOGLIO 12 - SCALA 1:2.000**



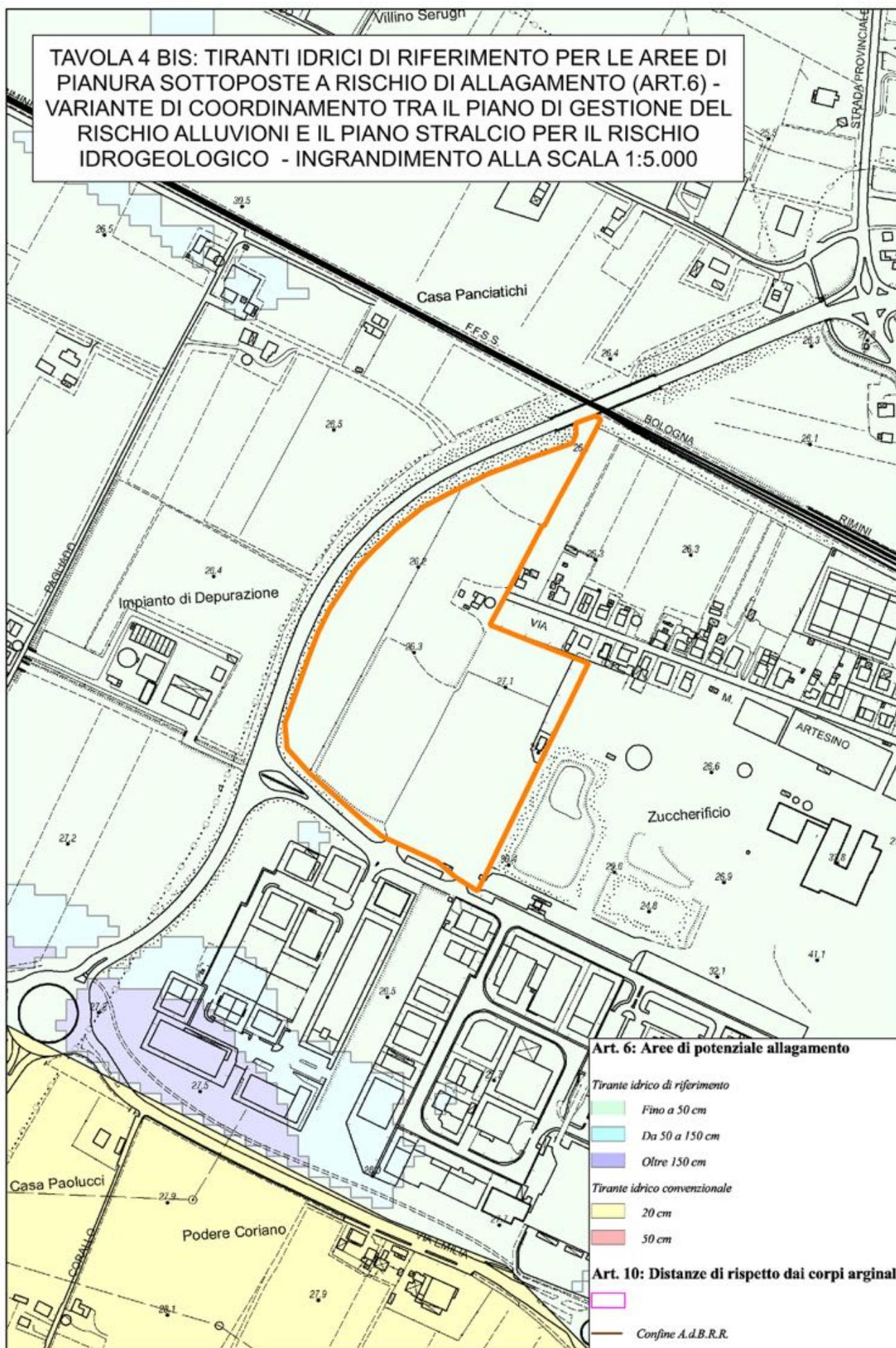
TAVOLA 3: CARTA GEOLOGICA PUBBLICATA DALLA  
REGIONE EMILIA-ROMAGNA - SCALA 1:5.000.



**TAVOLA 4: PERIMETRAZIONE DELLE AREE A RISCHIO IDROGEOLOGICO - VARIANTE DI COORDINAMENTO TRA IL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI E IL PIANO STRALCIO PER IL RISCHIO IDROGEOLOGICO - SCALA 1:25.000**



**TAVOLA 4 BIS: TIRANTI IDRICI DI RIFERIMENTO PER LE AREE DI PIANURA SOTTOPOSTE A RISCHIO DI ALLAGAMENTO (ART.6) - VARIANTE DI COORDINAMENTO TRA IL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI E IL PIANO STRALCIO PER IL RISCHIO IDROGEOLOGICO - INGRANDIMENTO ALLA SCALA 1:5.000**



**Art. 6: Aree di potenziale allagamento**

- Tirante idrico di riferimento*
- Fino a 50 cm
  - Da 50 a 150 cm
  - Oltre 150 cm

- Tirante idrico convenzionale*
- 20 cm
  - 50 cm

**Art. 10: Distanze di rispetto dai corpi arginali**

- 
- Confine A.d.B.R.R.

TAVOLA 4 TER: CLASSI DI RIFERIMENTO PER LE AREE DI PIANURA  
SOTTOPOSTE A RISCHIO DI ALLAGAMENTO (ART.6) - VARIANTE DI COORDINAMENTO TRA IL  
PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI E IL PIANO STRALCIO PER IL RISCHIO  
IDROGEOLOGICO - SCALA 1:2.500 (ESTRATTO DEM ALLEGATO ALLA DIRETTIVA IDRAULICA)

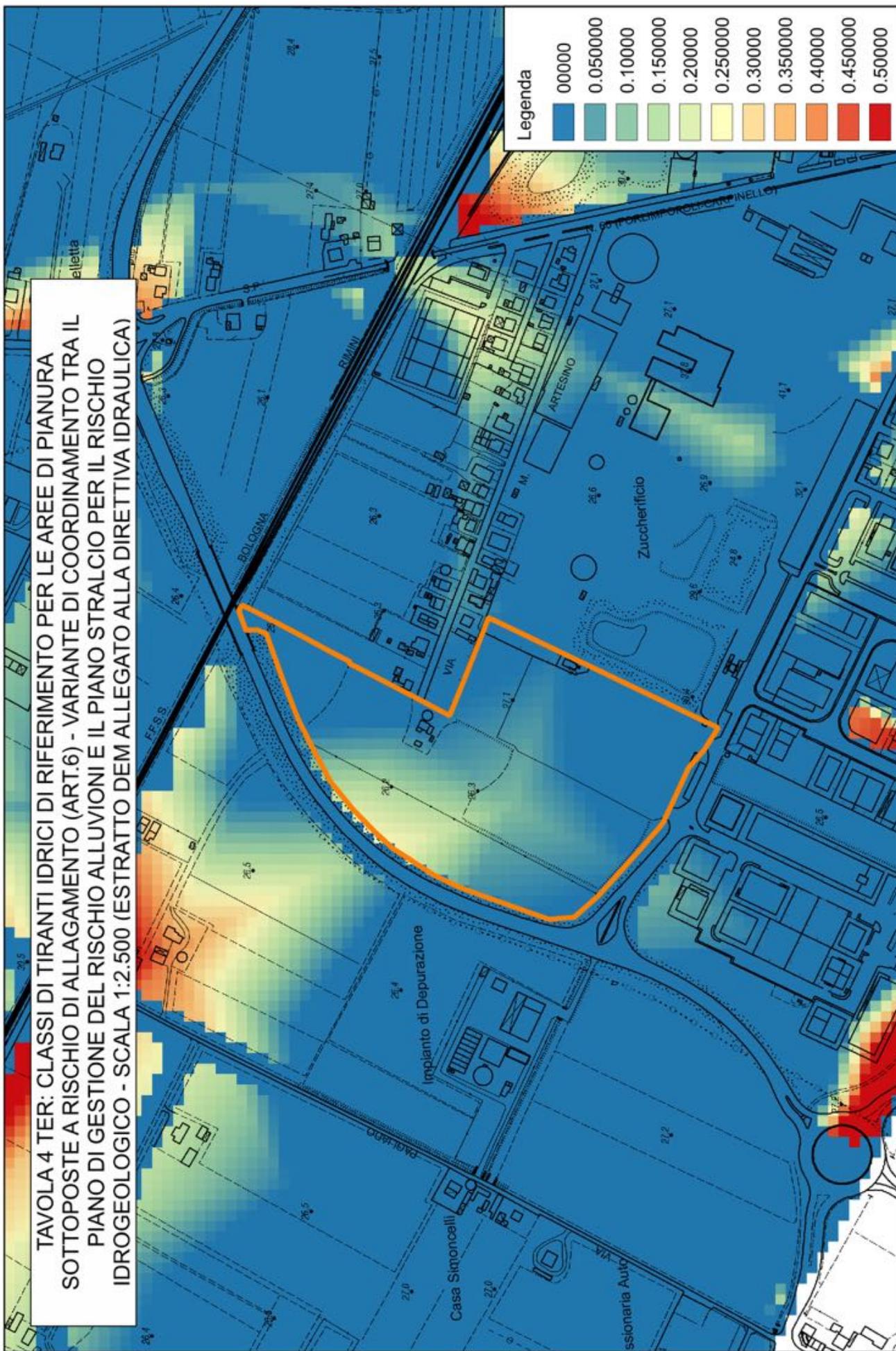


TAVOLA 5: PLANIMETRIA GENERALE DELL'INTERVENTO, IN  
SCALA 1:2.000, CON INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DI  
ESECUZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE E DISPONIBILI

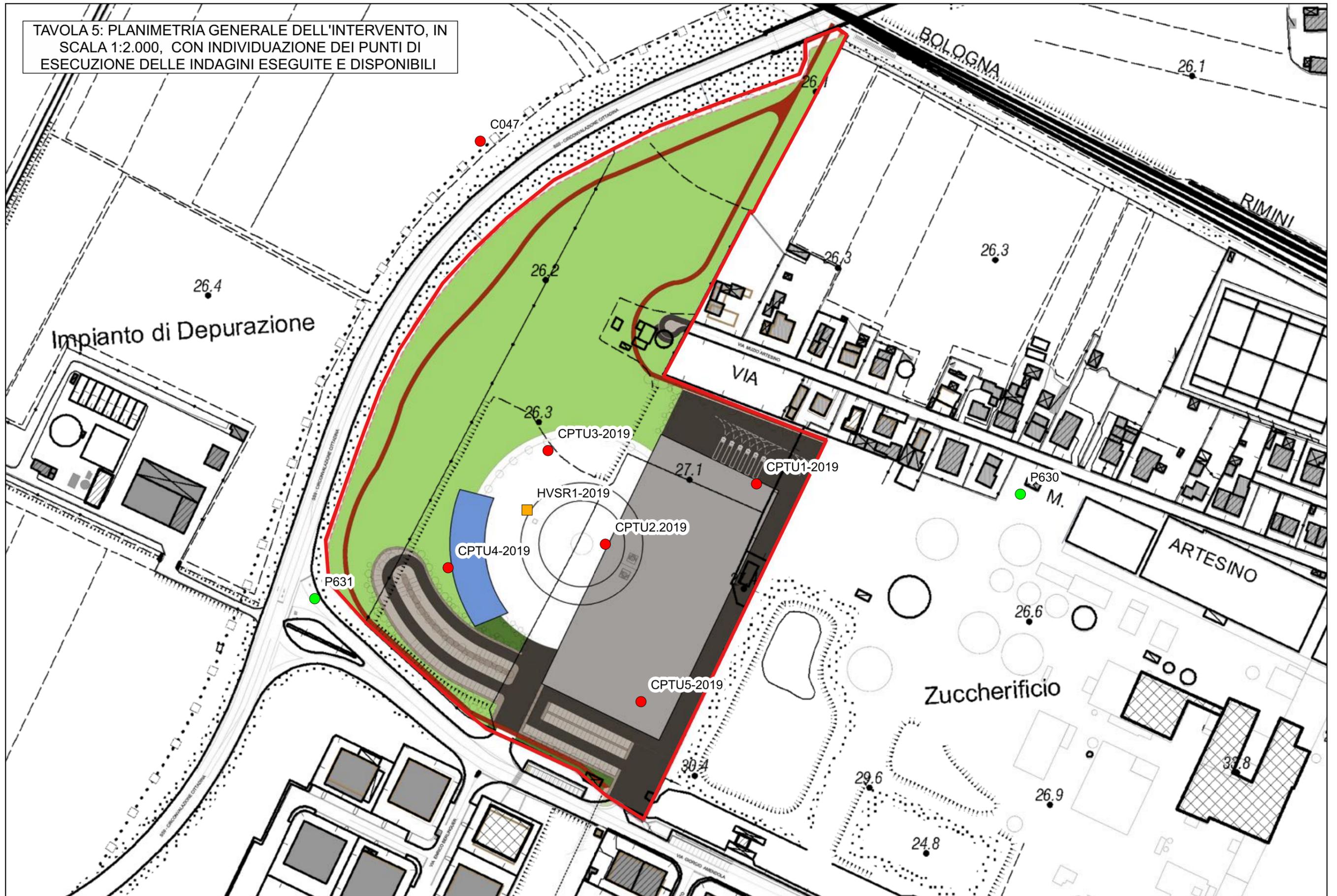
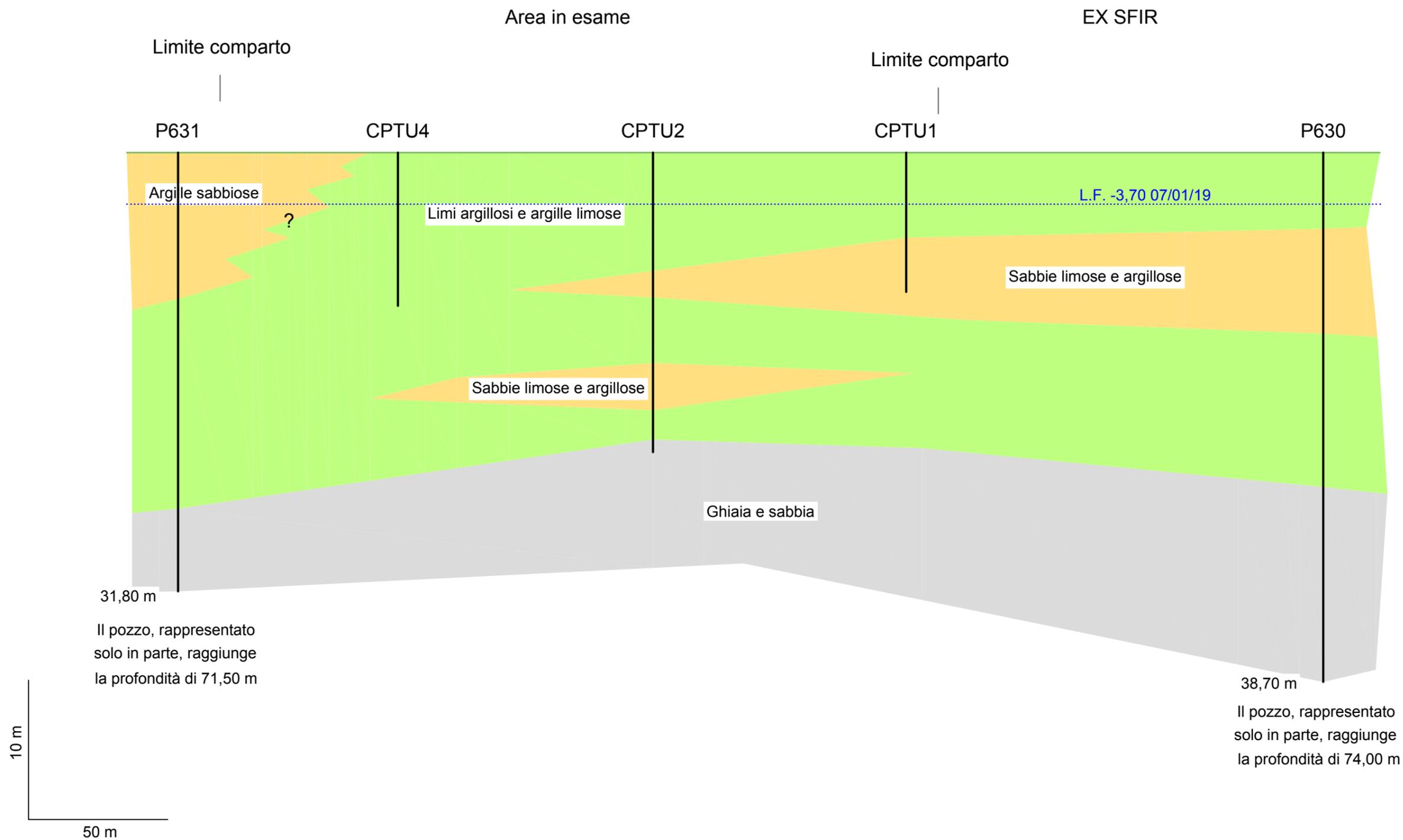


TAVOLA 6: SEZIONE GEOLOGICA SCHEMATICA - SCALA GRAFICA



## **ESITO DELLE INDAGINI ESEGUITE**

Comune Forlimpopoli  
 Via Via Amendola  
 Localita' Forlimpopoli  
 Committente Pride  
 Data 07-gen-19

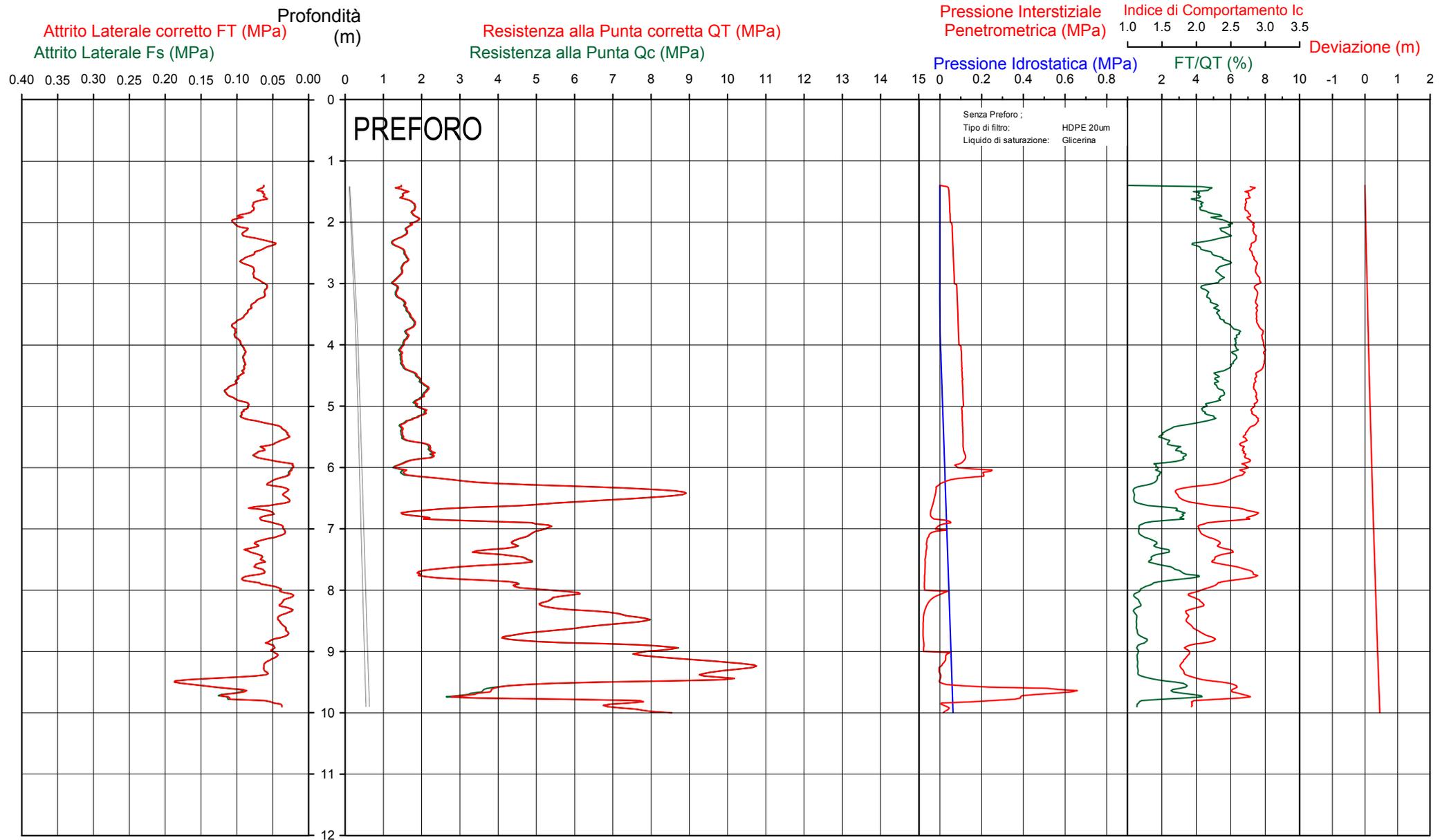
Falda 3.70 m  
 Sigla della Punta Tecnopenta 100707  
 Azzeramento Inizio prova  
 Ultimo taratura guadagno 15-ott-2018  
 Ultimo taratura per deriva termica 15-ott-2018



Società di  
 Geologia  
 Territoriale

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 www.geo55.com

# CPTU 1



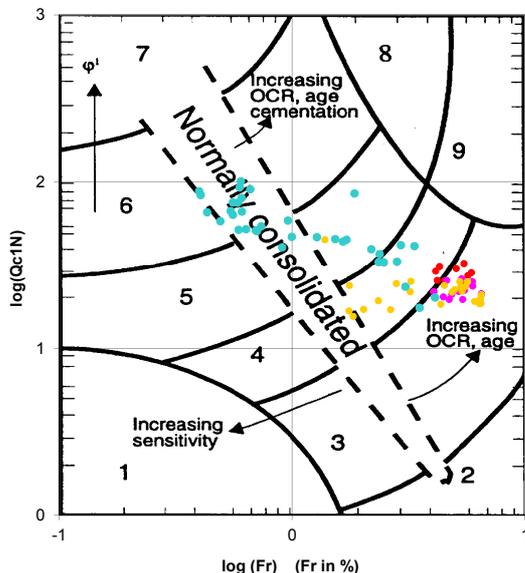
Data  
 Cantiere / Via  
 Località  
 Comune  
 Profondità falda idrica m.

7 gennaio 2019  
 Via Amendola  
 Forlimpopoli  
 Forlimpopoli  
 3.70

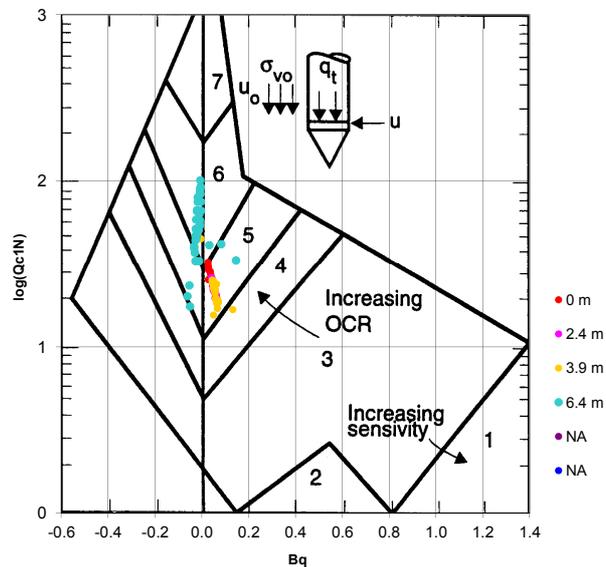


qt	Qc1N Russ o Boulinger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Robertson 1990 basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi daN/cm <sup>2</sup>	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi daN/cm <sup>2</sup>	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
16.9	28.8	0.81	4.9	2.77	limo argilloso-argilla limosa	2.20			Plastica	.	.	0.96	10.47	96.8	163
13.5	22.9	0.63	4.7	2.83	limo argilloso-argilla limosa	2.40			Plastica	.	.	0.82	7.62	77.3	150
14.6	22.7	0.72	5.1	2.86	limo argilloso-argilla limosa	3.30			Plastica	.	.	0.87	6.72	83.5	159
17.1	22.9	0.90	5.5	2.88	limo argilloso-argilla limosa	3.70			Plastica	.	.	0.96	5.64	96.8	173
15.5	19.6	0.94	6.4	2.97	argilla-argilla limosa	4.40		H2O	Plastica	.	.	0.90	5.26	86.5	174
18.9	22.9	0.96	5.3	2.87	limo argilloso-argilla limosa	4.60			Plastica	.	.	1.03	5.40	107.4	181
21.2	25.2	1.11	5.4	2.85	limo argilloso-argilla limosa	4.80			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.11	6.11	120.4	189
17.7	20.5	0.68	3.9	2.81	limo argilloso-argilla limosa	5.60			Plastica	.	.	0.99	5.41	102.8	166
22.5	25.0	0.65	3.0	2.68	limo argilloso-argilla limosa	5.80			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.15	5.63	132.0	175
16.4	18.1	0.36	2.3	2.71	limo argilloso-argilla limosa	6.10			Plastica	.	.	0.94	4.92	74.3	149
32.2	34.4	0.45	1.6	2.42	sabbia limosa-limo sabbioso	6.30			Sciolta	31.8	34.5	.	.	118.4	173
64.0	66.5	0.41	1.0	1.99	sabbia-sabbia limosa	6.70			Mediamente Addensata	53.6	37.7	.	.	206.6	186
24.2	25.2	0.58	2.9	2.68	limo argilloso-argilla limosa	6.90			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.21	3.78	138.3	175
45.3	45.8	0.60	1.4	2.26	sabbia limosa-limo sabbioso	7.60			Mediamente Addensata	41.3	35.9	.	.	160.7	191
22.0	21.8	0.73	3.6	2.77	limo argilloso-argilla limosa	7.80			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.14	4.87	128.2	182
43.6	42.8	0.63	1.6	2.30	sabbia limosa-limo sabbioso	8.00			Mediamente Addensata	39.0	35.6	.	.	161.4	193
61.7	59.8	0.34	0.6	1.95	sabbia-sabbia limosa	8.70			Mediamente Addensata	50.0	37.1	.	.	189.5	184
51.9	49.3	0.46	0.9	2.14	sabbia limosa-limo sabbioso	8.90			Mediamente Addensata	43.6	36.2	.	.	166.9	189
91.7	87.3	0.55	0.6	1.83	sabbia-sabbia limosa	9.40			Mediamente Addensata	62.5	38.9	.	.	282.7	209
54.2	50.1	1.25	2.7	2.43	sabbia limosa-limo sabbioso	9.80			Mediamente Addensata	44.2	36.3	.	.	288.8	226
71.6	65.9	0.43	0.6	1.93	sabbia-sabbia limosa				Mediamente Addensata	53.2	37.6	.	.	220.7	197

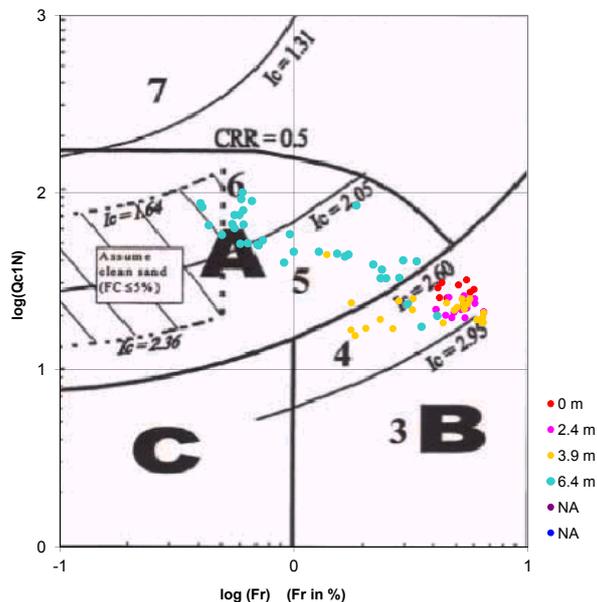
Cross-plot Qc1N verso Fr  
 (Robertson 1990)



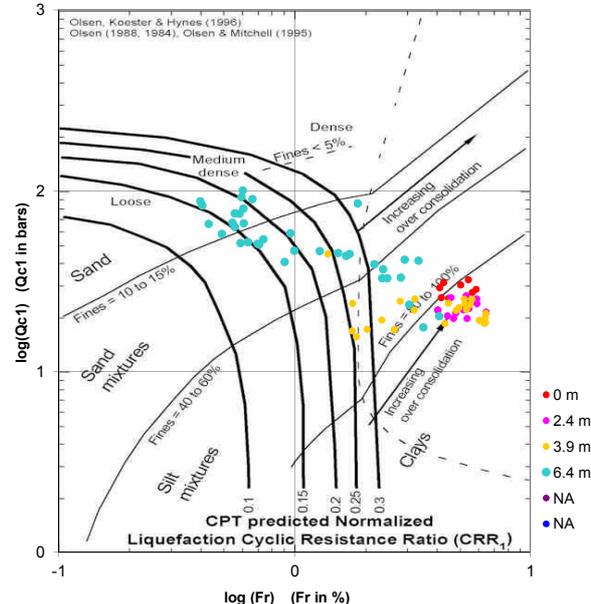
Cross-plot Qc1N verso Bq  
 (Robertson 1990)



Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Robertson 1996



Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Olsen 1996



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilita

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensitività, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Forlimpopoli  
Via Amendola  
Forlimpopoli  
Pride  
07-gen-19

Falda

foro chiuso in superficie

Sigla della Punta  
Azzeramento  
Ultimo taratura guadagno  
Ultimo taratura per deriva termica

Tecnopenta 100707  
Inizio prova  
15-ott-2018  
15-ott-2018



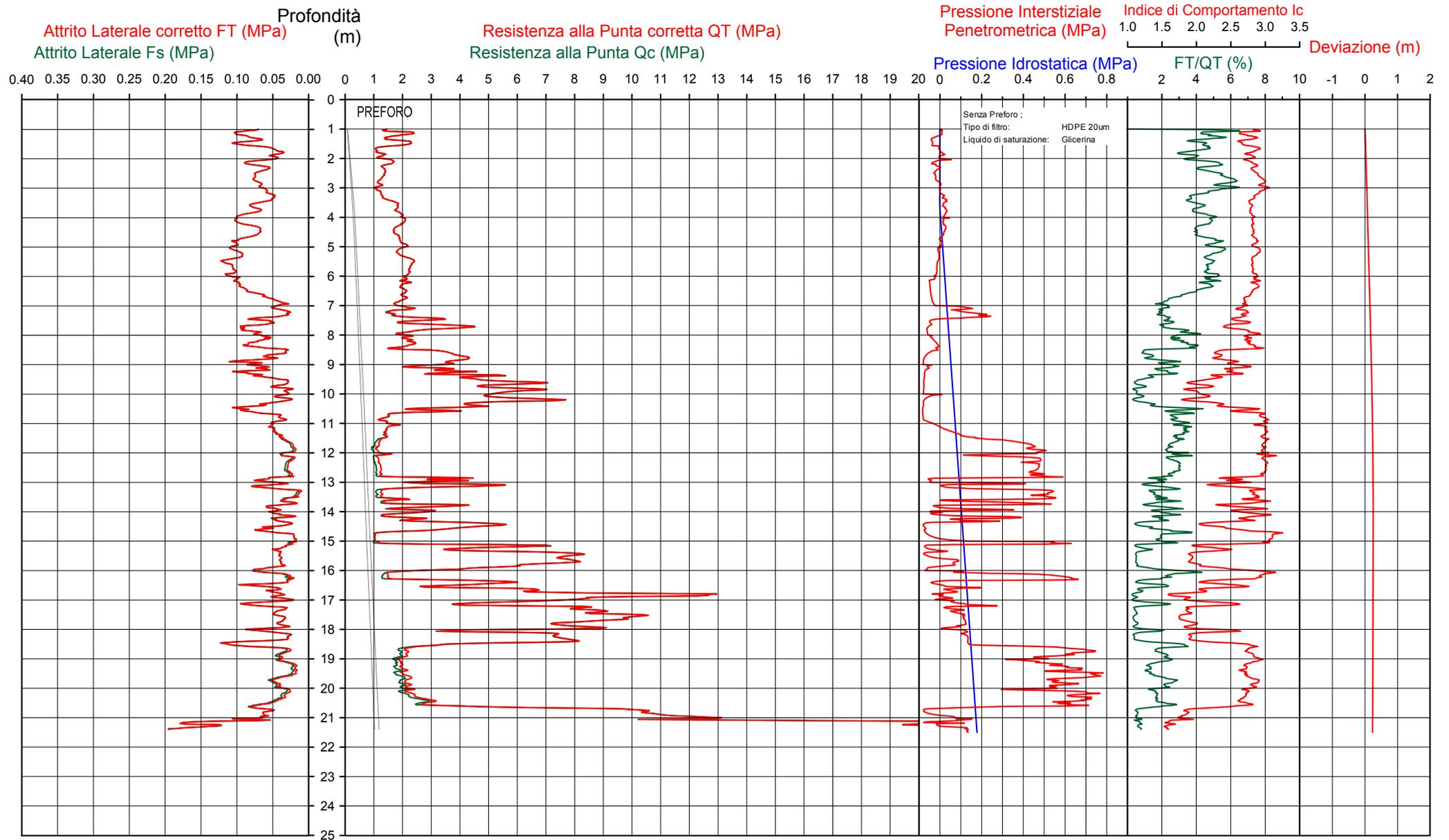
Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

# CPTU

## 2



Data  
 Cantiere / Via  
 Località  
 Comune  
 Profondità falda idrica m.

7 gennaio 2019  
 Via Amendola  
 Forlimpopoli  
 Forlimpopoli  
 3.70

foro chiuso in superficie



qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004 daN/cm²	ft daN/cm²	FT/Qnet %	lc Robertson	Litologia Robertson 1990 basato su Fr vs Qc1N	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito φ' Kulhaway & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi daN/cm²	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
15.9	27.0	0.86	5.6	2.84	limo argilloso-argilla limosa	1.10						0.92	19.01	90.0	165
22.5	38.2	1.00	4.5	2.66	limo argilloso-argilla limosa	1.20			Solido-plastica (Duro)			1.15	24.44	129.2	176
16.2	27.6	0.76	4.8	2.78	limo argilloso-argilla limosa	1.40			Plastica			0.93	15.05	92.9	161
20.3	34.5	0.90	4.5	2.70	limo argilloso-argilla limosa	1.60			Solido-plastica (Duro)			1.08	18.90	116.7	170
11.8	20.1	0.45	4.0	2.83	limo argilloso-argilla limosa	2.00			Plastica			0.74	7.53	68.4	140
16.2	27.5	0.76	4.8	2.78	limo argilloso-argilla limosa	2.20			Plastica			0.93	9.65	92.6	160
13.4	22.5	0.69	5.3	2.87	limo argilloso-argilla limosa	2.70			Plastica			0.81	6.65	76.0	153
11.6	18.1	0.67	6.1	2.98	argilla-argilla limosa	3.10			Plastica			0.73	5.05	65.0	152
13.1	18.8	0.52	4.2	2.86	limo argilloso-argilla limosa	3.40			Plastica			0.80	4.81	75.5	150
18.9	23.3	0.86	4.7	2.83	limo argilloso-argilla limosa	5.30		H2O	Plastica			1.03	5.16	108.3	176
21.4	23.3	0.95	4.7	2.82	limo argilloso-argilla limosa	6.80			Solido-plastica (Duro)			1.12	5.24	123.1	186
18.7	19.1	0.38	2.2	2.69	limo argilloso-argilla limosa	7.40			Plastica			1.03	4.05	82.1	158
32.1	32.1	0.74	2.4	2.54	sabbia limosa-limo sabbioso	7.50			Sciolta	29.5	34.2			152.3	191
20.1	20.0	0.51	2.8	2.73	limo argilloso-argilla limosa	7.60			Solido-plastica (Duro)			1.07	4.19	107.9	169
37.4	36.9	0.83	2.3	2.48	sabbia limosa-limo sabbioso	7.80			Sciolta	34.1	34.8			173.7	200
21.7	20.8	0.69	3.5	2.78	limo argilloso-argilla limosa	8.50			Solido-plastica (Duro)			1.13	4.75	126.1	180
37.9	35.6	0.60	1.7	2.38	sabbia limosa-limo sabbioso	9.00			Sciolta	32.9	34.7			143.0	188
23.9	21.9	0.66	3.0	2.72	limo argilloso-argilla limosa	9.10			Solido-plastica (Duro)			1.20	4.34	138.8	183
39.7	36.5	0.69	1.9	2.42	sabbia limosa-limo sabbioso	9.50			Sciolta	33.7	34.8			160.1	196
55.8	50.7	0.38	0.8	2.06	sabbia limosa-limo sabbioso	10.40			Mediamente Addensata	44.6	36.4			175.0	187
33.8	29.4	0.92	3.2	2.64	limo argilloso-argilla limosa	10.60			Semi solida (Molto duro)			1.45	5.84	197.6	207
16.4	13.7	0.51	3.5	2.93	limo argilloso-argilla limosa	10.80			Plastica			0.94	2.86	95.4	167
14.4	11.7	0.45	3.6	2.99	argilla-argilla limosa				Plastica			0.86	1.89	84.0	161



CPTU

2

Data  
 Cantiere / Via  
 Località  
 Comune  
 Profondità falda idrica m.

7 gennaio 2019  
 Via Amendola  
 Forlimpopoli  
 Forlimpopoli  
 3.70

foro chiuso in superficie



**Società di  
 Geologia  
 Territoriale**

S.G.T. sas.  
 di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

Vs 1 - 21  
 176

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004 daN/cm <sup>2</sup>	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Robertson 1990 basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito φ' Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	%	Robertson	m											
131.5	102.8	0.78	0.6	1.78	sabbia-sabbia limosa	21.10			Addensata	67.9	39.1	.	.	406.5	241
225.4	202.9	1.61	0.7	1.59	sabbia-sabbia limosa				Molto addensato	>90	41.7	.	.	703.8	281

Comune Forlimpopoli  
 Via Via Amendola  
 Localita' Forlimpopoli  
 Committente Pride  
 Data 07-gen-19

Numero prova 2  
 Quota falda 3.70

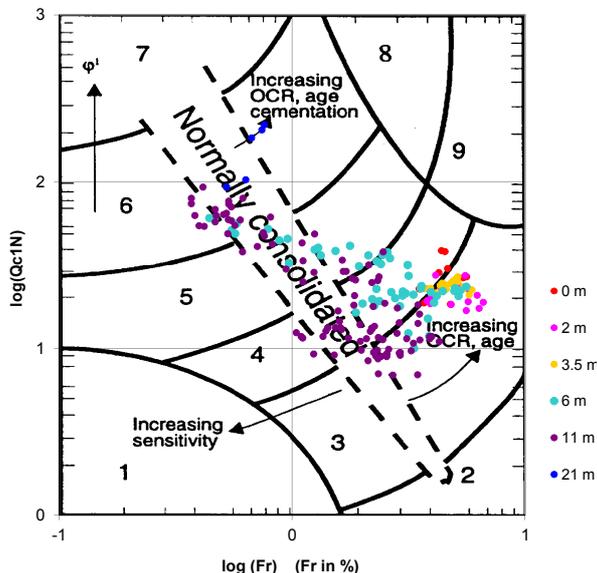


Società di  
 Geologia  
 Territoriale

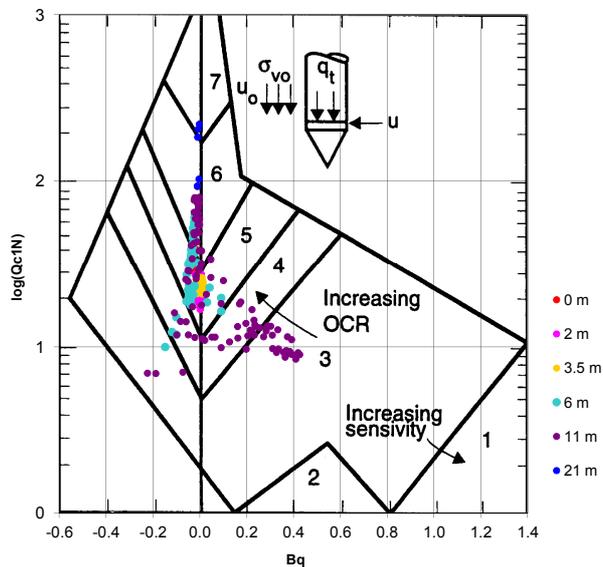
S.G.T. sas.  
 di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

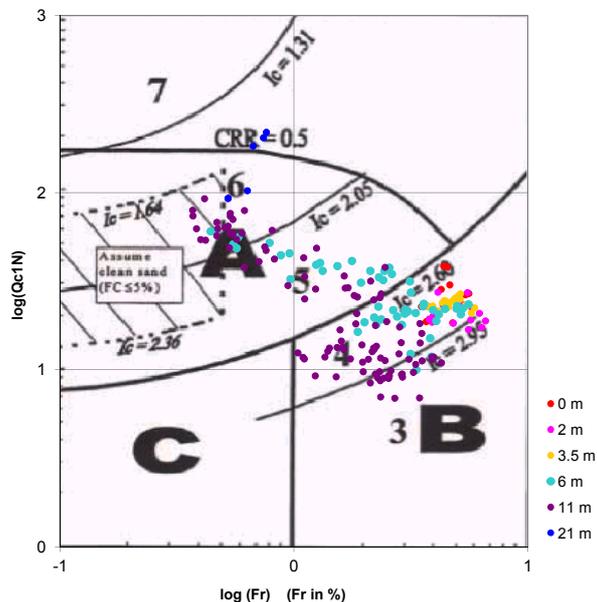
Cross-plot Qc1N verso Fr  
 (Robertson 1990)



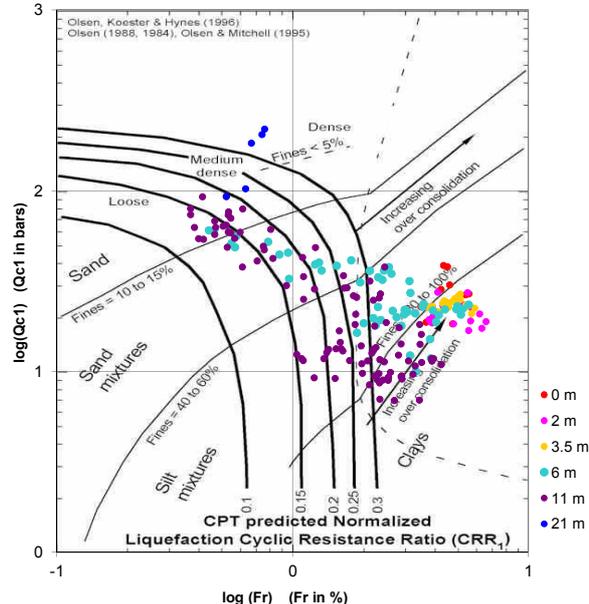
Cross-plot Qc1N verso Bq  
 (Robertson 1990)



Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Robertson 1996



Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Olsen 1996



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilita

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensitività, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune Forlimpopoli  
 Via Via Amendola  
 Localita' Forlimpopoli  
 Committente Pride  
 Data 07-gen-19

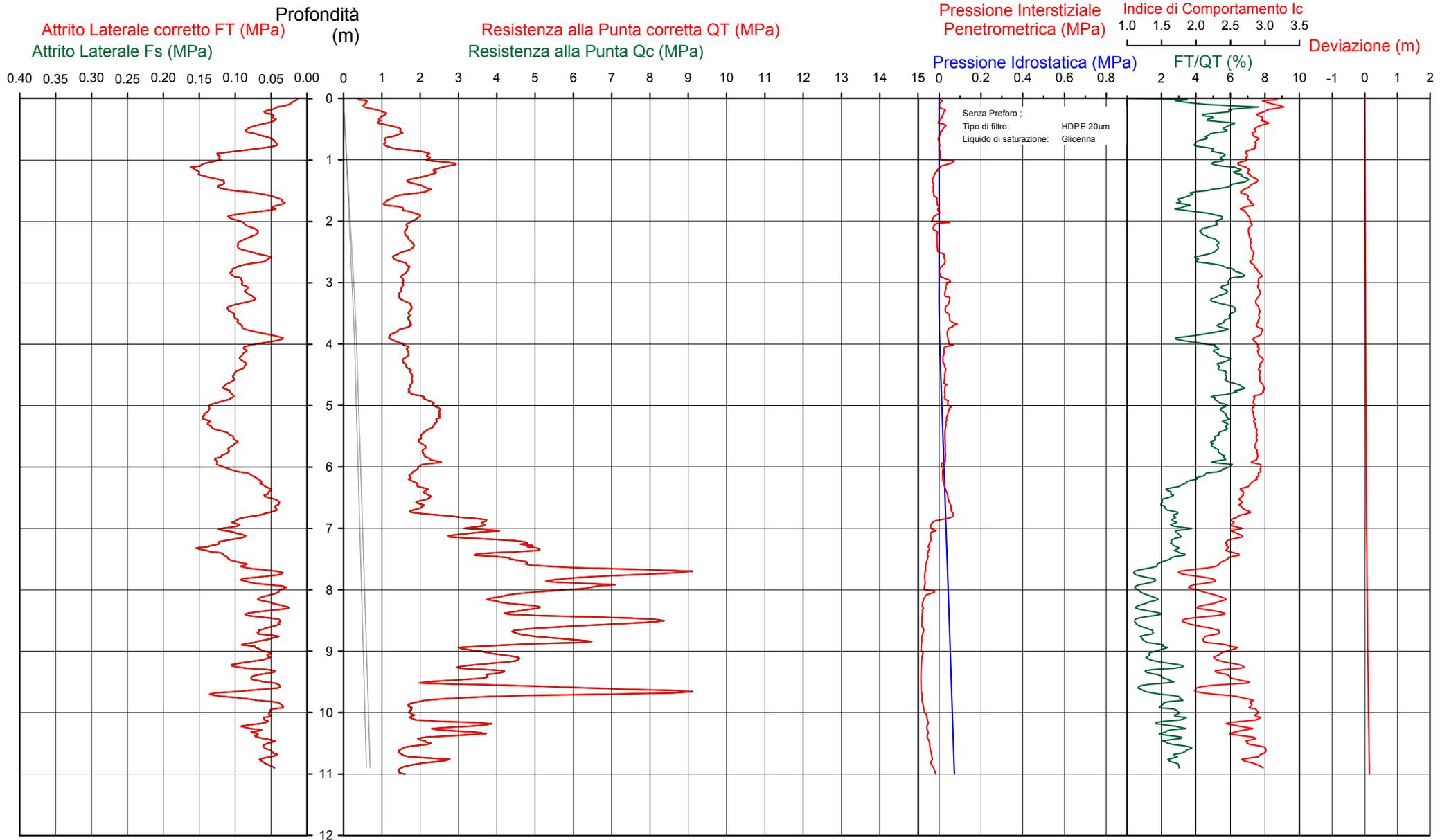
Falda foro chiuso a 2.30m  
 Sigla della Punta Tecnopenta 100707  
 Azzeramento Inizio prova  
 Ultimo taratura guadagno 15-ott-2018  
 Ultimo taratura per deriva termica 15-ott-2018



**Società di  
 Geologia  
 Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 www.geo55.com

# CPTU 3



CPTU

3

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

7 gennaio 2019  
Via Amendola  
Forlimpopoli  
Forlimpopoli  
3.70

foro chiuso a 2.30m



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

Vs11
177

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004 daN/cm <sup>2</sup>	ft	FT/Qnet daN/cm <sup>2</sup> %	lc	Robertson	Litologia Robertson 1990 basato su Fr vs Qc1N	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito φ' Kulhaway & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
6.2	10.6	0.32	5.0	3.11	argilla-argilla limosa	0.20	=====			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.44	68.14	41.1	123
12.7	21.6	0.64	5.0	2.88	limo argilloso-argilla limosa	0.90	=====			Plastica	.	.	0.78	24.32	72.7	150
21.6	36.6	1.23	5.7	2.75	limo argilloso-argilla limosa	1.60	=====			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.12	21.80	121.8	180
12.5	21.2	0.39	3.2	2.76	limo argilloso-argilla limosa	1.80	=====			Plastica	.	.	0.77	8.47	72.8	138
16.4	25.1	0.87	5.5	2.85	limo argilloso-argilla limosa	3.80	=====			Plastica	.	.	0.94	7.91	93.1	167
13.2	17.0	0.49	3.9	2.88	limo argilloso-argilla limosa	4.00	=====			Plastica	.	.	0.80	3.99	76.4	151
17.0	20.8	0.97	6.0	2.93	limo argilloso-argilla limosa	4.80	=====			Plastica	.	.	0.96	4.97	95.7	178
23.4	26.8	1.30	5.8	2.85	limo argilloso-argilla limosa	5.40	=====			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.18	5.52	132.4	198
21.1	23.3	1.12	5.6	2.88	limo argilloso-argilla limosa	6.00	=====			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.11	5.20	119.8	192
18.2	19.6	0.79	4.6	2.88	limo argilloso-argilla limosa	6.30	=====			Plastica	.	.	1.01	4.44	104.8	176
21.0	22.0	0.50	2.5	2.68	limo argilloso-argilla limosa	6.80	=====			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.11	4.80	104.0	168
34.8	35.3	1.00	3.0	2.57	sabbia limosa-limo sabbioso	7.20	=====			Sciolta	32.7	34.6	.	.	204.6	203
45.4	45.1	1.19	2.7	2.45	sabbia limosa-limo sabbioso	7.60	=====			Mediamente Addensata	40.7	35.8	.	.	240.1	217
66.9	65.4	0.60	1.0	2.03	sabbia-sabbia limosa	8.00	=====			Mediamente Addensata	53.0	37.6	.	.	216.4	201
44.7	42.8	0.53	1.3	2.25	sabbia limosa-limo sabbioso	8.40	=====			Mediamente Addensata	39.0	35.6	.	.	152.8	188
70.1	66.9	0.49	0.8	1.97	sabbia-sabbia limosa	8.60	=====			Mediamente Addensata	53.8	37.7	.	.	219.8	199
51.0	47.9	0.64	1.3	2.23	sabbia limosa-limo sabbioso	8.90	=====			Mediamente Addensata	42.7	36.1	.	.	176.7	199
39.1	35.9	0.65	1.8	2.41	sabbia limosa-limo sabbioso	9.20	=====			Sciolta	33.2	34.8	.	.	152.3	194
34.3	31.0	0.73	2.3	2.53	sabbia limosa-limo sabbioso	9.50	=====			Sciolta	28.3	34.1	.	.	159.2	195
61.8	56.6	0.71	1.3	2.18	sabbia limosa-limo sabbioso	9.70	=====			Mediamente Addensata	48.2	36.9	.	.	211.4	207
32.8	29.1	0.98	3.3	2.67	limo argilloso-argilla limosa	9.80	=====			Semi solida (Molto duro)	.	.	1.43	5.52	191.4	208
17.6	15.1	0.47	3.0	2.85	limo argilloso-argilla limosa		=====			Plastica	.	.	0.98	2.93	102.5	167

H2O

CPTU

3

Data  
 Cantiere / Via  
 Località  
 Comune  
 Profondità falda idrica m.

7 gennaio 2019  
 Via Amendola  
 Forlimpopoli  
 Forlimpopoli  
 3.70

foro chiuso a 2.30m



**Società di  
 Geologia  
 Territoriale**

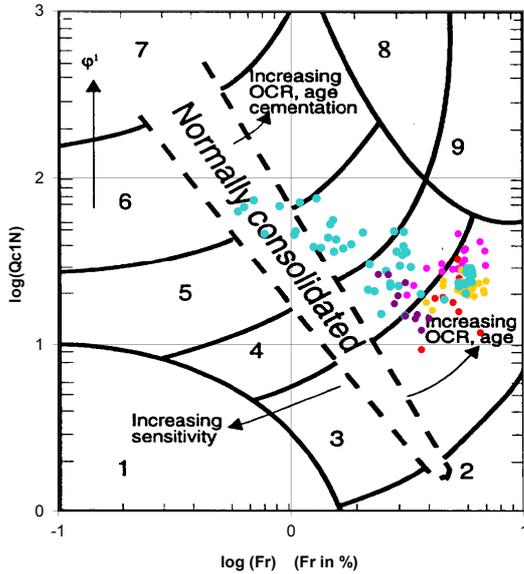
S.G.T. sas.  
 di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

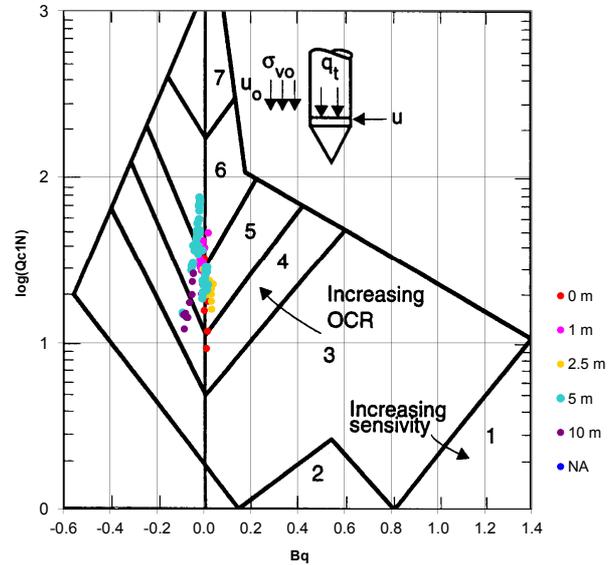
Vs11
177

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004 daN/cm <sup>2</sup>	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Robertson 1990 basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito φ' Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi daN/cm <sup>2</sup>	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi daN/cm <sup>2</sup>	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
						10.10									
27.3	23.4	0.66	2.7	2.68	limo argilloso-argilla limosa				Solido-plastica (Duro)			1.30	4.91	143.7	188
						10.50									
18.3	15.1	0.54	3.4	2.89	limo argilloso-argilla limosa				Plastica			1.01	2.71	106.5	173

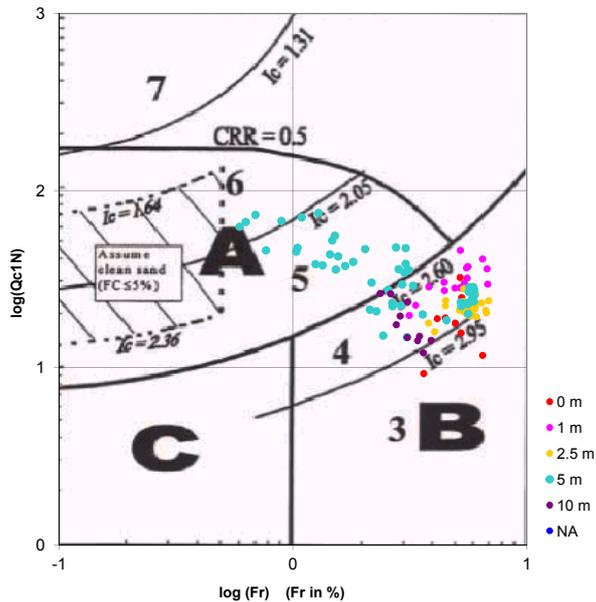
Cross-plot Qc1N verso Fr  
 (Robertson 1990)



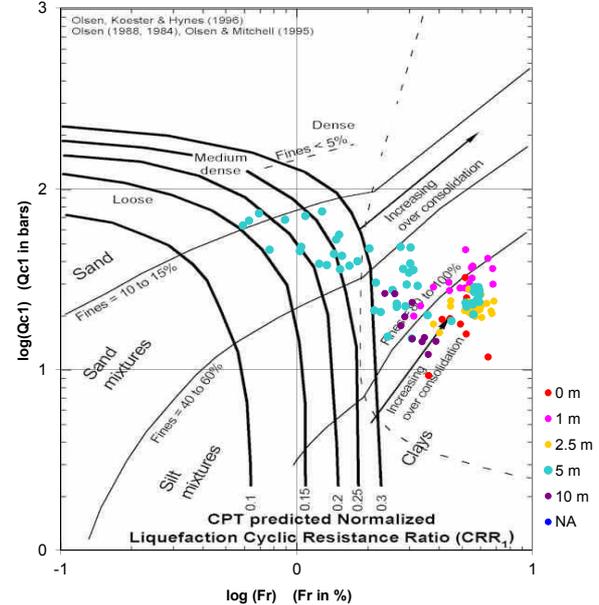
Cross-plot Qc1N verso Bq  
 (Robertson 1990)



Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Robertson 1996



Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Olsen 1996



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa - sabbia densa
6	Sabbia - sabbia limosa
5	Sabbia limosa - limo sabbioso
4	Limo argilloso - argilla limosa
3	Argilla limoso - argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilita

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensitività, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune Forlimpopoli  
 Via Via Amendola  
 Localita' Forlimpopoli  
 Committente Pride  
 Data 07-gen-19

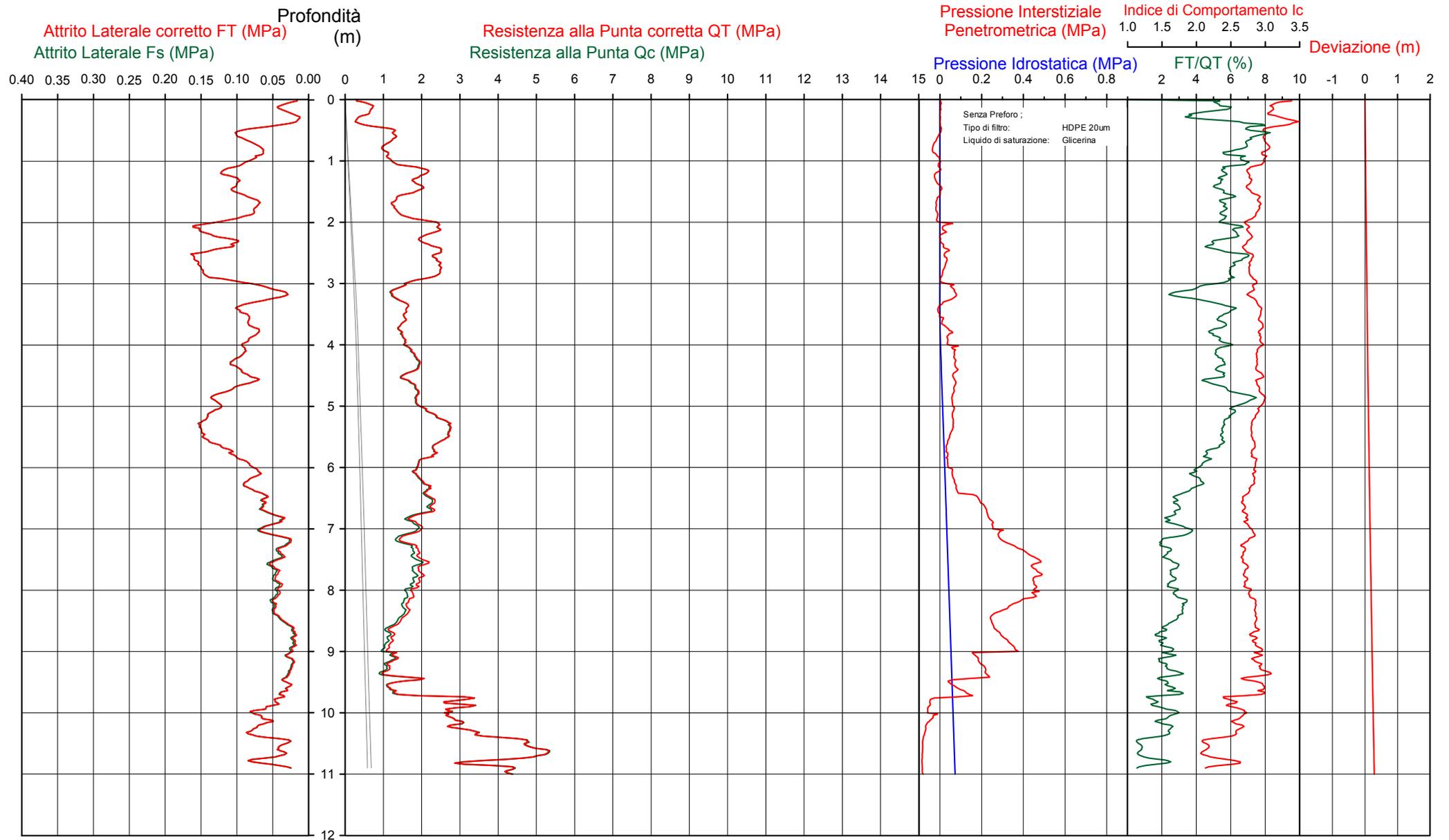
Falda misurato a 6.50m  
 Sigla della Punta Tecnopenta 100707  
 Azzeramento Inizio prova  
 Ultimo taratura guadagno 15-ott-2018  
 Ultimo taratura per deriva termica 15-ott-2018



**Società di  
 Geologia  
 Territoriale**

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 www.geo55.com

# CPTU 4



CPTU

4

Data  
 Cantiere / Via  
 Località  
 Comune  
 Profondità falda idrica m.

7 gennaio 2019  
 Via Amendola  
 Forlimpopoli  
 Forlimpopoli  
 3.70

misurato a 6.50m



Società di  
 Geologia  
 Territoriale

S.G.T. sas.  
 di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

Vs11
167

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004 daN/cm <sup>2</sup>	ft	FT/Qnet daN/cm <sup>2</sup> %	lc	Litologia Robertson 1990 basato su Fr vs Qc1N Robertson	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito φ' Kulhaway & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
6.1	10.4	0.33	5.4	3.14	argilla-argilla limosa	0.20	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.44	66.98	41.3	125
4.0	6.8	0.19	5.0	3.27	argilla-argilla limosa	0.40	=====		Fluidi-plastica (Molto Soffice)	.	.	0.30	20.92	26.5	108
11.2	19.0	0.78	7.0	3.01	argilla-argilla limosa	1.00	=====		Plastica	.	.	0.71	18.16	61.9	155
18.1	30.7	1.02	5.8	2.81	limo argilloso-argilla limosa	1.60	=====		Plastica	.	.	1.00	14.35	102.1	172
13.4	22.7	0.75	5.7	2.90	limo argilloso-argilla limosa	1.90	=====		Plastica	.	.	0.81	9.11	75.4	156
22.6	35.8	1.34	6.0	2.77	limo argilloso-argilla limosa	3.00	=====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.16	10.10	127.4	188
13.6	19.6	0.49	3.7	2.81	limo argilloso-argilla limosa	3.30	=====		Plastica	.	.	0.82	5.62	78.7	148
15.4	20.2	0.84	5.7	2.93	limo argilloso-argilla limosa	4.00	=====	H2O	Plastica	.	.	0.90	5.53	87.0	170
18.1	21.8	1.02	5.9	2.91	limo argilloso-argilla limosa	5.00	=====		Plastica	.	.	1.00	5.01	101.9	181
24.8	27.7	1.35	5.7	2.83	limo argilloso-argilla limosa	5.80	=====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.22	5.54	140.3	202
19.4	20.9	0.81	4.4	2.85	limo argilloso-argilla limosa	6.20	=====		Plastica	.	.	1.05	5.00	111.6	179
22.1	23.2	0.71	3.4	2.73	limo argilloso-argilla limosa	6.70	=====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.14	4.84	128.9	179
18.8	19.2	0.51	2.9	2.76	limo argilloso-argilla limosa	7.10	=====		Plastica	.	.	1.03	4.34	106.4	166
14.5	14.6	0.29	2.2	2.78	limo argilloso-argilla limosa	7.20	=====		Plastica	.	.	0.86	3.10	64.2	146
19.3	18.9	0.41	2.3	2.70	limo argilloso-argilla limosa	8.00	=====		Plastica	.	.	1.05	3.60	88.3	162
16.4	15.6	0.44	3.0	2.84	limo argilloso-argilla limosa	8.50	=====		Plastica	.	.	0.94	3.43	95.1	161
12.0	11.0	0.23	2.3	2.89	limo argilloso-argilla limosa	9.40	=====		Plastica	.	.	0.75	2.46	54.2	139
17.3	15.5	0.33	2.2	2.77	limo argilloso-argilla limosa	9.50	=====		Plastica	.	.	0.97	3.05	76.3	157
12.3	10.8	0.31	3.0	2.97	argilla-argilla limosa	9.70	=====		Plastica	.	.	0.76	2.00	70.5	146
28.3	25.2	0.57	2.2	2.58	sabbia limosa-limo sabbioso		=====		Sciolta	21.4	33.1	.	.	124.7	183



Comune Forlimpopoli  
 Via Via Amendola  
 Localita' Forlimpopoli  
 Committente Pride  
 Data 07-gen-19

Numero prova 4  
 Quota falda 3.70

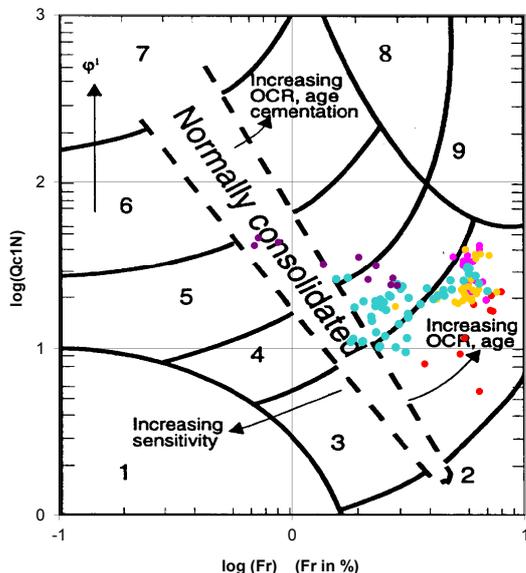


Società di  
 Geologia  
 Territoriale

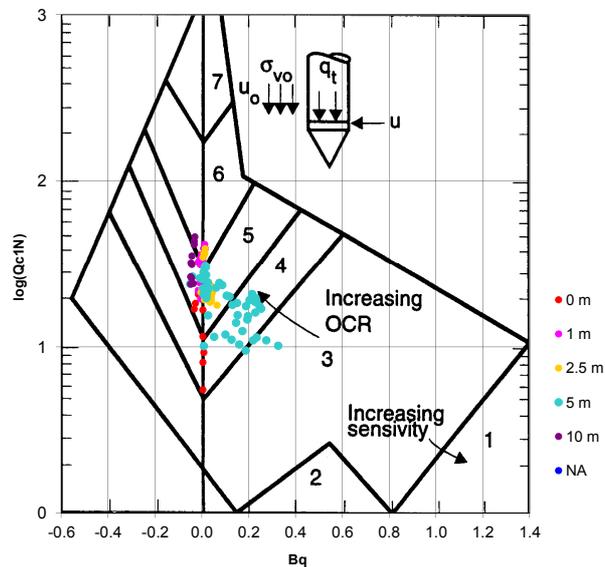
S.G.T. sas.  
 di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

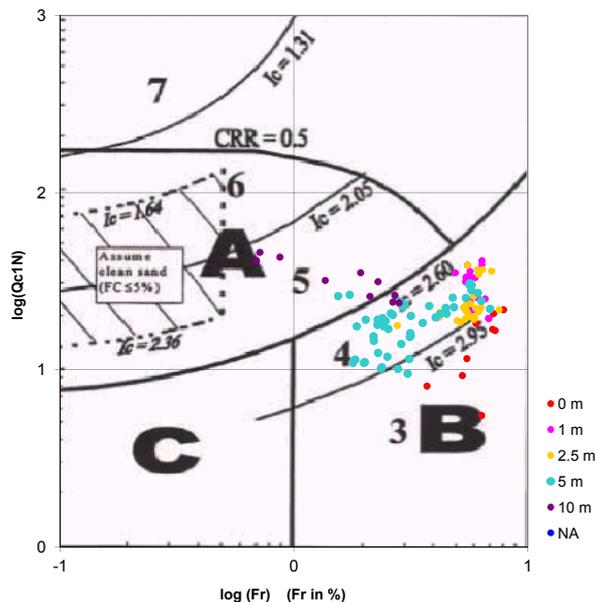
Cross-plot Qc1N verso Fr  
 (Robertson 1990)



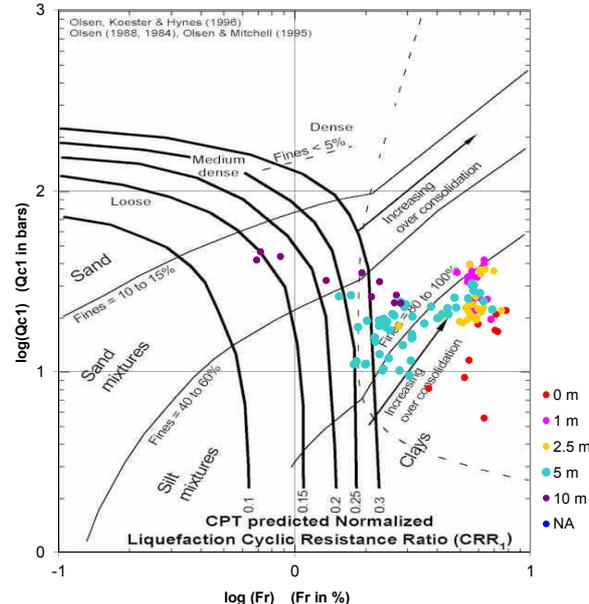
Cross-plot Qc1N verso Bq  
 (Robertson 1990)



Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Robertson 1996



Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Olsen 1996



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa - sabbia densa
6	Sabbia - sabbia limosa
5	Sabbia limosa - limo sabbioso
4	Limo argilloso - argilla limosa
3	Argilla limoso - argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilita

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensitività, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune Forlimpopoli  
 Via Via Amendola  
 Localita' Forlimpopoli  
 Committente Pride  
 Data 07-gen-19

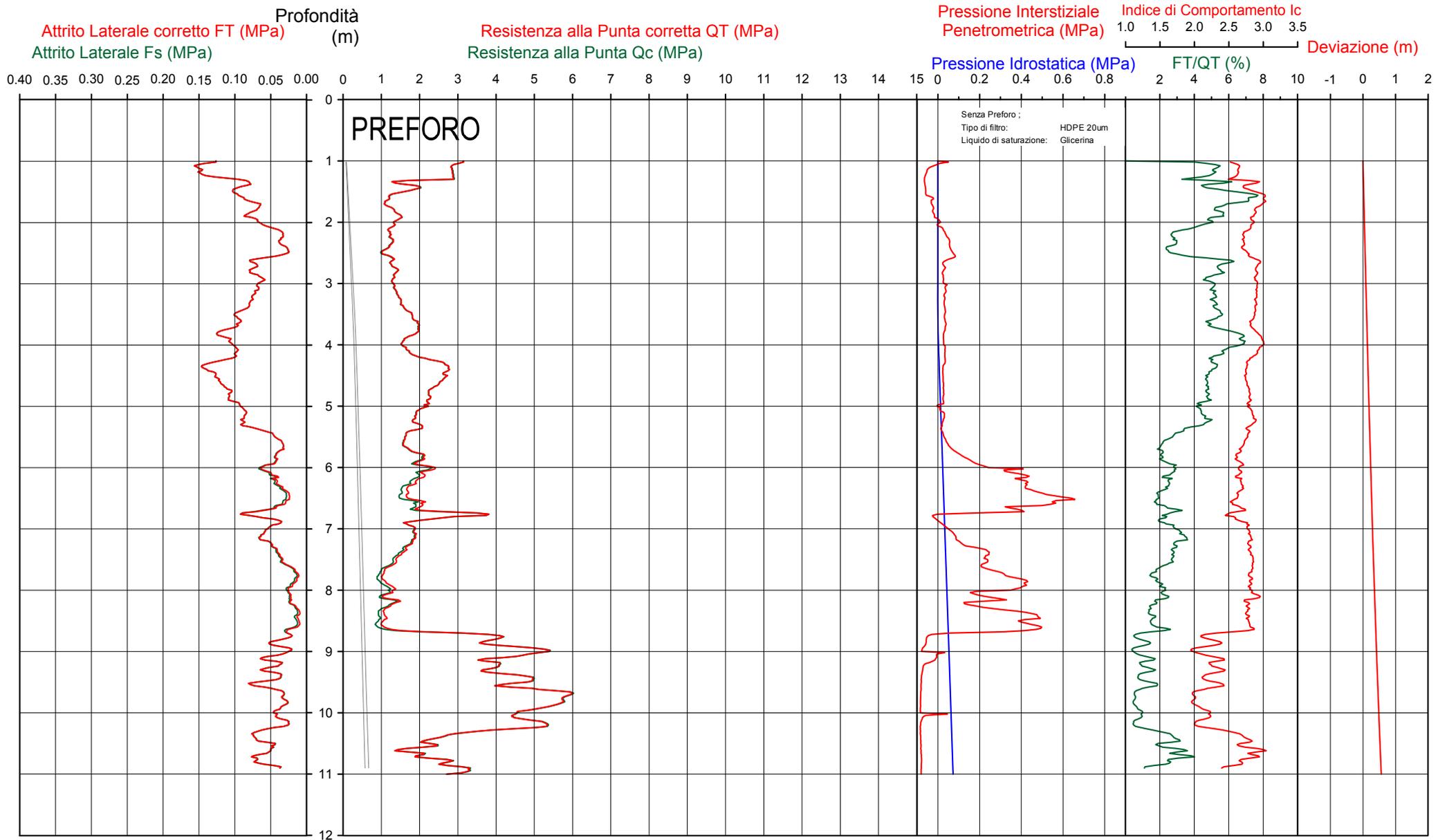
Falda foro chiuso a 0.50m  
 Sigla della Punta Tecnopenta 100707  
 Azzeramento Inizio prova  
 Ultimo taratura guadagno 15-ott-2018  
 Ultimo taratura per deriva temica 15-ott-2018



Società di  
 Geologia  
 Territoriale

S.G.T. sas  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 www.geo55.com

# CPTU 5



Data  
 Cantiere / Via  
 Località  
 Comune  
 Profondità falda idrica m.

7 gennaio 2019  
 Via Amendola  
 Forlimpopoli  
 Forlimpopoli  
 3.70

foro chiuso a 0.50m



qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004 daN/cm²	ft daN/cm²	FT/Qnet %	lc Robertson	Litologia Robertson 1990 basato su Fr vs Qc1N	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito φ' Kulhaway & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi daN/cm²	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi daN/cm²	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
28.9	49.1	1.40	4.9	2.61	limo argilloso-argilla limosa	1.30			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.34	31.85	165.4	193
17.0	28.9	0.90	5.5	2.81	limo argilloso-argilla limosa	1.50			Plastica	.	.	0.96	13.70	96.4	167
11.9	20.3	0.86	7.3	3.00	argilla-argilla limosa	1.70			Plastica	.	.	0.75	9.76	65.5	158
12.7	21.6	0.50	4.0	2.80	limo argilloso-argilla limosa	2.60			Plastica	.	.	0.78	7.14	73.6	142
13.9	20.9	0.72	5.4	2.90	limo argilloso-argilla limosa	3.40			Plastica	.	.	0.84	5.27	79.0	159
18.8	24.6	1.00	5.5	2.86	limo argilloso-argilla limosa	3.80		H2O	Plastica	.	.	1.03	6.00	106.4	180
17.0	21.5	1.05	6.5	2.95	limo argilloso-argilla limosa	4.20			Plastica	.	.	0.96	5.58	94.9	180
24.5	29.1	1.18	5.0	2.77	limo argilloso-argilla limosa	5.00			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.22	7.10	140.3	195
19.3	22.2	0.87	4.8	2.85	limo argilloso-argilla limosa	5.30			Plastica	.	.	1.05	5.41	110.6	180
17.7	19.9	0.46	2.7	2.73	limo argilloso-argilla limosa	5.80			Plastica	.	.	0.99	5.13	93.4	158
21.0	22.9	0.49	2.4	2.65	limo argilloso-argilla limosa	6.20			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.11	5.09	100.9	165
17.4	18.6	0.32	1.9	2.66	limo argilloso-argilla limosa	6.50			Plastica	.	.	0.98	4.38	70.8	150
20.2	21.4	0.28	1.5	2.55	sabbia limosa-limo sabbioso	6.60			Sciolta	16.1	32.2	.	.	72.7	152
19.9	21.0	0.47	2.5	2.69	limo argilloso-argilla limosa	6.70			Plastica	.	.	1.07	4.57	97.6	164
33.2	34.5	0.80	2.5	2.53	sabbia limosa-limo sabbioso	6.80			Sciolta	31.9	34.5	.	.	163.8	194
20.7	21.5	0.43	2.2	2.66	limo argilloso-argilla limosa	6.90			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.09	4.64	92.5	164
16.7	17.0	0.46	3.0	2.81	limo argilloso-argilla limosa	7.60			Plastica	.	.	0.95	3.88	96.8	160
12.1	11.7	0.17	1.6	2.80	limo argilloso-argilla limosa	8.70			Plastica	.	.	0.75	2.22	44.9	131
38.9	37.1	0.37	1.0	2.24	sabbia limosa-limo sabbioso	8.90			Sciolta	34.3	34.9	.	.	126.3	175
48.9	46.5	0.34	0.8	2.10	sabbia limosa-limo sabbioso	9.10			Mediamente Addensata	41.7	36.0	.	.	153.3	179
42.4	39.6	0.51	1.3	2.29	sabbia limosa-limo sabbioso	9.60			Mediamente Addensata	36.4	35.2	.	.	145.8	187
56.8	52.7	0.32	0.6	2.01	sabbia-sabbia limosa	9.90			Mediamente Addensata	45.8	36.5	.	.	174.8	183
46.5	42.4	0.41	0.9	2.19	sabbia limosa-limo sabbioso	10.10			Mediamente Addensata	38.7	35.5	.	.	149.5	185
48.2	43.7	0.39	0.9	2.15	sabbia limosa-limo sabbioso	10.30			Mediamente Addensata	39.7	35.7	.	.	154.5	184
22.6	19.6	0.63	3.1	2.78	limo argilloso-argilla limosa	10.80			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.16	4.62	132.2	181
28.4	24.5	0.49	1.9	2.56	sabbia limosa-limo sabbioso				Sciolta	20.5	33.0	.	.	115.8	180

Comune Forlimpopoli  
 Via Via Amendola  
 Localita' Forlimpopoli  
 Committente Pride  
 Data 07-gen-19

Numero prova 5  
 Quota falda 3.70

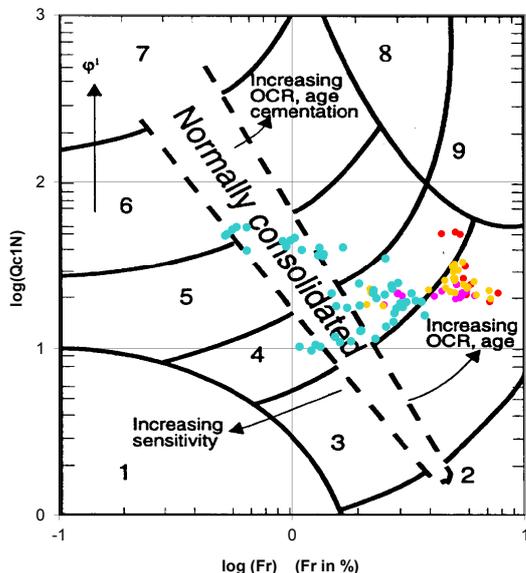


Società di  
 Geologia  
 Territoriale

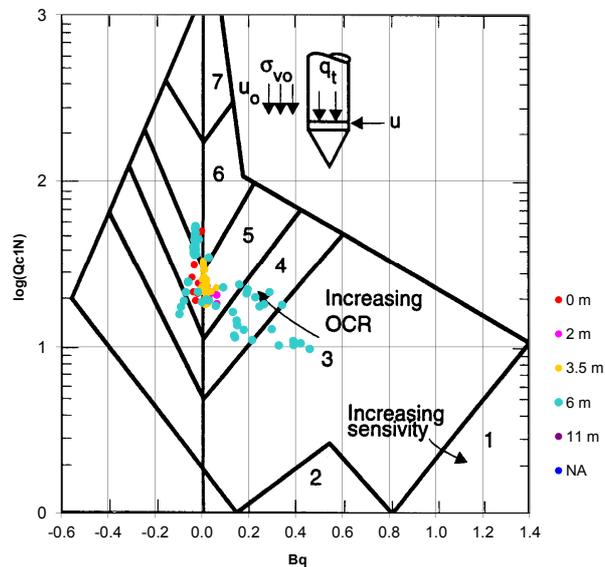
S.G.T. sas.  
 di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

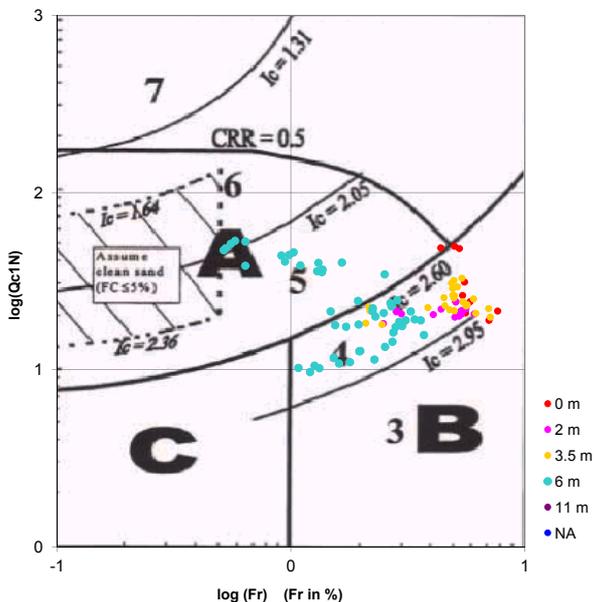
Cross-plot Qc1N verso Fr  
 (Robertson 1990)



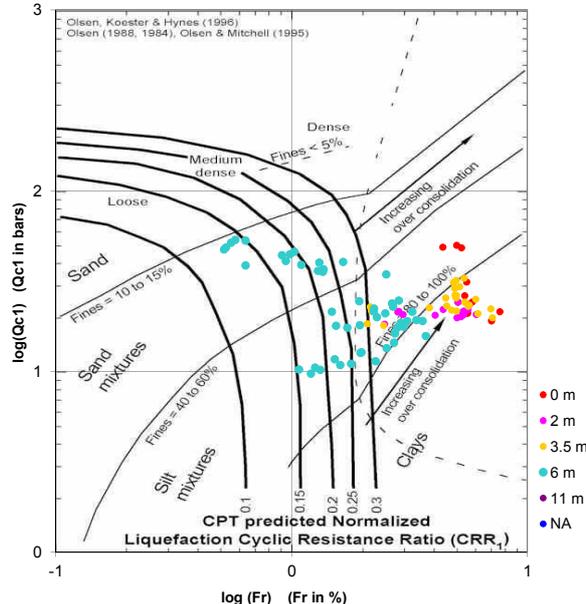
Cross-plot Qc1N verso Bq  
 (Robertson 1990)



Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Robertson 1996



Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Olsen 1996



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa - sabbia densa
6	Sabbia - sabbia limosa
5	Sabbia limosa - limo sabbioso
4	Limo argilloso - argilla limosa
3	Argilla limoso - argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilita

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensitività, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

## **ESITI DELLE INDAGINI DISPONIBILI**

P631

Pratica N. 1258

SCHEMA DA RITORNARE AL GENIO CIVILE

Ditta S.F.I.R. S.p.A. SOCIETA' FONDIARIA INDUSTRIALE ROMAGNOLA

residente a FORLIMPOPOLI Via Togliatti, n° 9

Perforazione pozzo ad uso INDUSTRIALE in Comune di FORLIMPOPOLI

Frazione // Località FORLIMPOPOLI mapp. N. XII

Data di ultimazione dei lavori:

Ditta perforatrice: S.p.A. SUCCESSORI ING. A. BONARIVA - BOLOGNA - Via Zanotti, 19 -

CARATTERISTICHE DEL POZZO:

avanpozzo (si o no) NO
Ø interno tubi mm. 150 fino a mt. 39,00
" " " " 253 " " " 71,30
profondità mt. 71,30

CARATTERISTICHE del GRUPPO MOTORE POMPA

livello statico mt. 23,65 (10 -2 - 77)
tipo della pompa BPH 313/4B sommersa
prevalenza max. della pompa mt. 53,5
tipo del motore 7A 133/2
potenza del motore CV = 17,5

PORTATA: lt/sec. 16,6

SUPERFICIE IRRIGATA:

ha // arc // ca //

FABBISOGNO fabbisogno industriale, xxxxxx

Prove eseguite nel 1968 hanno dato la portata di circa lt./sec. 6,5. Non sono più state eseguite altre prove. Funzionante nei mesi compresi fra agosto e novembre.

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera

Data 14 febbraio 1977

STRATIGRAFIA REALE DEL TERRENO

Indicare la natura dei terreni e le FALDE ACQUIFERE ATTRAVERSATE, specificando se il tubo è fenestrato in corrispondenza

da mt. 0,00 a mt. 5,50 - Argilla sabbiosa marrone
" " 5,50 " " 10,50 - Argilla sabbiosa variegata
" " 10,50 " " 25,50 - Argilla grigio cenere
da mt. 25,50 a mt. 28,00 - Ghiaia piatta grigio chiara
" " 28,00 " " 31,50 - Ghiaietto grigio con sabbia fine
" " 31,50 " " 32,50 - Argilla gialla compatta
da mt. 32,50 a mt. 35,20 - Ghiaia e ghiaietto grigio con sabbia gialla
" " 35,20 " " 40,40 - Sabbia fine gialla grigio con ghiaietto
" " 40,40 " " 41,60 - Sabbia gialla leggermente argillosa
da mt. 41,60 a mt. 45,70 - Argilla azzurra compatta
" " 45,70 " " 54,30 - Argilla grigia molto sabbiosa
" " 54,30 " " 55,40 - Ghiaia grigia con sabbia fine. Tubo fenestrato
da mt. a mt. da mt. 54,79 a mt. 55,79
" " 55,40 " " 58,00 - Argilla grigia sabbiosa con detriti
" " 58,00 " " 60,40 - Ghiaietto azzurro (acquifero). Tubo fenestrato
da mt. 60,40 a mt. 61,40 - Ghiaia grig. azz. (acquifero). da mt. 58,78 a mt. 61,78
" " 61,40 " " 64,00 - Ghiaia con lignite e argilla azzurra
" " 64,00 " " 66,50 - Ghiaietto grigio (acquifero). Tubo fenestrato da
da mt. a mt. mt. 64,21 a mt. 66,78
" " 66,50 " " 71,50 - Argilla grigia plastica

Firma

577 001
Lucchiarotti
[Signature]

# S.P.A. SUCCESSORI ING. A. BONARIVA BOLOGNA

POZZO N. 6 ESEGUITO PER CONTO DEL Spett.

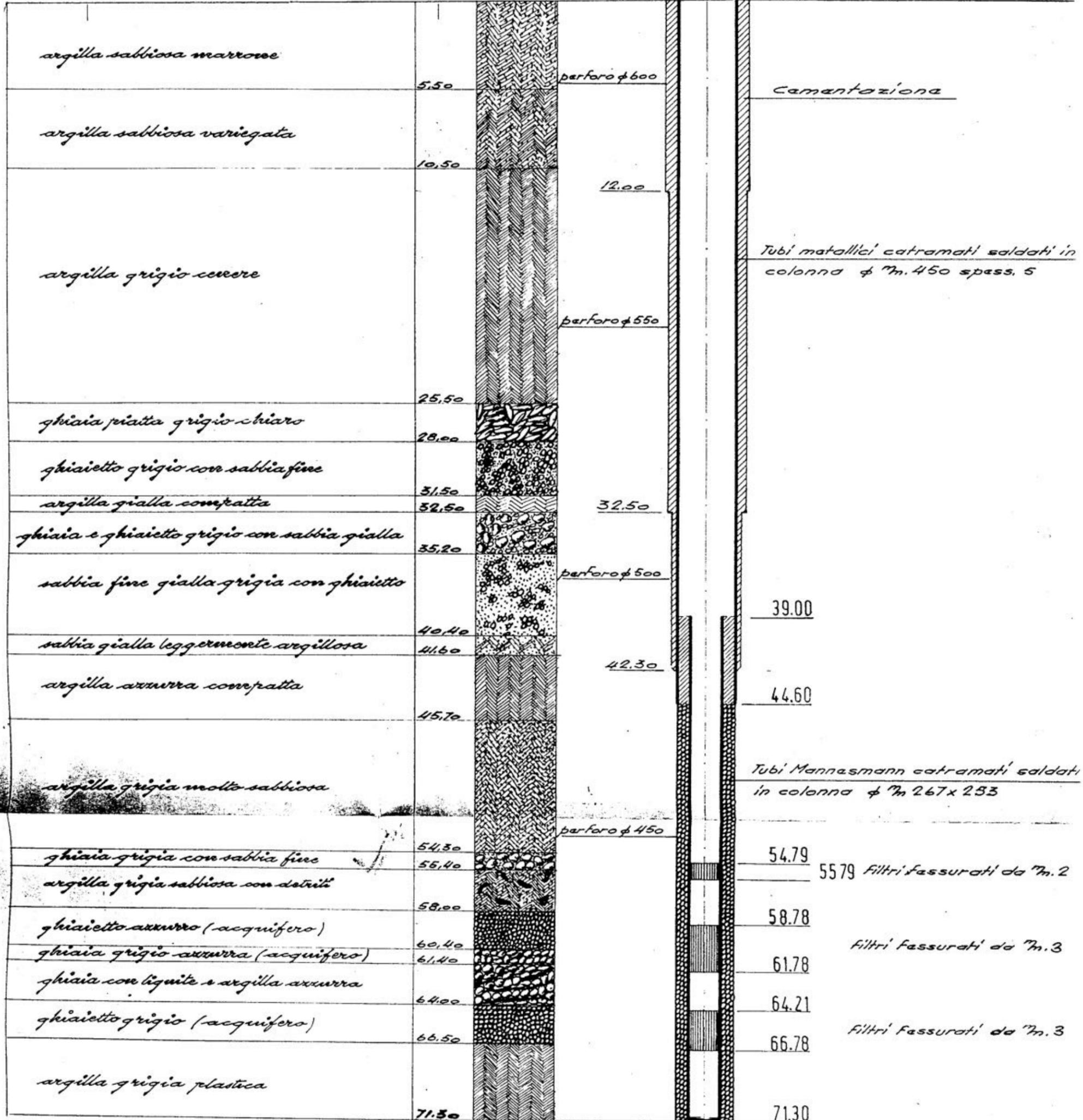
## S.F.I.R. Forlimpopoli SEZIONE STRATIGRAFICA

P631

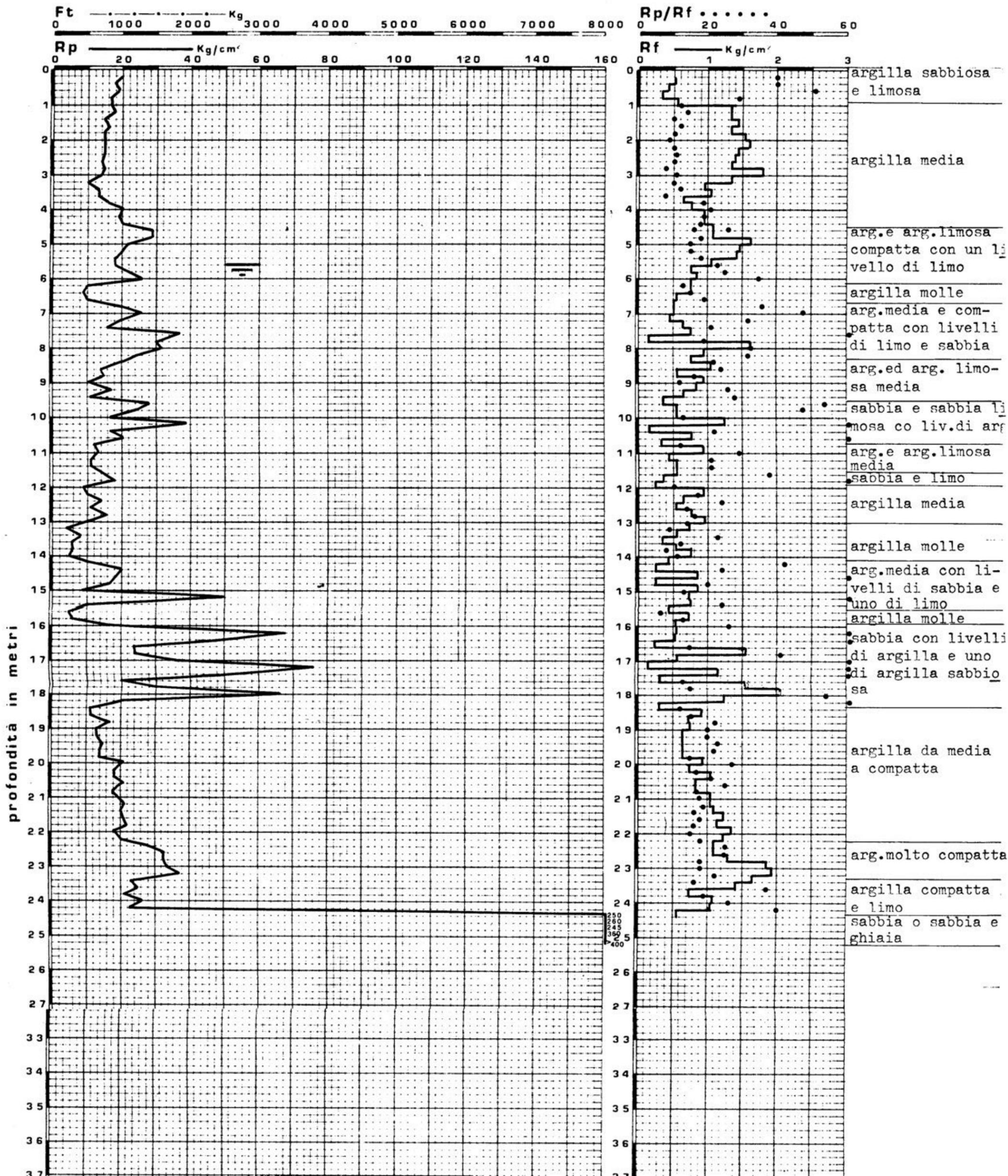
LOCALITÀ: FORLIMPOPOLI (Via per Carpinallo)

Interno Zuccherificio - estremo Nord Est.

POZZO TIPO *drandant*



255020 C047



REGIONE EMILIA - ROMAGNA

Ufficio Regionale del Genio Civile di Forlì



Pratica N. .... 1209 .....

SCHEDA DA RITORNARE AL GENIO CIVILE

Ditta S.F.I.R. S.p.A. SOCIETA' FONDIARIA INDUSTRIALE ROMAGNOLA  
 residente a FORLIMPOPOLI, Via Togliatti n° 6  
 Perforazione pozzo ad uso INDUSTRIALE in Comune di FORLIMPOPOLI  
 profondità // Località FORLIMPOPOLI mapp. N. VII  
 Data di ultimazione dei lavori: 10/2/77  
 Ditta perforatrice: S.p.A. SUCCHERETTI S.p.A. - SUCCHERETTI - Via S. Felice, 15

P630  
255020

CARATTERISTICHE DEL POZZO:

avanpozzo (si o no) //  
 Ø interno tubi mm. 450 fino a mt. 35,25  
 " " " " 255 " " 74,00  
 profondità mt. 74,00

CARATTERISTICHE del GRUPPO MOTORE POMPA

livello statico mt. 21,67 (10-2-77)  
 tipo della pompa BPH 384/4 sommersa  
 prevalenza max. della pompa mt. 65  
 tipo del motore K.S.B. NA 413 ad immersione  
 potenza del motore CV = 41

PORTATA: lt./sec. 33,3

SUPERFICIE IRRIGATA:

ha // arc // ca //

FABBISOGNO (agricolo, industriale, zootecnico)

Prove eseguite nel 1968 hanno dato la portata di circa lt./sec. 8,66. Non sono più state eseguite altre prove. Funzionante nei mesi compresi tra agosto e novembre. La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera.

Data 10 - 2 - 1977

STRATIGRAFIA REALE DEL TERRENO

Indicare la natura dei terreni e le FALDE ACQUIFERE ATTRAVERSATE, specificando se il tubo è fenestrato in corrispondenza

da mt. 0,00	a mt. 5,50	- Argilla giallo grigio leggermente sabbiosa
" " 5,50	" " 13,00	- Sabbia gialla finissima argillosa
da mt. 13,00	a mt. 24,00	- Argilla grigio cenere con setti limosi
" " 24,00	" " 24,80	- [Sabbia] <sup>Ghiaia</sup> grigia grossa (acquifera)
da mt. 24,80	a mt. 25,50	- Argilla grigio <sup>scuro</sup> azzurro molto sabbiosa
" " 25,50	" " 30,00	- Ghiaia grigia con poca sabbia
da mt. 30,00	a mt. 32,50	- Argilla grigia con macchie ruggine
" " 32,50	" " 38,70	- Ghiaia grigia e ruggine con sabbia fine (acquifera)
da mt. 38,70	a mt. 54,00	- Argilla grigio azzurro molto sabbiosa
" " 54,00	" " 57,00	- Sabbia grigia fine leggerm. argillosa
da mt. 57,00	a mt. 64,00	- Ghiaia grigia con ghiaietto e sabbia fine (acquifera). Fenestrato da mt. 58,98 a mt. 64,60
da mt. 64,00	a mt. 74,00	- Argilla grigio giallo con noduli azzurri e calcinelli
da mt. ....	a mt. ....	.....

Firma S.F.I.R. S.p.A.  
 Zuccheretti di Forlì  
 Il Direttore  
*Brosacci*

8,66 120

POZZO N. 5 ESEGUITO PER CONTO DEL Spett.

S.F.I.R. Forlìmpopoli

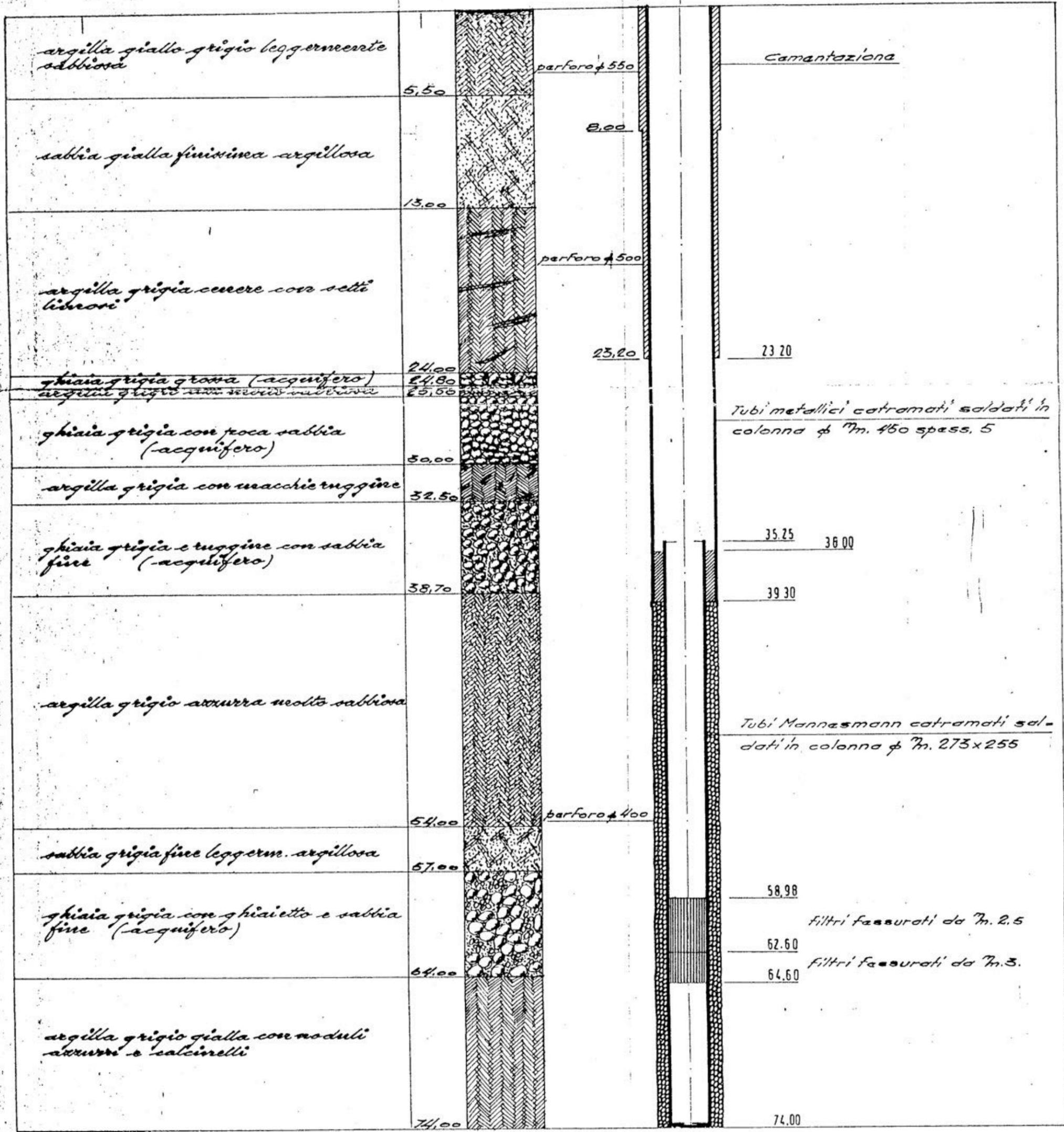
SEZIONE STRATIGRAFICA

P630

LOCALITÀ: FORLIMPOPOLI

Interno stabilimento estremo ovest (presso laasca)

POZZO TIPO *drainante*



## **ESITO DELL'INDAGINE GEOFISICA**

# COMUNE di FORLIMPOPOLI

(Provincia di Forlì-Cesena)

## MISURA DIGITALE DEL RUMORE SISMICO

VIA AMENDOLA



Committente: PRIDE

Gennaio, 2019



**SGT** Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
[www.geo55.com](http://www.geo55.com)



## Misure digitali del rumore sismico HVSR

Per la valutazione dell'amplificazione sismica di risonanza del substrato di interesse e della Vs30 si è utilizzato il TROMINO, uno strumento in grado di misurare i microtremori.

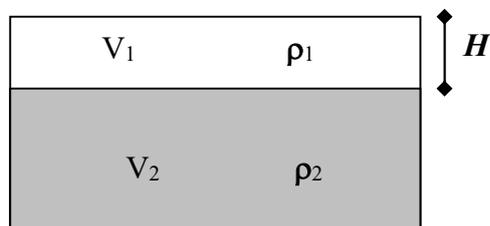
Il tremore sismico, comunemente definito "rumore sismico", esiste ovunque sulla superficie della terra. Esso è principalmente costituito da onde superficiali, ovvero da onde elastiche prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli strati superficiali. Il rumore sismico è prodotto essenzialmente dal vento o dalle onde marine. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione della velocità di queste ultime.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo da rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoschi e Igaraschi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato. Considerando lo schema della figura sottostante in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ). Un'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizioni di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4 * H}$$

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi dello spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando la sopra riportata equazione.



L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) in contenuto di frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

Un aspetto assai importante è che il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione per la risonanza del sottosuolo e degli edifici più o meno come una luce bianca diffusa illumina gli oggetti eccitando le lunghezze d'onda tipiche di ciascun oggetto e dandogli il suo tipico colore.

Questo risulta molto importante a livello ingegneristico perché se un edificio ha frequenze proprie di vibrazione uguali a quelle del substrato su cui è fondato, durante un sisma, si assiste al fenomeno dell'accoppiamento delle vibrazioni. Questo effetto di amplificazione sismica produrrà un grande aumento della sollecitazione sugli edifici.

La calibrazione delle misure dei microtremori è stata eseguita in base alle indagini geognostiche eseguite sul sito di indagine ed ai dati reperiti sulla zona in esame.

La prova eseguita impiegando la suddetta metodologia dei microtremori ha evidenziato, utilizzando l'inversione H/V con il metodo proposto da Nakamura, secondo la teoria descritta da Aki (1964) e Ben-Menahem & Sing (1981), i seguenti valori della velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri di profondità:

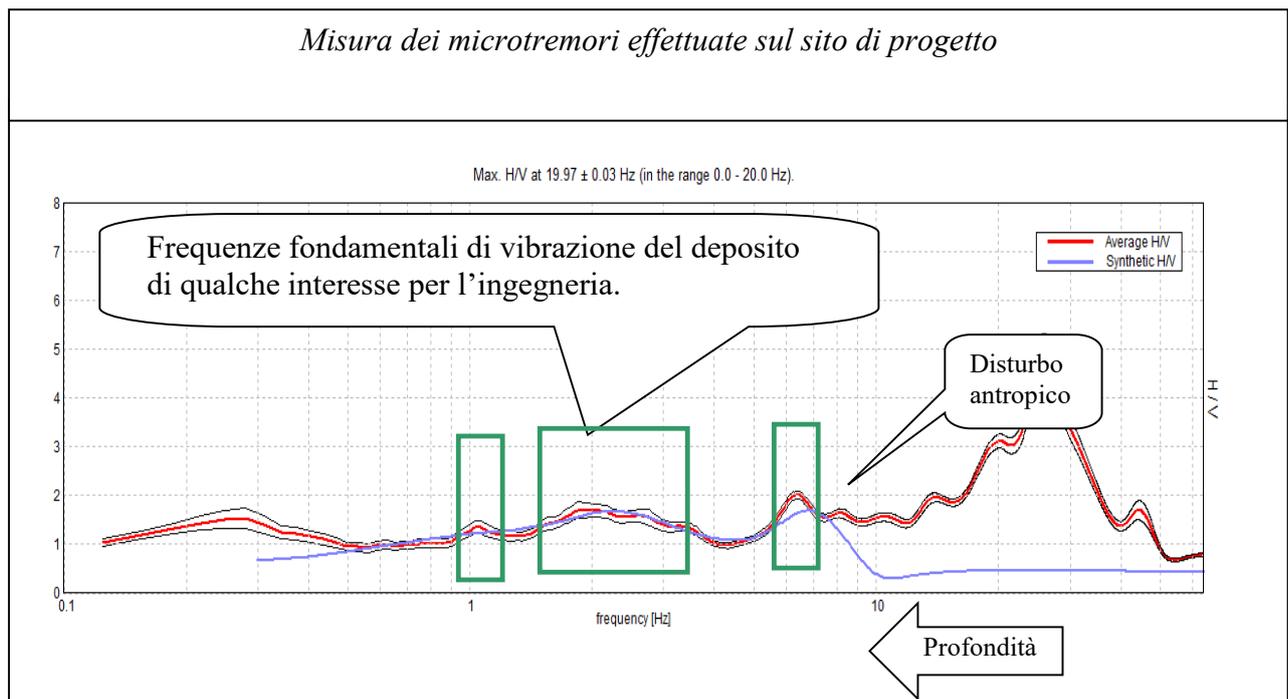
Valori di Vs30	
T 1	224 m/s

L'analisi delle frequenze fondamentali di amplificazione del sito evidenzia l'amplificazione di risonanza tipica del terreno e, di conseguenza, l'altezza critica degli edifici che in caso di sisma possono entrare in risonanza con il terreno.

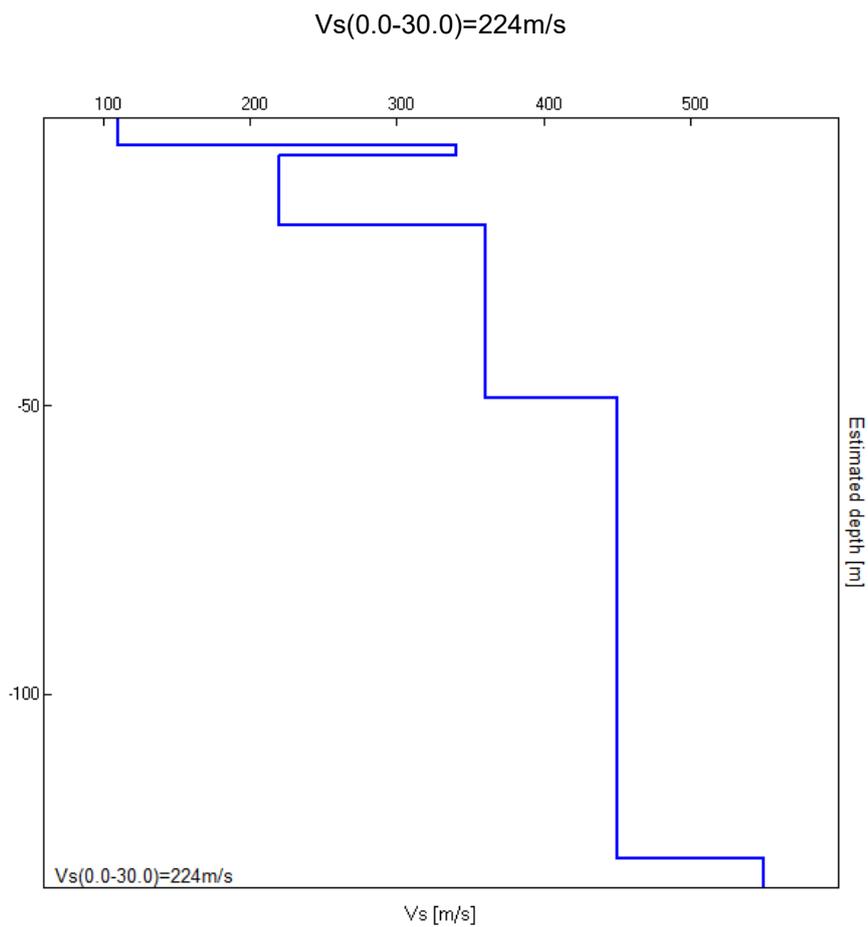
Nel caso specifico è possibile individuare una frequenza tipica, significativa da un punto di vista dell'ingegneria, per il deposito esaminato

Frequenze e periodo di risonanza del deposito, significative per l'ingegneria		
	Frequenza	Periodo
T1	6.52 Hz	0.15 sec
T1	1.76÷2.8 Hz	0.56÷0.35 sec
T1	1.04 Hz	0.96 sec

La progettazione e le verifiche del modello sismico delle opere in progetto potranno essere utilmente confrontate con la frequenza fondamentale del sito indagato.



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.60	4.60	110	0.40
6.60	2.00	340	0.40
18.60	12.00	220	0.40
48.60	30.00	360	0.40
128.60	80.00	450	0.35
inf.	inf.	550	0.35



## VALORI DI $V_{s,30}$ CARATTERISTICI DEL SITO: CATEGORIA DEL SUOLO

Il D.M. 17-01-2018, Norme tecniche per le costruzioni, stabilisce delle categorie del suolo ai fini di valutare l'amplificazione sismica del sito in esame.

Considerando la geologia della zona e facendo riferimento al suddetto D.M., in base alla velocità nei primi trenta metri di profondità del substrato indagato, ricavato dall'interpretazione delle misure HVSR, si può affermare che il sottosuolo del sito di interesse appartiene alla categoria **C**.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
<b>B</b>	<i>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 <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
<b>C</b>	<i>Depositati 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 <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
<b>D</b>	<i>Depositati 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 <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s.</i>
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente a quelle definite per le categorie C o D, con spessore del substrato non superiore a 30 m.</i>

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,30}$  è definita dall'espressione

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