

CASADIO & CO.
di Casadio Mario

Via V.Veneto 1/bis – 47100 FORLÌ
Tel: 0543 23923 – Email: studio@casadioeco.it

P.I. 04263320402

Casadio&Co



geologia
acustica
ambiente

INDAGINE GEOLOGICA

Committente: Forlì Mobilità Integrata

DATA: 01/10/2018

**RELATIVA AL SITO INTERESSATO DAL LOTTO 1
DEL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DELLA STRADA DI
COLLEGAMENTO VELOCE FORLÌ - CESENA**

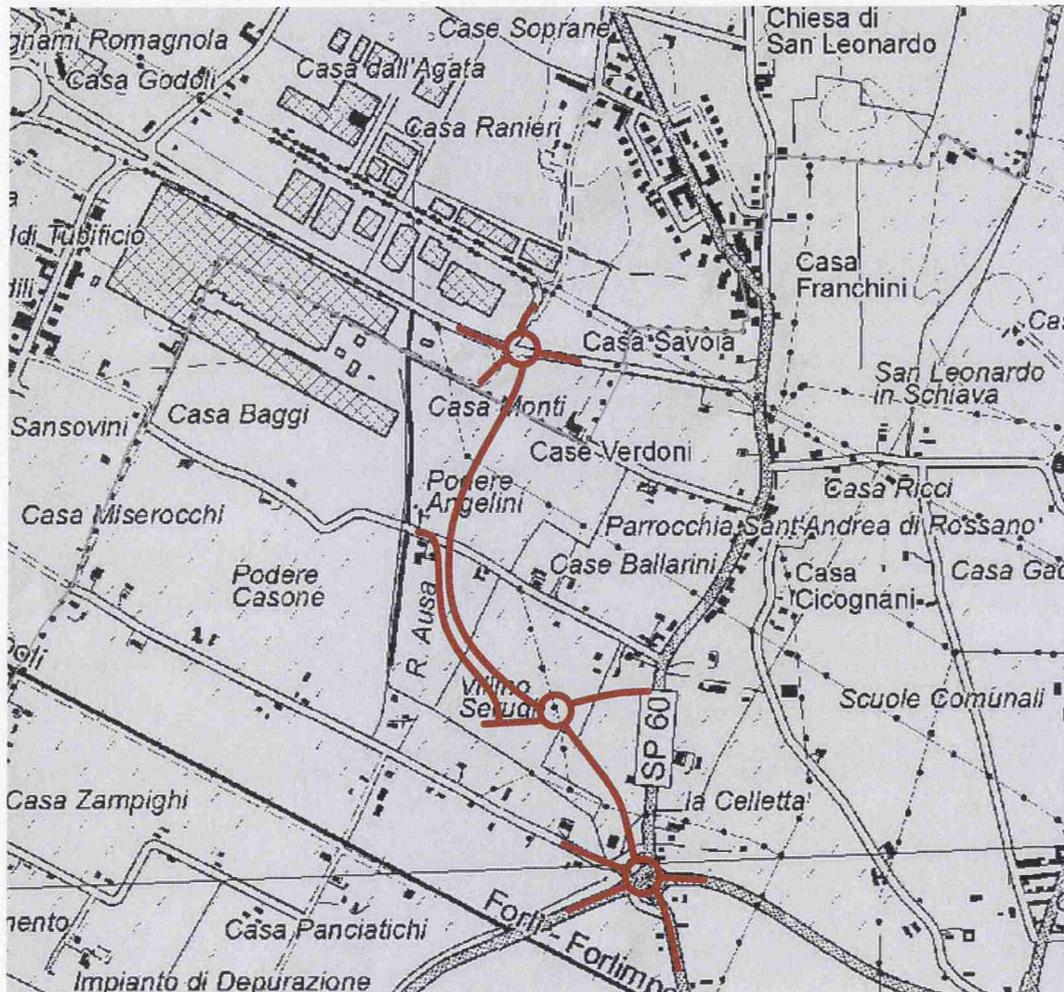
Il geologo
MARIO CASADIO

RELATIVA AL SITO INTERESSATI DAL LOTTO 1 DEL PROGETTO DI
REALIZZAZIONE DELLA STRADA DI COLLEGAMENTO VELOCE
FORLI'-CESENA

PREMESSA

La presente indagine è stata commissionata allo scrivente allo scopo di verificare le condizioni idrogeologiche e geotecniche di un'area tra la zona industriale di Villa Selva (in Comune di Forlì) e l'abitato di Forniolo/San Leonardo in Schiava (in Comune di Forlimpopoli) sulla quale sarà realizzato un nuovo collegamento stradale.

Geograficamente l'area è inserita nei fogli n. 240.140 e 255.020 della carta tecnica regionale.



Lo studio è finalizzato anche alla ricerca dei parametri che consentono la classificazione sismica del terreno, a tale scopo sono state programmate le seguenti indagini:

- esecuzione di n.15 prove penetrometriche statiche CPT
- n.2 rilievi sismici REMI-MASW
- n.2 sondaggio a carotaggio
- n.4 prelievi di terreno per analisi chimiche
- n.2 prelievi di terreno per analisi geotecniche
- analisi di laboratorio geotecnico
- analisi di laboratorio chimico
- ricerca bibliografica.

Alla presente relazione sono allegati:

- planimetria area d'intervento a scala 1:5.000 con ubicazione prove
- inquadramento territoriale alla scala 1:5.000
- carta geologica alla scala 1:10.000

ALLEGATO PROVE E SONDAGGI

- colonne stratigrafiche sondaggi
- grafici penetrometrici
- certificati prove di laboratorio geotecnico
- certificati prove di laboratorio chimico.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Relativamente alla parte geologica, si fa riferimento alle seguenti normative:

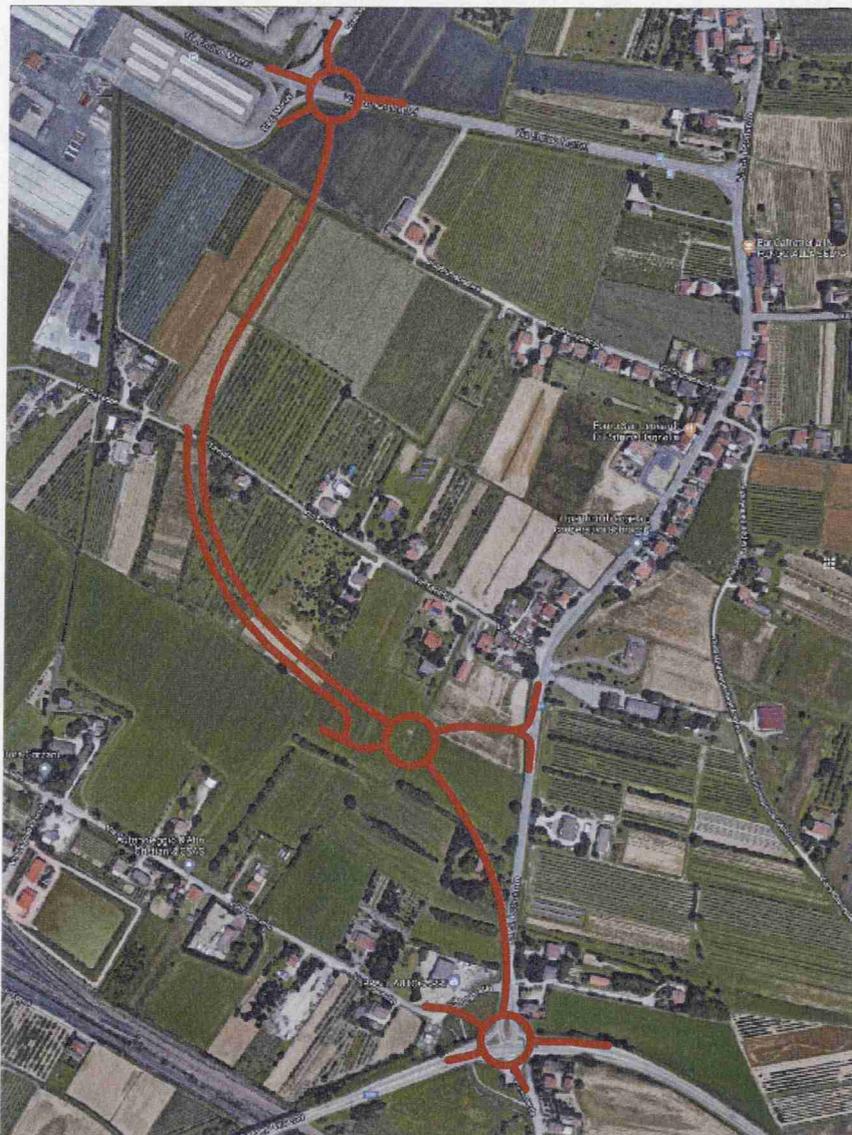
- Decreto Ministeriale 17.01.2018 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"
- Decreto Ministeriale 14.01.2008. Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.
- Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007
- Eurocodice 8 (1998); Eurocodice 7.1 (1997); Eurocodice 7.2 (2002); Eurocodice 7.3 (2002)
- Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali. - UNI
- Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il nuovo tracciato stradale inizierà dall'incrocio tra la Via San Leonardo e la SS9 (Via Emilia per Cesena), per poi procedere verso nord-ovest attraversando campi coltivati sino all'incrocio con la Via Enrico Mattei (zona Marcegaglia), sul quale sorgerà una rotatoria.

Nel progetto è previsto inoltre un collegamento diretto tra la via Savadori e la Via San Leonardo che nel punto di attraversamento della nuova strada veloce sarà dotato di un'ampia rotonda. E' prevista anche una pista ciclabile che estenderà la pista ciclabile già esistente proveniente da Forlimpopoli sino all'abitato di San Leonardo. Il nuovo tratto di pista ciclabile attraverserà in sottopasso la nuova strada veloce.

La strada percorrerà tutto il suo tragitto a quota piano campagna per una lunghezza complessiva di circa 1200 metri.



MORFOLOGIA E GEOLOGIA DEL TERRITORIO

La zona qui studiata è posta tra le quote di 27 metri slm nel punto di inizio sulla tangenziale di Forlimpopoli, e la quota di circa 26 metri slm al collegamento con la Via E.Mattei. Quindi, morfologicamente si presenta pianeggiante con lieve pendenza in direzione nord tipica della pianura pedeappenninica la cui origine è di natura alluvionale.

La pianura alta è solcata da vari corsi d'acqua subparalleli di cui quello principale dell'area, costituito dal fiume Ronco, scorre circa 1.800 metri a est completamente arginato.

Le acque superficiali sono però drenate e regimate da una rete di scoli e fossi di cui quello denominato Rio Ausa scorre parallelo a gran parte del nuovo tracciato stradale per poi confluire nel fiume Ronco.

I terreni attraversati dal tracciato sono prevalentemente campi coltivati.

Dal punto di vista geologico, i sedimenti che affiorano nell'area di studio, costituiscono il tetto stratigrafico del Supersistema Emiliano Romagnolo (AE) che raggruppa tutti i depositi quaternari alluvionali, per uno spessore che supera i 150 metri di profondità i quali poggiano in discordanza sui depositi marini denominati Argille Marnose Plioceniche.

Dal punto di vista della formalizzazione stratigrafica le unità costituite dai sedimenti del sottosuolo e presenti anche in affioramento dell'area appartengono al Sistema Emiliano Romagnolo Superiore (AES), parte alta del Sistema Emiliano Romagnolo (AE), in particolare sono state inquadrare nel Subsistema di Ravenna (AES8), tetto stratigrafico di (AES), e all'unità di rango gerarchico inferiore definita Unità di Modena (AES8a). Quest'ultima costituisce il tetto stratigrafico del Subsistema di Ravenna. Studi recenti sui depositi che formano le successioni oloceniche, che fanno riferimento al Subsistema di Ravenna e all'Unità di Modena presenti nell'area di studio, hanno dimostrato una sequenza deposizionale controllata prevalentemente dall'eustatismo e da fluttuazioni climatiche associate all'influenza della subsidenza, legata sia a cause tettoniche profonde sia alla compattazione dei sedimenti plio-quaternari. In particolare il Subsistema di Ravenna è caratterizzato dalla rapida risalita eustatica, avvenuta negli ultimi 18.000 anni circa, legata allo sviluppo di livelli di argille organiche e torbe.

La stratigrafia superficiale dell'area è stata ottenuta dai risultati delle prove penetrometriche e dai carotaggi. Le prove e i sondaggi sono stati distribuiti lungo tutto il tracciato allo scopo di definire i terreni attraversati.

Le stratigrafie ricavate dalle prove penetrometriche sono le seguenti:

Prova 1

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.60	Terreno vegetale
0.60	1.20	Argille sabbiose e limose
1.20	1.80	Argilla inorganica molto compatta
1.80	3.80	Argille organiche e terreni misti
3.80	6.60	Argilla inorganica molto compatta
6.60	7.20	Argille sabbiose e limose
7.20	7.60	Argilla inorganica molto compatta
7.60	8.00	Argille sabbiose e limose
8.00	10.80	Argilla inorganica molto compatta
10.80	11.00	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
11.00	11.80	Argilla inorganica molto compatta
11.80	12.40	Argille sabbiose e limose
12.40	15.00	Argilla inorganica molto compatta

Prova 2

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.40	Terreno Vegetale
0.40	2.00	Argille sabbiose e limose
2.00	2.40	Argilla inorganica compatta
2.40	3.80	Argilla inorganica molto compatta
3.80	4.40	Argille organiche e terreni misti
4.40	6.60	Argilla inorganica molto compatta
6.60	7.40	Argille sabbiose e limose
7.40	8.00	Argilla inorganica molto compatta
8.00	8.60	Argille sabbiose e limose
8.60	9.00	Argilla inorganica molto compatta
9.00	9.40	Argille sabbiose e limose
9.40	10.20	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
10.20	10.80	Argilla inorganica molto compatta
10.80	11.60	Argille sabbiose e limose
11.60	12.40	Argilla inorganica molto compatta
12.40	13.00	Argille sabbiose e limose

13.00	13.40	Argilla inorganica molto compatta
13.40	14.00	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
14.00	15.00	Argille sabbiose e limose

Prova 3

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.40	Massicciata carraia
0.40	2.80	Argilla inorganica compatta
2.80	3.40	Argille sabbiose e limose
3.40	3.80	Argilla inorganica molto compatta
3.80	4.20	Argilla inorganica compatta
4.20	5.00	Argilla inorganica molto compatta
5.00	5.40	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
5.40	8.00	Argilla inorganica molto compatta
8.00	9.20	Argille sabbiose e limose
9.20	10.00	Argilla inorganica molto compatta
10.00	10.80	Argilla inorganica compatta
10.80	11.20	Argille sabbiose e limose
11.20	12.20	Argilla inorganica molto compatta
12.20	12.80	Argilla inorganica compatta
12.80	15.00	Argilla inorganica molto compatta

Prova 4

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.60	Terreno vegetale
0.60	1.60	Argille organiche e terreni misti
1.60	3.00	Argilla inorganica molto compatta
3.00	3.60	Argille organiche e terreni misti
3.60	4.00	Argilla inorganica compatta
4.00	5.80	Argille organiche e terreni misti
5.80	7.00	Argilla inorganica molto compatta
7.00	7.80	Argille sabbiose e limose
7.80	8.20	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi

8.20	9.00	Argille sabbiose e limose
9.00	9.40	Argilla inorganica molto compatta
9.40	10.20	Argille sabbiose e limose
10.20	10.60	Argilla inorganica molto compatta
10.60	12.00	Argilla inorganica compatta
12.00	15.00	Argilla inorganica molto compatta

Prova 5

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.60	Terreno vegetale
0.60	2.80	Argilla inorganica molto compatta
2.80	4.20	Argille organiche e terreni misti
4.20	5.40	Argilla inorganica compatta
5.40	5.80	Argille organiche e terreni misti
5.80	8.20	Argilla inorganica molto compatta
8.20	9.60	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
9.60	11.20	Argilla inorganica molto compatta
11.20	12.20	Argille organiche e terreni misti
12.20	13.00	Argilla inorganica molto compatta
13.00	13.40	Argille sabbiose e limose
13.40	15.00	Argilla inorganica molto compatta

Prova 6

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.60	Terreno vegetale
0.60	2.00	Argille sabbiose e limose
2.00	2.60	Argille organiche e terreni misti
2.60	3.00	Argilla inorganica molto compatta
3.00	3.20	Argilla inorganica compatta
3.20	4.00	Argilla inorganica molto compatta
4.00	4.40	Argille organiche e terreni misti
4.40	4.80	Argilla inorganica molto compatta
4.80	5.60	Argille organiche e terreni misti

5.60	6.20	Argilla inorganica molto compatta
6.20	6.80	Argille sabbiose e limose
6.80	8.20	Argilla inorganica molto compatta
8.20	8.60	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
8.60	9.00	Argille sabbiose e limose
9.00	9.60	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
9.60	10.60	Argilla inorganica molto compatta
10.60	11.60	Argille sabbiose e limose
11.60	15.00	Argilla inorganica molto compatta

Prova 7

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.40	Terreno vegetale
0.40	1.40	Argille sabbiose e limose
1.40	2.40	Argilla inorganica molto compatta
2.40	4.20	Argille organiche e terreni misti
4.20	4.40	Argilla inorganica molto compatta
4.40	4.80	Argilla inorganica compatta
4.80	5.60	Argille organiche e terreni misti
5.60	7.00	Argilla inorganica molto compatta
7.00	8.00	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
8.00	8.20	Sabbie
8.20	9.00	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
9.00	9.60	Argilla inorganica compatta
9.60	10.00	Argille sabbiose e limose
10.00	11.00	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
11.00	11.80	Argilla inorganica molto compatta
11.80	12.40	Argille sabbiose e limose
12.40	15.00	Argilla inorganica molto compatta

Prova 8

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.40	Terreno vegetale
0.40	1.20	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
1.20	2.00	Argilla inorganica molto compatta
2.00	3.20	Argille organiche e terreni misti
3.20	3.80	Argilla inorganica compatta
3.80	4.80	Argille organiche e terreni misti
4.80	9.20	Argilla inorganica molto compatta
9.20	10.20	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
10.20	10.60	Sabbie
10.60	11.00	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
11.00	11.60	Argilla inorganica molto compatta
11.60	12.00	Argille sabbiose e limose
12.00	12.80	Argilla inorganica molto compatta
12.80	13.20	Argille sabbiose e limose
13.20	15.00	Argilla inorganica molto compatta

Prova 9

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.40	Terreno vegetale
0.40	0.80	Argille sabbiose e limose
0.80	1.60	Argilla inorganica molto compatta
1.60	3.20	Argille organiche e terreni misti
3.20	3.80	Argille sabbiose e limose
3.80	4.20	Argilla inorganica molto compatta
4.20	4.80	Argilla inorganica compatta
4.80	5.00	Argille sabbiose e limose
5.00	7.20	Argilla inorganica molto compatta
7.20	7.80	Argille sabbiose e limose
7.80	8.40	Argilla inorganica molto compatta
8.40	8.60	Argille sabbiose e limose
8.60	9.40	Argilla inorganica molto compatta

9.40	10.00	Argille sabbiose e limose
10.00	10.80	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
10.80	11.20	Argille sabbiose e limose
11.20	11.60	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
11.60	13.40	Argille sabbiose e limose
13.40	15.00	Argilla inorganica molto compatta

Prova 10

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.60	Terreno vegetale
0.60	1.40	Argilla inorganica molto compatta
1.40	2.40	Argille organiche e terreni misti
2.40	4.60	Argille sabbiose e limose
4.60	7.00	Argille sabbiose e limose
7.00	7.60	Argilla inorganica molto compatta
7.60	10.00	Argille sabbiose e limose
10.00	10.60	Sabbie
10.60	12.80	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
12.80	15.00	Argilla inorganica molto compatta

Prova 11

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.60	Terreno vegetale
0.60	1.40	Argilla inorganica molto compatta
1.40	1.80	Argille organiche e terreni misti
1.80	2.40	Argilla inorganica di media consistenza
2.40	4.40	Argille organiche e terreni misti
4.40	6.80	Argilla inorganica molto compatta
6.80	7.40	Argilla inorganica compatta
7.40	9.60	Argille sabbiose e limose
9.60	10.60	Argilla inorganica compatta
10.60	15.00	Argilla inorganica molto compatta

Prova 12

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.40	Terreno vegetale
0.40	1.60	Argilla inorganica molto compatta
1.60	2.20	Argilla inorganica compatta
2.20	3.40	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
3.40	7.20	Argilla inorganica molto compatta
7.20	7.80	Argille sabbiose e limose
7.80	8.60	Argilla inorganica molto compatta
8.60	9.20	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
9.20	9.60	Argilla inorganica molto compatta
9.60	10.20	Argilla inorganica compatta
10.20	10.80	Argilla inorganica molto compatta
10.80	11.20	Argille sabbiose e limose
11.20	15.00	Argilla inorganica molto compatta

Prova 13

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.40	Terreno vegetale
0.40	0.80	Argilla inorganica molto compatta
0.80	1.40	Argille sabbiose e limose
1.40	2.00	Argilla inorganica molto compatta
2.00	3.00	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
3.00	3.80	Argille sabbiose e limose
3.80	6.60	Argilla inorganica molto compatta
6.60	7.40	Argille sabbiose e limose
7.40	7.80	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
7.80	8.60	Argilla inorganica molto compatta
8.60	9.00	Argille sabbiose e limose
9.00	10.20	Argilla inorganica molto compatta
10.20	12.20	Argille sabbiose e limose
12.20	15.00	Argilla inorganica molto compatta

Prova 14

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.40	Terreno vegetale
0.40	1.20	Argilla inorganica molto compatta
1.20	2.00	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
2.00	3.00	Argille sabbiose e limose
3.00	3.80	Argilla inorganica compatta
3.80	4.20	Argille sabbiose e limose
4.20	6.20	Argilla inorganica molto compatta
6.20	7.00	Argille sabbiose e limose
7.00	9.60	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
9.60	11.40	Argille sabbiose e limose
11.40	12.80	Argilla inorganica molto compatta
12.80	13.60	Argille sabbiose e limose
13.60	15.00	Argilla inorganica molto compatta

Prova 15

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.40	Terreno vegetale
0.40	0.80	Argille sabbiose e limose
0.80	2.00	Argilla inorganica compatta
2.00	2.40	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
2.40	3.40	Argilla inorganica compatta
3.40	5.80	Argilla inorganica molto compatta
5.80	7.20	Argille sabbiose e limose
7.20	7.80	Sabbie addensate o cementate
7.80	8.40	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
8.40	8.80	Sabbie
8.80	9.40	Argille sabbiose e limose
9.40	11.40	Argilla inorganica molto compatta
11.40	12.00	Argille sabbiose e limose
12.00	15.00	Argilla inorganica molto compatta

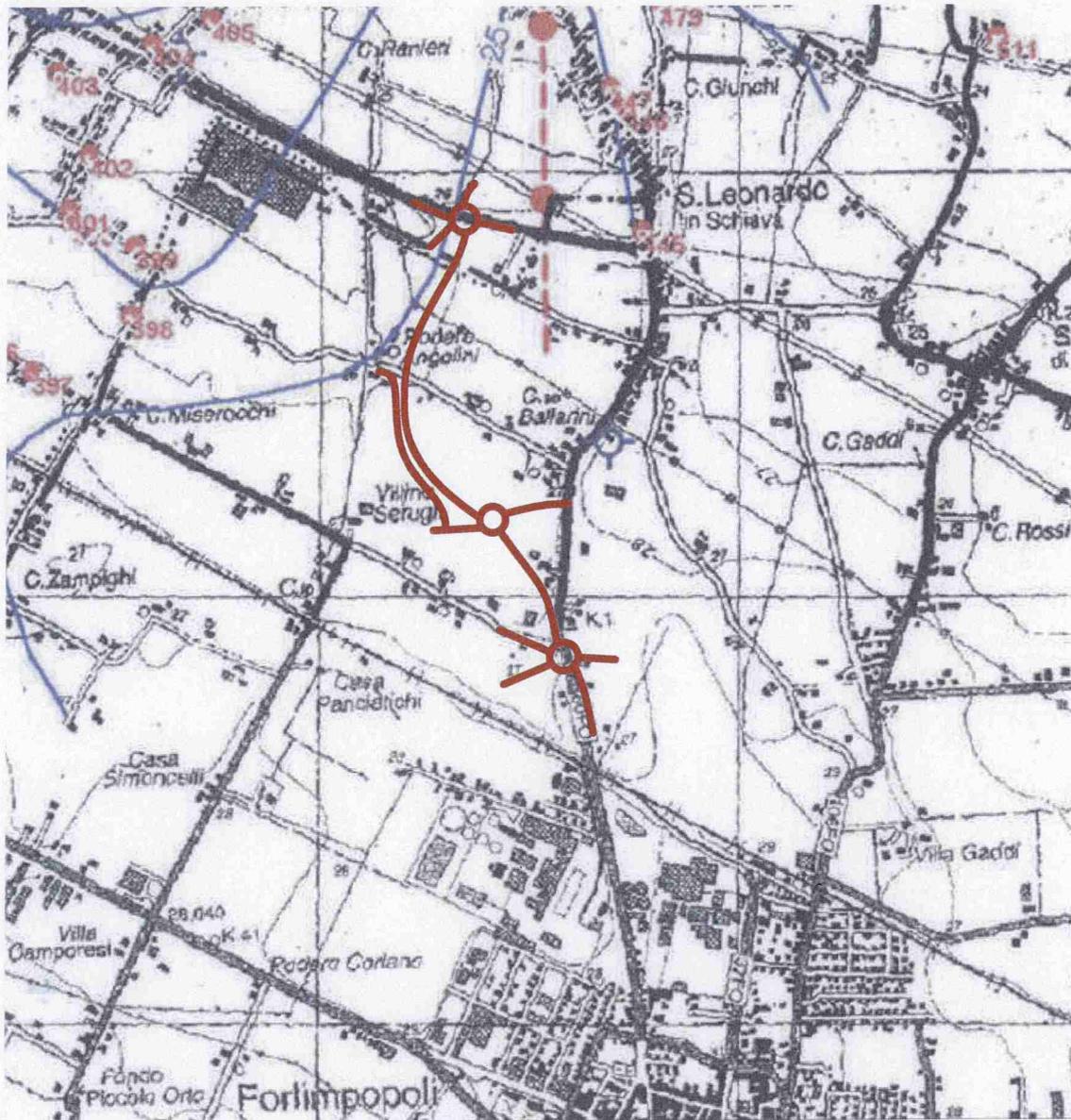
Nei punti di prova penetrometrica sono stati installati dei piezometri entro i quali è stata misurata la profondità della falda.

Si riportano le letture ottenute nella seguente tabella:

Prova n.	Profondità falda (m)
1	-2.20
2	-2.36
3	-2.55
4	-2.32
5	-2.55
6	-2.67
7	-2.60
8	-2.47
9	-2.91
10	-2.72
11	-2.55
12	-2.73
13	-2.75
14	-2.70
15	-2.42

La falda, misurata in un periodo stagionale secco, è posizionata ad una profondità compresa tra 2,20 e 2,91 m dimostrando nel complesso un andamento in direzione nord-est ma con piccole anomalie dovute probabilmente all'emungimento antropico. In periodi stagionali più piovosi è possibile un innalzamento del livello di oltre 1 m.

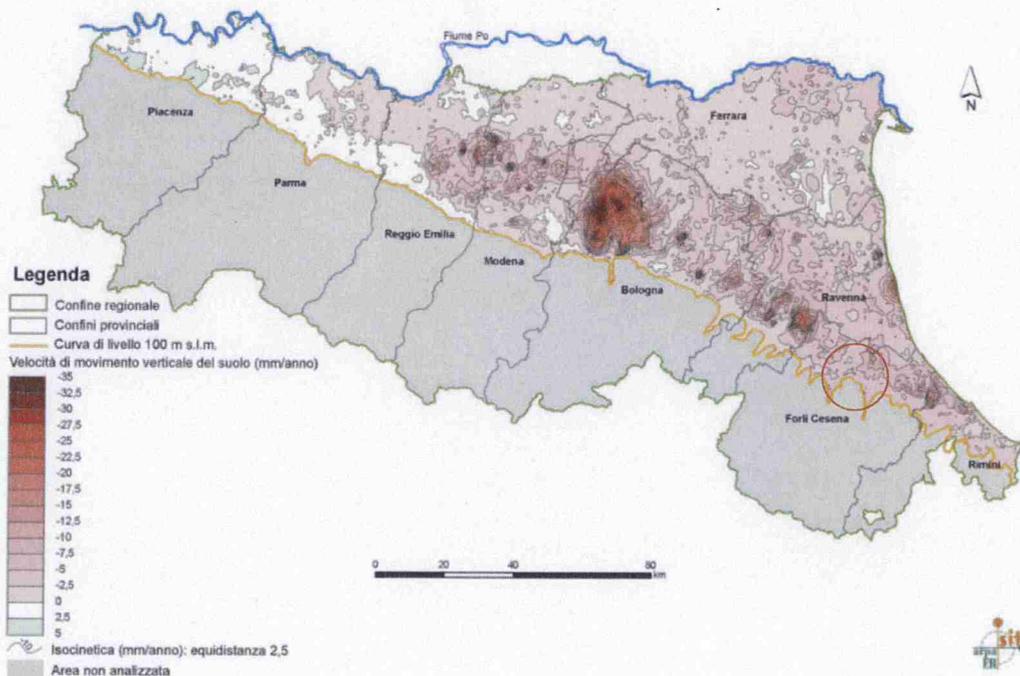
Si riporta uno stralcio della Carta della Prima Falda allegata al PRG di Forlì dove si notano le linee isofreatiche di colore blu.



SUBSIDENZA

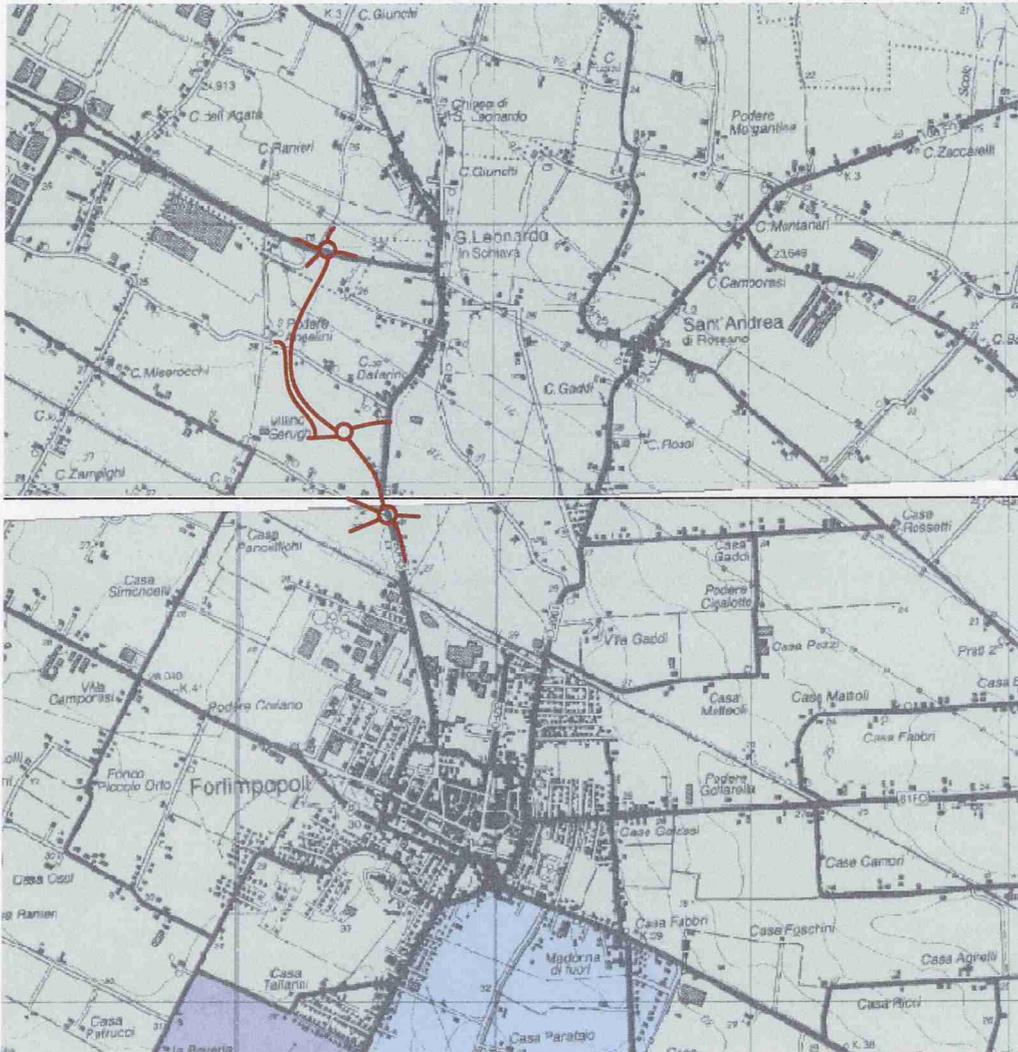
Come è noto la subsidenza è un fenomeno di abbassamento della superficie terrestre causato da cambiamenti che avvengono nel sottosuolo. E' ormai accertato che l'estrazione di fluidi nel sottosuolo, ampiamente praticata nei nostri territori nelle ultime decine d'anni, ha accelerato l'abbassamento del suolo dovuto naturalmente per effetto dei processi diagenetici a cui è sottoposta la spessa coltre sedimentaria della pianura. Per la pianura alluvionale dell'Emilia Romagna i valori di subsidenza naturali attesi sono dell'ordine di 0.1/0.3cm/anno, mentre i valori effettivamente misurati nelle ultime decine d'anni sono quasi ovunque maggiori di 0.4 cm/anno. Il Comune di Forlì e il Comune di Forlimpopoli si pongono in un'areale dove il tasso di subsidenza risulta di 2 mm/anno. Per questa criticità ambientale concorrono in primo luogo gli elevati prelievi idrici di falda richiesti per soddisfare i fabbisogni irrigui dell'importante distretto di produzione orticola che si sviluppa nel territorio rurale dei comuni di Forlì e Forlimpopoli.

Nel prossimo futuro è comunque indubbio che la diversificazione delle fonti di approvvigionamento idrico del comparto agricolo, attraverso l'impiego di acque pregiate veicolate dal Canale Emiliano Romagnolo (CER), dovrebbe conseguire una sensibile riduzione di questo elemento di forte criticità ambientale.



IDROLOGIA E RISCHIO IDRAULICO

Come già citato, il corpo idrico principale è costituito dal Fiume Ronco che scorre arginato e quindi non costituisce un rischio idraulico diretto. La possibilità di alluvioni è invece legata al reticolo secondario.



PERIMETRAZIONE AREE A RISCHIO IDROGEOLOGICO

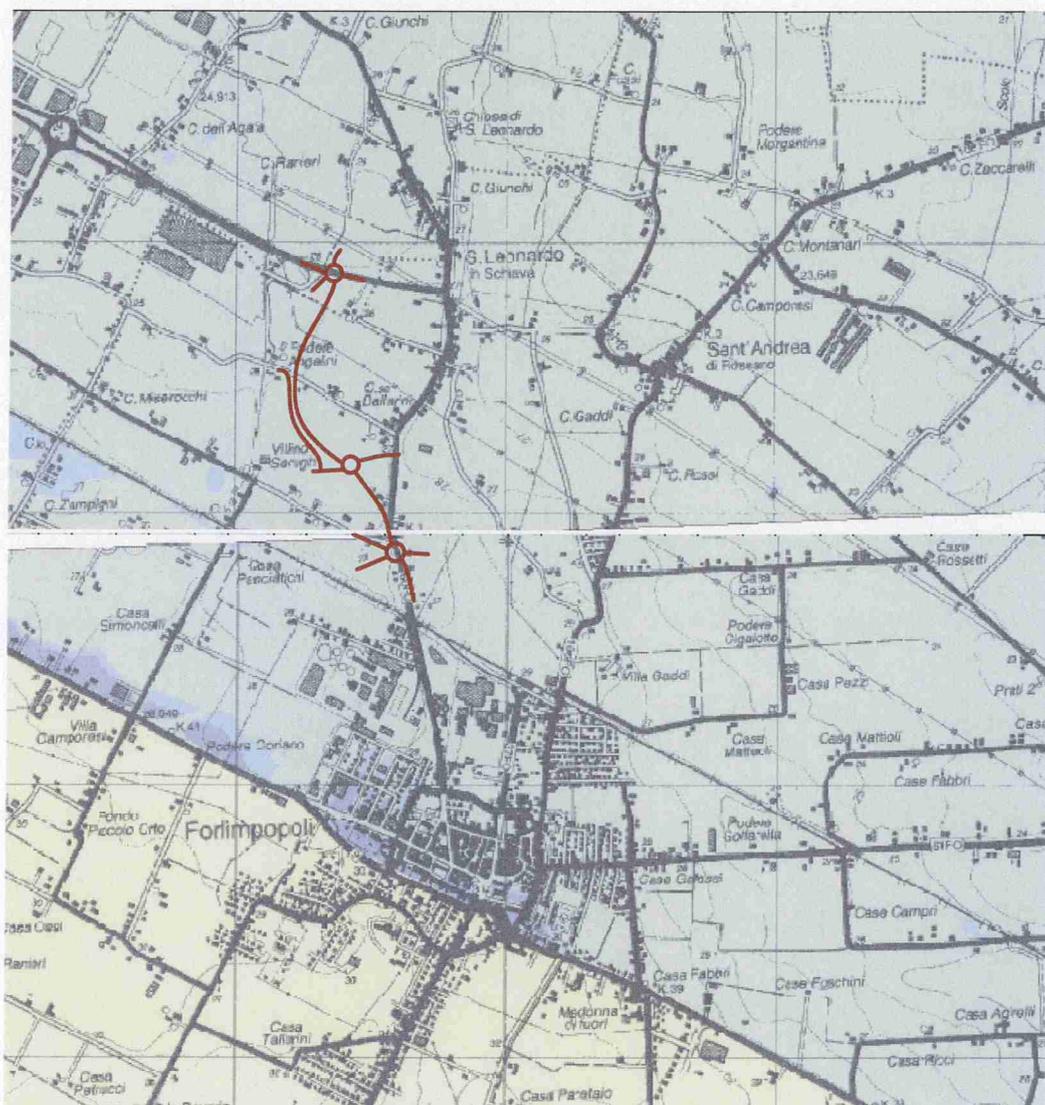
Are a rischio idrogeologico

TITOLO II - "Assetto della rete idrografica"

- Art. 2 ter - alveo: ■ piena ordinaria ■ porzione incisa
- Art. 3 - aree ad elevata probabilità di esondazione
- Art. 4 - aree a moderata probabilità di esondazione
- Art. 6 - aree di potenziale allagamento
- Art. 10 - distanze di rispetto dai corpi arginali

La Carta del Rischio Alluvioni della Regione Emilia Romagna mostra che l'area rientra nelle aree di potenziale allagamento.

Di seguito è riportato un estratto del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico redatto dall'Autorità dei Bacini Romagnoli, Allegato n. 6, "Tiranti Idrici di Riferimento per le Aree di Pianura Sottoposte a Rischio di Allagamento", in cui si vede che l'area è classificata con un tirante idrico potenziale sino a 50 centimetri.



ALLEGATO N. 6
Tiranti idrici di riferimento per le aree di pianura sottoposte a rischio di allagamento (Art. 6)

Art. 6: Aree di potenziale allagamento

Tirante idrico di riferimento

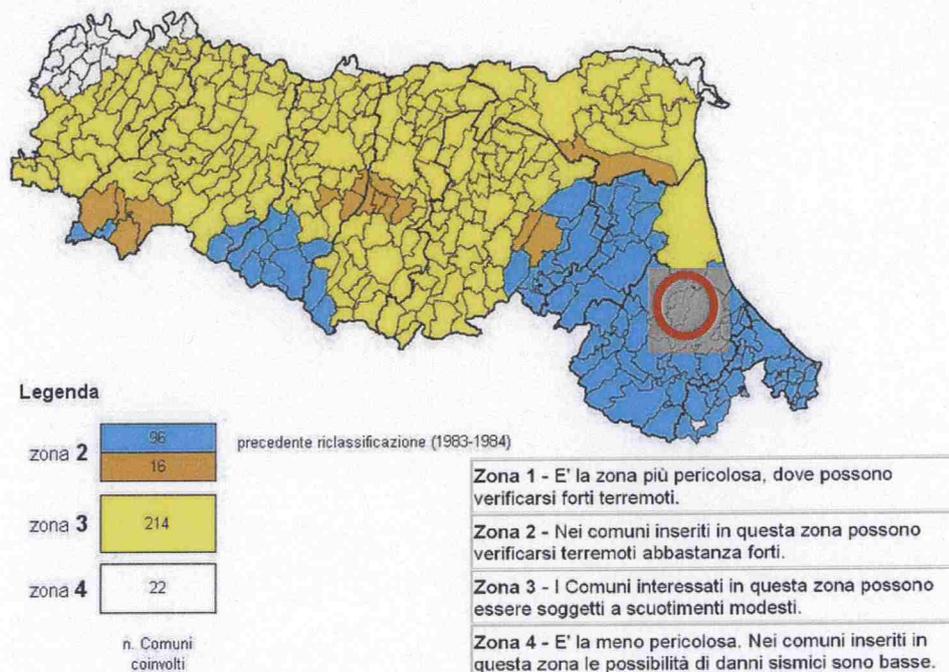
- Fino a 50 cm
- Da 50 a 150 cm
- Oltre 150 cm

Tirante idrico convenzionale

- 20 cm
- 50 cm

INQUADRAMENTO SISMICO

L' Ordinanza del PCM n. 3274/2003, ha suddiviso il territorio regionale in varie zone sismiche in funzione della pericolosità, e i terreni qui indagati sono inseriti nella zona 2 in cui possono verificarsi terremoti abbastanza forti.



PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Come previsto dal D.M. 14/01/2008 e del più recente DM 13/1/2018, la stima della pericolosità sismica di un sito è definita mediante un approccio sito dipendente e non più mediante un criterio zona dipendente.

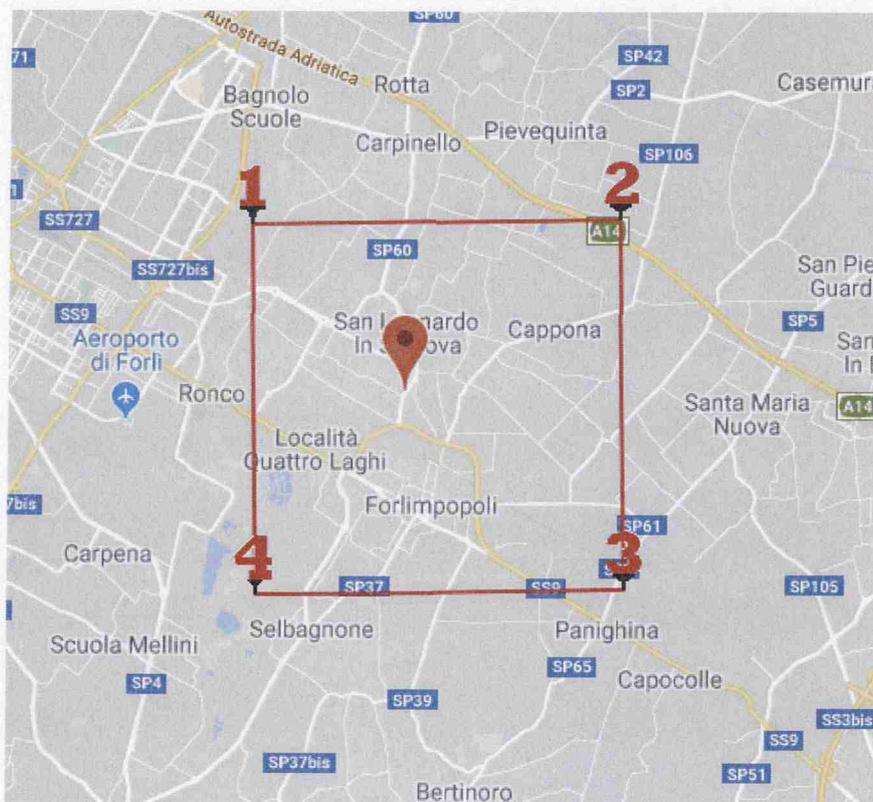
Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite previsti nelle NTC, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito.

Essa viene espressa in termini di accelerazione orizzontale massima AG su suolo rigido orizzontale di riferimento e costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica di base per un qualsiasi sito considerato è la probabilità che in un certo intervallo di tempo, chiamato periodo di riferimento VR (espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di intensità almeno pari ad una prefissata. La probabilità in questione è chiamata PVR, probabilità di

superamento o di eccedenza nel periodo di riferimento VR. La pericolosità sismica di base viene definita individuando i 4 nodi del reticolo di riferimento all'interno del quale ricade l'area in studio.

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18073	Lat: 44,2267	Lon: 12,0951	Distanza: 3429,641
Sito 2	ID: 18074	Lat: 44,2275	Lon: 12,1648	Distanza: 4155,363
Sito 3	ID: 18296	Lat: 44,1775	Lon: 12,1659	Distanza: 4439,567
Sito 4	ID: 18295	Lat: 44,1767	Lon: 12,0963	Distanza: 3767,229



Parametri sismici

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

I parametri sismici di riferimenti relativi agli stati limite sono qui di seguito mostrati:

Stato Limite	Prob. Superamento	Tr (anni)	ag	Fo	Tc* (s)
Operatività (SLO):	81%	45	0,076 g	2,407	0,271
Danno (SLD):	63%	75	0,096 g	2,400	0,280
Salvaguardia della vita (SLV):	10%	712	0,228 g	2,425	0,316
Prevenzione dal collasso (SLC):	5%	1462	0,284 g	2,486	0,326

Stato limite	Ss	Cc	St	Kh	Kv	Amax	Beta
SLO:	1,500	1,620	1,000	0,000	0,000	1,118	0,000
SLD:	1,500	1,600	1,000	0,068	0,034	1,409	0,470
SLV:	1,370	1,540	1,000	0,119	0,059	3,064	0,380
SLC:	1,280	1,520	1,000	0,000	0,000	3,559	0,000

Nel Comune di Forlì sono stati eseguiti studi di microzonazione sismica che riportano la seguente mappa che individua l'area in oggetto come area suscettibile di amplificazioni per caratteristiche stratigrafiche con terreni fini potenzialmente soggetti a cedimenti.



INDAGINI IN SITO

Per valutare la risposta del sito alle onde sismiche è stata condotta un'indagine sismica HVSR e MASW-REMI.

Metodi di indagine

Prova HVSR

All'interno dell'area di studio è stato condotto il rilievo dei microtremori con il tromografo digitale "Tromino", per verificare le caratteristiche sismiche e stratigrafiche del terreno.

Lo strumento utilizzato registra il rumore sismico ambientale presente nella superficie terrestre e generato da fenomeni atmosferici, dall'attività antropica e dall'attività dinamica terrestre.

I microtremori sono rappresentati da oscillazioni molto piccole (accelerazioni dell'ordine di 10^{-15} m/s²), che, attraversando strati con caratteristiche differenti (in termini di densità e velocità di propagazione delle onde), subiscono fenomeni di rifrazione, riflessione, attenuazione e altri.

Questi fenomeni sono tali per cui un'onda che viaggia all'interno di un mezzo e viene riflessa da una superficie di discontinuità interferisce con le onde incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime quando la lunghezza d'onda incidente λ è pari a 4 volte lo spessore h dello strato (condizione di risonanza):

Relativamente alle onde S:

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4h}$$

f_r rappresenta la frequenza fondamentale dello strato, ossia la frequenza cui corrispondono le maggiori accelerazioni sismiche.

Utilizzando la formula sopra esposta si evince che conoscendo la profondità di una discontinuità (trovata nelle prove penetrometriche) e la frequenza fondamentale del terreno in superficie (fornita dal tromografo) è possibile risalire alla velocità delle onde S del terreno.

Una volta ricavato il valore di V_s , è possibile ricostruire la stratigrafia dell'area e l'andamento delle discontinuità, se presenti.

La tecnica HVSR consiste nella valutazione dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e verticali del moto ed è in grado di fornire in buona approssimazione il contenuto in frequenza del segnale dei microtremori.

Prova MASW

L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo) disposta sul terreno con array lineare, da 12 a 48 geofoni; per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni con bassa frequenza di risonanza (4-14 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15-30s) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale. L'uso di un sismografo digitale con elevata dinamica consente di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni impiegati.

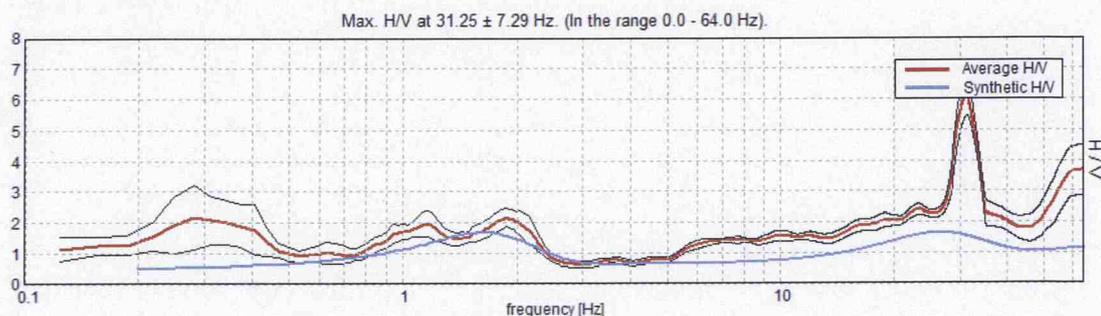
Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle Vs relativamente ai primi cento metri di profondità.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency" (p-f) che analizza l'energia di propagazione delle onde sismiche create mediante una massa battente ad un estremo della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico p-f.

A questo punto l'operatore, in maniera arbitraria ed in base all'esperienza, esegue un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (p o 1/velocità di fase) per alcune frequenze. Tali valori vengono in seguito plottati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello diretto.

Risultati Prova 1-Tromografo n. 04

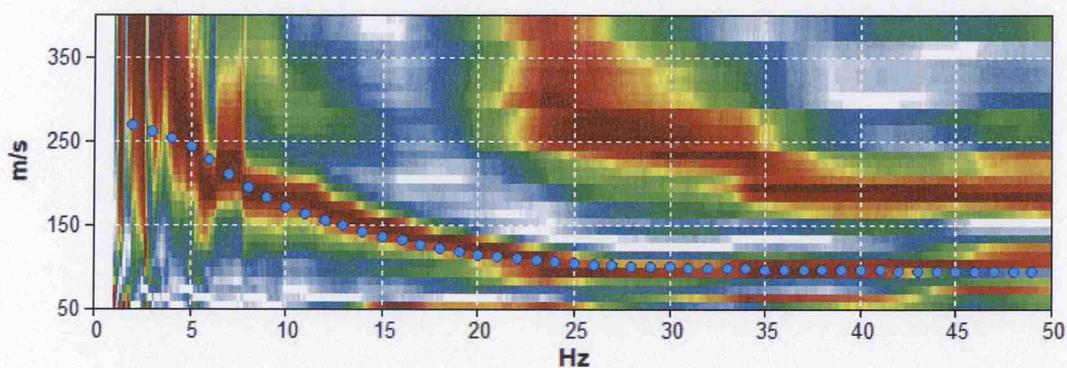
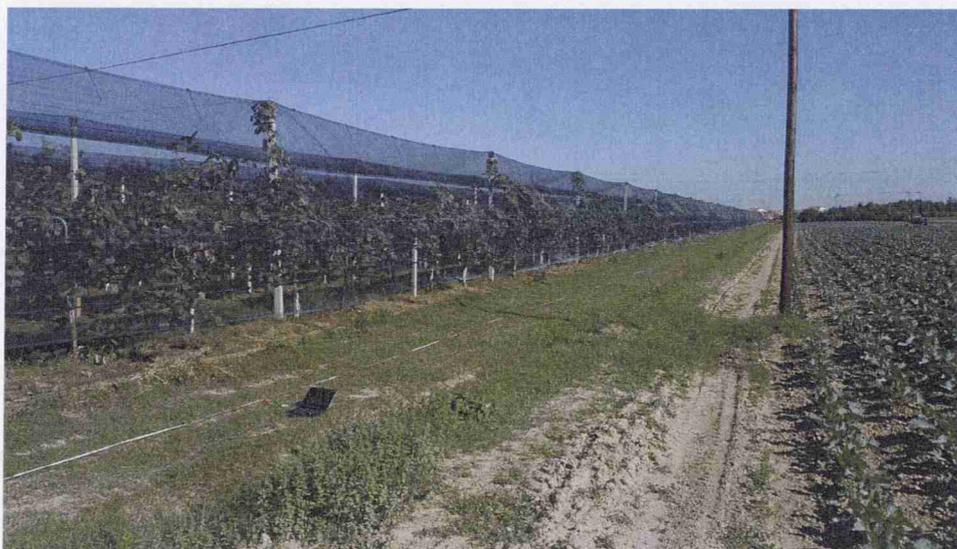
Prova HVSR



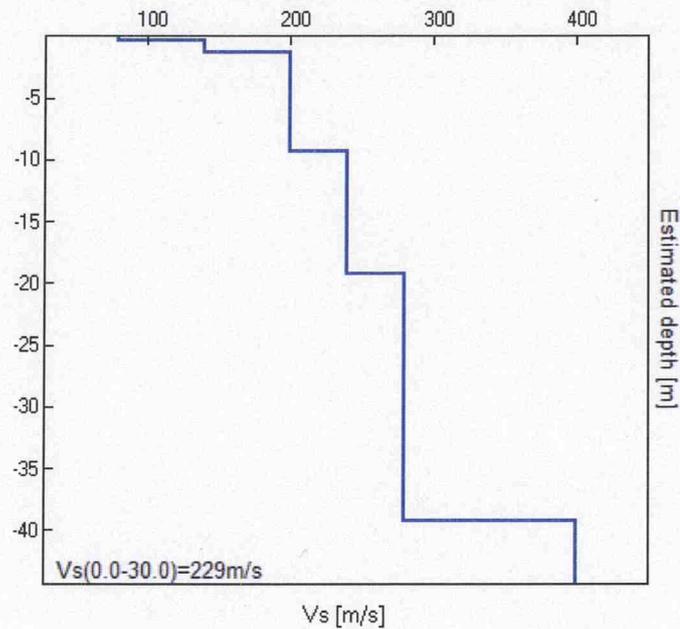
Come si vede nello spettro sopraindicato, non si osservano picchi rilevanti (se non a 30 Hz dovuto ad una pompa in funzione) ad indicare come non vi siano contatti tra strati un alto rapporto di impedenza e la velocità delle onde S nel terreno che tende a crescere omogeneamente senza passaggi netti e quindi senza discontinuità rilevanti.

La linea rossa corrisponde al rapporto spettrale H/V misurato, mentre quella blu è stata calcolata tramite una procedura matematica di inversione di un profilo stratigrafico mostrato in seguito.

Prova MASW



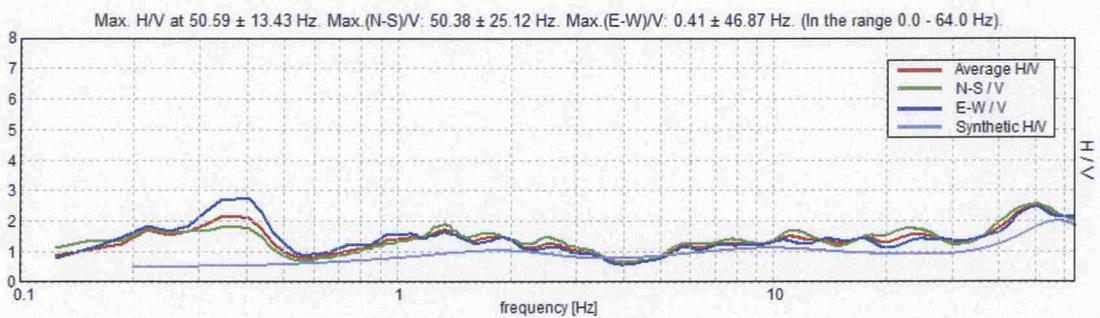
Dalla prova MASW si vede la curva modale relativa alla velocità delle onde S nel terreno. Integrando i dati del tomografo con quelli della MASW si ottiene la stratigrafia sismica dell'area, che produce i punti azzurri nel grafico spettrale della prova in array che è qui di seguito mostrata.



Il valore delle Vs30 calcolato è pari a 229 m/s.

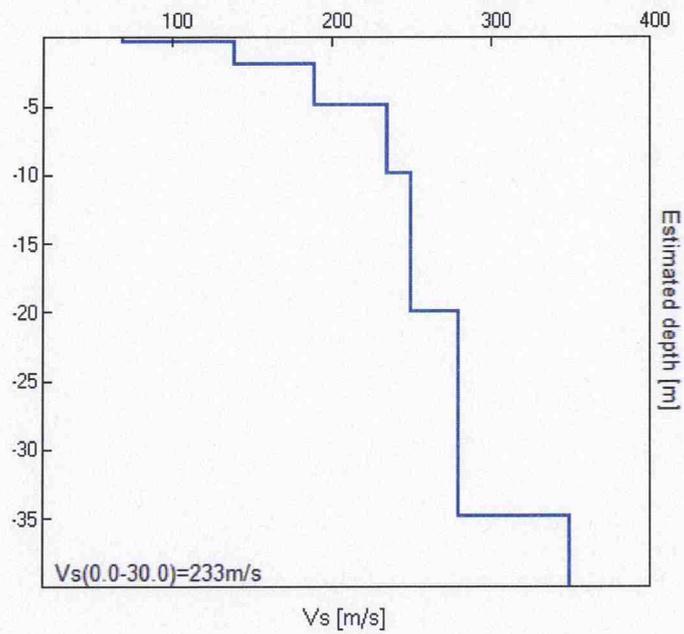
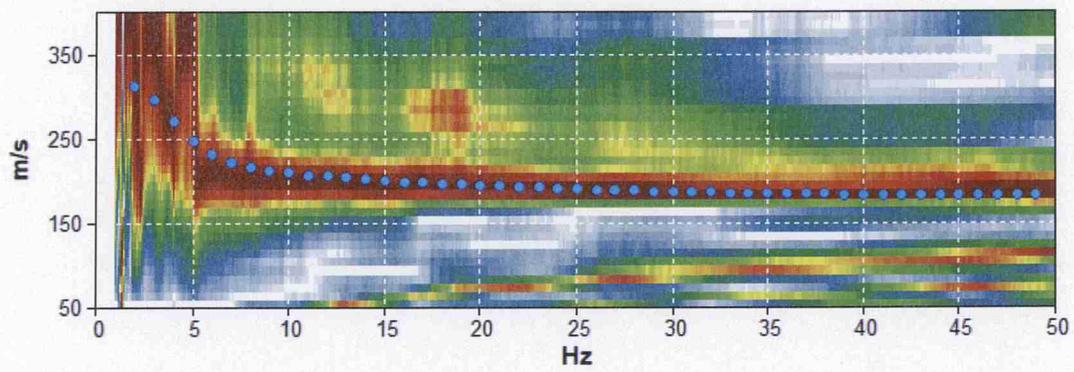
Risultati Prova 1- Tromografo n. 05

Prova HVSR



Come si vede nello spettro sopraindicato, non si osservano picchi rilevanti (se non a livelli molto superficiali) ad indicare come non vi siano contatti tra strati un alto rapporto di impedenza e la velocità delle onde S nel terreno che tende a crescere omogeneamente senza passaggi netti e quindi senza discontinuità rilevanti.

Prova MASW



Il valore delle Vs30 calcolato è pari a 233 m/s.

Condizioni topografiche

Come già descritto il terreno è posto in area pianeggiante e quindi in categoria T1.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

ELEMENTI DI PROGETTAZIONE ANTISISMICA

Le varie tipologie di sottosuolo sono discriminate sulla base delle velocità di propagazione delle onde S e sono state raggruppate in 5 categorie.

Il valore indicativo di tali velocità è definito dalla media pesata su uno spessore di 30 m delle velocità misurate $V_{s,30}$. In alternativa si utilizzano dei parametri corrispondenti, meno significativi, rappresentati dal valore della coesione non drenata c_u o del numero di colpi NSPT. Qui di seguito è mostrata la tabella di identificazione dei tipi di sottosuolo:

	Descrizione del profilo stratigrafico	V_{s30} (m/s)	NSPT	c_u (kPa)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> Caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m	> 800	-	-
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> Con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 e 800 m/s (oppure resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	360 – 800	> 50	> 250
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (oppure resistenza penetrometrica $15 < N_{SPT} > 50$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata $70 < c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	180 – 360	15 – 50	70 – 250
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (oppure resistenza penetrometrica $N_{SPT} < 15$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	< 180	< 15	< 70
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessore non superiore ai 20 m, posti sul substrato di riferimento con $V_{s30} > 800$ m/s</i>			

Dai risultati della prova penetrometrica e del tromografo, il terreno di studio ricade all'interno della classe C.

VERIFICA SULLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

La liquefazione delle sabbie è un processo che può avvenire durante un evento sismico: essa nasce dall'incremento della pressione dell'acqua interstiziale (u) durante sollecitazioni di tipo ciclico.

Se tale aumento è tale da eguagliare la pressione litostatica totale (σ), si ha l'annullamento della resistenza al taglio (τ), secondo la seguente relazione:

$$\tau = (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi$$

Da studi statistici si è verificato che il fuso granulometrico a rischio possiede un D_{50} compreso tra 0,25 e 0,45 mm.

Come già descritto nei paragrafi precedenti, la stratigrafia del sottosuolo presenta irregolarmente strati sabbiosi immersi in falda, che potrebbero quindi essere liquefacibili, ma occorre anche tenere in considerazione la profondità in cui si trovano tali strati e lo spessore degli stessi.

Poiché la liquefazione si verifica in condizioni in cui le sabbie presentano una composizione granulometrica piuttosto uniforme, si escludono dalla verifica i casi in cui si presentano livelli sabbiosi di spessore uguale o inferiore ai 60 cm, che rappresentano intercalazioni all'interno di strati coesivi.

Sono inoltre esclusi i depositi presenti ad una profondità superiore a 15 m, in quanto il carico litostatico è talmente elevato da non poter essere raggiunto dalla pressione neutra.

Per la verifica si considerano i risultati delle prove in cui sono stati rintracciati strati sabbiosi immersi in falda: 2,8,9,10,11,15.

Per valutare il pericolo di liquefazione è stato adottato il metodo di Robertson e Wride (1998), che parte dai risultati delle prove CPT, per giungere a un fattore di sicurezza, ed un indice di liquefazione associato al rischio.

Metodi di calcolo

Il metodo utilizzato si basa sulle seguenti equazioni principali:

$$F_s = \frac{\text{CRR}}{\text{CSR}} \text{MSF}$$

dove CRR = resistenza ciclica del terreno
 CSR = sforzo di taglio ciclico indotto dal sisma
 MSF = fattore di scala della magnitudo

$$\text{CRR} = 0,883 \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} + 0,05 \quad \text{per } (q_{c1N})_{cs} < 50$$

$$\text{CRR} = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \quad \text{per } 50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$$

dove $(q_{c1N})_{cs}$ è la resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente

$$\text{CSR} = 0,65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo'}} r_d$$

dove a_{\max} è l'accelerazione massima orizzontale di progetto
 g è la forza di gravità (980,7 cm/s²)
 σ_{vo} e $\sigma_{vo'}$ sono le pressioni verticali totali ed efficaci alla prof. Z
 r_d è un coefficiente funzione della profondità

Una volta ottenuto il valore del fattore di sicurezza FSL, si calcola l'indice del potenziale di liquefazione P_L (Iwasaki et al, 1978):

$$P_L = \int_0^{z_{\text{on}}} F(z) w(z) dz$$

dove
 $F(z)$ è una funzione dipendente dal FSL
 $w(z)$ è una funzione decrescente con la profondità

Risultati

Poiché l'area di studio è inserita all'interno della 2° categoria ed il terreno di studio ricade nella classe C, per il calcolo dell'azione sismica si considera un'accelerazione pari a:

$$S_s \times a_g = 1,370 \times 0,228 = 0.312 \text{ g}$$

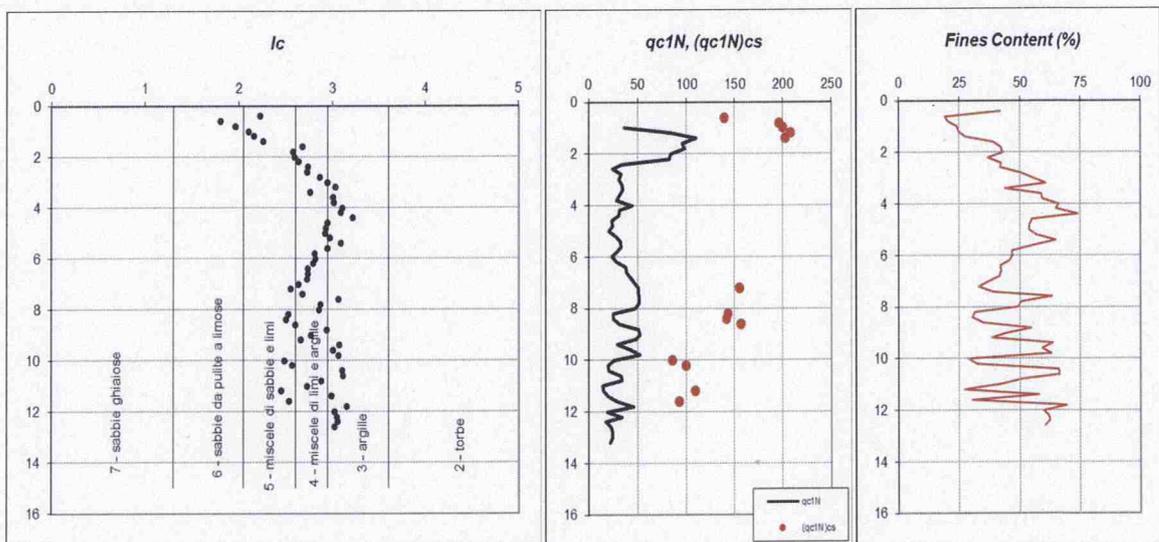
Inserendo i valori estratti dalla prova CPT, Robertson e Wride propongono una distinzione granulometrica sulla base di un Indice del tipo di terreno I_c .

In seguito si calcola il valore di resistenza alla punta normalizzata q_{c1N} e corretta per il contenuto di fini $(q_{c1N})_{cs}$ ed infine il contenuto di frazione fine (%).

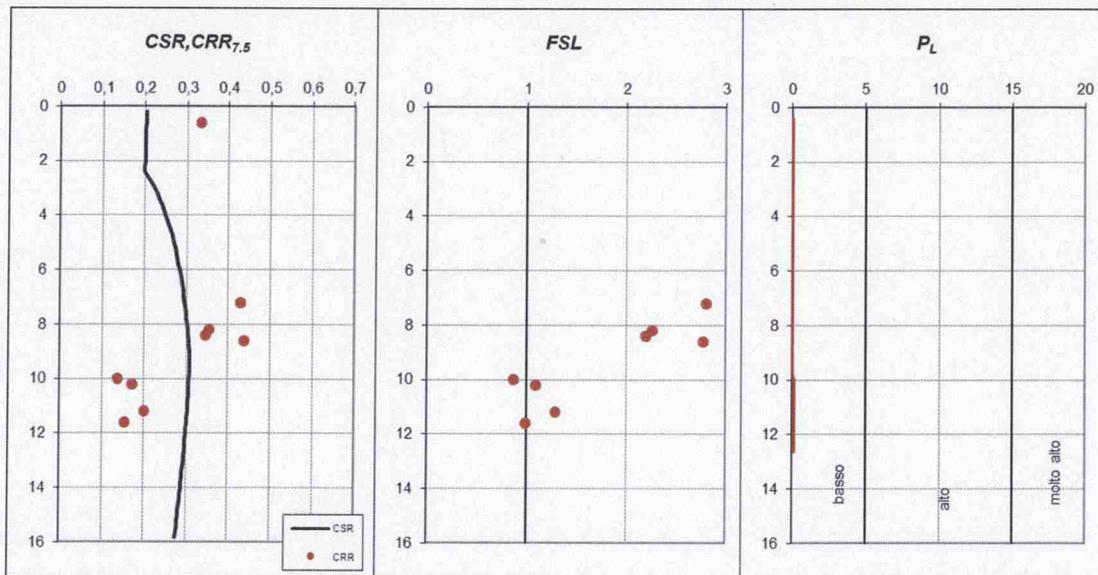
Si riportano i risultati delle sole prove che presentano un PL diverso da 0 ossia delle prove che presentano uno strato sabbioso immerso in falda.

Prova n.2

Qui di seguito si illustrano tre grafici in cui sono plottati i tre parametri sopra indicati:

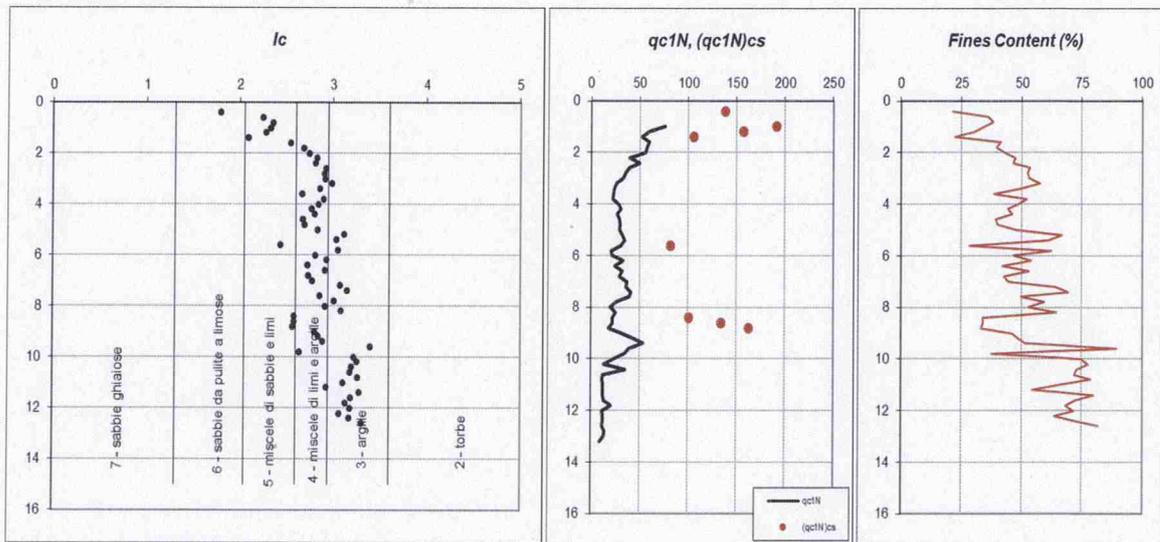


Qui di seguito sono poi illustrati il confronto tra i valori di CRR e CSR , il fattore di sicurezza FSL , corretto per una magnitudo realistica per l'area di studio (6,1) ed il valore di P_L , indice del potenziale di liquefazione.

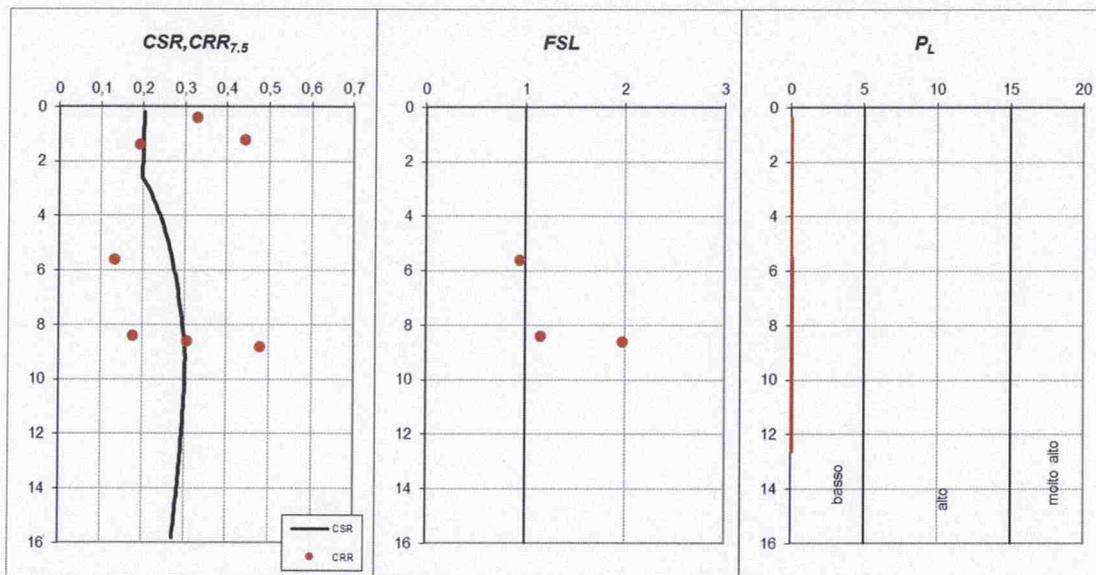


Come è evidente due strati presentano un fattore di sicurezza appena inferiore a 1, il che si traduce in un valore di P_L pari a 0,13 e 0,009 ad indicare come il rischio di liquefazione sia molto basso.

Prova n.3

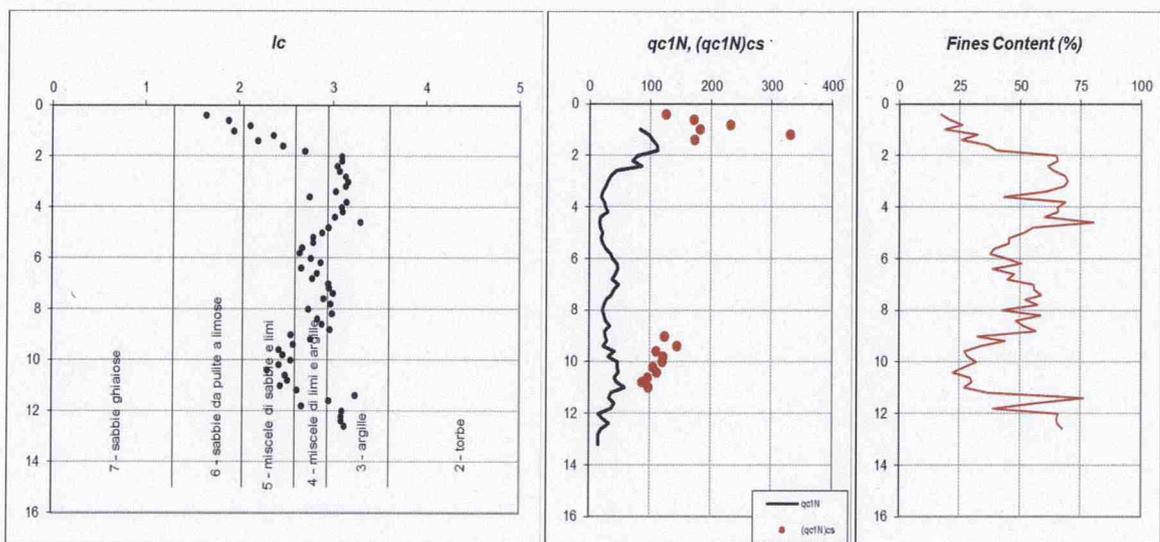


da cui:

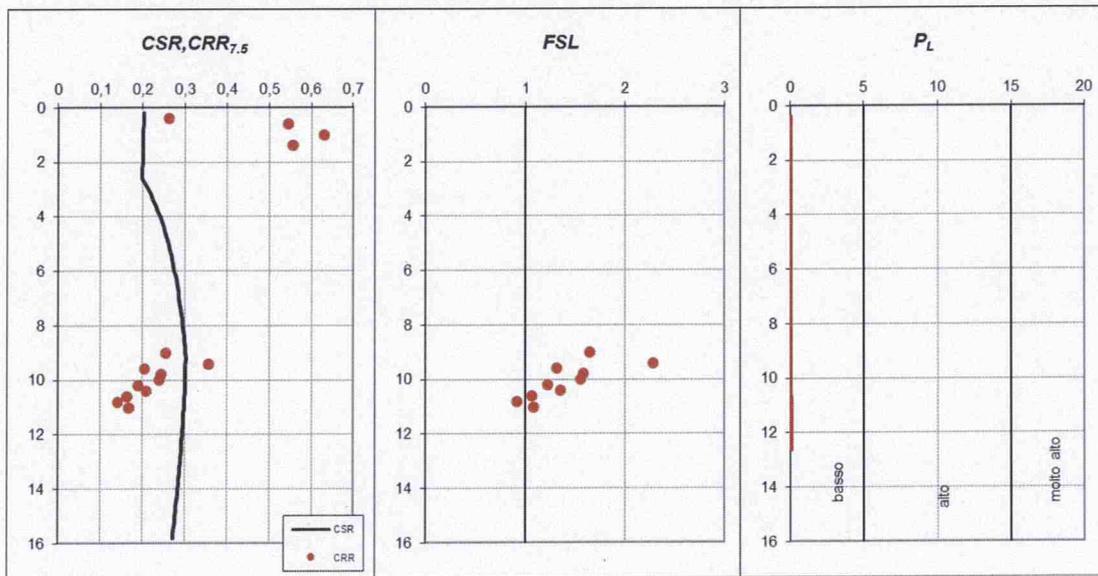


Un solo strato presenta un fattore di sicurezza inferiore a 1, il che si traduce in un valore di P_L pari a 0,08 ad indicare come il rischio di liquefazione sia molto basso.

Prova n.8

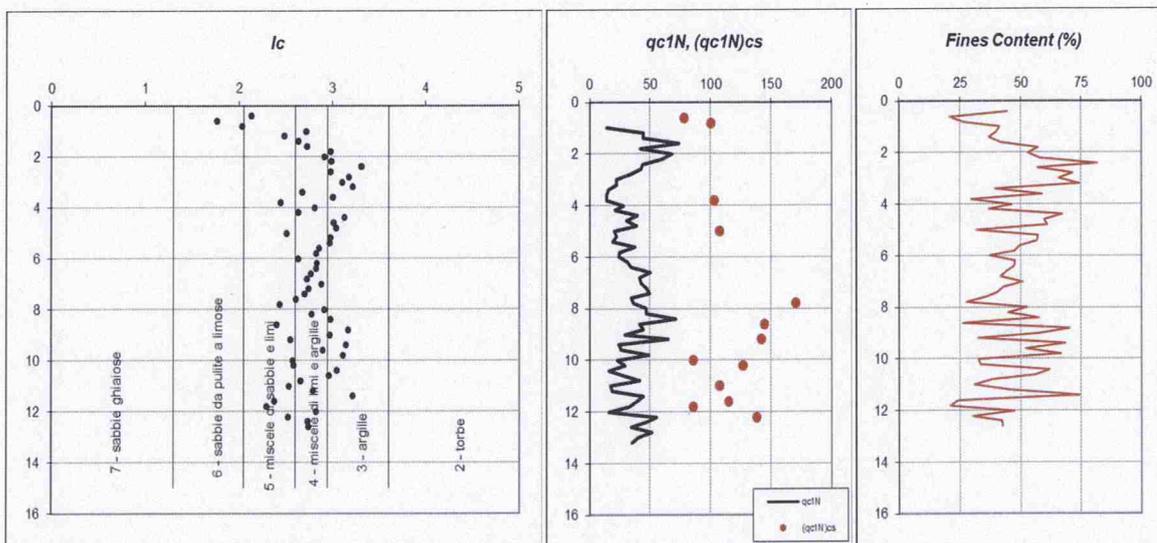


da cui:

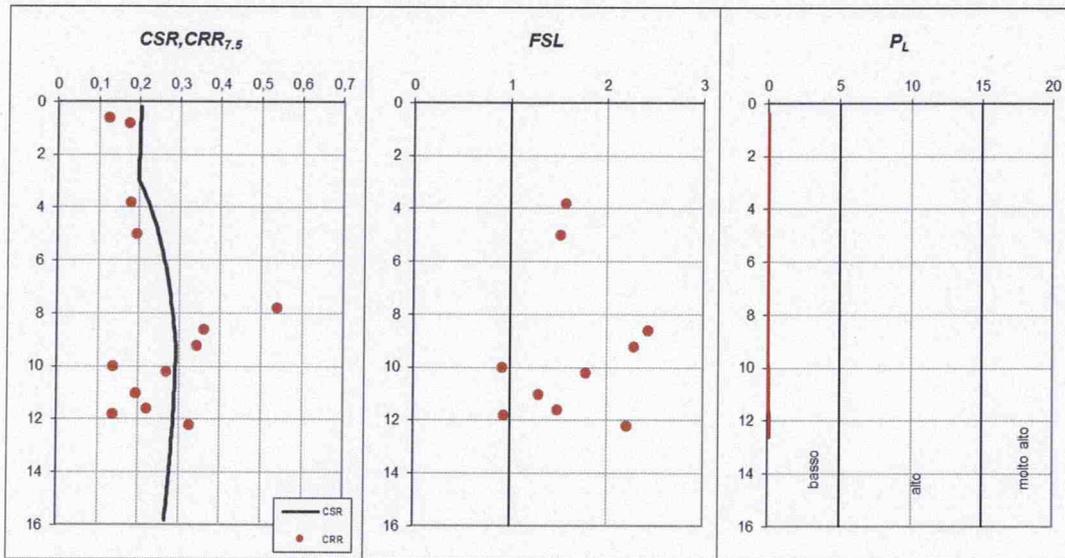


Un solo strato presenta un fattore di sicurezza inferiore a 1, il che si traduce in un valore di P_L pari a 0,08 ad indicare come il rischio di liquefazione sia molto basso.

Prova n.9

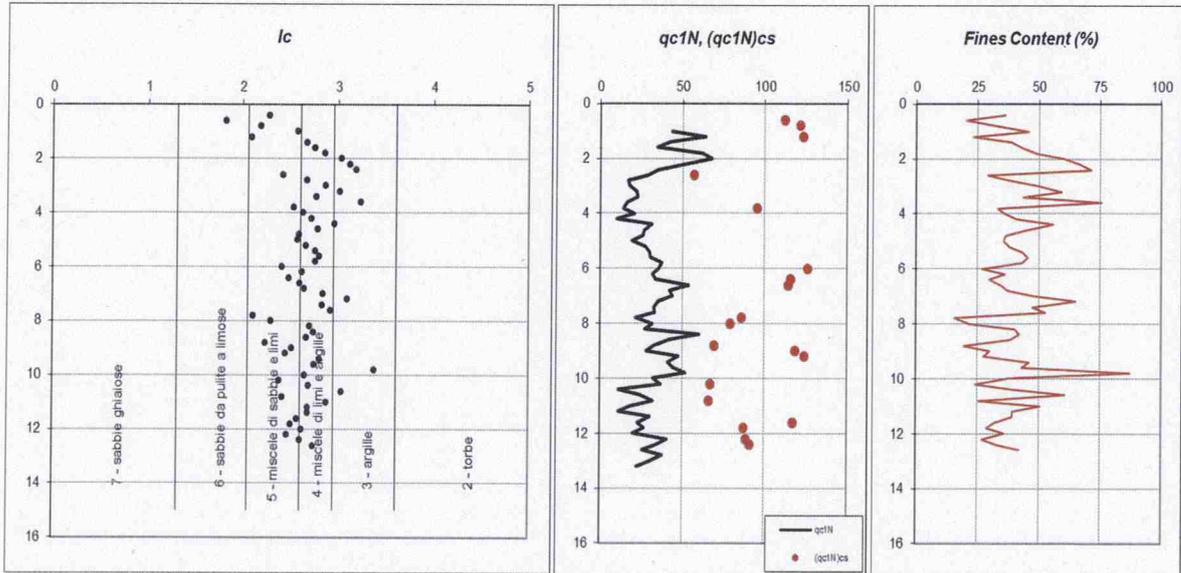


da cui:

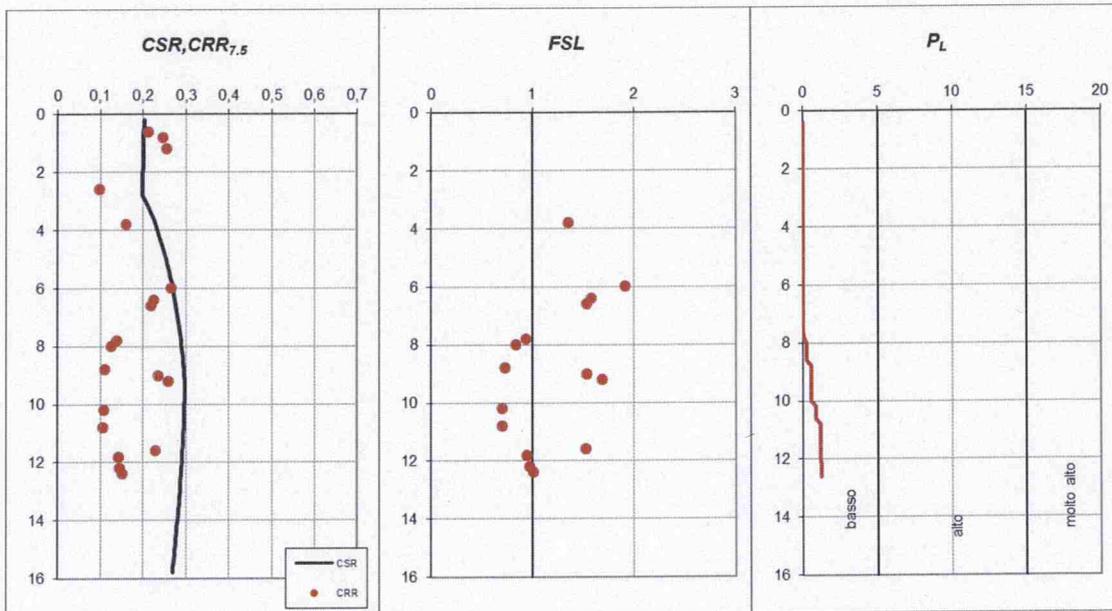


Due strati presentano un fattore di sicurezza inferiore a 1, il che si traduce in valori di P_L pari rispettivamente a 0,08 e 0,06 ad indicare come il rischio di liquefazione sia molto basso.

Prova n.10

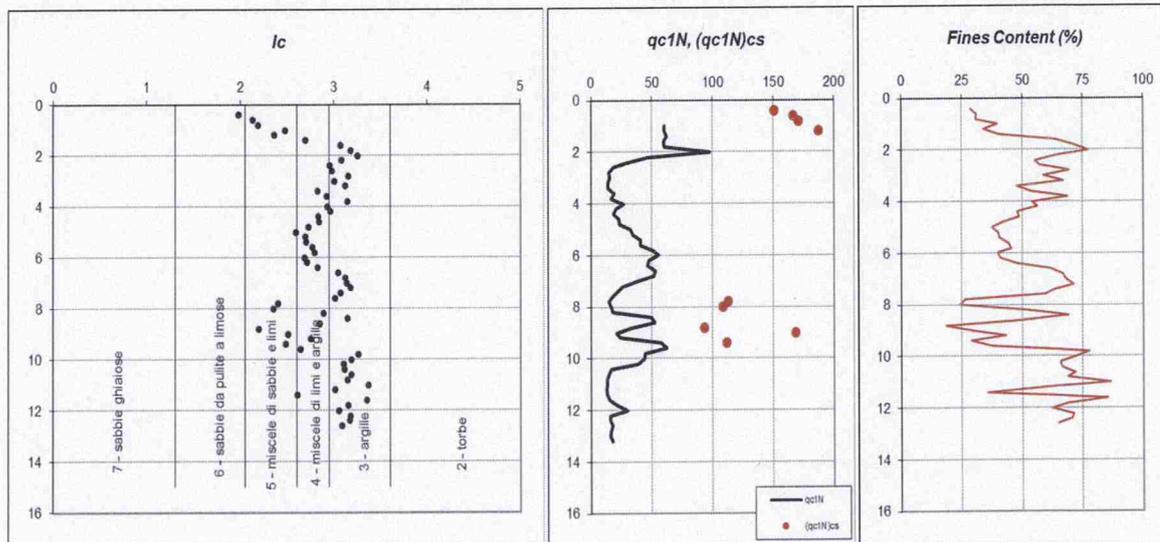


da cui :

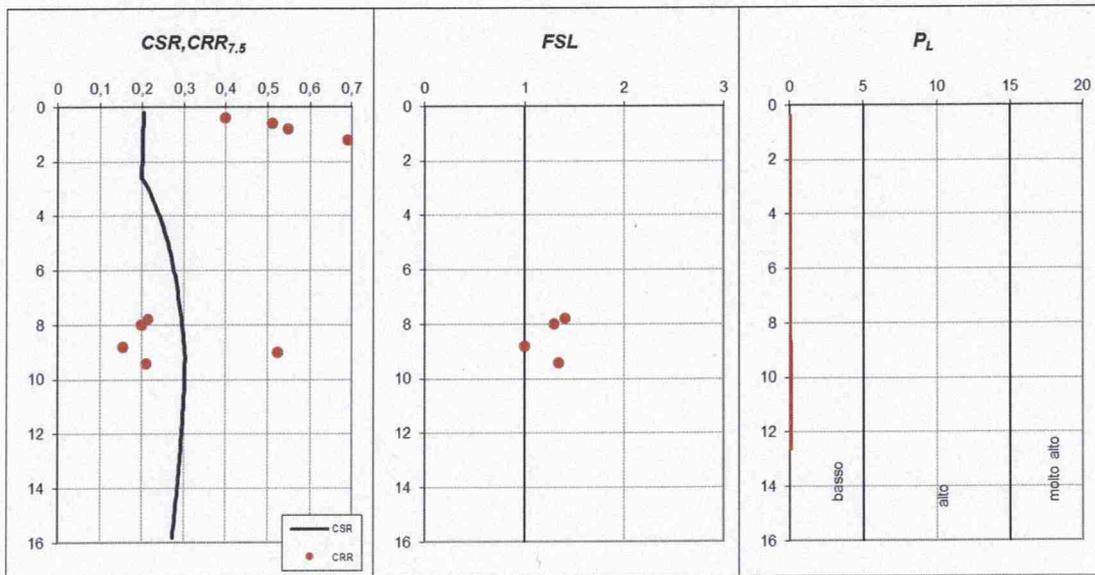


In questa prova diversi strati presentano un fattore di sicurezza inferiore a 1, con valori di P_L compresi tra 0,02 e 0,31, nonostante ciò il rischio liquefazione si può considerare basso.

Prova n.11

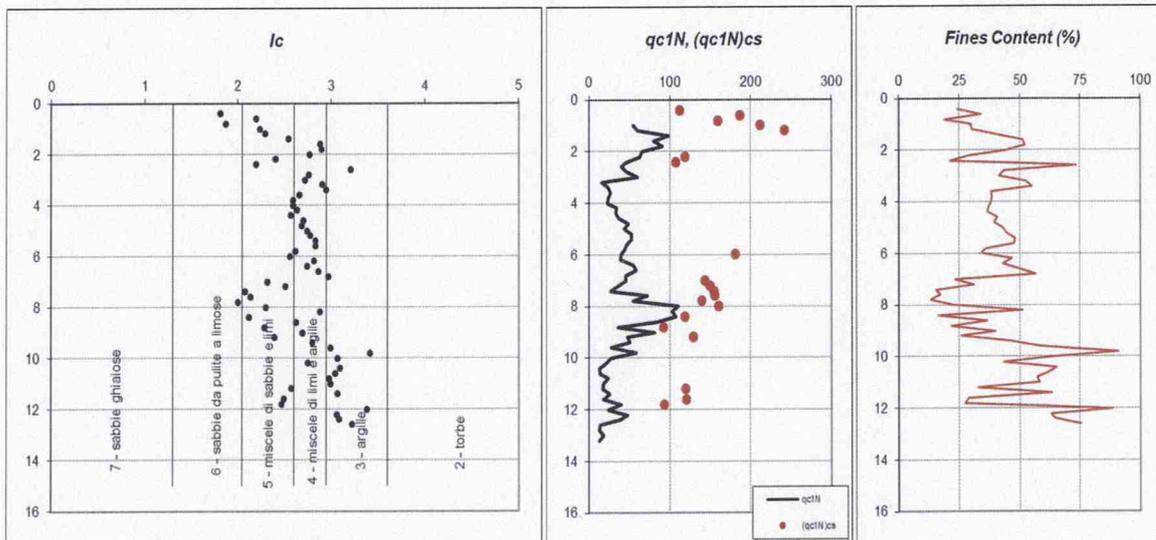


da cui:

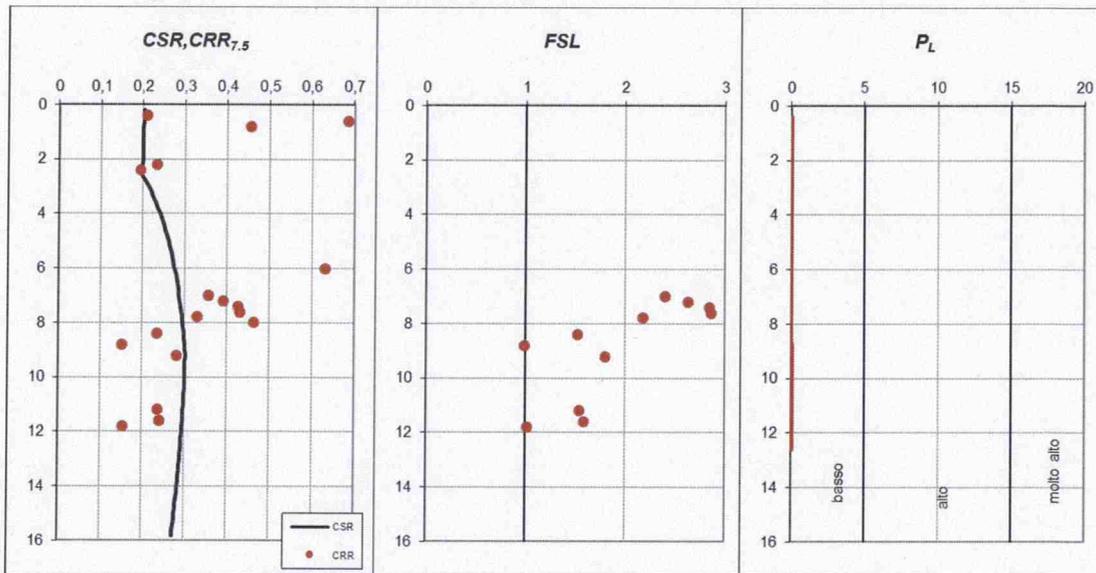


Un solo strato presenta un fattore di sicurezza inferiore a 1, il che si traduce in un valore di P_L pari a 0,001 ad indicare come il rischio di liquefazione sia estremamente basso.

Prova n.15



da cui:



Un solo strato presenta un fattore di sicurezza inferiore a 1, il che si traduce in un valore di P_L pari a 0,015 ad indicare come il rischio di liquefazione sia estremamente basso.

Da quanto sopra verificato le possibilità di liquefazione dei terreni attraversati dall'intero tracciato sono molto basse.

MICROZONAZIONE SISMICA

Da quanto si può desumere dai paragrafi precedenti l'area di studio non ricade nelle seguenti categorie:

- Aree soggette a liquefazione e densificazione;
- Aree instabili o potenzialmente instabili;
- Aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile;
- Aree in cui è prevista la realizzazione di opere a rilevante interesse pubblico

Non si rende quindi necessario un approfondimento delle indagini ai fini della microzonazione sismica e dell'analisi della risposta sismica locale.

RISULTATI SONDAGGI A CAROTAGGIO

Lungo il tracciato sono stati eseguiti n.2 sondaggi a carotaggio con sonda CMV mk 900 D1.

Le carote sono state ricoverate in casse in PVC e fotografate.

La seguente tabella mostra i dati più significativi dei sondaggi mentre nell'ALLEGATO PROVE e SONDAGGI sono riportati i moduli di perforazione.

SONDAGGIO n.	PROFONDITA' m	PROFONDITA' CAMPIONI INDISTURBATI
1	30.0	1 da 4,50 a 5,00 2 da 10,70 a 11,20 3 da 14,50 a 15,00 4 da 25,00 a 25,50
2	30.0	1 da 5,40 a 5,90 2 da 13,00 a 13,50 3 da 17,00 a 17,50 4 da 24,00 a 24,50

RISULTATI PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

Nei sondaggi sono stati prelevati n.8 campioni indisturbati di terreno sui quali sono poi state eseguite le seguenti prove:

- 8 caratteristiche naturali
- 4 prove di compressione ad espansione laterale libera
- 4 prove di taglio consolidate e drenate

Nella seguente tabella sono riportati i dati più significativi, mentre nell'ALLEGATO PROVE e SONDAGGI sono riportati i report di ogni singola prova.

Lotto 1																
Campione			Proprietà indice			Granulometria				Limiti di Att.		E.L.L.		Taglio CD		Classifica terre
Sond. n°	Camp. n°	Profondità m	w %	γ t/m ³	γ_d t/m ³	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	w _L %	i _p %	c _u kg/cm ²	ε %	ϕ' °	c' kg/cm ²	UNI-10006
1	1	4,50-5,00	26,8	1,91	1,50		1	68	31	44	21			24	0,08	A 7-6
1	2	10,70-11,20	33,7	1,88	1,40		3	83	14	32	11	0,28	4,2			A 6
1	3	14,50-15,00	29,3	1,90	1,47			56	44	49	29			22,5	0,06	A 7-6
1	4	25,00-25,50	27,1	1,91	1,50			68	32	42	21	0,79	12,0			A 7-6
2	1	5,40-5,90	23,6	1,96	1,58		3	49	48	59	35	1,51	9,7			A 7-6
2	2	13,00-13,50	28,8	1,91	1,48			68	32	42	20			23	0,06	A 7-6
2	3	17,00-17,50	23,4	1,99	1,61		14	73	13	31	10	0,62	7,8			A 4
2	4	24,00-24,50	28,5	1,92	1,49		2	40	58	62	37			20	0,12	A 7-6

RISULTATO PROVE DI LABORATORIO CHIMICO

Sono stati prelevati n.4 campioni di terreno superficiali.

Tali analisi sono state condotte per la verifica della compatibilità chimico - fisica con il sito di destinazione dei terreni da scavo in base al D.Lgs. 152/06.

I campioni di terreno sono stati prelevati nello strato superficiale sino a 60 cm di profondità in quanto il terreno sottostante è quello naturale e quindi si escludono inquinamenti se non provenienti dallo strato superiore.

I punti di prelievo sono stati distribuiti nei punti in cui si è presupposto un intervento antropico. Sono stati prelevati campioni di terreno agricolo di circa 1.000 gr che sono stati collocati all'interno di vasi di vetro con coperchio ermetico e consegnati alla ditta L.A.V. s.r.l. di Rimini in data 25/09/2018.

Il sito ha attualmente una destinazione prevalentemente agricola e quindi sono stati ricercati i seguenti parametri e si sono ottenuti i seguenti risultati:

	CAMP.1	CAMP.2	CAMP.3	CAMP.4	
SCHELETRO >2 mm	<1	<1	<1	<1	%
FRAZIONE <2 mm	100	100	100	100	%
RESIDUO SECCO 105°	87.7	84.5	85.6	85.9	mg/kg in s.s.
IDROCARBURI C>12	<5	<5	25	17	mg/kg in s.s.
AMIANTO	-	-	-	-	
ARSENICO	5.8	13.5	5.9	5.1	mg/kg in s.s.
CADMIO	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	mg/kg in s.s.
COBALTO	11.3	10.1	10.2	8.4	mg/kg in s.s.
CROMO	52.8	43.1	42.9	38.9	mg/kg in s.s.
CROMO IV	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	mg/kg in s.s.
MERCURIO	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	mg/kg in s.s.
NICHEL	50.9	42.2	42.0	36.1	mg/kg in s.s.
PIOMBO	21.0	44.0	32.0	87.0	mg/kg in s.s.
RAME	35.0	146.0	65.0	94.0	mg/kg in s.s.
ZINCO	89.7	160.4	112.8	134.7	mg/kg in s.s.

La legge 152 fornisce una tabella di riferimento della Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC) per due tipi di siti: colonna A e colonna B con gli elementi da noi ricercati.

Qui di seguito si riporta la succitata tabella 1:

		A	B
		<i>Siti ad uso Verde pubblico, privato e residenziale (mg kg-1 espressi come ss)</i>	<i>Siti ad uso Commerciale e Industriale (mg kg-1 espressi come ss)</i>
	<i>Composti inorganici</i>		
2	Arsenico	20	50
4	Cadmio	2	15
5	Cobalto	20	250
6	Cromo totale	150	800
7	Cromo VI	2	15
8	Mercurio	1	5
9	Nichel	120	500
10	Piombo	100	1000
11	Rame	120	600
	<i>Aromatici</i>		
19	Benzene	0.1	2
20	Etilbenzene	0.5	50
21	Stirene	0.5	50
22	Toluene	0.5	50
23	Xilene	0.5	50
24	Sommatoria organici aromatici (da 20 a 23)	1	100
96	Amianto	1000 (*)	1000 (*)
16	Zinco	150	1500

Si nota che i campioni n.1, n.3 e n.4 non hanno superato i limiti di soglia e quindi i terreni possono essere utilizzati al di fuori del cantiere anche per usi di verde pubblico, privato e residenziale. Il campione n.2 invece presenta valori superiori al limite previsto dalla legge 152/06 per quel che riguarda le sostanze Rame e Zinco. Tale superamento è probabilmente attribuibile all'uso di sostanze fertilizzanti utilizzate per le coltivazioni. Per rimediare a tale situazione si consiglia di miscelare il terreno inquinato con altro terreno che presenta valori conformi ai limiti imposti oppure di utilizzare il terreno al di fuori del cantiere per usi commerciali o industriali.

STUDIO DELLA PORTANZA DEL TERRENO – METODO DEL C.B.R.

Il metodo Californian Bearing Ratio, per il dimensionamento delle pavimentazioni flessibili consiste sostanzialmente nello stabilire un indice di resistenza alla penetrazione che presenta un provino del terreno di sottofondo. Il dimensionamento della sovrastruttura viene stabilito in base a curve che sono state tracciate con la scorta di dati ottenuti effettuando prove su pavimentazioni e su terreni di sottofondi diversi. Queste prove permettono di stabilire gli spessori minimi di pavimentazione per dati valori dell'indice C.B.R. dei terreni di sottofondo e per dati carichi. Dapprima si è costruita la curva per carichi di 3175 kg e poi 5443 kg; le altre curve ottenute con il calcolo sono state controllate con apposite prove.

L'equazione di dette curve è, con buona approssimazione, del tipo:

$$S = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I + 5}$$

in cui P è il carico (statico) in tonnellate ed I l'indice C.B.R.

Si riportano di seguito gli indici C.B.R. ottenuti dalle prove di laboratorio, eseguite sui campioni compattati all'umidità ottimale ricavata da una prova Proctor.

Proctor e CBR Lotto 1						
Campione		Proctor			C.B.R.	
Sond. n°	Camp. n°	w ott. %	γ_{dmax} t/m ³	γ_{max} t/m ³	Indice (2,5 mm) %	Indice (5,0 mm) %
	1	14,0	1,86	2,12	7,7	7,8
	2	12,3	1,85	2,08	8,1	8,3
	3	13,0	1,85	2,09	7,3	7,6

Notiamo la presenza di due indici C.B.R. uno a 2,5 mm e uno a 5,0 mm. Si assume come valore dell'indice del terreno il maggiore dei due, purchè non differiscano molto fra loro.

Per il caso in esame si consideri C.B.R. = 8,3 % e un carico P ipotizzato a 15 tonnellate.

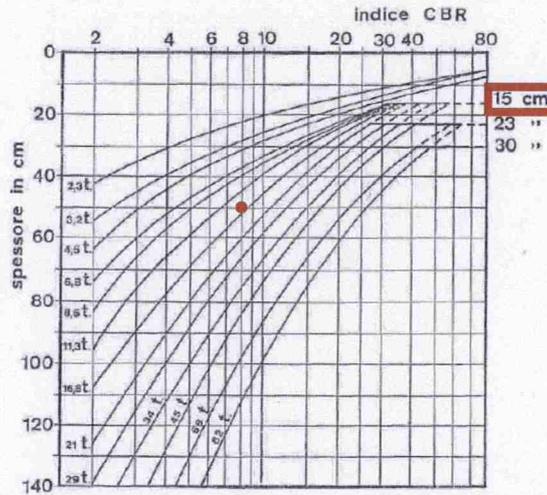


FIG. VII.17 - Diagramma per il calcolo dello spessore delle pavimentazioni flessibili in base all'indice C.B.R. (metodo del Genio Americano).

$$s = \frac{100 + 150\sqrt{15}}{8,3 + 5} = 51,19 \text{ cm}$$

Dal diagramma si nota infatti che lo spessore complessivo del pacchetto non deve essere minore di 51 cm e che lo spessore minimo della pavimentazione superficiale è di circa 15 cm.

Fissato lo spessore s_3 dello strato superficiale, che dovrà resistere, in particolare, alle azioni tangenziali del traffico, gli spessori s_1 della fondazione e s_2 dello strato di base si otterranno ponendo la condizione

$$s_1 : s_2 = 70 : 20 \quad \text{ed} \quad s_t - s_3 = s_1 + s_2$$

da cui $s_1 + s_2 = 36 \text{ cm}$, spessore minimo della fondazione $s_1 = 28 \text{ cm}$ e spessore minimo dello strato di base $s_2 = 8 \text{ cm}$.

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

PROVE CPT : METODOLOGIA DELL' INDAGINE

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v = 2 \text{ cm / sec} \pm 0,5 \text{ cm / sec}$).

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica.

La punta conica (del tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale : punta / manicotto tipo "**Begemann**".

Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente :

- diametro Punta Conica meccanica $\varnothing = 35,7 \text{ mm}$
- area di punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo di apertura del cono $\alpha = 60^\circ$
- superficie laterale del manicotto $A_m = 150 \text{ cm}^2$

Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'infissione.

PROVE CPTU

La prova penetrometrica statica CPTU (di tipo elettrico con pietra porosa) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione della punta e del manicotto laterale mediante trasduttori ogni centimetro.

Sopra la punta è presente una pietra porosa che consente la misura della pressione interstiziale dei pori del terreno.

Le dimensioni della punta sono standardizzate ASTM D3441-86 :

- diametro Punta Conica meccanica $\varnothing = 35,7 \text{ mm}$

- area di punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo di apertura del cono $\alpha = 60^\circ$
- superficie laterale del manicotto $A_m = 150 \text{ cm}^2$
- Passo letture 1 cm
- Costante di trasformazione Ct 10

REGISTRAZIONE DATI.

Una cella di carico, che rileva gli sforzi di infissione, è montata all'interno di un'unità rimovibile, chiamata "selettore", che preme alternativamente sull'asta interna e su quella esterna.

Durante la fase di spinta le aste sono azionate automaticamente da un comando idraulico. L'operatore deve solamente controllare i movimenti di spinta per l'infissione delle aste.

I valori acquisiti dalla cella di carico sono visualizzati sul display di una Sistema Acquisizione Automatico (qualora presente) o sui manometri.

Le letture di campagna (che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm^2) durante l'infissione sono le seguenti:

- Lettura alla punta **LP** = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta
- Lettura laterale **LT** = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto
- Lettura totale **LLTT** = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).

Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo "**STATIC PROBING**" della GeoStru

La resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP**) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

- $A_p =$ l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann") = 10 cm^2

- A_m = area del manicotto di frizione = 150 cm^2
- C_t = costante di trasformazione = 10

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

I dati di uscita principali sono RP (Resistenza alla punta) e RL (Resistenza laterale o f_s , attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il programma calcola automaticamente; inoltre viene calcolato il Rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %-).

I valori sono calcolati con queste formule:

- Q_c (RP) = $(LP \times C_t) / 10 \text{ cm}^2$ **Resistenza alla punta**
- Q_l (RL) (f_s) = $[(LT - LP) \times C_t] / 150 \text{ cm}^2$ **Resistenza laterale**
- Q_c (RP) = Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione C_t / Superficie Punta A_p
- Q_l (RL) (f_s) = Lettura laterale LT- Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione C_t / A_m area del manicotto di frizione

N.B.

- $A_p = 10 \text{ cm}^2$ e $A_m = 150 \text{ cm}^2$
- la resistenza laterale viene conteggiata **20 cm sotto** (alla quota della prima lettura della punta)

CORRELAZIONI

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (consigliata o meno a seconda del tipo di penetrometro utilizzato) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati. Il programma esegue inoltre il grafico (per i vari autori) Profondità/Valutazioni litologiche, per visualizzare in maniera diretta l'andamento delle litologie presenti lungo la verticale indagata.

INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (Autori di riferimento)

Schmertmann1978 (consigliato per CPT)

L'utilizzo della stratigrafia dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

CORRELAZIONI GEOTECNICHE

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

Ad ogni strato mediato il programma calcola la Q_c media, la f_s media, il peso di volume naturale medio, il comportamento geotecnico (coesivo, incoerente o coesivo-incoerente), ed applica una texture.

TERRENI INCOERENTI

Angolo di Attrito (Caquot) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Densità relativa (%) (Jamiołkowski 1985)

Modulo di Young (ISOPT-1 1988) E_y (50) - per sabbie OC sovraconsolidate e SC

Modulo Edometrico (Mitchell & Gardner 1975) – valido per sabbie

Peso di Volume Gamma

Peso di Volume Gamma (Meyerhof) -

Peso di Volume Gamma saturo (Meyerhof) -

Modulo di deformazione di taglio Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

OCR - Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

MODULO DI REAZIONE K_o (Kulhawy Maine, 1990).

CORRELAZIONE NSPT Meardi – Meigh 1972

TERRENI COESIVI

Coesione Non Drenata (Baligh ed altri 1976-1980) in tale elaborazione occorre inserire il valore di N_k (generalmente 20)

Modulo Edometrico-Confinato Metodo generale del modulo edometrico.

Peso di Volume Gamma

Peso di Volume terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Peso di Volume saturo terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Modulo di deformazione di taglio Imai & Tonouchi (1982)

OCR Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Permeabilità Coefficiente di Permeabilità K (Piacentini-Righi, 1988) .

PROVA N.1

Committente: Forlì Mobilità Integrata
 Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)
 Prova eseguita in data: 11/09/2018
 Profondità prova: 15.00 mt
 Località: Villa Selva

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m^3)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m^3)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm^2)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm^2)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio ($^{\circ}$)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm^2)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm^2)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm^2)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.60	C	1.6	1160.3	62.0	228.2	>9	2.0	2.1	--	--	--	170.45
2	1.20	CI	2.7	2043.2	109.3	322.8	0.6	2.1	2.2	92.1	41.2	0.0	270.45
3	1.80	C	1.2	876.0	47.3	193.5	>9	2.0	2.1	--	--	--	210.49
4	3.80	C	0.7	510.1	48.4	141.0	>9	1.9	2.0	--	--	--	207.00
5	6.60	C	1.2	904.9	49.7	199.4	>9	2.0	2.1	--	--	--	243.74
6	7.20	CI	2.6	1878.8	102.0	309.4	2.2	2.1	2.2	51.4	34.9	0.0	324.03
7	7.60	C	1.7	1258.0	69.0	243.6	>9	2.1	2.1	--	--	--	270.07
8	8.00	CI	1.2	862.8	48.0	195.2	<0.5	2.0	2.1	23.2	30.6	0.0	271.48
9	10.80	C	1.3	907.7	50.7	201.9	>9	2.0	2.1	--	--	--	263.32
10	11.00	CI	1.7	1188.6	66.0	237.1	<0.5	2.1	2.1	27.5	31.2	0.0	304.23
11	11.80	C	1.7	1214.8	67.5	240.4	>9	2.1	2.1	--	--	--	284.54
12	12.40	CI	3.0	2159.0	118.0	338.2	<0.5	2.2	2.2	45.3	33.9	0.0	356.00
13	15.00	C	1.0	704.8	41.0	176.7	5.8	2.0	2.0	--	--	--	266.47

PROVA N.2

Committente: Forlì Mobilità Integrata
 Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)
 Prova eseguita in data: 11/09/2018
 Profondità prova: 15.00 mt
 Località: Villa Selva

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m^3)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m^3)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm^2)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm^2)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio ($^{\circ}$)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm^2)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm^2)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm^2)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.40	C	1.1	804.7	43.0	182.5	>9	2.0	2.1	--	--	--	149.53
2	2.00	CI	1.9	1378.2	74.0	254.3	1.0	2.1	2.2	71.4	38.1	0.0	254.66
3	2.40	C	0.7	508.0	48.3	140.4	>9	1.9	2.0	--	--	--	203.84
4	3.80	C	0.9	643.6	46.3	162.1	>9	1.9	2.0	--	--	--	219.38
5	4.40	C	0.7	501.0	48.3	140.4	>9	1.9	2.0	--	--	--	215.37
6	6.60	C	1.3	973.1	53.5	208.5	>9	2.0	2.1	--	--	--	249.70
7	7.40	CI	2.2	1633.8	89.0	284.6	<0.5	2.1	2.2	45.9	34.0	0.0	314.54
8	8.00	C	1.3	924.8	51.3	203.4	>9	2.0	2.1	--	--	--	258.25

9	8.60	CI	2.5	1847.4	100.7	306.9	<0.5	2.1	2.2	46.8	34.1	0.0	330.00
10	9.00	C	1.9	1364.1	75.0	256.4	>9	2.1	2.2	--	--	--	281.53
11	9.40	CI	2.1	1531.2	84.0	274.8	<0.5	2.1	2.2	38.5	32.9	0.0	318.84
12	10.20	CI	1.5	1078.9	60.0	223.7	<0.5	2.0	2.1	25.7	31.0	0.0	294.91
13	10.80	C	1.0	688.8	42.8	172.8	6.0	2.0	2.0	--	--	--	256.37
14	11.60	CI	1.9	1401.6	77.5	261.6	<0.5	2.1	2.2	31.8	31.9	0.0	318.84
15	12.40	C	1.5	1061.0	59.5	222.6	>9	2.0	2.1	--	--	--	281.42
16	13.00	CI	1.3	942.7	53.3	208.2	<0.5	2.0	2.1	16.4	29.5	0.0	294.16
17	13.40	C	1.1	747.1	43.0	182.5	7.3	2.0	2.1	--	--	--	268.72
18	14.00	CI	1.7	1176.4	66.0	237.1	<0.5	2.0	2.1	22.2	30.4	0.0	312.78
19	15.00	CI	1.5	1075.9	60.8	225.5	<0.5	2.0	2.1	18.2	29.8	0.0	308.24

PROVA N.3

Committente: Forlì Mobilità Integrata

Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)

Prova eseguita in data: 11/09/2018

Profondità prova: 15.00 mt

Località: Villa Selva

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm ²)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.40	CI	2.9	2136.0	114.0	331.1	<0.5	2.1	2.2	100.0	42.0	0.0	226.16
2	2.80	C	1.1	775.5	42.0	179.9	>9	2.0	2.1	--	--	--	207.46
3	3.40	CI	0.7	478.9	48.0	136.3	<0.5	1.9	2.0	16.6	29.8	0.0	218.24
4	3.80	C	0.9	614.7	47.2	158.1	>9	1.9	2.0	--	--	--	221.14
5	4.20	C	0.9	669.6	45.1	166.5	>9	2.0	2.0	--	--	--	226.73
6	5.00	C	1.1	789.2	43.5	183.8	>9	2.0	2.1	--	--	--	236.81
7	5.40	CI	0.8	552.6	48.3	149.4	<0.5	1.9	2.0	14.5	29.4	0.0	235.44
8	8.00	C	1.3	940.8	52.0	205.0	>9	2.0	2.1	--	--	--	254.79
9	9.20	CI	1.9	1402.2	77.0	260.5	<0.5	2.1	2.2	36.8	32.6	0.0	309.88
10	10.00	C	1.2	854.5	48.0	195.2	8.0	2.0	2.1	--	--	--	262.86
11	10.80	C	0.8	514.2	48.4	146.5	5.5	1.9	2.0	--	--	--	243.78
12	11.20	CI	1.1	755.8	43.0	182.5	<0.5	2.0	2.1	12.1	28.9	0.0	274.29
13	12.20	C	0.8	569.6	47.6	155.8	4.8	1.9	2.0	--	--	--	251.87
14	12.80	C	0.9	581.9	47.2	158.1	4.2	1.9	2.0	--	--	--	254.97
15	15.00	C	1.0	679.5	42.6	173.2	5.5	2.0	2.0	--	--	--	265.36

PROVA N.4

Committente: Forlì Mobilità Integrata
 Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)
 Prova eseguita in data: 11/09/2018
 Profondità prova: 15.00 mt
 Località: Villa Selva

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.60	C	0.3	198.1	28.8	77.9	>9	1.7	1.8	--	--	--	120.77
2	1.60	C	0.6	435.1	46.6	126.5	>9	1.9	2.0	--	--	--	172.99
3	3.00	C	1.0	696.3	44.2	169.2	>9	2.0	2.0	--	--	--	213.72
4	3.60	C	0.5	367.6	44.2	116.6	>9	1.9	1.9	--	--	--	197.82
5	4.00	C	0.7	465.9	47.8	134.2	>9	1.9	2.0	--	--	--	208.90
6	5.80	C	0.6	457.5	47.7	133.4	>9	1.9	2.0	--	--	--	213.88
7	7.00	C	1.3	931.9	51.3	203.4	>9	2.0	2.1	--	--	--	249.77
8	7.80	CI	1.6	1184.4	65.0	234.9	<0.5	2.0	2.1	35.5	32.5	0.0	290.05
9	8.20	CI	2.3	1688.3	92.0	290.5	<0.5	2.1	2.2	45.9	34.0	0.0	319.07
10	9.00	CI	2.3	1711.0	93.3	293.0	<0.5	2.1	2.2	44.9	33.9	0.0	322.69
11	9.40	C	0.9	652.6	45.1	166.5	7.9	1.9	2.0	--	--	--	246.81
12	10.20	CI	1.6	1156.6	64.0	232.7	<0.5	2.0	2.1	29.4	31.5	0.0	297.42
13	10.60	C	1.0	704.4	42.0	174.6	8.8	2.0	2.0	--	--	--	254.43
14	12.00	C	0.7	497.7	48.4	143.9	4.3	1.9	2.0	--	--	--	242.80
15	15.00	C	1.0	661.3	43.9	170.0	5.5	2.0	2.0	--	--	--	260.91

PROVA N.5

Committente: Forlì Mobilità Integrata
 Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)
 Prova eseguita in data: 11/09/2018
 Profondità prova: 15.00 mt
 Località: Villa Selva

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.60	CI	1.4	1010.3	54.0	209.8	<0.5	2.0	2.1	94.7	41.8	0.0	197.19
2	2.80	C	1.0	740.7	41.8	175.1	>9	2.0	2.1	--	--	--	207.80
3	4.20	C	0.6	427.6	46.8	127.8	>9	1.9	2.0	--	--	--	207.13
4	5.40	C	0.9	610.7	47.2	158.1	>9	1.9	2.0	--	--	--	226.99
5	5.80	C	0.7	476.7	48.1	137.3	>9	1.9	2.0	--	--	--	221.07
6	8.20	C	1.7	1227.4	67.3	240.0	>9	2.1	2.1	--	--	--	268.20
7	9.60	CI	2.0	1478.4	81.1	269.0	<0.5	2.1	2.2	37.7	32.8	0.0	315.33
8	11.20	C	1.2	865.2	48.7	197.1	7.5	2.0	2.1	--	--	--	266.63

9	12.20	C	0.9	591.5	47.0	159.2	5.4	1.9	2.0	--	--	--	254.01
10	13.00	C	1.2	805.8	46.0	190.2	6.2	2.0	2.1	--	--	--	270.20
11	13.40	CI	1.1	784.8	45.0	187.6	<0.5	2.0	2.1	9.9	28.7	0.0	282.90
12	15.00	C	1.2	851.3	48.7	197.1	6.4	2.0	2.1	--	--	--	277.47

PROVA N.6

Committente: Forlì Mobilità Integrata

Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)

Prova eseguita in data: 11/09/2018

Profondità prova: 15.00 mt

Località: Villa Selva

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato												
Prof:	Profondità strato (m)												
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente												
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)												
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)												
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)												
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)												
OCR:	Grado di sovraconsolidazione												
Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)												
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)												
Dr:	Densità relativa (%)												
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)												
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)												
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)												
1	0.60	CI	2.3	1685.1	90.0	286.6	<0.5	2.1	2.2	100.0	42.0	0.0	225.54
2	2.00	CI	1.6	1211.2	65.1	235.2	1.2	2.1	2.1	64.7	37.1	0.0	249.61
3	2.60	C	0.8	557.1	48.3	148.4	>9	1.9	2.0	--	--	--	208.86
4	3.00	C	0.9	635.3	46.6	160.9	>9	1.9	2.0	--	--	--	219.40
5	3.20	C	0.8	540.5	48.4	146.5	>9	1.9	2.0	--	--	--	214.97
6	4.00	C	0.8	567.0	48.2	150.9	>9	1.9	2.0	--	--	--	219.46
7	4.40	C	0.7	499.3	48.3	140.4	>9	1.9	2.0	--	--	--	217.66
8	4.80	C	0.9	629.2	46.6	160.9	>9	1.9	2.0	--	--	--	228.49
9	5.60	C	0.8	542.8	48.3	148.0	8.3	1.9	2.0	--	--	--	225.45
10	6.20	C	1.4	1006.0	55.3	212.9	>9	2.0	2.1	--	--	--	254.41
11	6.80	CI	2.1	1528.6	83.3	273.4	<0.5	2.1	2.2	44.4	33.8	0.0	308.21
12	8.20	C	1.6	1162.2	64.0	232.7	>9	2.0	2.1	--	--	--	268.81
13	8.60	CI	2.8	2040.0	111.0	325.8	<0.5	2.1	2.2	49.5	34.5	0.0	339.36
14	9.00	CI	3.1	2263.5	123.0	346.9	2.5	2.2	2.2	52.1	34.9	0.0	349.85
15	9.60	CI	1.8	1292.7	71.3	248.7	<0.5	2.1	2.1	32.3	32.0	0.0	306.86
16	10.60	C	1.0	694.6	42.5	173.5	8.1	2.0	2.0	--	--	--	255.96
17	11.60	CI	1.4	1013.4	56.8	216.3	<0.5	2.0	2.1	21.1	30.3	0.0	295.00
18	15.00	C	1.3	941.6	53.4	208.4	7.0	2.0	2.1	--	--	--	280.01

PROVA N.7

Committente: Forlì Mobilità Integrata

Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)

Prova eseguita in data: 11/09/2018

Profondità prova: 15.00 mt

Località: Villa Selva

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato											
Prof:	Profondità strato (m)											
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente											
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)											
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)											
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)											
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)											
OCR:	Grado di sovraconsolidazione											
Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)											
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)											
Dr:	Densità relativa (%)											
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)											
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)											
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)											

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.40	C	0.7	486.1	47.8	134.2	>9	1.9	2.0	--	--	--	135.40
2	1.40	CI	2.0	1485.7	79.6	265.9	0.8	2.1	2.2	81.5	39.6	0.0	249.40
3	2.40	C	1.0	713.0	43.3	171.4	>9	2.0	2.0	--	--	--	210.71
4	4.20	C	0.7	503.0	48.3	140.4	>9	1.9	2.0	--	--	--	212.36
5	4.40	C	0.8	537.1	48.4	146.5	>9	1.9	2.0	--	--	--	219.98
6	4.80	C	0.6	442.4	47.4	131.0	7.8	1.9	2.0	--	--	--	214.17
7	5.60	C	0.6	402.8	46.2	124.5	8.1	1.9	1.9	--	--	--	213.47
8	7.00	C	1.4	1033.7	56.9	216.5	>9	2.0	2.1	--	--	--	256.77
9	8.00	CI	3.2	2347.7	127.2	354.1	1.9	2.2	2.2	56.6	35.6	0.0	346.80
10	8.20	I	--	--	120.0	407.3	1.6	1.9	2.2	62.9	36.5	0.0	370.44
11	9.00	CI	3.4	2536.1	137.5	371.3	2.0	2.2	2.3	56.4	35.6	0.0	358.94
12	9.60	C	1.9	1405.0	77.3	261.2	>9	2.1	2.2	--	--	--	286.11
13	10.00	CI	1.4	1003.0	56.0	214.5	<0.5	2.0	2.1	22.8	30.5	0.0	290.55
14	11.00	CI	1.4	985.4	55.2	212.6	<0.5	2.0	2.1	21.0	30.3	0.0	291.46
15	11.80	C	1.8	1306.2	72.5	251.1	>9	2.1	2.1	--	--	--	290.38
16	12.40	CI	1.8	1318.9	73.3	252.9	<0.5	2.1	2.1	27.9	31.3	0.0	317.77
17	15.00	C	1.4	999.4	56.6	215.9	6.7	2.0	2.1	--	--	--	284.68

PROVA N.8

Committente: Forlì Mobilità Integrata

Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)

Prova eseguita in data: 11/09/2018

Profondità prova: 15.00 mt

Località: Villa Selva

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm ²)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.40	CI	2.1	1535.9	82.0	270.8	<0.5	2.1	2.2	100.0	42.0	0.0	209.48
2	1.20	CI	2.6	1962.5	105.0	314.9	0.6	2.1	2.2	92.8	41.3	0.0	264.88
3	2.00	C	1.6	1150.0	62.0	228.2	>9	2.0	2.1	--	--	--	223.92
4	3.20	C	0.6	455.8	47.5	132.1	>9	1.9	2.0	--	--	--	204.12
5	3.80	C	0.7	527.7	48.4	144.5	>9	1.9	2.0	--	--	--	214.57
6	4.80	C	0.6	447.5	47.5	131.7	>9	1.9	2.0	--	--	--	212.59
7	9.20	C	1.5	1074.7	59.2	221.8	>9	2.0	2.1	--	--	--	261.73
8	10.20	CI	2.5	1837.3	100.4	306.4	<0.5	2.1	2.2	43.8	33.7	0.0	334.77
9	10.60	I	--	--	82.5	324.0	<0.5	1.9	2.2	45.5	33.9	0.0	345.05
10	11.00	CI	2.2	1581.8	87.0	280.7	<0.5	2.1	2.2	36.7	32.6	0.0	326.57
11	11.60	C	1.6	1148.6	64.0	232.7	8.9	2.0	2.1	--	--	--	282.37
12	12.00	CI	1.8	1277.9	71.0	247.9	<0.5	2.1	2.1	27.9	31.3	0.0	313.27
13	12.80	C	1.1	759.9	43.5	183.8	6.7	2.0	2.1	--	--	--	266.69
14	13.20	CI	1.3	879.6	50.0	200.1	<0.5	2.0	2.1	13.9	29.2	0.0	289.83
15	15.00	C	1.3	921.3	52.4	206.0	6.5	2.0	2.1	--	--	--	280.68

PROVA N.9

Committente: Forlì Mobilità Integrata
 Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)
 Prova eseguita in data: 11/09/2018
 Profondità prova: 15.00 mt
 Località: Villa Selva

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm ²)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.40	C	0.2	148.7	22.8	65.3	>9	1.7	1.8	--	--	--	107.47
2	0.80	CI	1.1	821.0	44.0	185.1	0.8	2.0	2.1	74.0	38.6	0.0	201.07
3	1.60	C	0.9	648.0	46.6	160.9	>9	1.9	2.0	--	--	--	189.08
4	3.20	C	0.6	405.1	45.8	122.9	>9	1.9	1.9	--	--	--	195.51
5	3.80	CI	1.0	702.5	43.5	171.0	<0.5	2.0	2.0	27.8	31.4	0.0	241.59
6	4.20	C	1.2	838.1	46.0	190.2	>9	2.0	2.1	--	--	--	236.20
7	4.80	C	0.7	523.8	48.4	144.5	>9	1.9	2.0	--	--	--	220.16
8	5.00	CI	1.5	1097.4	60.0	223.7	<0.5	2.0	2.1	38.0	32.9	0.0	276.60
9	7.20	C	1.6	1188.4	65.1	235.1	>9	2.1	2.1	--	--	--	262.69
10	7.80	CI	2.7	1987.6	108.0	320.4	2.5	2.1	2.2	50.9	34.8	0.0	333.01
11	8.40	C	2.0	1447.6	79.3	265.3	>9	2.1	2.2	--	--	--	281.93
12	8.60	CI	3.4	2508.4	136.0	368.8	2.0	2.2	2.3	56.3	35.5	0.0	357.52
13	9.40	C	1.7	1212.7	67.0	239.3	>9	2.1	2.1	--	--	--	277.27
14	10.00	CI	1.4	1028.8	57.3	217.6	<0.5	2.0	2.1	24.1	30.7	0.0	291.60
15	10.80	CI	1.9	1338.6	74.0	254.3	<0.5	2.1	2.2	31.4	31.8	0.0	313.15
16	11.20	CI	2.2	1617.3	89.0	284.6	<0.5	2.1	2.2	36.6	32.6	0.0	330.02
17	11.60	CI	2.3	1634.6	90.0	286.6	<0.5	2.1	2.2	36.3	32.5	0.0	332.13
18	13.40	CI	2.4	1721.8	94.9	296.0	<0.5	2.1	2.2	36.2	32.5	0.0	339.93
19	15.00	C	1.7	1225.0	68.7	243.1	>9	2.1	2.1	--	--	--	296.23

PROVA N.10

Committente: Forlì Mobilità Integrata
 Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)
 Prova eseguita in data: 11/09/2018
 Profondità prova: 15.00 mt
 Località: Villa Selva

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm ²)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.60	I	--	--	96.0	232.7	<0.5	1.8	2.1	100.0	42.0	0.0	204.47
2	1.40	C	1.1	789.6	42.5	181.2	>9	2.0	2.1	--	--	--	191.95
3	2.40	C	0.5	391.3	45.1	119.8	>9	1.9	1.9	--	--	--	187.75
4	4.60	CI	0.7	482.6	48.1	137.1	<0.5	1.9	2.0	16.0	29.7	0.0	219.84

5	7.00	CI	1.5	1123.0	61.5	227.1	<0.5	2.0	2.1	36.7	32.7	0.0	281.45
6	7.60	C	1.3	914.3	50.7	201.7	>9	2.0	2.1	--	--	--	255.34
7	10.00	CI	2.0	1452.6	79.7	266.0	<0.5	2.1	2.2	38.1	32.8	0.0	312.22
8	10.60	I	--	--	123.3	198.5	<0.5	1.9	2.2	18.6	29.9	0.0	281.20
9	12.80	CI	1.9	1332.3	73.8	253.9	<0.5	2.1	2.1	30.0	31.6	0.0	315.20
10	15.00	C	1.6	1119.5	62.9	230.3	7.6	2.0	2.1	--	--	--	288.58

PROVA N.11

Committente: Forlì Mobilità Integrata

Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)

Prova eseguita in data: 11/09/2018

Profondità prova: 15.00 mt

Località: Villa Selva

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.60	CI	1.3	985.2	52.7	206.6	<0.5	2.0	2.1	93.8	41.7	0.0	195.96
2	1.40	C	1.4	1051.9	56.5	215.6	>9	2.0	2.1	--	--	--	203.09
3	1.80	C	0.6	438.1	46.8	127.8	>9	1.9	2.0	--	--	--	187.29
4	2.40	C	0.3	234.6	34.0	89.2	5.1	1.8	1.9	--	--	--	175.35
5	4.40	C	0.6	432.4	47.0	128.5	>9	1.9	2.0	--	--	--	205.81
6	6.80	C	1.6	1192.7	65.2	235.3	>9	2.1	2.1	--	--	--	258.87
7	7.40	C	0.7	515.3	48.4	144.5	7.0	1.9	2.0	--	--	--	230.31
8	9.60	CI	2.1	1521.1	83.3	273.3	<0.5	2.1	2.2	40.2	33.2	0.0	314.84
9	10.60	C	0.8	576.0	47.6	155.8	5.2	1.9	2.0	--	--	--	246.76
10	15.00	C	1.2	843.6	48.0	195.2	8.1	2.0	2.1	--	--	--	272.06

PROVA N.12

Committente: Forlì Mobilità Integrata

Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)

Prova eseguita in data: 11/09/2018

Profondità prova: 15.00 mt

Località: Villa Selva

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.40	CI	1.6	1179.7	63.0	230.5	<0.5	2.0	2.1	100.0	42.0	0.0	194.88
2	1.60	C	1.9	1392.3	74.7	255.7	>9	2.1	2.2	--	--	--	214.61
3	2.20	C	0.5	385.5	44.8	118.9	>9	1.9	1.9	--	--	--	189.09
4	3.40	CI	1.4	1004.7	54.7	211.3	<0.5	2.0	2.1	42.3	33.6	0.0	260.04
5	7.20	C	1.3	971.0	53.4	208.3	>9	2.0	2.1	--	--	--	250.24

6	7.80	CI	2.4	1737.0	94.7	295.6	<0.5	2.1	2.2	46.0	34.0	0.0	322.78
7	8.60	C	1.5	1056.2	58.5	220.3	>9	2.0	2.1	--	--	--	267.68
8	9.20	CI	2.8	2081.5	113.3	329.9	<0.5	2.1	2.2	48.9	34.4	0.0	343.40
9	9.60	C	1.7	1248.2	69.0	243.6	>9	2.1	2.1	--	--	--	280.75
10	10.20	C	0.8	565.1	47.8	154.3	5.8	1.9	2.0	--	--	--	246.76
11	10.80	C	1.1	763.0	43.3	183.4	8.9	2.0	2.1	--	--	--	261.54
12	11.20	CI	2.1	1542.3	85.0	276.8	<0.5	2.1	2.2	35.0	32.3	0.0	326.26
13	15.00	C	1.5	1026.1	57.9	218.9	8.5	2.0	2.1	--	--	--	283.76

PROVA N.13

Committente: Forlì Mobilità Integrata
 Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)
 Prova eseguita in data: 11/09/2018
 Profondità prova: 15.00 mt
 Località: Villa Selva

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.40	CI	2.7	1985.9	106.0	316.7	<0.5	2.1	2.2	100.0	42.0	0.0	223.42
2	0.80	C	2.1	1570.3	84.0	274.8	>9	2.1	2.2	--	--	--	202.70
3	1.40	CI	3.1	2316.2	124.0	348.6	0.7	2.2	2.2	90.5	40.9	0.0	287.81
4	2.00	C	1.2	899.0	48.7	196.8	>9	2.0	2.1	--	--	--	217.10
5	3.00	CI	1.9	1383.0	74.8	256.0	1.7	2.1	2.2	53.9	35.3	0.0	280.01
6	3.80	CI	2.0	1504.2	81.5	269.7	1.9	2.1	2.2	51.9	35.0	0.0	293.54
7	6.60	C	1.6	1153.1	63.1	230.8	>9	2.0	2.1	--	--	--	259.66
8	7.40	CI	2.0	1481.0	81.0	268.7	<0.5	2.1	2.2	40.8	33.3	0.0	310.16
9	7.80	CI	3.4	2509.7	136.0	368.8	1.9	2.2	2.3	57.0	35.7	0.0	356.13
10	8.60	C	1.4	1035.4	57.5	218.0	>9	2.0	2.1	--	--	--	268.88
11	9.00	CI	3.1	2261.1	123.0	346.9	3.3	2.2	2.2	50.9	34.7	0.0	352.16
12	10.20	C	1.1	770.5	43.7	184.2	8.4	2.0	2.1	--	--	--	260.85
13	12.20	CI	2.0	1426.6	79.0	264.7	<0.5	2.1	2.2	31.0	31.7	0.0	322.73
14	15.00	C	1.7	1186.9	66.7	238.7	8.7	2.1	2.1	--	--	--	294.63

PROVA N.14

Committente: Forlì Mobilità Integrata
 Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)
 Prova eseguita in data: 11/09/2018
 Profondità prova: 15.00 mt
 Località: Villa Selva

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.40	C	1.1	842.2	45.0	187.6	>9	2.0	2.1	--	--	--	150.77
2	1.20	C	1.7	1250.3	67.0	239.3	>9	2.1	2.1	--	--	--	202.13

3	2.00	CI	1.2	888.0	48.0	195.2	1.7	2.0	2.1	50.4	34.9	0.0	235.81
4	3.00	CI	0.8	611.4	47.4	157.0	<0.5	1.9	2.0	27.6	31.4	0.0	227.65
5	3.80	C	0.8	577.7	48.0	152.4	>9	1.9	2.0	--	--	--	218.09
6	4.20	CI	1.3	913.0	50.0	200.1	<0.5	2.0	2.1	34.7	32.4	0.0	260.31
7	6.20	C	1.9	1361.9	74.2	254.7	>9	2.1	2.2	--	--	--	265.19
8	7.00	CI	2.3	1671.1	91.0	288.5	<0.5	2.1	2.2	46.5	34.1	0.0	316.46
9	9.60	CI	3.1	2271.3	123.4	347.5	2.4	2.2	2.2	52.6	35.0	0.0	349.43
10	11.40	CI	1.7	1245.0	69.1	243.9	<0.5	2.1	2.1	28.2	31.3	0.0	309.30
11	12.80	C	1.7	1234.2	68.9	243.3	8.1	2.1	2.1	--	--	--	290.76
12	13.60	CI	1.2	839.0	48.0	195.2	<0.5	2.0	2.1	11.3	28.8	0.0	288.71
13	15.00	C	1.6	1097.4	62.0	228.2	7.4	2.0	2.1	--	--	--	291.53

PROVA N.15

Committente: Forlì Mobilità Integrata

Strumento utilizzato: PAGANI 200 kN (CPTU)

Prova eseguita in data: 11/09/2018

Profondità prova: 15.00 mt

Località: Villa Selva

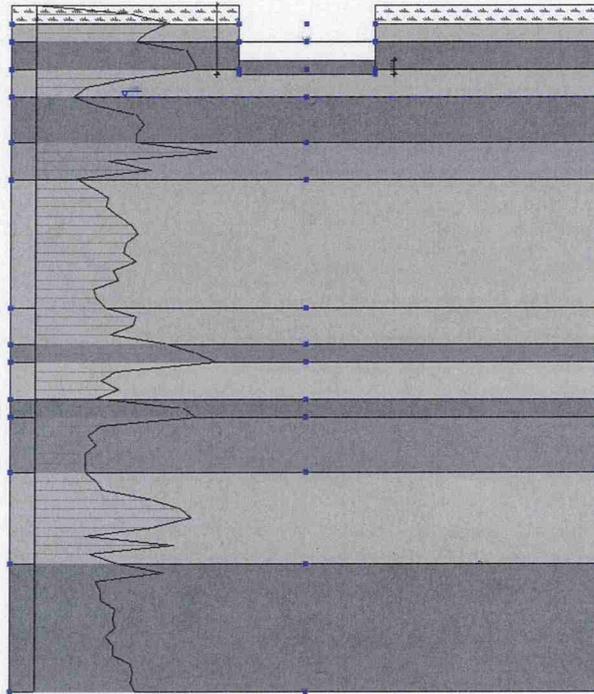
STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm ²)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.40	C	1.4	1011.0	54.0	209.8	>9	2.0	2.1	--	--	--	155.83
2	0.80	CI	2.0	1476.7	79.0	264.7	0.6	2.1	2.2	90.7	41.1	0.0	236.99
3	2.00	C	1.4	1045.6	56.3	215.3	>9	2.0	2.1	--	--	--	214.66
4	2.40	CI	1.4	1052.1	57.0	216.8	1.9	2.0	2.1	48.4	34.5	0.0	256.45
5	3.40	C	0.6	430.1	46.8	127.8	8.5	1.9	2.0	--	--	--	203.24
6	5.80	C	1.6	1158.3	63.2	230.8	>9	2.0	2.1	--	--	--	252.83
7	7.20	CI	2.1	1541.5	84.0	274.8	<0.5	2.1	2.2	44.9	33.9	0.0	308.36
8	7.80	I	--	--	153.0	472.5	1.3	1.8	2.1	72.6	38.0	0.0	390.90
9	8.40	CI	3.3	2459.8	133.3	364.4	1.9	2.2	2.3	56.4	35.6	0.0	354.24
10	8.80	I	--	--	75.8	307.5	<0.5	1.9	2.2	45.7	34.0	0.0	332.42
11	9.40	CI	2.0	1468.4	80.7	268.1	<0.5	2.1	2.2	36.9	32.6	0.0	315.92
12	11.40	C	1.3	914.6	51.4	203.5	8.3	2.0	2.1	--	--	--	269.42
13	12.00	CI	2.1	1508.5	83.3	273.4	<0.5	2.1	2.2	33.2	32.1	0.0	326.61
14	15.00	C	1.1	741.7	42.8	182.0	5.8	2.0	2.1	--	--	--	269.62

PORTANZA DEL TERRENO SOTTO MANUFATTO PER ATTRAVERSAMENTO PISTA CICLABILE

La pista ciclabile che percorre il tratto parallelo di Via san Leonardo attraverserà in sottopasso il tratto iniziale della nuova strada. La portanza del terreno è stata calcolata considerando i valori ricavati dalla prova n.13. Per il calcolo è stato utilizzato il software Loadcap della ditta Geostru considerando una platea di larghezza 3 m per una lunghezza di circa 12 cm.



Formula Brich-Hansen (EC 7 – EC 8)

Affinché una fondazione possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (stato limite ultimo), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici. Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine.

Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$R/A' = (2 + \pi) c_u s_c i_c + q$$

Dove:

$A' = B' L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u Coesione non drenata.

q pressione litostatica totale sul piano di posa.

s_c Fattore di forma

$$\begin{aligned} s_c &= 1 + 0,2 (B'/L') && \text{per fondazioni rettangolari} \\ s_c &= 1,2 && \text{Per fondazioni quadrate o circolari.} \end{aligned}$$

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H.

$$i_c = 0,5 \left(1 + \sqrt{1 - H/A' c_u} \right)$$

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$R/A' = c' N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 (45 + \phi' / 2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \tan \phi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + (B'/L') \cdot \text{sen} \phi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_q = 1 + \text{sen} \phi' \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 (B'/L') \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 0,7 \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1) \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H

$$i_q = [1 - H / (V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')]^m$$

$$i_\gamma = [1 - H / (V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')]^{m+1}$$

$$i_c = (i_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

Dove:

$$m = m_B = \frac{\left[2 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \right]} \text{ con } H//B'$$

$$m = m_L = \frac{\left[2 + \left(\frac{L'}{B'} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{L'}{B'} \right) \right]} \text{ con } H//L'$$

Se H forma un angolo θ con la direzione di L' , l'esponente "m" viene calcolato con la seguente espressione:

$$m = m_\theta = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta$$

Oltre ai fattori correttivi di cui sopra sono considerati quelli complementari della profondità del piano di posa e dell'inclinazione del piano di posa e del piano campagna (Hansen).

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLE FONDAZIONE (SLU)

La verifica a carico limite delle fondazioni secondo l'approccio SLU si esegue con la seguente disequaglianza:

$$E_d \leq \frac{R_d}{\gamma_{RV}}$$

Dove:

E_d -pressioni agenti alla base della fondazione

R_d -capacità portante di calcolo

γ_{RV} -coefficiente riduttivo della capacità portante verticale

Le pressioni agenti alla base della fondazione si calcolano con dalla seguente espressione:

$$E_d = \frac{N_d}{A_{ef}}$$

Dove:

N_d -azione normale di progetto

$A_{ef} = B_R \cdot L'$ -area ridotta

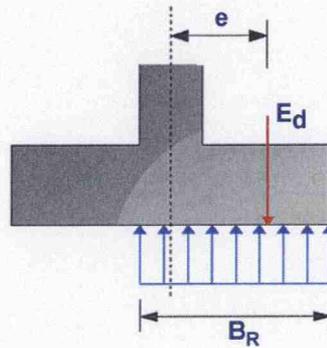
Fondazioni quadrate o rettangolari

L'area ridotta risulta $A_{ef} = B' \times L'$

$$L' = L - 2e_x; B' = B - e_y; e_x = \frac{M_x}{N}; e_y = \frac{M_y}{N}$$

Per le verifiche a carico limite allo SLU è lecito considerare la "plasticizzazione" del terreno, in tal caso si può assumere una distribuzione uniforme delle pressioni agenti sul piano di posa.

Come evidenziato nella seguente immagine, la distribuzione delle pressioni si considera estesa sulla base "ridotta" $B_R = B - 2e$.



Dove:

$$e = N_d / M_d - \text{eccentricità dei carichi}$$

DATI GENERALI

=====
 Normativa

Larghezza fondazione	3.0 m
Lunghezza fondazione	12.0 m
Profondità piano di posa	1.5 m
Altezza di incastro	1.0 m
Profondità falda	2.0

=====

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m³]	Peso unità di volume saturo [kN/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesion e [kN/m²]	Coesione non drenata [kN/m²]	Modulo Elastico [kN/m²]	Modulo Edometrico [kN/m²]
0.4	20.95	21.74	42.0	0.0	259.88	0.0	10394.88
0.4	20.57	21.35	0.0	0.0	205.94	0.0	8237.46
0.6	21.21	21.99	40.92	0.0	304.01	0.0	12160.05
0.6	19.65	20.43	0.0	0.0	119.64	0.0	4772.43

1.0	20.36	21.14	35.33	0.0	183.38	0.0	7335.26
0.8	20.5	21.28	34.99	0.0	200.06	0.0	7992.29
2.8	20.06	20.84	0.0	0.0	154.95	0.0	6192.02
0.8	20.47	21.25	33.25	0.0	198.09	0.0	7943.26
0.4	21.34	22.12	35.66	0.0	333.43	0.0	13336.83
0.8	19.88	20.66	0.0	0.0	141.22	0.0	5638.73
0.4	21.17	21.95	34.72	0.0	302.04	0.0	12061.99
1.2	19.39	20.18	0.0	0.0	106.89	0.0	4282.1
2.0	20.41	21.19	31.73	0.0	194.17	0.0	7747.13
2.8	20.1	20.89	0.0	0.0	163.77	0.0	6542.3

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	302.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	S.L.E.	302.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
3	S.L.D.	302.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult]	906.33 kN/m ²
Resistenza di progetto[Rd]	394.06 kN/m ²
Tensione [Ed]	302.11 kN/m ²
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	3.0
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 36253.32 kN/m³

PROFONDITA' IMPOSTA PACCHETTO STRADALE

Il pacchetto stradale le cui dimensioni minime sono state precedentemente calcolate, dovrà essere posto su terreno compatto e senza presenza di elementi organici. Dalle prove e dai sondaggi è emerso uno spessore massimo del terreno agrario-vegetale di circa 70 cm, che quindi corrisponde alla profondità dello sbancamento minimo necessario prima della posa del materiale di sottofondo.

CONCLUSIONI

L'intervento oggetto di questa relazione consiste nella realizzazione di un nuovo tratto stradale di collegamento veloce tra Forlì e Cesena.

La strada sarà realizzata raccordando la tangenziale di Forlimpopoli con la Via E. Mattei e quindi percorrerà il suo tracciato a quota leggermente rialzata rispetto al piano campagna attuale.

L'area morfologicamente appartiene alla piana pedecollinare costituita da depositi alluvionali in prevalenza pelitici.

La falda è presente a profondità comprese tra 2.20 e 2.91 metri.

Dal punto di vista sismico il terreno appartiene alla classe C.

Da quanto sopra accertato, l'intervento è realizzabile, occorre però attenersi ai seguenti consigli operativi:

1. il pacchetto stradale dovrà essere impostato a profondità idonea, evitando in ogni caso il terreno vegetale e di riporto;
2. i calcoli geotecnici di carico limite del sottopasso ciclabile devono essere verificati dal progettista strutturale una volta definite le dimensioni e le profondità del manufatto;
3. i calcoli riferiti allo spessore del pacchetto stradale sono da intendersi come spessori minimi, e devono essere ampliati nel caso di terreni scarsamente compatti o di riporto;
4. effettuare gli scavi e i getti fondali in periodi stagionali favorevoli;
5. allontanare velocemente il terreno di risulta.

Qualora durante gli scavi fondali emergessero situazioni anomale non previste dal presente studio quali, terreno di riporto o falda a profondità diversa da quella rilevata, si prega di avvisare il sottoscritto il quale dopo sopralluogo deciderà sugli eventuali interventi da eseguire.

Casadio Mario

PLANIMETRIA AREA D'INTERVENTO
scala 1:5.000

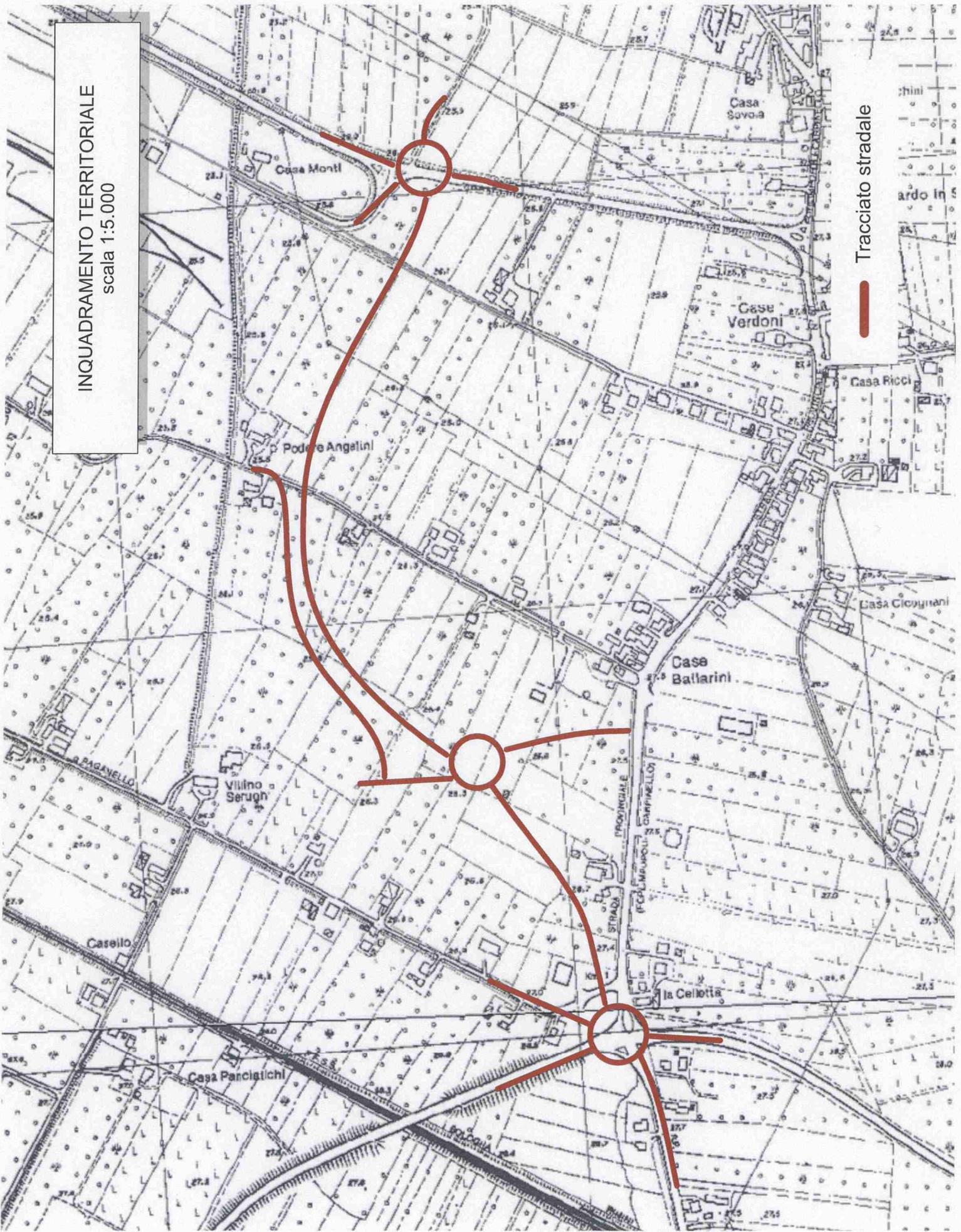


LEGENDA:

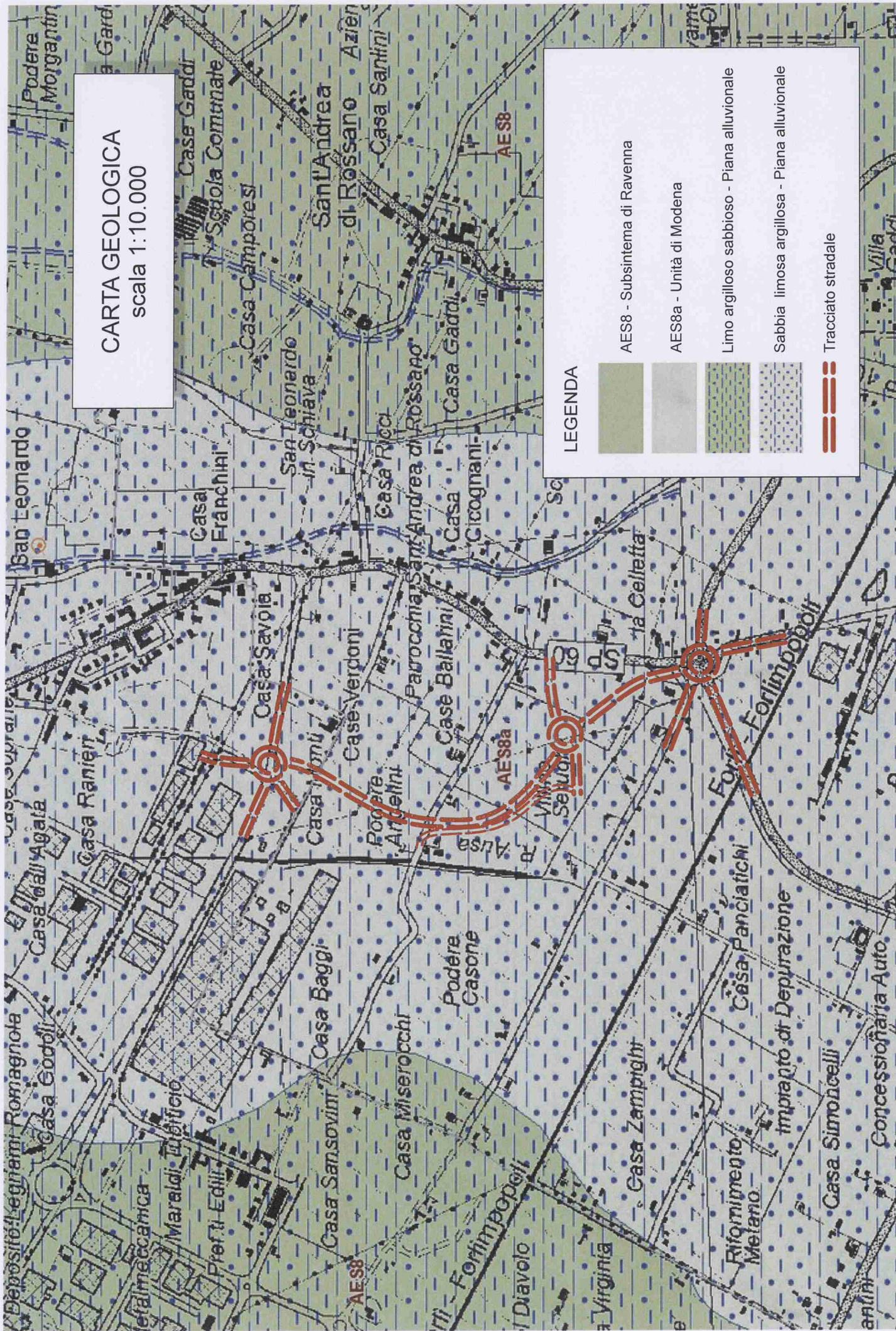
-  Punti di prelievo campioni di terreno per analisi chimiche
-  Punti di prelievo campioni di terreno per analisi geotecniche
-  Prova sismica in array
-  Prova Remi-Masw
-  Sondaggio a carotaggio
-  Prova penetrometrica CPT

INQUADRAMENTO TERRITORIALE
scala 1:5.000

Tracciato stradale



CARTA GEOLOGICA
scala 1:10.000



LEGENDA

-  AES8 - Substistema di Ravenna
-  AES8a - Unità di Modena
-  Limo argilloso sabbioso - Piana alluvionale
-  Sabbia limosa argillosa - Piana alluvionale
-  Tracciato stradale