

<p>COMUNE DI ARGENTA</p> <p>PROVINCIA DI FERRARA</p>	<p>COMMITTENTI:</p> <p>PANIZZA CELIO</p> <p>PANIZZA ELISA CELESTINA</p> <p>MATTIOLO MARA</p> <p>VANNINI VALENTINO</p> <p>R.B. IMMOBILIARE</p>
<p>OPERA</p>	<p>PIANO URBANISTICO ATTUATIVO</p> <p>VIA CANOVE: ANS 2 (3)</p>
<p>ALLEGATO</p> <p>T</p>	<p>RELAZIONE GEOLOGICA</p> <p>INTEGRATIVA</p>
<p>DATA</p>	<p>Luglio 2012</p>
<p>PROGETTISTA</p> <p>Ing. Carlo Argnani</p>	
<p>LA PROPRIETA'</p> <p>PANIZZA CELIO PANIZZA ELISA CELESTINA MATTIOLO MARA VANNINI VALENTINO R.B. IMMOBILIARE</p>	
<p>Studio tecnico Ing. Carlo Argnani via Garibaldi 33 Conselice tel. 054588242</p>	

REGIONE: Emilia Romagna

PROVINCIA: Ferrara

COMUNE: Argenta

RELAZIONE GEOLOGICA INTEGRATIVA

PROGETTO: PUA via Canove . Nuova lottizzazione in comune di Argenta (FE)

Caratterizzazione e modellizzazione geologica, geotecnica e sismica del sito

Integrazione sismica e geotecnica relativa alle integrazioni richieste dalla provincia di Ferrara in data 15.05.2012



NORMATIVA D.M. 14/01/2008, ENTRATA IN VIGORE IL 01/07/2009

DATA : 09-07-2012

DOCUMENTO : n. 20-012

COMMITTENTE:

ROSSATO Liviano Costruzioni Edili
Via XIV Giugno 1859 n. 7/A, Argenta (FE), Italy

GEOLOGO:

Dr.Geol. Matteo Pollini



I.GEO.S

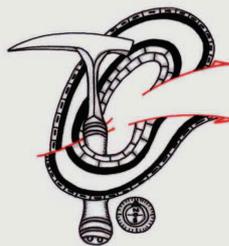
- Uffici Argenta (FE) : Via B. Tisi n. 5

- Uffici Modena (MO): via D. Acqui

Tel. : 339- 2613319

e.mail 01: pollinimatteo@libero.it

e.mail 02 : pollinimatteo72@gmail.com



- Geologia
- Geotecnica
- Idrogeologia
- Ambiente
- Sicurezza cantieri
- Fonti Rinnovabili

Associated M.P.E. – partner R.P.D.E.
Business Development BIOENERGIE

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	2
3. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO	4
4. GEOMORFOLOGIA e GEOLOGIA.....	4
5. TETTONICA LOCALE.....	4
6. CARATTERISTICHE SISMICHE	4
6.1. CARATTERISTICHE SISMICHE PSC COMUNE ARGENTA	5
7. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO.....	5
7. 1. prova sismica a rifrazione (masw +remi).....	5
7.2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO IN BASE ALLE N.T.C. 2008	11
8. campagna di indagini	12
9. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	13
10. CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE	15
10.1. prove penetrometriche statiche (CPT)	15
12.2. sondaggi leggeri	26
12.3. sondaggio profondo.....	28
13. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO.....	29
13.1. Determinazione dei Limiti di consistenza (o di Atterberg).....	29
13.2. Analisi granulometrica meccanica.....	30
14. VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	31
15. VERIFICA DEI CEDIMENTI POST SISMICI.....	37
16. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (ANALISI DI III° LIVELLO)	40
16.1. Modellazione di III livello: parametri di input.....	40
16.2. Modellazione di III livello: parametri di output.....	42
Terremoto 1	42
Terremoto 2.....	44
Terremoto 3.....	46
16.3. Confronto spettri.....	48
17. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI	53

1. PREMESSA

Su incarico dell'impresa **Rossato Liviano Costruzioni Edili** (via XIV Giugno 1859 n. 7/A, Argenta), in relazione alla richieste di integrazioni espresse dalla Provincia di Ferrara (p.g. 31246/2012, del 15/05/2012) lo scrivente ha integrato le indagini geognostiche già eseguite per la redazione della relazione geologica del 13/12/2010, con ulteriori indagini geofisiche e geotecniche. A quest'intervento è rivolta la seguente relazione geologica, che è stata realizzata allo scopo di ricavare indicazioni per la realizzazione del modello geologico e sismico locale. Il **29-02-2008** il Senato ha approvato, senza modifiche, il disegno di legge n. 2013, nel testo licenziato dalla Camera dei deputati; pertanto il decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248, recante proroga di termini previsti da disposizioni legislative e disposizioni urgenti in materia finanziaria, il cosiddetto milleproroghe, è stato convertito in legge e si attende soltanto la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale. Il tanto discusso articolo 20, relativo al **regime transitorio delle Norme tecniche delle costruzioni** trova, quindi, la sua definitiva stesura nella versione licenziata, lo scorso 20 febbraio, dalla Camera che consta, al posto dell'unico comma originario, di sette commi. Il 01-07-2009 è poi entrato in vigore il D.M. 14/01/2008. **Il Comune di Argenta è stato classificato in zona 2**, e ad esso si applica la normativa antisismica dettata, in materia, dalla legislazione statale e regionale. Poiché nello specifico, nell'area in oggetto sono in progetto edifici ad uso civile abitazione, sulla scorta del D.M. 14/01/2008, la Classe d'Uso risulta essere la II. Le modalità d'indagine e i risultati ottenuti sono descritti e analizzati nel presente rapporto.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto del presente studio ricade nel settore sud del territorio provinciale di Ferrara, in Argenta capoluogo. Il sito indagato è localizzato tra le via Canove (che ne delimita il lato ovest), il campo sportivo di via Napoli (che ne delimita il lato est), ed il tracciato ferroviario Ferrara-Ravenna (a nord).

Per fornire un'indicazione più precisa sull'ubicazione dell'area oggetto di intervento vengono riportate: uno stralcio della Carta Tecnica Regionale, alla scala 1: 5.000 (fig. 1) ed un stralcio di foto aerea.

3. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO

Tutte le indagini geognostiche e le valutazioni geotecniche svolte nel presente lavoro sono state eseguite secondo le seguenti normative e raccomandazioni di riferimento:

D.M. 14-03-2008 : “Testo Unitario”-Norme Tecniche per le Costruzioni (entrato in vigore il 01/07/2009)

- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** : “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare e febbraio 2009.

- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** : “Pericolosità Sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27-07-2007.

Eurocodice 8 (1998) : Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnica (stesura finale 2003)

Eurocodice 7.1 (1997) : Progettazione geotecnica-Parte I: regole generali - UNI

Eurocodice 7.2 (2002) : Progettazione geotecnica-Parte II: progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) UNI

Eurocodice 7.3 (2002) : Progettazione geotecnica-Parte II: progettazione assistita da prove in sito (2002)-UNI

A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana

“Aspetti Geotecnica della progettazione in zona sismica” Linee Guida (edizione provvisoria marzo 2005)

PTCP: Piano Territoriale di Coordinamento provinciale

PSC intercomunale

-**Nota Regione Emilia Romagna (13/10/2009)** “conclusione del regime transitorio delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D. M. 14 gennaio 2008 ed illustrazione dell’art. 64, comma 7, della L.R. n. 6 del 2009.”

- **Linee Guida (luglio 2010)** NTC 2008; Gruppo Interregionale dell’Ordine dei Geologi

4. GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA

Essendo il presente lavoro una relazione integrativa alla relazione geologica del 13/12/2010, si rimanda a tale documento la descrizione di questo paragrafo.

5. TETTONICA LOCALE

Essendo il presente lavoro una relazione integrativa alla relazione geologica del 13/12/2010, si rimanda a tale documento la descrizione di questo paragrafo.

6. CARATTERISTICHE SISMICHE

Essendo il presente lavoro una relazione integrativa alla relazione geologica del 13/12/2010, si rimanda a tale documento la descrizione di questo paragrafo.

6.1. CARATTERISTICHE SISMICHE PSC COMUNE ARGENTA

I dati ricavati dalle indagini eseguite da colleghi per la redazione del psc comunale, indicano per la zona indagata i seguenti valori

- $V_s 30 = 180$ m/s
- **Classificazione terreno =C**
- PGA su suolo rigido =0,16 g
- Fattore di Amplificazione FA =1,5
- Periodo naturale T in condizioni Free- Field, T =0,70 s
- Magnitudo massima attesa in zona sismogenetica 912, $M_w = 6,14$
- Magnitudo massima dal catalogo dei terremoti storici $M_w = 5,58$

7. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO

7. 1. PROVA SISMICA A RIFRAZIONE (MASW +REMI)

Ai sensi della **OPCM 3274** e successive variazioni e secondo l'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c.1, della **L.R. 20/2000** per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", per la caratterizzazione sismica del sito è stata eseguita *n.1* indagine sismica (**RM1**), mediante la tecnica dei microtremori e del metodo Masw (Multi Channel Analysis SurfaceWaves) combinati. I metodi utilizzati sfruttano le onde di superficie (onde di Rayleigh) e il fenomeno della dispersione delle stesse (variazione della velocità di fase con il variare della frequenza). Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$. Il metodo dei microtremori sfrutta il rumore naturale, mentre il metodo Masw sfrutta sorgenti "attive" (massa battente). Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

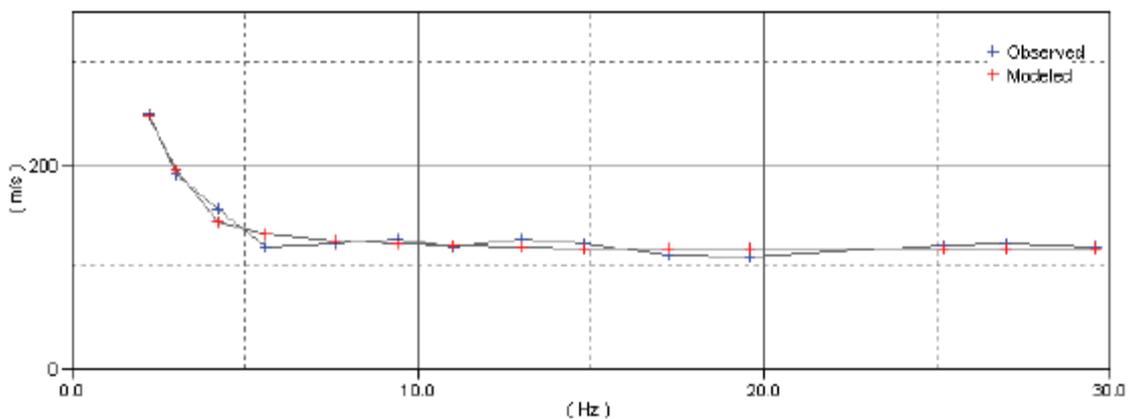
Modalità esecutive

Si è optato per l'analisi delle onde di superficie dal momento che tale tecnica ha dimostrato ampiamente la sua affidabilità e la capacità risolutiva. Il metodo prevede l'utilizzo di strumentazione classica per sismica a rifrazione ad elevata dinamica (24 bits di conversione A/D), con geofoni a bassa frequenza (preferibilmente da 4,5 Hz). Nella

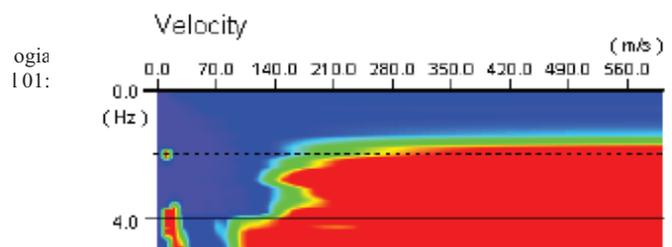
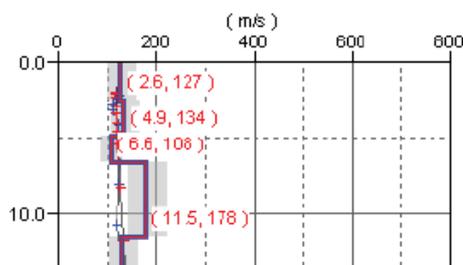
fattispecie per le misure è stato utilizzato un sismografo a 12 canali mod. RAS24 a 24 bits con scarico dei dati direttamente su p.c.. Sono state effettuate 10 registrazioni da 30 secondi ciascuna per il metodo Re.Mi e 2 registrazioni da 2 secondi ciascuna per il metodo masw. I geofoni usati sono di tipo verticale da 4.5 Hz e, grazie alla dinamica dello strumento (117 dB di range dinamico), consentono la registrazione delle onde di superficie con contenuto in frequenza fino a circa 2 Hz.

I dati acquisiti in campagna sono stati quindi elaborati e, grazie ai dati di taratura forniti, è stato possibile ricostruire un modello Vs/profondità attendibile. Le indagini eseguite hanno permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a circa 48 m (RM1), 56 m (RM2) e 46 m (RM3) di profondità. Di seguito si riportano le immagini relative alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh sia per quanto riguarda il metodo ReMi che per il metodo MASW e del modello che ne deriva previa inversione dei dati. L'errore RMS calcolato è rispettivamente di 0.7 % (per RM1 ed RM2) e di 1.1% (per RM3).

Dispersion Curves



CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)



Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento RM, sono stati utilizzati 12 geofoni in linea con interdistanza di 5 m. La Vs30 è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato **Vs30 = 182 m/s**.

Il sito esaminato presenta quindi un **suolo tipo C (S = 1.45 secondo le NTC 2008)**.

Categorie di suolo di fondazione

		S_s	C_c	S=S_s*S_T
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V _{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	1.00	1.00	1.00
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT ₃₀ > 50 nei terreni a grana grossa e Cu ₃₀ > 250 kPa nei terreni a grana fina).	1.2	1.42	1.20
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT ₃₀ < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < Cu ₃₀ < 250 kPa nei terreni a grana fina).	1.45	1.61	1.45
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT ₃₀ < 15 nei terreni a grana grossa e Cu ₃₀ < 70 kPa nei terreni a grana fina).	1.78	2.38	1.78
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con V _{s30} > 800 m/s).	1.55	1.93	1.55
S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di V _{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < Cu ₃₀ < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	Servono studi speciali		
S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.			

I parametri a/g, F₂ e T_c vengono forniti dalla normativa

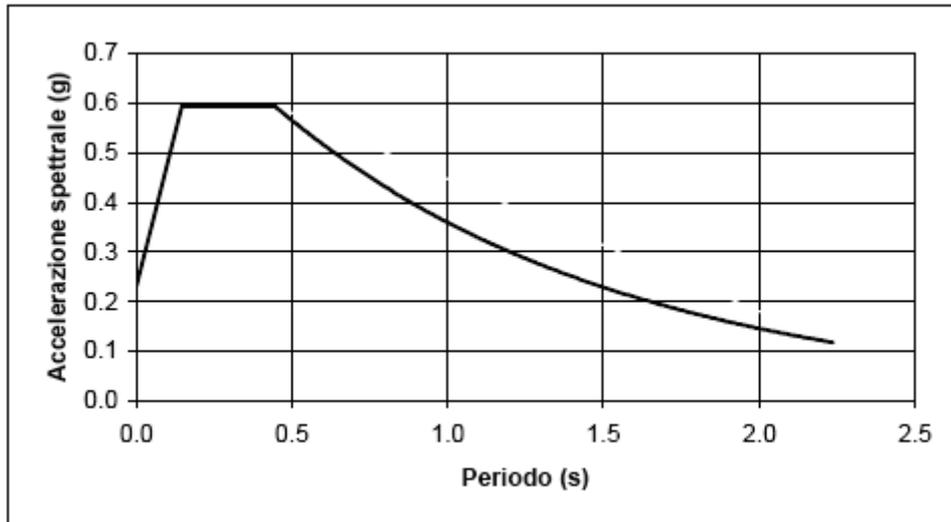
Categorie Topografiche:

		St	
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1	
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15 \leq i \leq 30^\circ$	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4	valore della cresta del rilievo

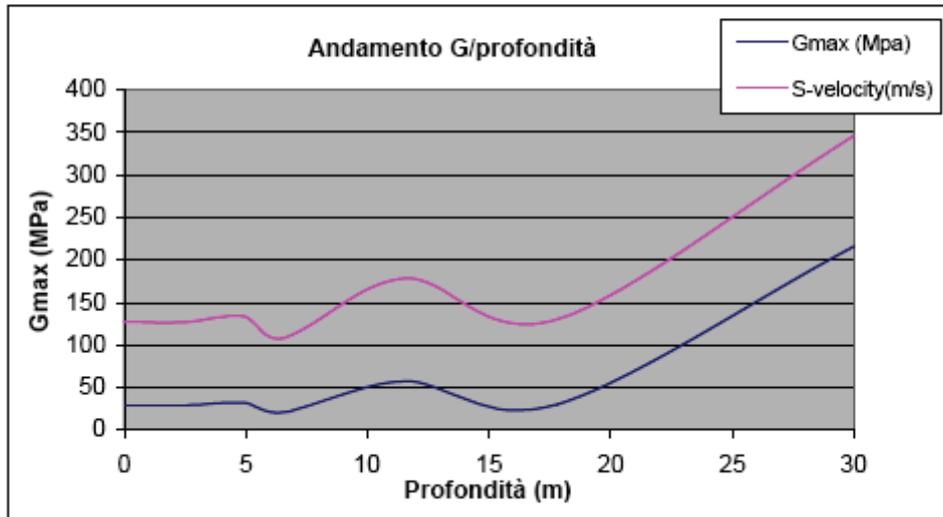
Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

**SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO - COMP. ORIZZONTALE (NTC 2008)
 Possibilità di superamento del 10% in 50 anni**

	Ascisse (s)	Ordinate
T ₀ = agxS	0.0000	0.2306
T _b = T _c /3	0.1476	0.5950
T _c = C _c *T _c	0.4428	0.5950
T _d = 4.0x a _g /g + 1.6	2.2360	0.1178



Depth(m)	S-velocity(m/s)	Gmax (Mpa)	ρ (t/mc)
0.0	127	29	1.80
2.6	127	29	1.80
4.9	134	32	1.80
6.6	108	21	1.80
11.5	178	57	1.80
17.8	130	30	1.80
30.0	346	215	1.80



Vs30 (m/s) = 182

CLASSIFICAZIONE DEL SITO Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la classificazione territoriale e urbanistica

Valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo a_{refg} 0.16

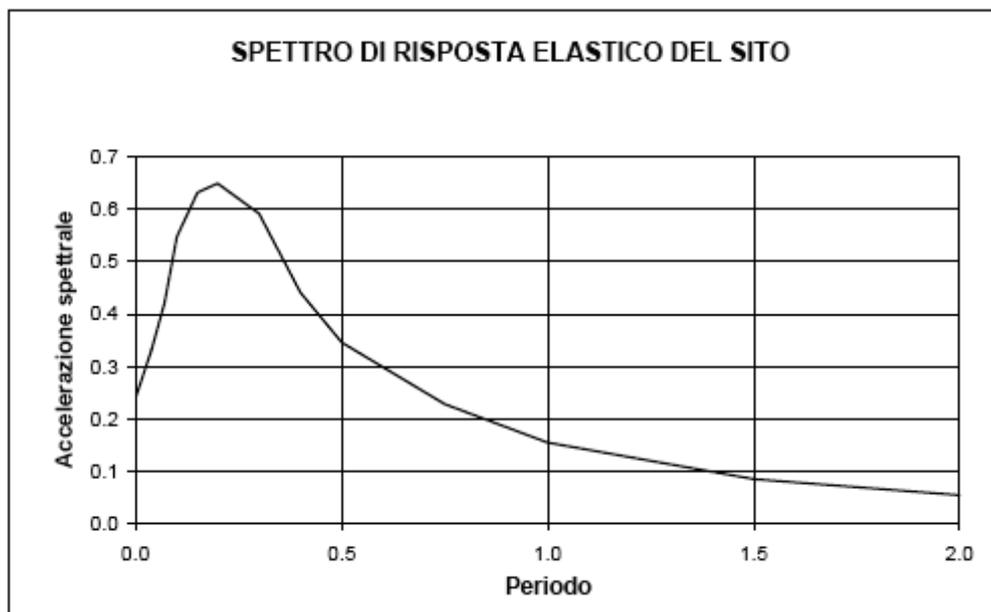
Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica (PIANURA 2)

Vs30	F.A.
200	1.5
250	1.5
300	1.5
350	1.4
400	1.4
450	1.4
500	1.3
600	1.1
700	1.0
800	1.0

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO - COMP. ORIZZONTALI
Possibilità di superamento del 10% in 50 ann

Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la classificazione territoriale e urbanistica"

T (s)	Sa/a_{ref}	Sa/a_g
0.000	1.000	0.240
0.040	1.389	0.333
0.070	1.759	0.422
0.100	2.283	0.548
0.150	2.637	0.633
0.200	2.707	0.650
0.300	2.466	0.592
0.400	1.840	0.442
0.500	1.445	0.347
0.750	0.955	0.229
1.000	0.645	0.155
1.500	0.355	0.085
2.000	0.231	0.055



7.2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO IN BASE ALLE N.T.C. 2008

Viene di seguito fornita al progettista una serie di dati, in parte ottenuta tramite software-free Geostru, per la determinazione dei parametri sismici di sito in relazione al Decreto Ministeriale 14-01-2008 (Testo Unitario-Norme Tecniche di Costruzione) ed in base alle Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Circolare del 02-02-2009) per l'applicazione delle N.T.C. di cui al D.M. 14-01-2008.

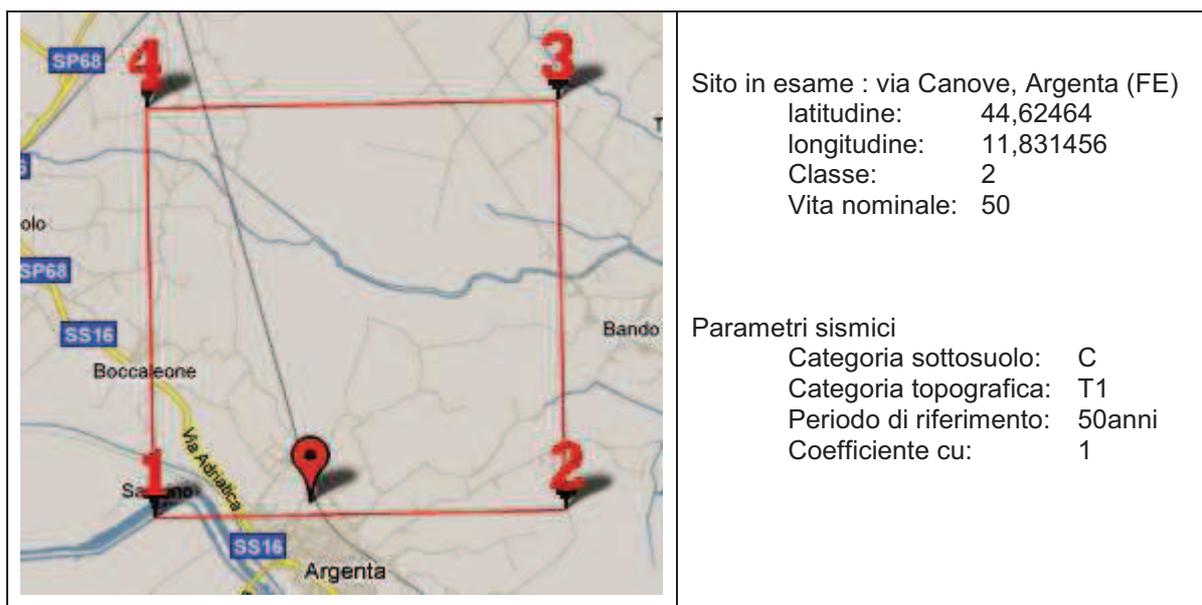


Fig. 8 – Ubicazione Sito in oggetto e nodi di riferimento. Tratto da software free Geostru.

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 16293	Lat: 44,6229	Lon: 11,8051	Distanza: 2098,336
Sito 2	ID: 16294	Lat: 44,6239	Lon: 11,8753	Distanza: 3469,998
Sito 3	ID: 16072	Lat: 44,6739	Lon: 11,8739	Distanza: 6424,230
Sito 4	ID: 16071	Lat: 44,6729	Lon: 11,8036	Distanza: 5803,282

<p>Operatività (SLO): Probabilità di superamento: 81 % Tr: 30 [anni] ag: 0,045 g Fo: 2,484 Tc*: 0,260 [s]</p> <p>Danno (SLD): Probabilità di superamento: 63 % Tr: 50 [anni] ag: 0,057 g Fo: 2,478 Tc*: 0,274 [s]</p> <p>Salvaguardia della vita (SLV): Probabilità di superamento: 10 % Tr: 475 [anni] ag: 0,160 g Fo: 2,585 Tc*: 0,274 [s]</p> <p>Prevenzione dal collasso (SLC): Probabilità di superamento: 5 % Tr: 975 [anni] ag: 0,214 g Fo: 2,523 Tc*: 0,282 [s]</p>	<p>Coefficienti Sismici</p> <p>SLO: Ss: 1,500 Cc: 1,640 St: 1,000 Kh: 0,012 Kv: 0,006 Amax: 0,665 Beta: 0,180</p> <p>SLD: Ss: 1,500 Cc: 1,610 St: 1,000 Kh: 0,015 Kv: 0,008 Amax: 0,844 Beta: 0,180</p> <p>SLV: Ss: 1,450 Cc: 1,610 St: 1,000 Kh: 0,056 Kv: 0,028 Amax: 2,279 Beta: 0,240</p> <p>SLC: Ss: 1,380 Cc: 1,590 St: 1,000 Kh: 0,091 Kv: 0,046 Amax: 2,890 Beta: 0,310</p>
---	--

8. CAMPAGNA DI INDAGINI

Per la CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E LITOLOGICA DEL SITO, visto il tipo di opera prevista ed il volume significativo di terreno da essa coinvolto, alla luce delle richieste di integrazioni espresse dalla Provincia di Ferrara il 15/05/2012, è stato concordato con la Committenza di eseguire il seguente piano di indagine (comprendente sia le indagini già eseguite per la redazione della relazione geologica del 2010, sia le nuove indagini del 2012):

- n. 6 prove penetrometriche statiche (CPT1,...CPT6), spinte ad una profondità massima di m 15 da p.c attuale;
- n. 1 indagine Geofisica (Masw + Remi) per la caratterizzazione sismica su tutta l'area con misura delle Vs30
- n. 2 indagini tomografiche a stazione singola HVSR
- n. 6 sondaggi leggeri a m 3 di profondità
- n. 1 sondaggio a m 15 di profondità
- n. 1 prova dinamica a m 15 di profondità
- n. 4 prelievi campioni
- n. analisi di laboratorio geotecnico (granulometrie, limiti di Atterberg) per la verifica di liquefazione e della eventuale necessità di calcolo di cedimenti post sismici
- prelievo n. 5 campioni di terreno per la caratterizzazione granulometrica e la classificazione CNR-UNI per il dimensionamento del pacchetto stradale (qualora venga utilizzato il terreno autoctono superficiale in loco).

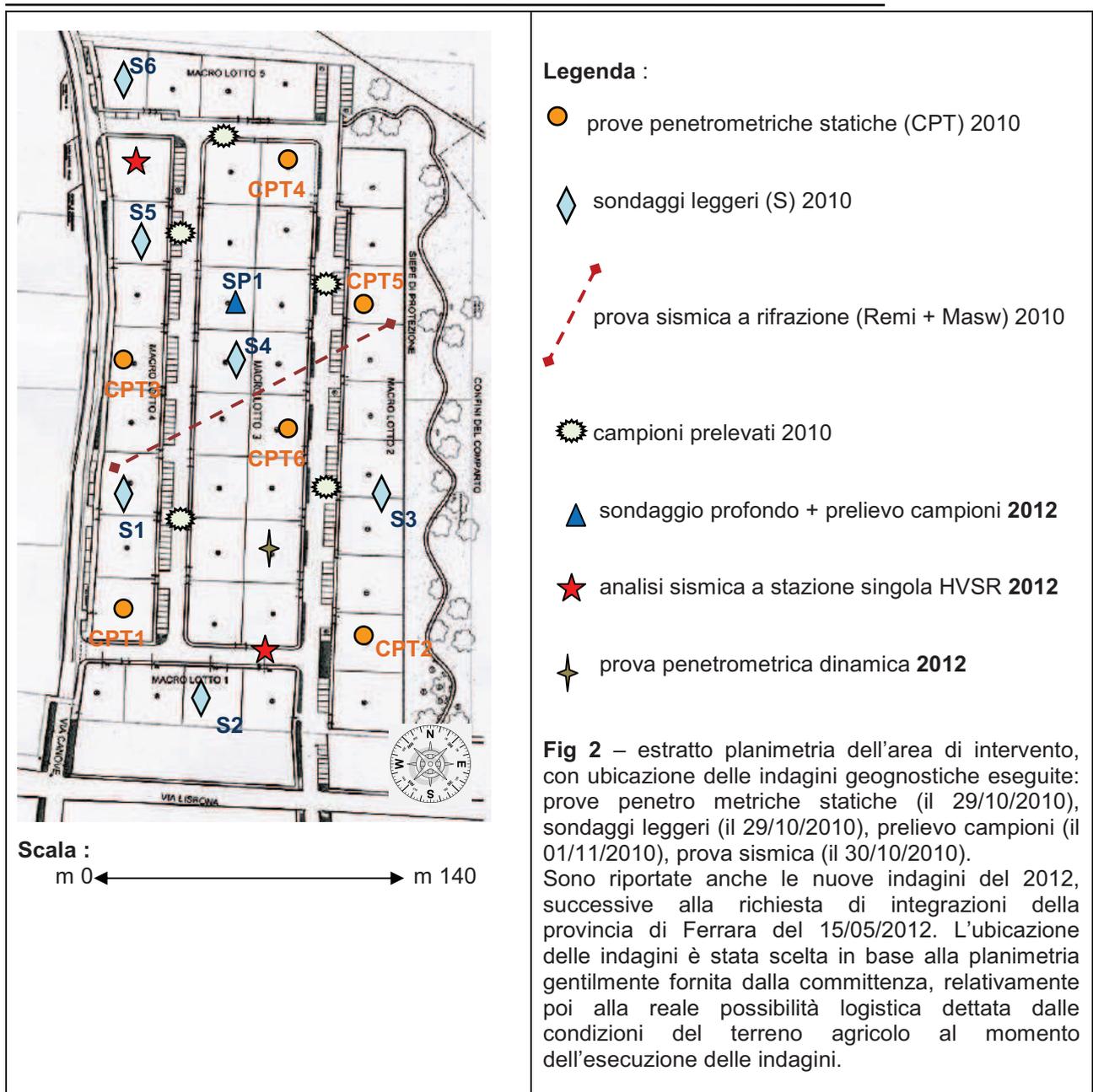
9. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

- ***Prove penetrometriche statiche meccaniche (CPT):*** Il *Cone Penetration Test* (o prova CPT) misura la resistenza di un terreno alla penetrazione di una punta conica (punta Begemann) e di un manicotto (*friction jacket cone*) aventi le sottoindicate dimensioni standard: - la punta ha forma conica, avente angolo di 60° e area della superficie di base pari a 10 cm²; - il manicotto per la misura dell'attrito laterale locale ha una superficie laterale di 150 cm², ed è posto immediatamente sopra la punta conica. È stato utilizzato un penetrometro meccanico (tipo Pagani da 20 tonni di spinta) con misura della resistenza discontinua (caratterizzato da una lettura ogni 20 cm) mediante centralina elettronica. Durante l'infissione nel terreno del sistema punta-batteria aste, vengono misurate alternativamente la resistenza alla punta Rp e la resistenza all'attrito laterale Rl, entrambe espresse in Kg/ cm². Dal rapporto Rp/Rl, secondo la teoria di Begemann, è possibile individuare la natura litologica dei terreni interessati dalla prova CPT, in base alla risposta meccanica che ogni singolo strato fornisce.

- **sondaggi leggeri** : Per l'esecuzione dei sondaggi a secco è stata utilizzata una sonda idraulica ad asta elicoidale Ø 40 mm semovente modello Deepdrill modello DM-30 G. La scelta di tale strumentazione è stata fatta sia per abbattere i costi sia perché idonea all'indagine poco profonda dei terreni. Tramite tale sonda si sono eseguiti n. 3 sondaggi leggeri spinti ad una profondità di metri 3 da p.c. questo ha consentito la caratterizzazione litologica subsuperficiale tramite analisi diretta delle litologie prelevate.

- **sondaggio profondo** : è stato utilizzato il penetrometro da 20 tonn per prelievo campioni indisturbati tramite campionatore tipo shelby + esecuzione sondaggio elicoidale

- **Prova penetrometrica dinamica** : Questa prova è effettuata mediante infissione a percussione di una batteria di aste dotate di una punta di diametro 50,8 mm ed angolo di apertura 60°. Il dispositivo di infissione della punta è costituito da un maglio avente massa pari a 73 Kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m. La prova consiste nell'infiggere la punta conica nel terreno, per tratti consecutivi di 30 cm, misurando il numero di colpi (NP) necessari. All'infissione della batteria di aste si associa spesso l'infissione di una batteria di tubi di rivestimento, esterni e concentrici, utilizzati per ridurre l'attrito laterale sulla batteria principale. In alternativa possono essere utilizzati fanghi bentonitici. La prova SCPT è normata dalle Raccomandazioni AGI (1977). È stato utilizzato un penetrometro meccanico (tipo DeepDrill da 20 tonn di spinta) con misura della resistenza discontinua (caratterizzato da una lettura ogni 10 cm) .

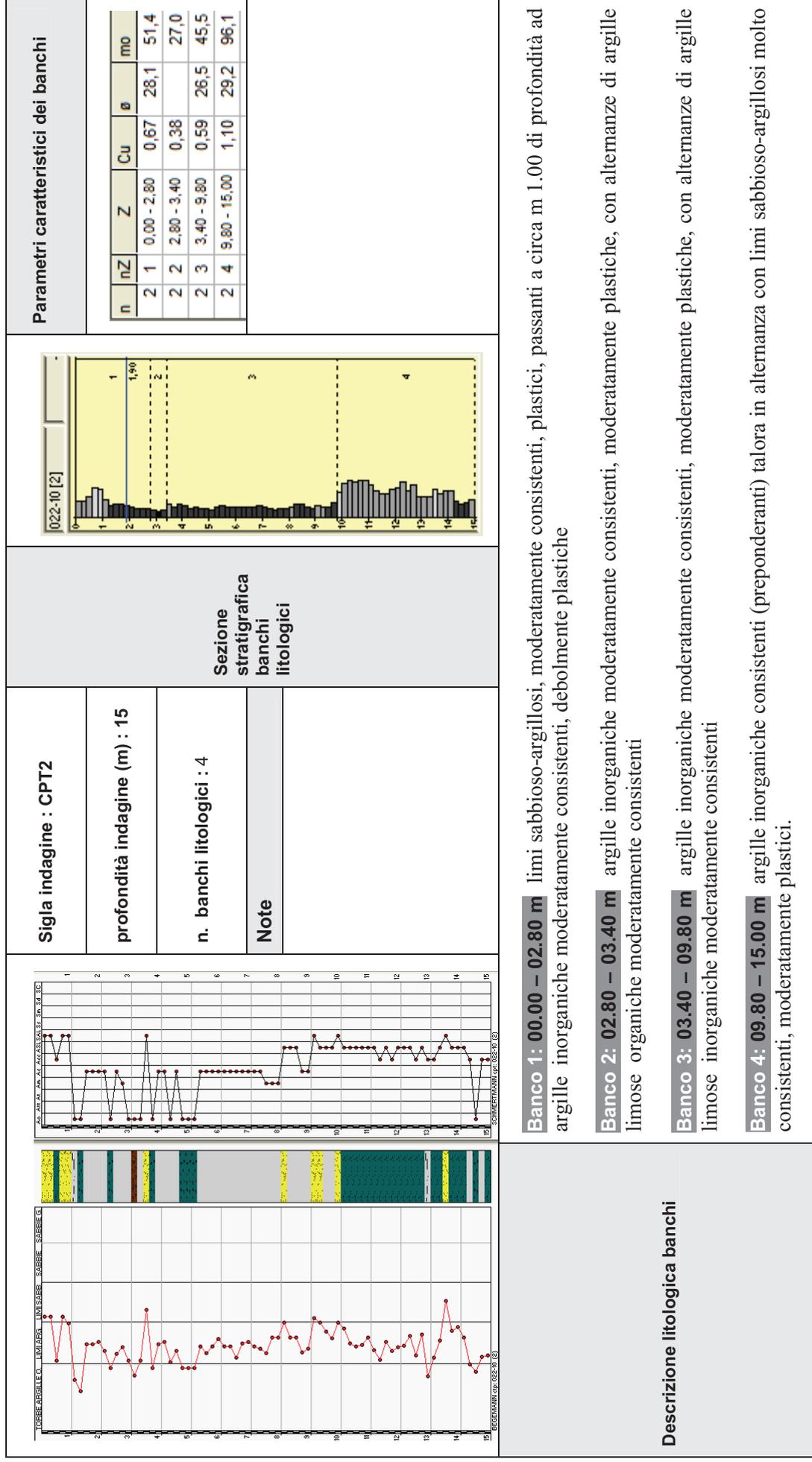


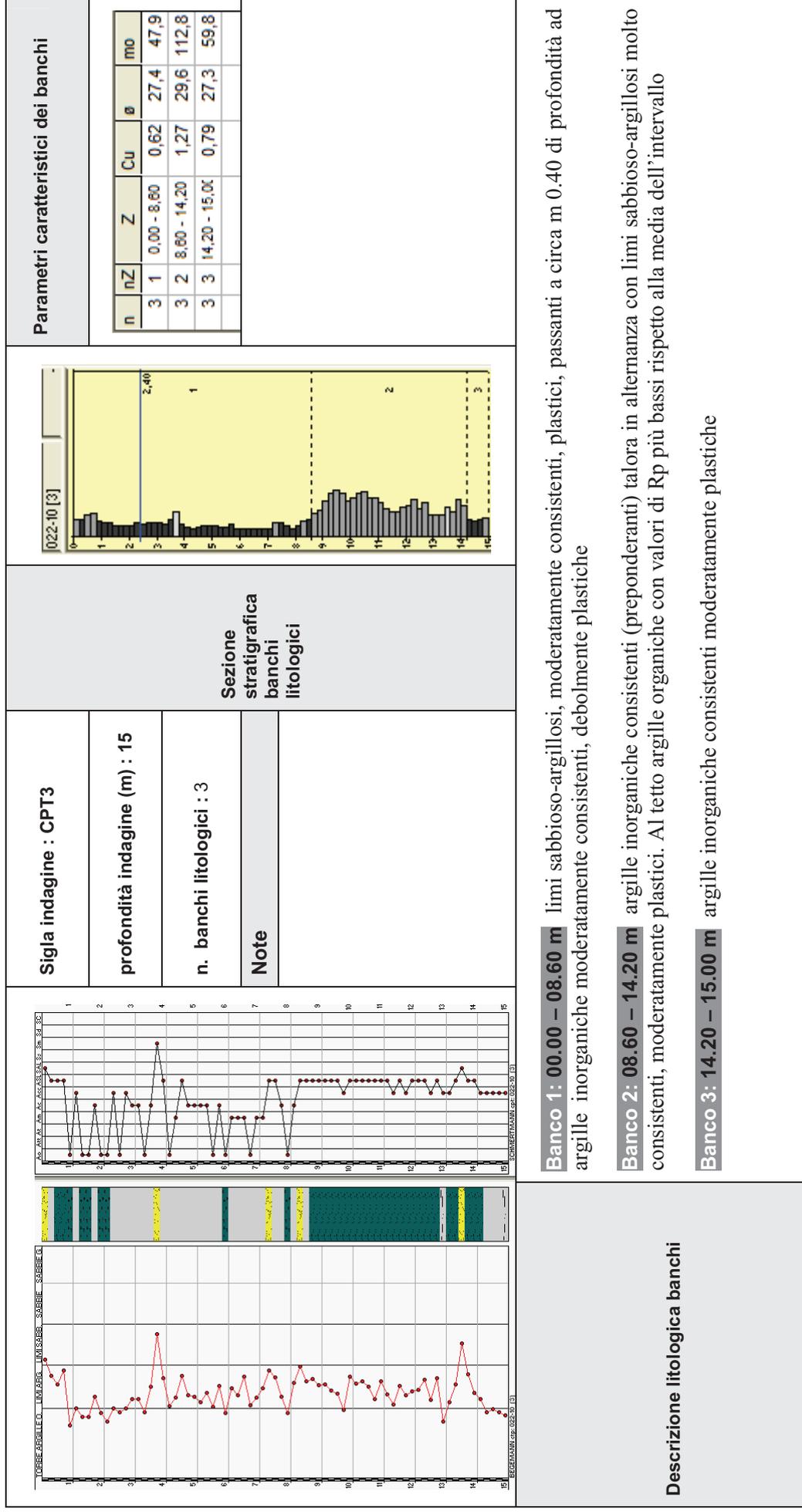
10. CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE

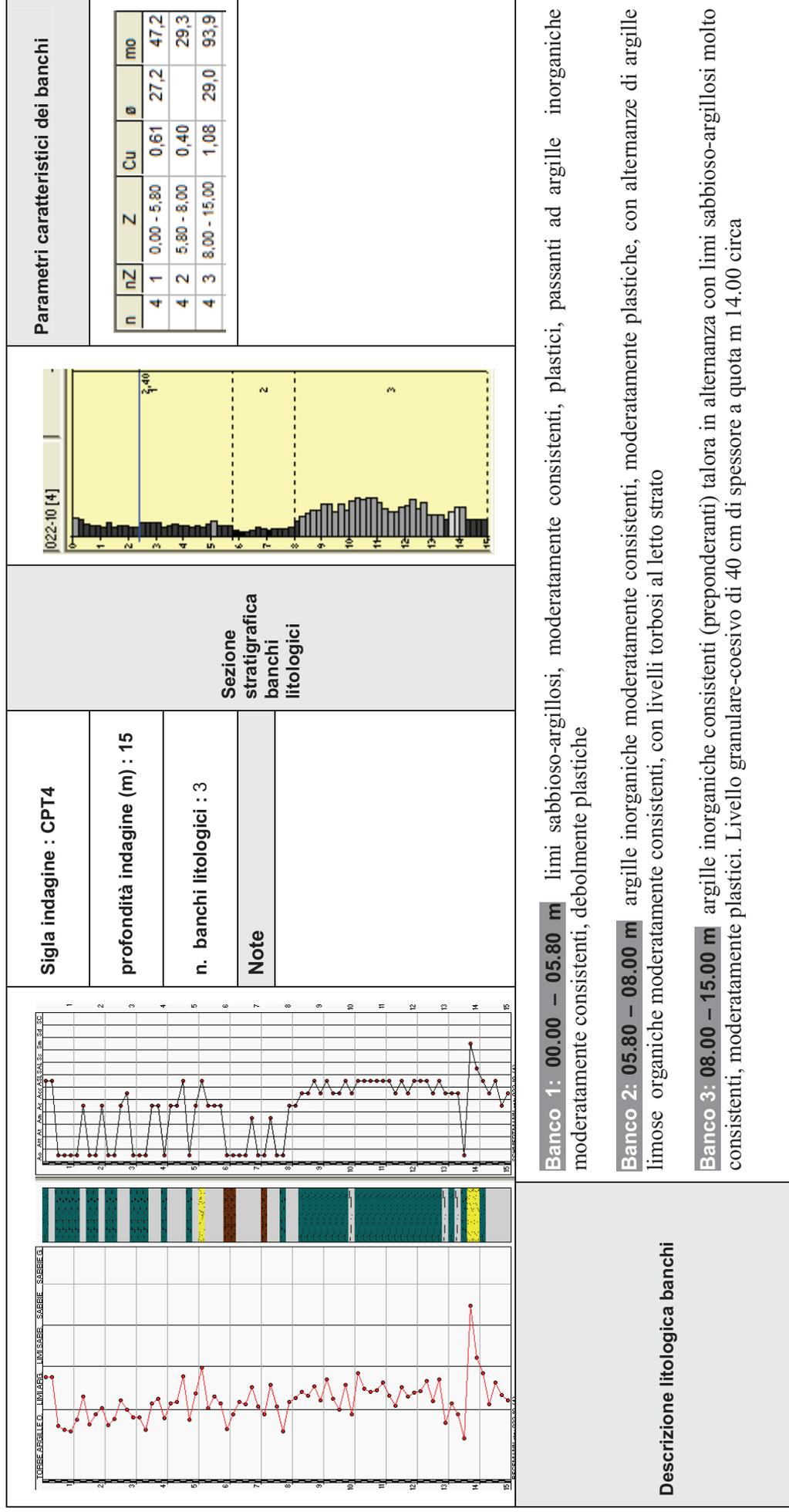
10.1. PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

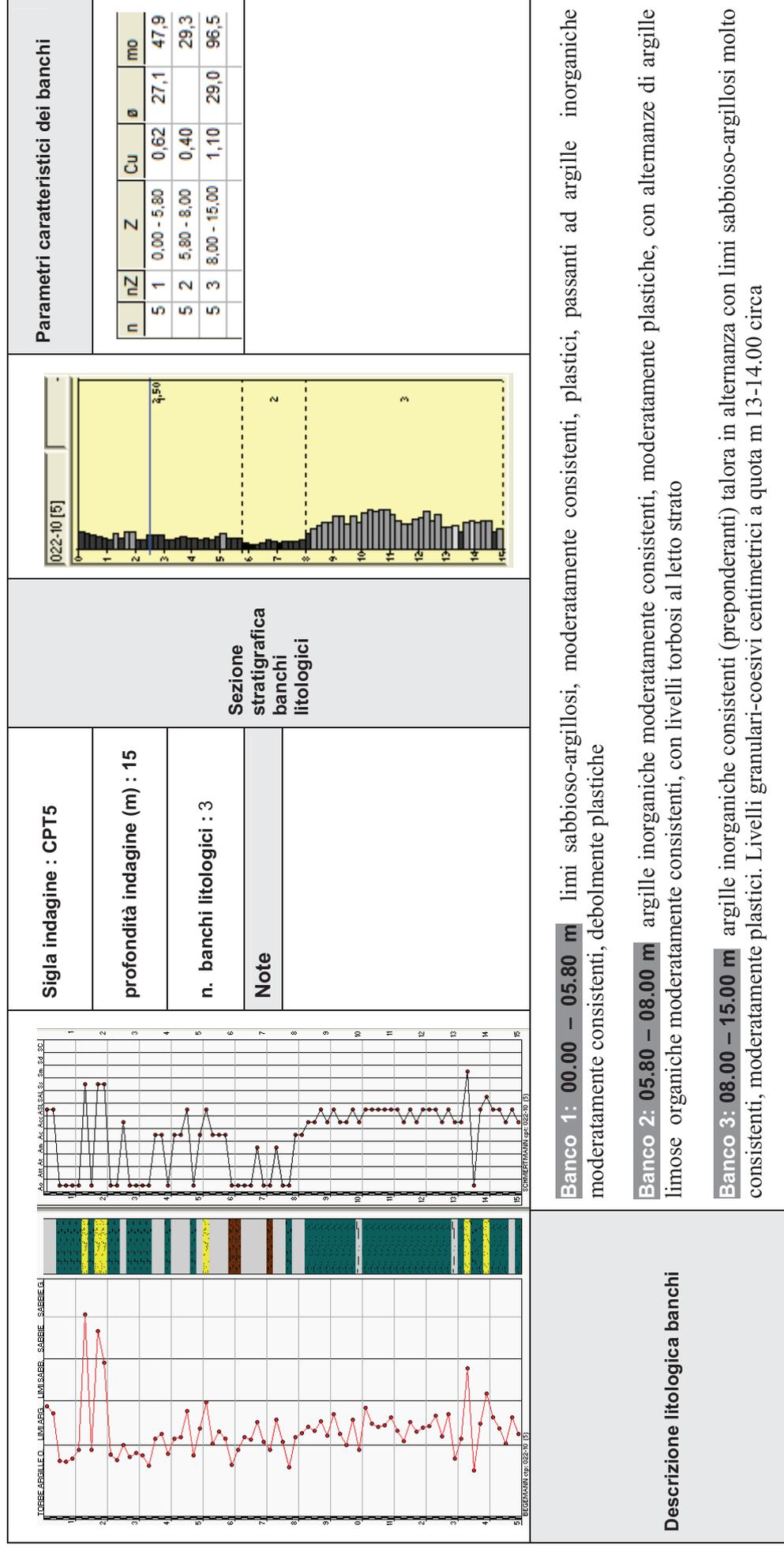
Le caratteristiche litostratigrafiche esaminate per mezzo del rapporto di Begemann (1965), in corrispondenza della verticali delle prove CPT1,...CPT6 (eseguite nel 2010) , indicano la presenza di materiali prevalentemente coesivi, per tutto l'intervallo sino a m 15, con una variabilità stratigrafica laterovericale limitata. Precisamente nel corso dell'analisi dei dati sono stati individuati i seguenti intervalli stratigrafici:

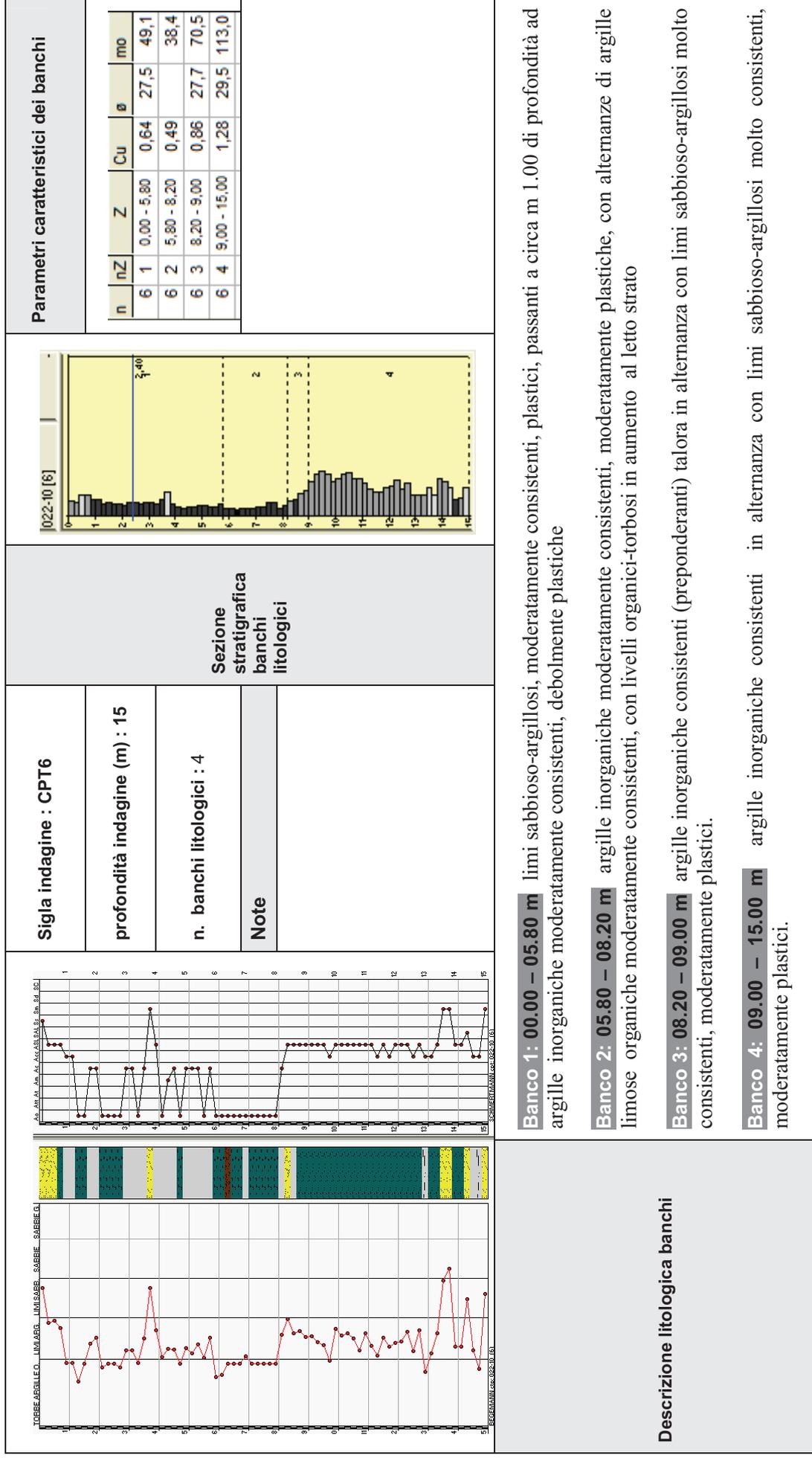
<p>Parametri caratteristici dei banchi</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>n</th> <th>nZ</th> <th>Z</th> <th>Cu</th> <th>θ</th> <th>mo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0,00 - 2,00</td> <td>0,74</td> <td>27,6</td> <td>55,8</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>2,00 - 9,60</td> <td>0,54</td> <td></td> <td>42,3</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>3</td> <td>9,60 - 15,00</td> <td>1,11</td> <td>29,1</td> <td>97,1</td> </tr> </tbody> </table>	n	nZ	Z	Cu	θ	mo	1	1	0,00 - 2,00	0,74	27,6	55,8	1	2	2,00 - 9,60	0,54		42,3	1	3	9,60 - 15,00	1,11	29,1	97,1		<p>Sezione stratigrafica banchi litologici</p>	<p>Sigla indagine : CPT1</p>		
n	nZ	Z	Cu	θ	mo																								
1	1	0,00 - 2,00	0,74	27,6	55,8																								
1	2	2,00 - 9,60	0,54		42,3																								
1	3	9,60 - 15,00	1,11	29,1	97,1																								
<p>profondità indagine (m) : 15</p>																													
<p>n. banchi litologici : 3</p>																													
<p>Note</p>																													
<p>Descrizione litologica banchi</p> <p>Banco 1: 00.00 – 02.00 m limi sabbioso-argillosi, moderatamente consistenti, plastici, passanti a circa m 1.00 di profondità ad argille inorganiche moderatamente consistenti, debolmente plastiche</p> <p>Banco 2: 02.00 – 09.60 m argille inorganiche moderatamente consistenti, moderatamente plastiche, con alternanze di argille limose organiche moderatamente consistenti</p> <p>Banco 3: 09.60 – 15.00 m argille inorganiche consistenti (preponderanti) talora in alternanza con limi sabbioso-argillosi molto consistenti, moderatamente plastici.</p>																													











Valori geotecnici medi dei banchi individuati nella prova CPT1

Banco	qc	fsi	γ	$\delta\sigma_0$	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	ϕ_{dr}	ϕ_{Ca}	ϕ_{Ko}	ϕ_{Db}	ϕ_{DM}	ϕ_{Me}	F_liq.	Eu50	Eu25	Mo
N°	Kg/cm ²		t/m ³	Kg/cm ²	m/s	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
1	20,60	0,85	1,76	0,20	171	0,74	46,90	125,06	187,59	55,81	70,11	39,66	35,36	32,60	30,43	39,40	27,64	2,00	37,62	56,43	67,71
2	11,39	0,69	0,90	0,70	138	0,54	5,28	183,30	274,95	42,32								0,00			
3	32,70	1,63	0,97	1,31	205	1,11	5,30	352,18	528,28	97,13	27,11	34,50	25,80	22,57	21,25	29,27	29,11	0,00	55,38	83,08	99,69

Valori geotecnici medi dei banchi individuati nella prova CPT2

Banco	qc	fsi	γ	$\delta\sigma_0$	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	ϕ_{dr}	ϕ_{Ca}	ϕ_{Ko}	ϕ_{Db}	ϕ_{DM}	ϕ_{Me}	F_liq.	Eu50	Eu25	Mo
N°	Kg/cm ²		t/m ³	Kg/cm ²	m/s	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
1	18,21	0,86	1,52	0,26	162	0,67	35,02	116,19	174,29	51,44	78,00	40,61	36,68	33,98	31,69	40,56	28,09	2,00	43,06	64,58	77,50
2	7,67	0,49	0,73	0,45	119	0,38	5,10	90,22	135,33	26,97								0,00			
3	12,63	0,57	0,92	0,77	143	0,59	4,82	210,94	316,42	45,50	9,18	32,35	23,86	20,55	19,40	27,10	26,50	0,00	23,33	35,00	42,00
4	31,92	1,44	0,97	1,32	202	1,10	5,27	349,79	524,69	96,08	27,84	34,59	25,91	22,69	21,36	29,40	29,20	0,00	56,38	84,57	101,48

Valori geotecnici medi dei banchi individuati nella prova CPT3

Banco	qc	fsi	γ	$\delta\sigma_0$	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	ϕ_{dr}	ϕ_{Ca}	ϕ_{Ko}	ϕ_{Db}	ϕ_{DM}	ϕ_{Me}	F_liq.	Eu50	Eu25	Mo
N°	Kg/cm ²		t/m ³	Kg/cm ²	m/s	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
1	14,14	0,69	1,15	0,59	148	0,62	15,37	174,03	261,04	47,85	48,97	37,13	31,14	28,17	26,38	34,76	27,43	0,00	35,37	53,06	63,67
2	37,46	1,72	0,98	1,28	215	1,27	6,56	336,53	504,79	112,78	31,48	35,03	26,45	23,26	21,88	30,01	29,61	0,00	62,44	93,66	112,39
3	19,75	1,32	0,94	1,59	170	0,79	2,64	412,61	618,92	59,79	5,93	31,96	22,44	19,05	18,03	25,49	27,29	0,00	33,89	50,83	61,00

Valori geotecnici medi dei banchi individuati nella prova CPT4

Banco	qc	fsi	γ	$\delta\sigma_0$	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	ϕ_{dr}	ϕ_{Ca}	ϕ_{Ko}	ϕ_{Db}	ϕ_{DM}	ϕ_{Me}	F_liq.	Eu50	Eu25	Mo
N°	Kg/cm ²		t/m ³	Kg/cm ²	m/s	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
1	13,45	0,81	1,28	0,45	147	0,61	18,13	135,36	203,05	47,22	66,83	39,27	34,93	32,14	30,01	38,38	27,21	0,00	32,78	49,17	59,00
2	8,09	0,49	0,76	0,83	121	0,40	2,55	167,85	251,77	29,27								0,00			
3	31,23	1,48	0,96	1,26	201	1,08	5,53	328,10	492,16	93,85	26,53	34,43	25,77	22,54	21,22	29,24	28,96	0,00	53,38	80,08	96,09

Valori geotecnici medi dei banchi individuati nella prova CPT5

Banco	qc	fsi	γ	$\delta\sigma_0$	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	ϕ_{dr}	ϕ_{Ca}	ϕ_{Ko}	ϕ_{Db}	ϕ_{DM}	ϕ_{Me}	F_liq.	Eu50	Eu25	Mo
N°	Kg/cm ²		t/m ³	Kg/cm ²	m/s	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
1	13,83	0,74	1,31	0,46	148	0,62	18,57	141,75	212,62	47,87	49,06	37,14	31,37	28,42	26,60	35,11	27,10	0,00	31,33	47,00	56,40
2	8,09	0,49	0,76	0,84	121	0,40	2,49	169,62	254,44	29,27								0,00			
3	31,94	1,51	0,96	1,28	203	1,10	5,50	336,03	504,04	96,46	26,58	34,44	25,74	22,51	21,20	29,21	29,00	0,00	53,97	80,96	97,15

Valori geotecnici medi dei banchi individuati nella prova CPT6

Banco	qc	fsi	γ	$\delta\sigma_0$	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	ϕ_{dr}	ϕ_{Ca}	ϕ_{Ko}	ϕ_{Db}	ϕ_{DM}	ϕ_{Me}	F_liq.	Eu50	Eu25	Mo
N°	Kg/cm ²		t/m ³	Kg/cm ²	m/s	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
1	15,31	0,78	1,27	0,45	153	0,64	19,27	142,33	213,49	49,08	62,54	38,75	33,87	31,03	29,00	37,83	27,46	0,00	35,83	53,75	64,50
2	10,25	0,67	0,86	0,85	132	0,49	3,19	217,74	326,60	38,35								0,00			
3	23,25	0,90	0,94	0,99	180	0,86	5,27	269,75	404,63	70,52	21,21	33,80	25,32	22,08	20,80	28,74	27,71	0,00	38,75	58,13	69,75
4	36,77	1,65	0,97	1,33	213	1,28	6,53	341,94	512,92	112,96	29,69	34,81	26,14	22,93	21,58	29,66	29,53	0,00	61,28	91,92	110,30

Legenda parametri riportati nelle tabelle dei valori medi geotecnici :

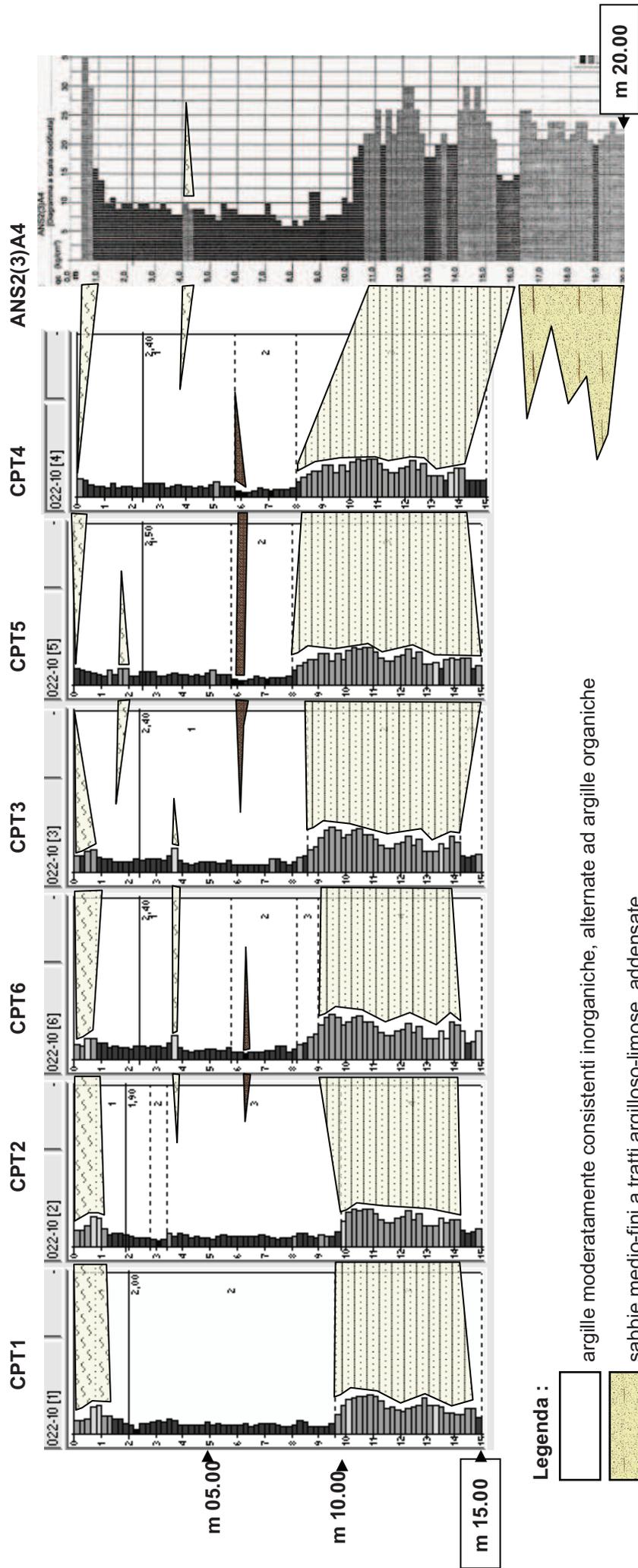
- **qc** (kg/cm²) = resistenza alla punta (conica)
- **fs** (kg/cm²) = resistenza laterale (manicotto)
- **Rt** (kg) = resistenza totale (aste esterne)

- coesione non drenata **Cu**
- angolo di attrito interno efficace ϕ'
- densità relativa **Dr**
- modulo edometrico **Mo**
- modulo di deformazione non drenato e drenato **Eu - E'**
- peso di volume γ

Ai fini della valutazione dei parametri geotecnici si è proceduto a scelte litologiche con validità orientativa che prevedono la possibilità di casi dubbi nell'applicazione delle teorie di Begemann 1965 e Raccomandazioni A.G.I. 1977; tali scelte litologiche possono essere così sintetizzate:

- $7 < R_p < 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni coesivi in genere anche se $R_p/R_I < 15$
- $R_p \leq 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni coesivi anche se $R_p/R_I > 30$
- $R_p \geq 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni granulari anche se $R_p/R_I < 30$

MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO – SEZIONE SE ←-----→NE area nuova lottizzazione di via canove, Argenta (FE)



- Legenda :**
- argille moderatamente consistenti inorganiche, alternate ad argille organiche
 - sabbie medio-fini a tratti argilloso-limose, addensate
 - limi sabbioso-argillosi consistenti, alternati con argille debolmente limose consistenti
 - limi sabbioso-argillosi consistenti, alternati con argille inorganiche consistenti
 - livelli di argille organiche torbose

Le colonne stratigrafiche ricavate in base a queste ulteriori distinzioni sono riportate negli allegati relativi alle tabelle dei parametri geotecnici e graficamente presentate nei diagrammi di resistenza ad istogrammi. In tali colonne, nonostante le limitazioni impostate, è possibile verificare in linea di massima la conferma delle caratteristiche generali di quanto precedentemente valutato con la teoria di Begemann ad eccezione delle torbe. I valori delle principali caratteristiche geotecniche riportate in allegati e in parte sopra descritte, sono stati ricavati per mezzo del software applicativo **GEO OCX “Fondazio” versione CD02-1001-001 e Geostru Static Probing 2009-2010.**

Date le modalità di acquisizione dati, i parametri geotecnici hanno esclusivamente validità orientativa come i risultati delle prossime valutazioni con essi eseguite.

Per valutazioni più precise si rimanda ad eventuali idonee analisi di laboratorio da effettuarsi su campioni indisturbati prelevati nel corso di ulteriori sondaggi geognostici a carotaggio continuo.

12.2. SONDAGGI LEGGERI

Sono stati eseguiti n° 6 sondaggi a coclea S1, S2, S3, S4, S5, S6, spinti ad una profondità di m 4 da p.c.(piano campagna). Tutte le fasi dei sondaggi, dall'esecuzione, alla descrizione, al campionamento, alla catalogazione sono state condotte dallo scrivente, come Responsabile della Qualità e Tecnico di Cantiere. Per ogni sondaggio sono state compiute le seguenti osservazioni e prove: a) analisi litologica stratigrafica di dettaglio evidenziando i cambi litologici significativi; b) consistenza e deformabilità dei singoli orizzonti litologici; c) colore, umidità. Verranno di seguito descritte le litologie incontrate per ogni sondaggio, i cui esatti valori granulometrici possono essere desunti solamente con le analisi di laboratorio specifiche.

sondaggi S1 (profondità indagine mt 4.00 da p.c.)	
0.00 – 2.05 m	limi sabbioso-argillosi nocciola chiaro, consistenti, con punti di ossidazione. Aumentano i livelli di ossidazione da m 1.50 in poi
2.05 – 2.40 m	argille debolmente limose grigie, plastiche e moderatamente consistenti
2.40 – 3.50 m	argille debolmente limose grigie, ed argille limose grigio-nocciola, plastiche e moderatamente consistenti, con livelli di ossidazione
3.50 – 4.00 m	limi argillosi grigio chiaro, plastici e debolmente consistenti, con punti di ossidazione e carboniosi

sondaggi S2 (profondità indagine mt 4.00 da p.c.)	
0.00 – 2.00 m	limi sabbioso-argillosi nocciola chiaro, consistenti, con punti di ossidazione.
2.00 – 2.35 m	argille debolmente limose grigie, plastiche e moderatamente consistenti
2.35 – 3.55 m	argille debolmente limose grigie, ed argille limose grigio-nocciola, plastiche e moderatamente consistenti, con livelli di ossidazione
3.55 – 4.00 m	limi argillosi grigio chiaro, plastici e debolmente consistenti, con punti di ossidazione e carboniosi

sondaggi S3 (profondità indagine mt 4.00 da p.c.)	
0.00 – 1.98 m	limi sabbioso-argillosi nocciola chiaro, consistenti, con punti di ossidazione in aumento.
1.98 – 2.45 m	argille debolmente limose grigie, plastiche e moderatamente consistenti
2.45 – 3.60 m	argille debolmente limose grigie, ed argille limose grigio-nocciola, plastiche e moderatamente consistenti, con livelli di ossidazione
3.60 – 4.00 m	limi argillosi grigio chiaro, plastici e debolmente consistenti, con punti di ossidazione e carboniosi

sondaggi S4 (profondità indagine mt 4.00 da p.c.)	
0.00 – 2.00 m	limi sabbioso-argillosi nocciola chiaro, consistenti, con punti di ossidazione.
2.00 – 2.40 m	argille debolmente limose grigie, plastiche e moderatamente consistenti
2.40 – 3.55 m	argille debolmente limose grigie, ed argille limose grigio-nocciola, plastiche e moderatamente consistenti, con livelli di ossidazione
3.55 – 4.00 m	limi argillosi grigio chiaro, plastici e debolmente consistenti, con punti di ossidazione e carboniosi

sondaggi S5 (profondità indagine mt 4.00 da p.c.)	
0.00 – 2.00 m	limi sabbioso-argillosi nocciola chiaro, consistenti, con punti di ossidazione.
2.00 – 2.44 m	argille debolmente limose grigie, plastiche e moderatamente consistenti
2.44 – 3.57 m	argille debolmente limose grigie, ed argille limose grigio-nocciola, plastiche e moderatamente consistenti, con livelli di ossidazione
3.57 – 4.00 m	limi argillosi grigio chiaro, plastici e debolmente consistenti, con punti di ossidazione e carboniosi

sondaggi S6 (profondità indagine mt 4.00 da p.c.)	
0.00 – 1.90 m	limi sabbioso-argillosi nocciola chiaro, consistenti.
1.90 – 2.90 m	argille grigio scuro-brune, debolmente, plastiche e moderatamente consistenti
2.90 – 3.80 m	limi argilloso-sabbiosi, nocciola, moderatamente plastiei e consistenti
3.80 – 4.00 m	limi argillosi grigio chiaro, plastici e debolmente consistenti, con punti di ossidazione e carboniosi

12.3. SONDAGGIO PROFONDO

E' stato eseguito n° 1 sondaggio a coclea SP1, spinto ad una profondità di m 15 da p.c.(piano campagna). Tutte le fasi del sondaggio, dall'esecuzione, alla descrizione, al campionamento, alla catalogazione sono state condotte dallo scrivente, come Responsabile della Qualità e Tecnico di Cantiere. Per ogni sondaggio sono state compiute le seguenti osservazioni e prove: a) analisi litologica stratigrafica di dettaglio evidenziando i cambi litologici significativi; b) consistenza e deformabilità dei singoli orizzonti litologici; c) colore, umidità. Verranno di seguito descritte le litologie incontrate sulla verticale del sondaggio, i cui esatti valori granulometrici possono essere desunti solamente con le analisi di laboratorio specifiche.

sondaggi SP1 (S1 2012 nei certificati) (profondità indagine mt 15.00 da p.c.)		
0.00 – 1.80 m	limi sabbioso-argillosi nocciola chiaro, consistenti.	Campione C1- m 1.00-1.50
1.80 – 2.90 m	argille grigio scuro-brune, debolmente, plastiche e moderatamente consistenti	
2.90 – 3.70 m	limi argilloso-sabbiosi, nocciola, moderatamente plastiei e consistenti	Campione C2- m 3.00-
3.70 – 5.00 m	limi argillosi grigio chiaro, plastici e debolmente consistenti, con punti di ossidazione e carboniosi	
5.00 – 5.60 m	argille organiche brune-marron scuro, torbose	
5.60 – 7.00 m	limi argillosi grigio chiaro, plastici e debolmente consistenti	Campione C3- m 6.00-7.00
7.00 – 7.60 m	argille organiche brune-marron scuro, torbose e livelli torbosi.	
7.60 – 8.20 m	argille grigio scuro, moderatamente plastiche, consistenti	
8.20 – 15.00 m	argille grigio chiaro, molto consistenti, debolmente plastiche, con punti carboniosi, talora alternati a liveeli a frazione limosa maggiore.	Campione C4- m 8.00-10.00

13. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Dopo l'esecuzione dei sondaggi a coclea del 2010, una volta elaborata la stratigrafia su ogni verticale d'indagine, sono stati prelevati n° 5 campioni di terreno ,media valori (C1) a profondità da 0.10 a 0.40 m da p.c., su cui sono state effettuate analisi di laboratorio (certificato ministeriale) ai fini della caratterizzazione dei terreni di sottofondazione stradale (nel caso in cui la committenza decida di utilizzare tale tipo di terreno autoctono in loco). In questo modo si sono potuti classificare i terreni di fondazione secondo le normative vigenti (Norma U.N.I. 10 006).

Alla luce poi delle integrazioni richieste dalla provincia di Ferrara il 15/05/2012, è stato eseguito n. 1 sondaggio profondo al centro del sito (vedi paragrafo 12.3) in cui sono stati prelevati n. 4 campioni di terreno, rappresentativi della stratigrafia (pressochè omogenea) di tutta l'area indagata. In particolare, sui campioni C1, C2, C3 e C4 del 2012, si sono effettuate le analisi granulometriche e di determinazione dei limiti di consistenza per confermare l'esclusione di fenomeni di liquefazione già espressi nella relazione geologica del 2010, e per verificare se fosse necessario calcolare i cedimenti post sismici su tali terreni.

Precisamente, in laboratorio si sono effettuate le seguenti tipologie di analisi:

- a) Classificazione di una terra (U.S.C.S. ; C.N.R.-U.N.I.)
- b) Determinazione indice di gruppo (IG)
- c) Determinazione limiti di consistenza (liquido; plastico; indice plastico)
- d) Determinazione caratteristiche granulometriche

13.1. DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA (O DI ATTERBERG)

La presenza dell'acqua nei vuoti del terreno influenza principalmente il comportamento delle terre a grana fine (argille e limi). È pertanto utile ricavare il valore del contenuto in acqua nel deposito naturale di terreno che si vuole studiare. La determinazione dei limiti di consistenza fornisce una indicazione geotecnica sul comportamento delle terre, al variare del contenuto in acqua (w). Precisamente, a variazioni continue dello stato argilloso (da solido fragile a semisolido a plastico a fluido), si possono abbinare una variazione della risposta deformazionale del terreno. I limiti di Atterberg , che presentano una notevole fedeltà nei risultati sperimentali, vengono determinati sulla frazione passante al setaccio n°

40 (0.42 mm) e dipendono dalla percentuale di argilla che granulometricamente corrisponde alla percentuale di materiale inferiore ai 2 µm. Per i campioni del 2012 analizzati sono stati ottenuti i risultati riportati in tabella sotto, i cui dettagli maggiori sono riportati nei relativi allegati a cui si rimanda.

CAMPIONE	PROFONDITÀ PRELIEVO (m da piano campagna attuale)	LL w_l (%)	LP w_p (%)	Ip (%)
C1	da - 1.00 m a - 1.50 m	39	26	13
C2	da - 3.00 m a - 4.00 m	44	23	21
C3	da - 6.00 m a - 7.00 m	44	25	19
C4	da - 8.00 m a - 10.00 m	44	24	20

Per una valutazione del Limite Liquido (w_l) e del Limite Plastico (w_p) relativi ai campioni elencati in tabella, si riporta di seguito la classificazione dei terreni coesivi secondo le normative internazionali:

argille magre (illitiche)	w_l sino a 50 % ; w_p 25 %
argille grasse (montmorillonitiche)	w_l sino a 80 % ; w_p 30 %
terreni organici	w_l sino a 250 % ; w_p 150 %

Per confronto con le tabelle internazionali: Ip da 0 a 5 ⇒ terreno non plastico
 Ip da 5 a 15 ⇒ terreno poco plastico
 Ip da 15 a 40 ⇒ terreno plastico
 Ip > 40 ⇒ terreno molto plastico

I sedimenti coesivi-granulari indagati sono caratterizzati da un Ip medio = 18.25, pertanto possono essere considerati terreni plastici.

13.2. ANALISI GRANULOMETRICA MECCANICA

Vengono di seguito riportati i risultati ottenuti sui campioni prelevati, evidenziando il punto in cui è stato eseguito il prelievo, la sigla identificativa del campione, la profondità, i valori granulometrici riscontrati nei setacci principali. La classificazione del campione è riportata nei relativi allegati. Si sono eseguite le analisi granulometriche sui livelli a frazione granulare maggiore, dunque sui campioni C1 e C3.

CAMPIONE	PROFONDITÀ PRELIEVO (m da piano campagna attuale)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)
C1	da - 1.00 m a - 1.50 m	0.90	10.63	77.99	10.48
C3	da - 6.00 m a - 7.00 m	0.03	4.89	55.46	39.62

14. VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

L'area analizzata risulta caratterizzata da un andamento generalmente orizzontale con distribuzione lenticolare delle varie unità litologiche con spesse e ramificate interdigitazioni tra i termini prevalentemente argillosi e quelli invece più sabbioso-limosi.

In queste condizioni, gli unici problemi che possono verificarsi in occasione di eventi sismici, possono essere legati unicamente a particolari caratteristiche litologiche e geotecniche degli orizzonti caratterizzati da una percentuale elevata di materiale limoso e/o sabbioso. Ai fini delle verifiche nei riguardi del potenziale di liquefazione, vengono tralasciati gli strati a prevalente carattere argilloso, mentre vengono presi in considerazione gli intervalli stratigrafici aventi granulometriche ricadenti nel range del limo e della sabbia. Quando un deposito sabbioso subisce forti vibrazioni, come nel caso di un evento sismico, il suo stato di addensamento può subire forti vibrazioni: questo può determinare un aumento della densità relativa con conseguente riduzione delle tensioni interstiziali, aumentando la rigidità del terreno. In base alla normativa sismica vigente (OPCM 3274 e 3316), deve essere eseguita la verifica alla liquefazione nei seguenti casi:

- ... la falda freatica si trovi in prossimità della superficie (p.c.) ed il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa...nel caso di edifici con fondazioni superficiali tale verifica può essere omessa per litotipi suscettibili che si trovino a profondità maggiore di 15 m da p.c. In particolare vengono ritenuti motivi di esclusione dalla verifica a liquefazione, quando si accertino almeno una di queste circostanze:

a- Eventi sismici attesi di magnitudo di momento M_w inferiore a 6 e durata inferiore a 15 sec. ("La Liquefazione del terreno in condizioni sismiche" – Crespellani, Nardi, Simoncini – Zanichelli 1988).

b- Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,1g;

c- Accelerazioni massime al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:

- frazione di fine, FC, superiore al 20% (FC=frazione passante al setaccio ASTM 200, 0,074mm), con indice di plasticità $PI > 10$;
- $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;
- $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$

- d- Dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.
- e- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in appositi diagrammi, da distinguere i materiali in funzione del coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ o $U_c > 3,5$.
- f- Copertura di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3m, oppure con spessore maggiore di 5m per magnitudo maggiori di $M > 7$.

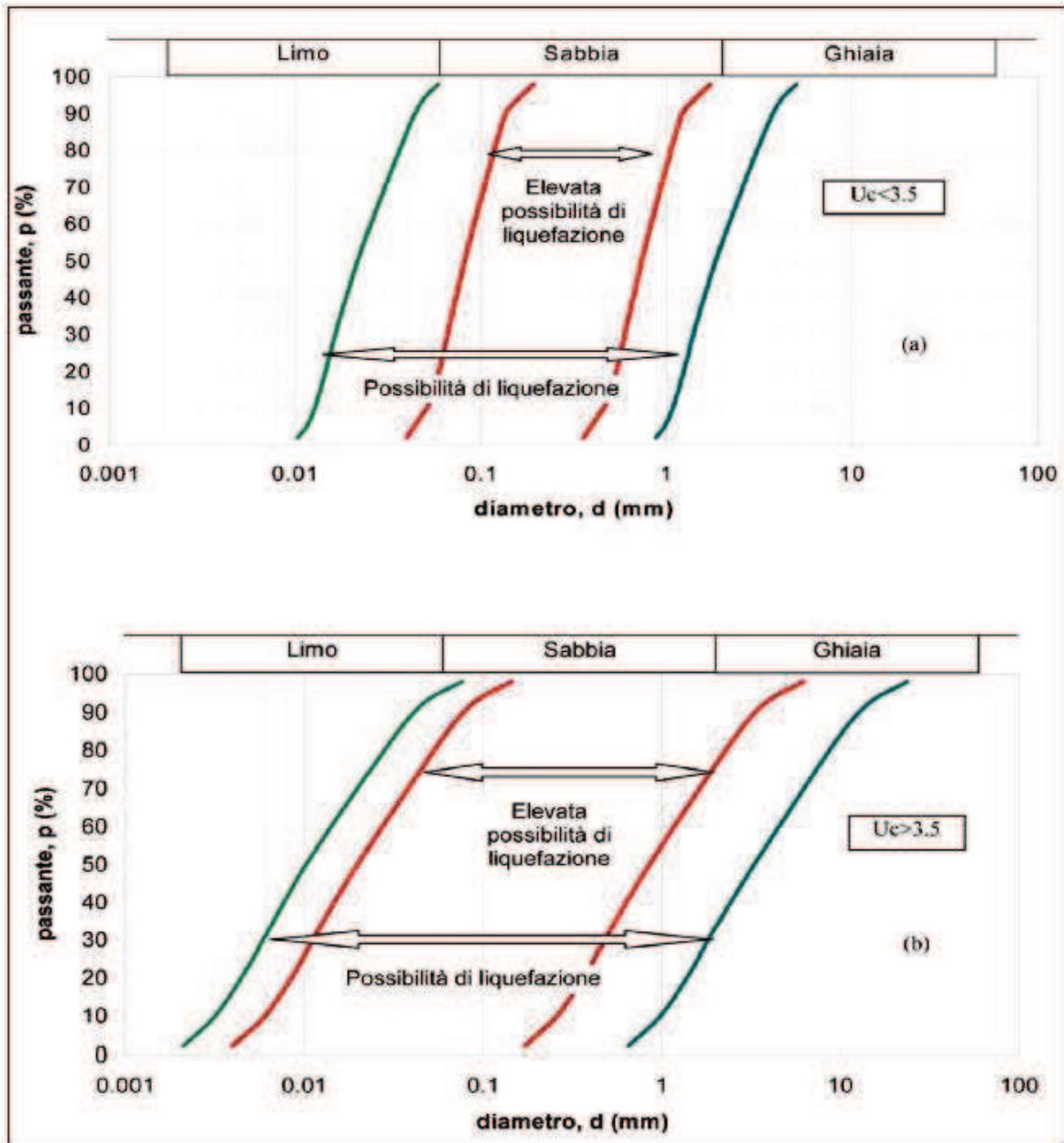


Figura 3 - Fusi granulometrici per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione per terreni a granulometria uniforme (a) oppure estesa (b), tratto dalle Linee guida AGI, 2005.

Nel caso specifico dei terreni esaminati nel presente lavoro (campioni C1 e C3), si sono ottenute curve granulometriche esterne ai fusi di riferimento, dunque non liquefacibili.

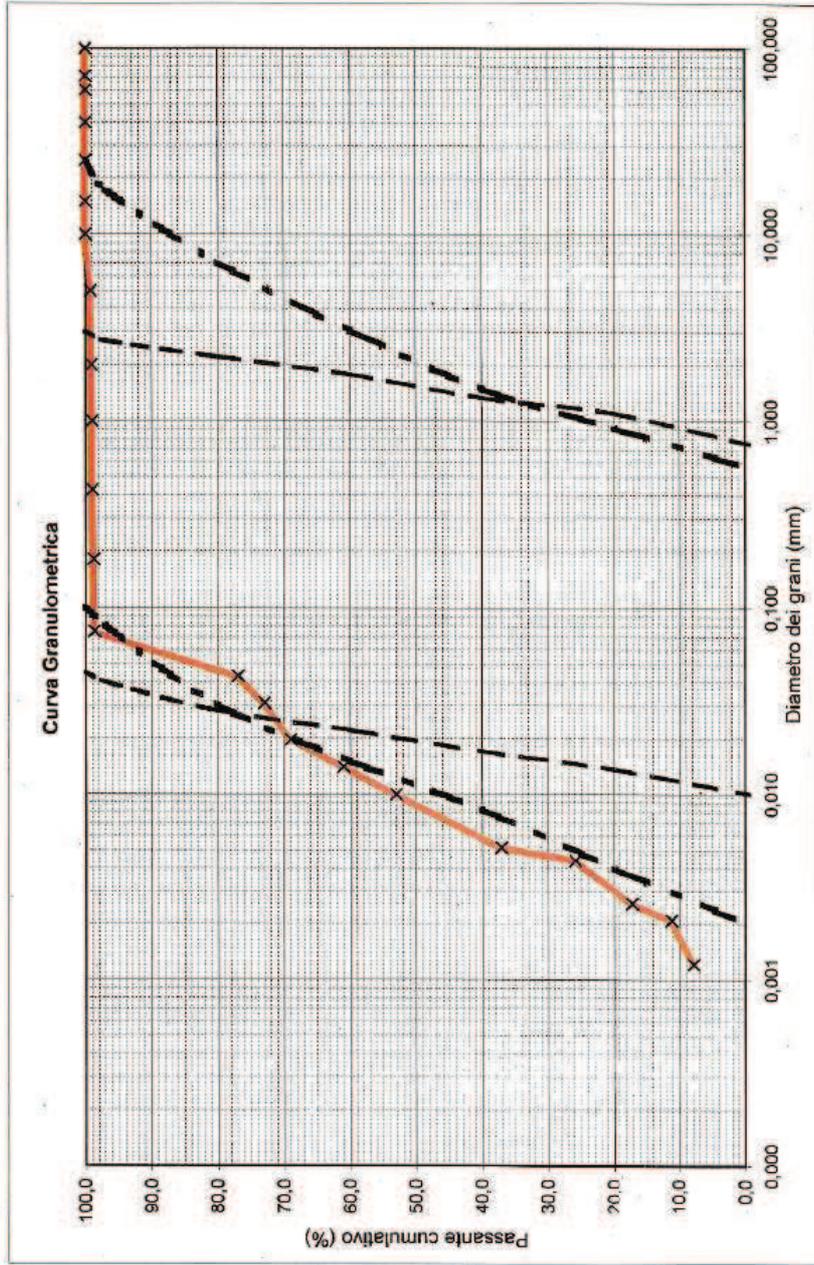


Committente: Pollini Dott. Matteo
Località: Argenta (Fe)
Cantiere: Via Canove

Sondaggio: S1
Campione: C1
Profondità: 1.00 - 1.50 m

Valutazione della suscettibilità alla liquefazione del terreno

Diametro mm	Passante %
100,00	100,0
71,00	100,0
60,00	100,0
40,00	100,0
25,00	100,0
15,00	100,0
10,00	100,0
5,00	99,2
2,00	99,1
1,00	99,0
0,425	99,0
0,180	98,7
0,075	98,6
0,043	76,9
0,031	73,0
0,020	69,0
0,014	61,0
0,00983	53,0
0,00616	37,1
0,00440	25,9
0,00257	17,1
0,00209	11,2
0,00121	7,8



Il terreno non è liquefacibile se la curva granulometrica non è compresa all'interno dei fusi di riferimento.

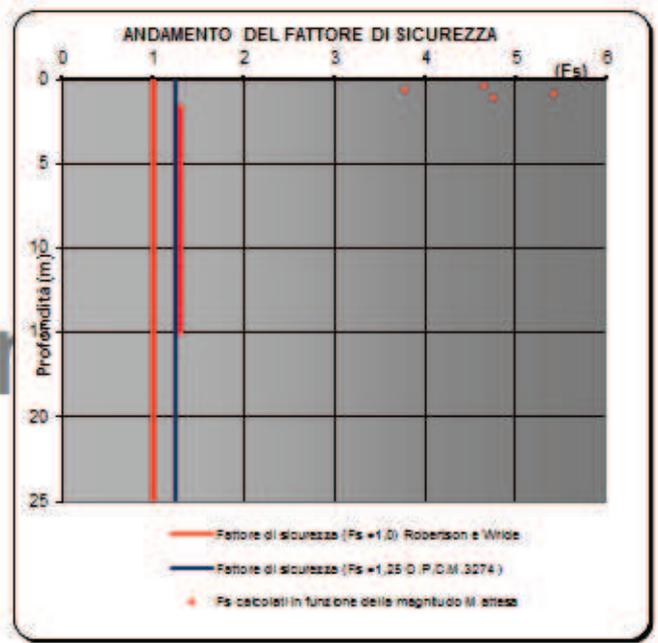
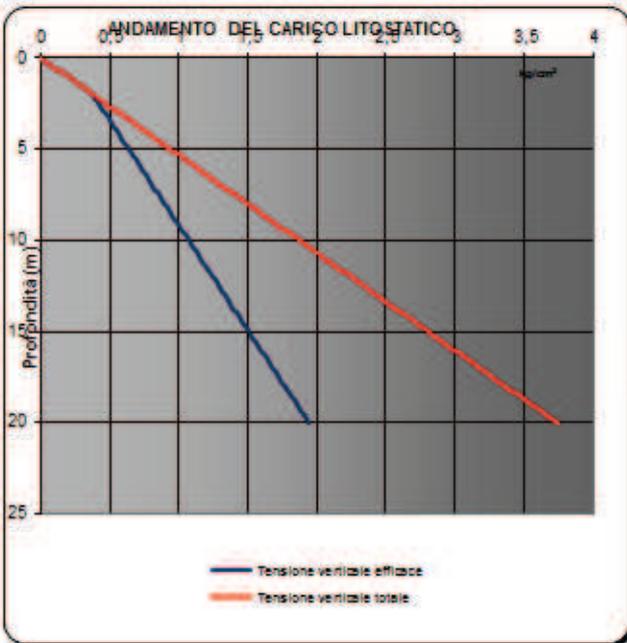
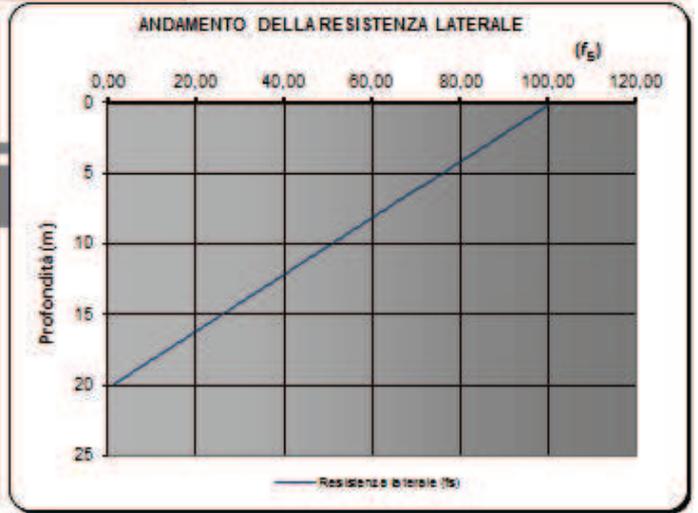
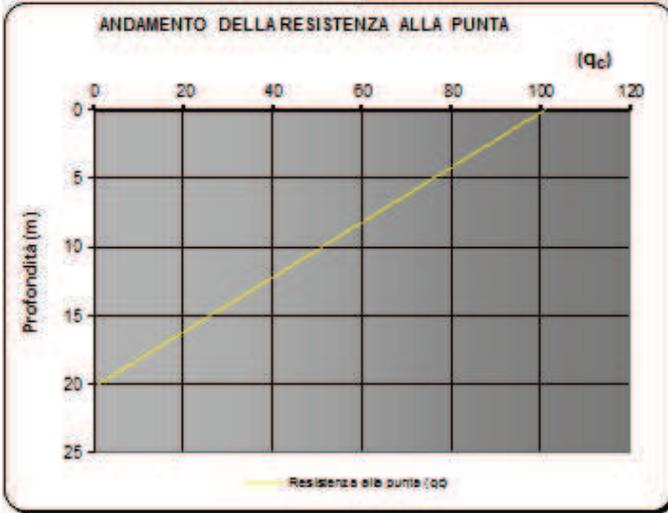
E' stato eseguito anche una verifica alla liquefazione tramite software EPC 2012, utilizzando come verticale rappresentativa, la prova CPT1. Anche in questo caso si è ottenuto un *rischio molto basso* di liquefazione.

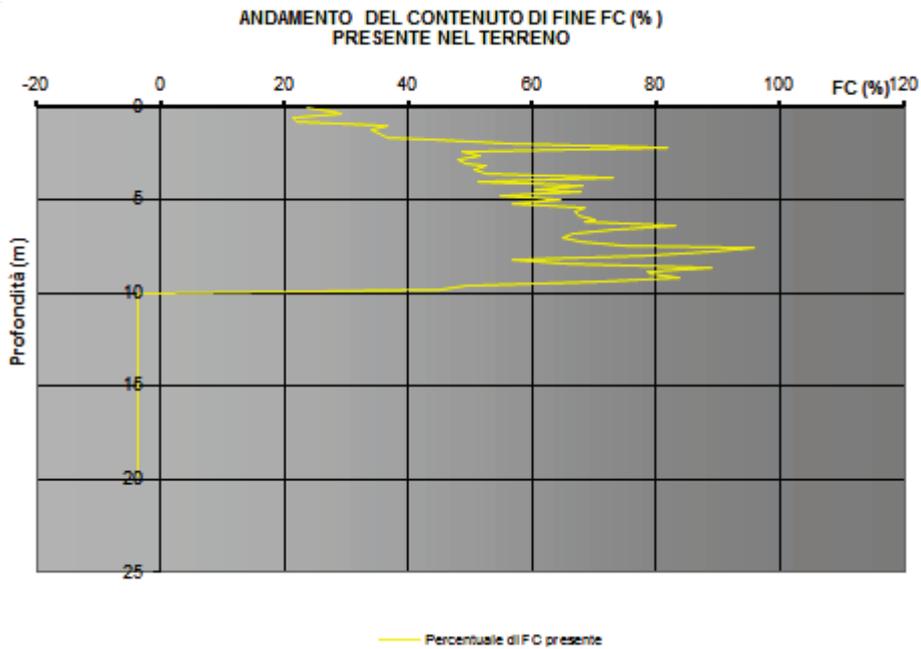
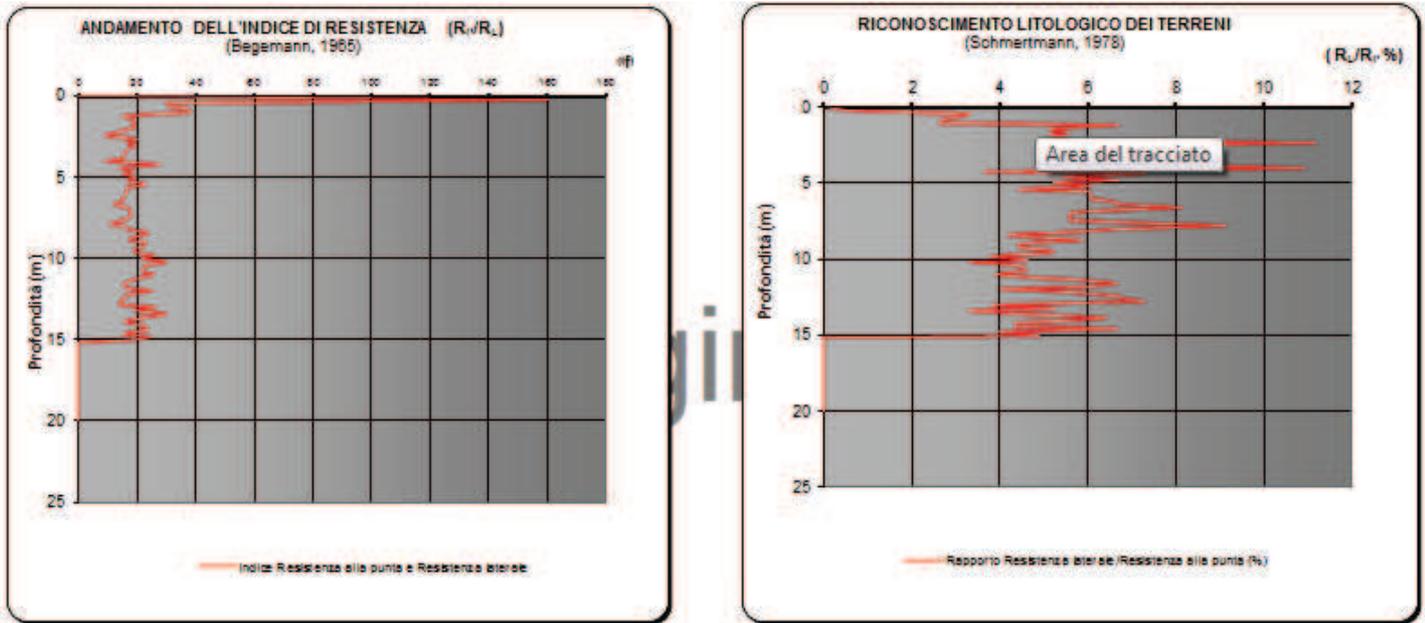
Committente: Rossato Riferimento: Campagna Indagini geognostiche Località: Argenta, via Canove Oggetto: verifica liquefazione		Prov.: FE	ANALISI														
Metodi che utilizzano Prove Statiche (CPT) Robertson e Wride (1998)		Fattore di sicurezza (Fs) > 1,0 > 1,25 (OPCM 3274)	Magnitudo di riferimento (M) 6,0														
		Indice del Potenziale di Liquefazione (IP _L) 0,000	Rischio liquefazione Iwasaki et al. (1978) Molto Basso														
Prof. (m)	Ic (n=1)		Ic (n=0,5)		Ic (n=0,75)	Verificare campione In tab.	Ic utilizzato	Fa	Prof. (m)	Ic (n=1)		Ic (n=0,5)		Ic (n=0,75)	Verificare campione In tab.	Ic utilizzato	Fa
	valore	Classificazione	valore	Classificazione	valore					valore	valore	Classificazione	valore	Classificazione			
0,20	1,93	Granulare	2,33	NPGranulare	2,11	-	2,33	N.C.	10,20	2,63	Argilloso	2,60	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
0,40	2,06	Granulare	2,44	NPGranulare	2,25	-	2,44	4,66	10,40	2,70	Argilloso	2,66	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
0,60	2,15	Granulare	2,46	NPGranulare	2,30	-	2,46	3,77	10,60	2,69	Argilloso	2,67	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
0,80	2,01	Granulare	2,27	NPGranulare	2,14	-	2,27	5,42	10,80	2,70	Argilloso	2,67	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
1,00	2,05	Granulare	2,29	NPGranulare	2,16	-	2,29	4,75	11,00	2,65	Argilloso	2,62	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
1,20	2,53	Granulare	2,73	Plumoso	2,63	C.Cinese	2,63	N.C.	11,20	2,73	Argilloso	2,70	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
1,40	2,48	Granulare	2,67	Plumoso	2,57	C.Cinese	2,57	N.C.	11,40	2,84	Argilloso	2,81	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
1,60	2,60	Argilloso	2,78	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	11,60	2,97	Argilloso	2,94	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
1,80	2,63	Argilloso	2,79	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	11,80	2,92	Argilloso	2,89	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
2,00	2,77	Argilloso	2,93	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	12,00	2,86	Argilloso	2,82	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
2,20	2,97	Argilloso	3,11	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	12,20	2,99	Argilloso	2,95	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
2,40	3,31	Argilloso	3,44	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	12,40	2,99	Argilloso	2,95	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
2,60	2,85	Argilloso	2,97	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	12,60	2,98	Argilloso	2,94	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
2,80	2,90	Argilloso	3,01	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	12,80	2,99	Argilloso	2,95	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
3,00	2,83	Argilloso	2,94	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	13,00	2,72	Argilloso	2,67	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
3,20	2,85	Argilloso	2,95	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	13,20	2,90	Argilloso	2,85	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
3,40	2,91	Argilloso	3,01	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	13,40	2,77	Argilloso	2,71	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
3,60	2,88	Argilloso	2,97	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	13,60	2,87	Argilloso	2,81	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
3,80	2,91	Argilloso	2,99	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	13,80	3,08	Argilloso	3,02	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
4,00	3,20	Argilloso	3,28	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	14,00	3,07	Argilloso	3,01	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
4,20	2,89	Argilloso	2,97	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	14,20	3,02	Argilloso	2,95	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
4,40	3,13	Argilloso	3,21	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	14,40	3,02	Argilloso	2,95	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
4,60	3,03	Argilloso	3,10	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	14,60	3,04	Argilloso	2,98	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
4,80	3,13	Argilloso	3,20	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	14,80	2,90	Argilloso	2,83	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
5,00	2,94	Argilloso	3,01	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	15,00	3,15	Argilloso	3,08	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.
5,20	3,09	Argilloso	3,15	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	15,20	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
5,40	2,97	Argilloso	3,03	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	15,40	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
5,60	3,14	Argilloso	3,19	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	15,60	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
5,80	3,12	Argilloso	3,17	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	15,80	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
6,00	3,13	Argilloso	3,17	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	16,00	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
6,20	3,16	Argilloso	3,20	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	16,20	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
6,40	3,14	Argilloso	3,17	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	16,40	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
6,60	3,32	Argilloso	3,35	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	16,60	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
6,80	3,20	Argilloso	3,23	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	16,80	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
7,00	3,12	Argilloso	3,14	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	17,00	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
7,20	3,09	Argilloso	3,12	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	17,20	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
7,40	3,13	Argilloso	3,15	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	17,40	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
7,60	3,23	Argilloso	3,24	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	17,60	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
7,80	3,47	Argilloso	3,48	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	17,80	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
8,00	3,39	Argilloso	3,40	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	18,00	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
8,20	3,27	Argilloso	3,27	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	18,20	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
8,40	2,98	Argilloso	2,98	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	18,40	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
8,60	3,10	Argilloso	3,10	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	18,60	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
8,80	3,39	Argilloso	3,39	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	18,80	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
9,00	3,27	Argilloso	3,26	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	19,00	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
9,20	3,28	Argilloso	3,27	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	19,20	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
9,40	3,33	Argilloso	3,32	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	19,40	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
9,60	3,17	Argilloso	3,15	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	19,60	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
9,80	2,85	Argilloso	2,84	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	19,80	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.
10,00	2,79	Argilloso	2,77	N.L.	N.L.	-	N.L.	N.L.	20,00	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	-	N.C.	N.C.

N.C. = Non Calcolabile N.L. = Non Liquefacibile Plumoso = Terreno Limoso e possibilmente Plastico NPGranulare = Terreno non Plastico di natura granulare	Argilloso = Terreno Argilloso C.Cinese = Criteri Cinese Granulare = Terreno Granulare -- = Nessun Criterio	<input type="button" value="HOME"/> <input type="button" value="INSERIMENTO DATI CPT"/>
		<input type="button" value="DATI CPT"/> <input type="button" value="GRAFICI"/>

$$CRR = 0,883 \cdot \left[\frac{(q_{cs})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 \quad \text{Per } 0 < (q_{cs})_{cs} < 50 \quad \text{Per } 50 < (q_{cs})_{cs} < 160 \quad CRR = 0,93 \cdot \left[\frac{(q_{cs})_{cs}}{1000} \right] + 0,05$$

$$CSR = \frac{\tau_{cs}}{\sigma_{cs}'} = 0,65 \cdot \frac{d_m}{\epsilon} \cdot \frac{\sigma_{cs}}{\sigma_{cs}'} \cdot \gamma_s \cdot \frac{1}{MSF} \quad M = 6$$





15. VERIFICA DEI CEDIMENTI POST SISMICI

Per l'Atto di indirizzo n. 112/2007, nei depositi coesivi molto soffici ($cu \leq 70\text{KPa}$) e plastici ($I_p \geq 30\%$) in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali per cui

$$\frac{\Delta u}{\sigma'_0} \geq 0.3$$

Durante il terremoto di riferimento, deve essere stimato il cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto stesso. Tale rapporto può essere valutato dal grafico sotto riportato, in funzione della deformazione indotta dal terremoto di progetto negli strati di terreno. Tale deformazione è valutabile utilizzando la seguente formula:

deformazione (%) $\gamma_{\max} = 0.65 \cdot a_{g,\text{rif}} \cdot S \cdot \sigma_{v0} \cdot r_d \cdot \frac{1}{G}$

Dove

$a_{g,\text{rif}}$ = accelerazione di riferimento per il comune allo studio (Voghiera $a_{\text{rif}}=0,146g$)

S = fattore di amplificazione funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s e dunque della stratigrafia dei terreni (nel caso in esame $F.A.=1,5$);

σ_{v0} = carico litostatico in termini di tensioni totali

$r_d = 1-0,015z$ (da Atto indirizzo, n.112/2007)

G = valore ridotto di G_0 funzione dell'accelerazione a_{\max} .

G_0 = modulo di taglio alle piccole deformazioni.

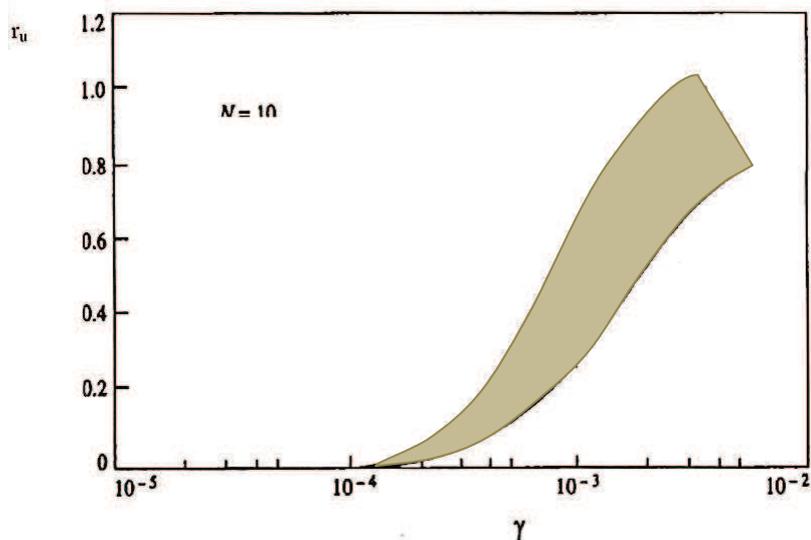


Tabella 1: Valore del rapporto di pressione interstiziale r_u in funzione della deformazione di taglio massima indotta dal terremoto

Vengono di seguito riportati i valori medi delle Cu di tutte le n. 6 CPT eseguite nel 2012:

sigla prova	Coesione media cu (Kg/cmq)
CPT1	0.76
CPT2	0.77
CPT3	0.87
CPT4	0.79
CPT5	0.81
CPT6	0.87

Su tutte le verticali delle n. 6 prove penetrometriche eseguite, sino a m 15, si hanno valori medi di cu > 70 KPa.

Individuando nel modello geologico locale, i livelli con < 70 KPa (vedi tabelle da pag. 22 a pag. 23), si sono analizzati sia tali livelli, che quelli con cu > 70 KPa. Per tutti i livelli si sono ottenuti i risultati sotto riportati, aventi un $13\% \leq I_p \leq 21\%$.

CAMPIONE	PROFONDITÀ PRELIEVO (m da piano campagna attuale)	LL (%) ^{wl}	LP (%) ^{wp}	Ip (%)
C1	da - 1.00 m a - 1.50 m	39	26	13
C2	da - 3.00 m a - 4.00 m	44	23	21
C3	da - 6.00 m a - 7.00 m	44	25	19
C4	da - 8.00 m a - 10.00 m	44	24	20

Per l'Atto di indirizzo n. 112/2007, nei depositi coesivi analizzati, **non sono soddisfatte le condizioni** (cu ≤ 70KPa e Ip ≥ 30%), per cui **non risulta necessario eseguire il calcolo dei cedimenti post sismici** che, viste le tipologie costruttive previste nel sito indagato, possono ritenersi trascurabili.

16. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (ANALISI DI III° LIVELLO)

Per l'area sita in via Canove nel comune di Argenta, viene eseguita anche un'analisi sismica approfondita (terzo livello di approfondimento) finalizzata alla determinazione di:

- Spettri di risposta riferiti all'area in esame per un periodo di ritorno del sisma di 475 anni con smorzamento convenzionale del $\zeta = 5\%$;
- Rapporto PGA/PGA_0 ovvero del rapporto tra l'ampiezza di picco (Pick Ground Acceleration) dell'accelerogramma alla superficie (PGA accelerogramma di output) e l'ampiezza di picco dell'accelerogramma al bedrock (PGA_0 accelerogramma di input);
- Rapporto SI/SI_0 ovvero il rapporto tra l'intensità di Housner (1959) calcolata sullo spettro in superficie (SI) e l'intensità di Housner (1959) relativa allo spettro al bedrock (SI_0).

16.1. Modellazione di III livello: parametri di input

Per eseguire l'analisi approfondita di III livello per l'area in esame occorrono alcuni parametri cosiddetti di input. Essi sono:

- **Accelerogrammi al bedrock** (dai quali si ricava la PGA_0): il sito in studio ricade nel comune di Argenta (FE), l'analisi pertanto è stata effettuata utilizzando 3 segnali selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database", e forniti dalla Regione Emilia-Romagna il cui database è disponibile sul sito web www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica. I 3 segnali "spettro compatibili" utilizzati sono già scalati alla pericolosità sismica di base del comune di Argenta (FE). La componente del moto che si considera in ciascun accelerogramma è quella orizzontale relativa all'onda S che dal bedrock si propaga in superficie attraverso le coperture sedimentarie;
- **Modello di sottosuolo**: espresso in termini di profilo verticale di velocità delle onde S esteso fino al bedrock sismico ($V_s = 800$ m/s). Il modello di sottosuolo viene inoltre definito in termini di spessore dei singoli strati fino al bedrock, densità del mezzo, profondità della falda, e curve di smorzamento (damping) per ogni singolo strato.

Il modello di sottosuolo utilizzato per l'analisi, in termini di profilo verticale di velocità delle onde S, è stato definito sulla base di un'indagine effettuata con tecniche masw e hvsr elaborate in modo congiunto. Il profilo di Vs ottenuto con il metodo masw (profilo in array) è stato fornito dalla committenza ed è stato integrato da una misura hvsr effettuata dallo scrivente (misura a stazione singola eseguita con tomografo digitale modello Tromino Engy).

La profondità del bedrock sismico (superficie di riferimento rigida caratterizzata da $V_s \geq 800$ m/s) è stata definita mediante l'estrapolazione del profilo di Vs sopraccitato, mantenendo lo stesso gradiente dell'ultimo tratto della curva sperimentale. Il profilo è stato estrapolato fino al raggiungimento del valore di $V_s = 800$ m/s alla profondità di circa 260 m da p.c. La tabella sottostante riporta i parametri di input che caratterizzano il modello di sottosuolo utilizzato per l'analisi di risposta sismica locale del sito di via Canove – Argenta (FE).

MODELLO DI SOTTOSUOLO UTILIZZATO PER ANALISI III LIVELLO		
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
2.60	2.60	127
4.90	2.30	134
6.60	1.70	108
11.50	4.90	178
17.80	6.30	130
57.80	40.00	290
97.80	40.00	380
257.80	160.00	500
BEDROCK	-	800

Tabella 2 – modello di sottosuolo utilizzato per l'analisi approfondita di III livello

Fino a circa 18 m da p.c. le Vs sono state ottenute dall'analisi masw eseguita nel 2010

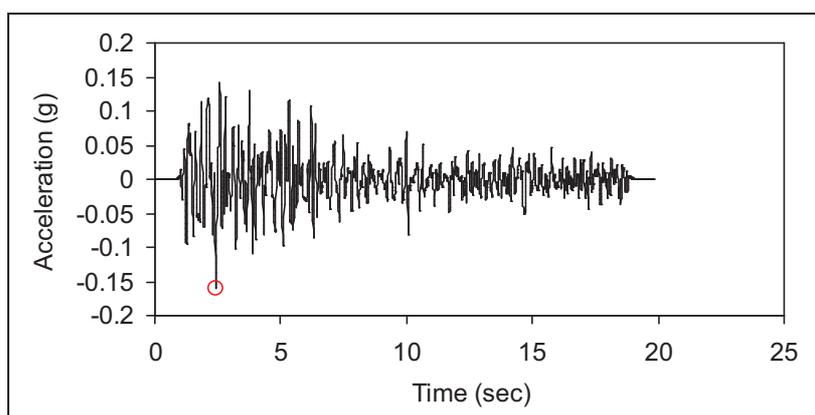
Per quanto riguarda le curve di smorzamento impiegate per le coperture e per il bedrock, si è fatto riferimento alla curva di smorzamento caratteristica di materiali argillosi a comportamento coesivo e a quella relativa ai materiali rocciosi (bedrock sismico)

16.2. Modellazione di III livello: parametri di output

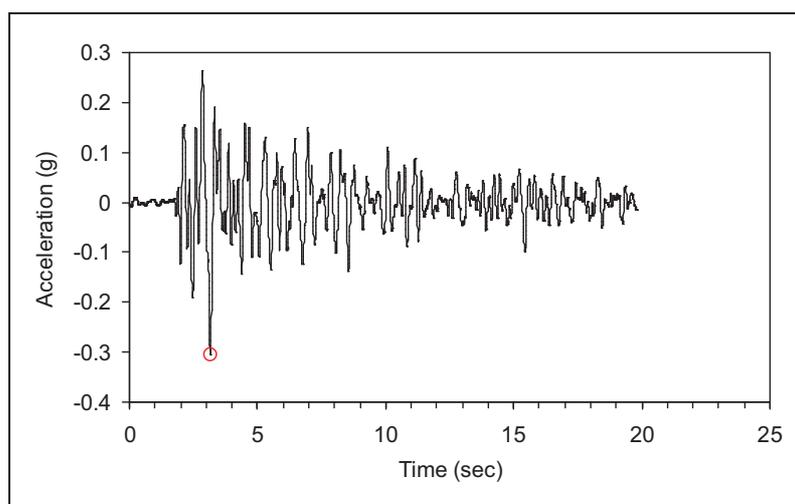
L'analisi della risposta sismica locale è stata effettuata con il codice di calcolo EERA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits di Bardet, Ichii e Lin, 2000) applicandolo al modello di sottosuolo descritto sopra (tab. 1). Si è proceduto a calcolare il moto atteso in superficie a partire dai 3 accelerogrammi di riferimento (componente orizzontale del moto) forniti dalla banca dati regionale e citati nel paragrafo precedente.

TERREMOTO 1

Il segnale corrispondente al Terremoto 1 viene riportato nella figura sottostante. Il valore di PGA_0 (Pick Ground Acceleration) di tale terremoto è -0.160 g



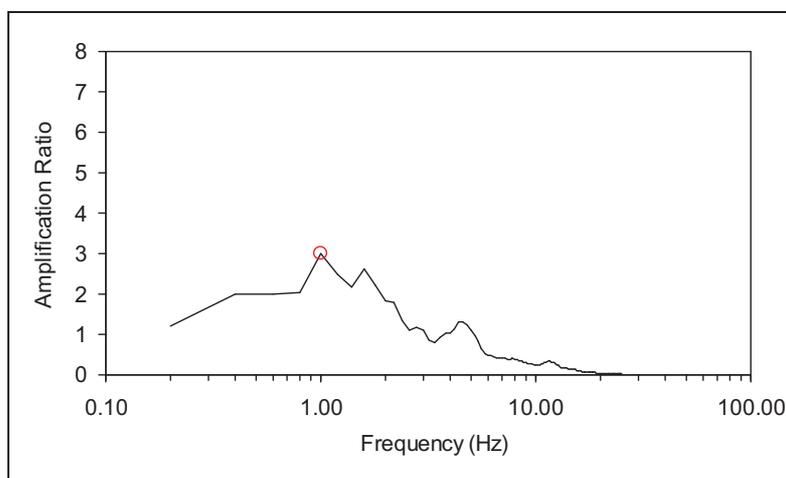
Segnale al bedrock relativo al Terremoto 1 (banca dati Regione Emilia Romagna comune Argenta - FE)



Segnale atteso in superficie relativo al Terremoto 1 (banca dati Regione Emilia Romagna comune Argenta)

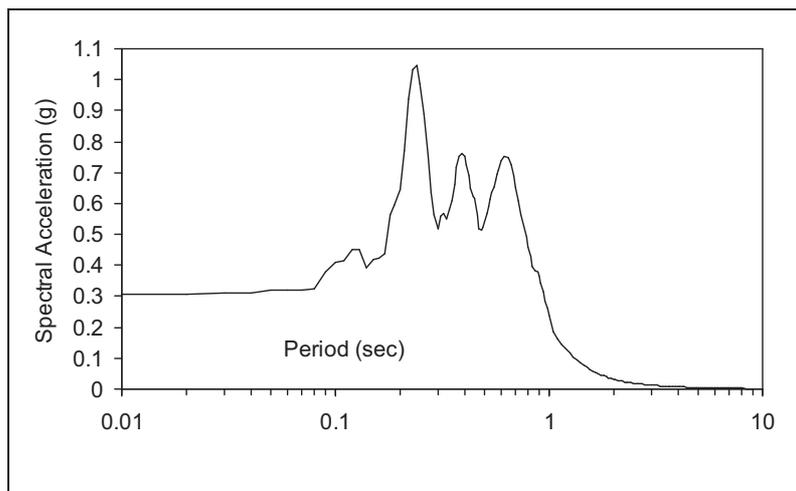
Il valore di PGA (Pick Ground Acceleration), cioè l'accelerazione orizzontale massima in superficie è pari a 0.306g. Pertanto il rapporto **PGA/PGA₀ (Terremoto 1) = 1.91**

Di seguito viene mostrata la funzione di trasferimento relativa al Terremoto 1, ossia il rapporto tra lo spettro dell'accelerogramma in superficie e lo spettro dell'accelerogramma al bedrock. La funzione di trasferimento rappresenta il valore di amplificazione del moto del suolo alle varie frequenze. Tale funzione deve risultare, almeno nelle frequenze di picco, confrontabile alla curva HVSR ottenuta dalla misura a stazione singola effettuata in sito. Le differenze, specie in termini di numero di picchi e loro ampiezza, sono legate intrinsecamente al metodo di calcolo che genera amplificazioni quasi sempre maggiori con risonanze spurie in funzione delle frequenze del moto di input. Tuttavia ciò che conta è che la funzione di trasferimento riproduca le frequenze principali alle quali si è registrata amplificazione del moto del suolo nel rapporto H/V ottenuto sperimentalmente (per il sito in esame la frequenza fondamentale è stata registrata a 0.94 Hz). La funzione di trasferimento ottenuta dal calcolo mostra la massima amplificazione alla frequenza di 1 Hz.



Funzione di trasferimento per il terremoto 1.

Per il Terremoto 1 viene riportato nella figura 4 lo spettro di risposta elastico in accelerazione dell'oscillatore armonico ad un grado di libertà. Lo spettro in questione rappresenta il massimo della risposta dell'oscillatore SDOF al terremoto di input in funzione della frequenza naturale e dello smorzamento dell'oscillatore.



Spettro di risposta relativo al Terremoto 1

L'intensità di Housner (1959) definita come l'integrale dello spettro di risposta in pseudovelocità per il terremoto 1 è:

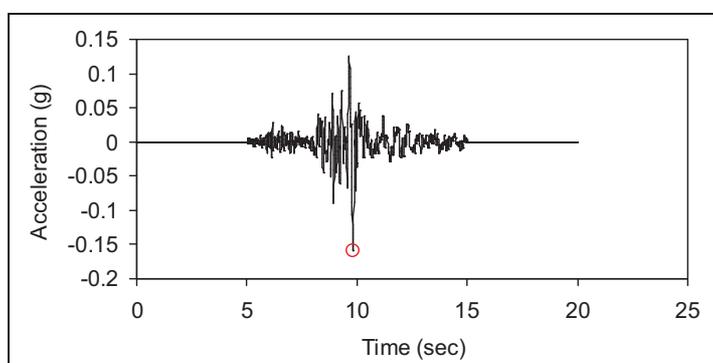
INTENSITA' DI HOUSNER TERREMOTO 1		
Periodo [0.1, 0.5] s	SI/SI ₀	2.03
Periodo [0.5, 1.0] s	SI/SI ₀	3.52

Tabella 3 – Intensità di Housner calcolata sulla base dello spettro in pseudo velocità

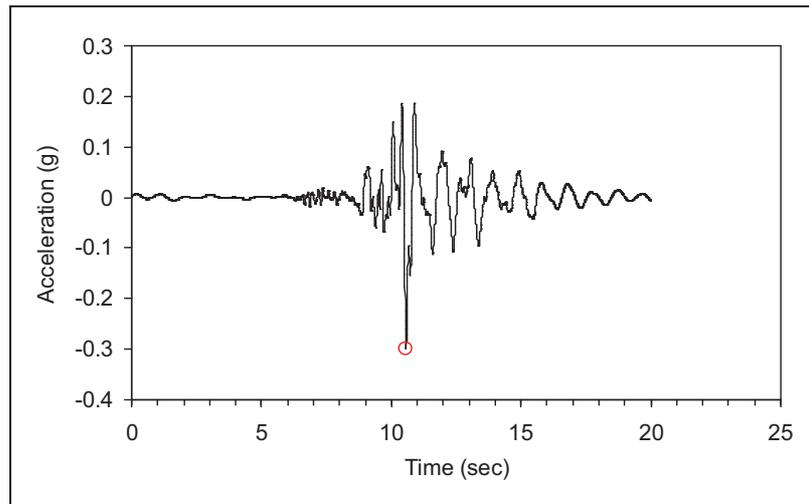
Dove SI rappresenta l'intensità di Housner calcolata sullo spettro in pseudovelocità relativo alla superficie e SI₀ l'intensità di Housner riferita al bedrock.

TERREMOTO 2

Il segnale corrispondente al Terremoto 2 viene riportato nella figura sottostante. Il valore di PGA₀ (Pick Ground Acceleration) di tale terremoto è 0.160g.



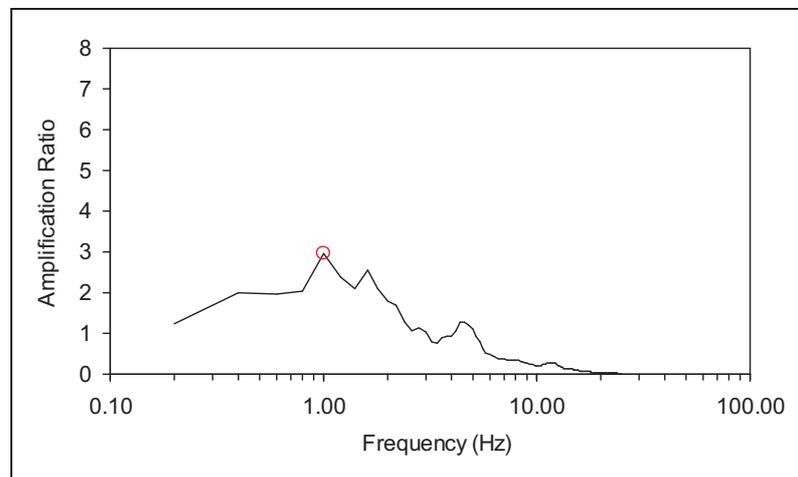
Segnale al bedrock relativo al Terremoto 2 (banca dati Regione Emilia Romagna comune di Argenta)



Segnale atteso in superficie relativo al Terremoto 2 (banca dati Regione Emilia Romagna comune di Argenta)

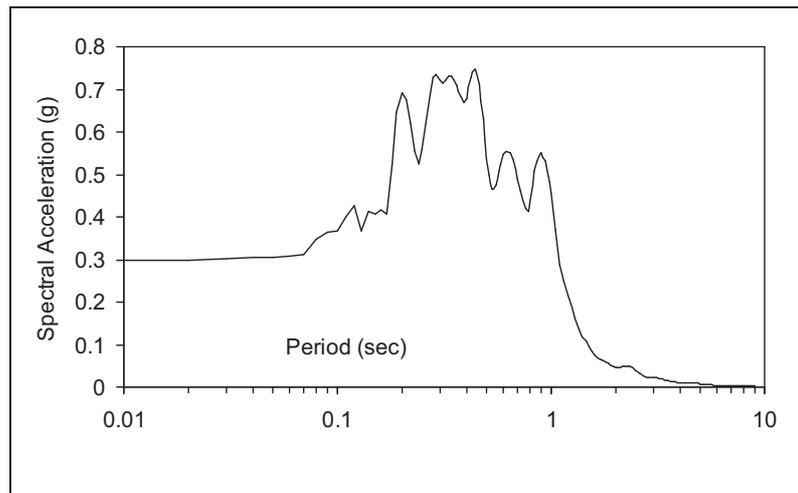
Il valore di PGA (Pick Ground Acceleration), cioè l'accelerazione orizzontale massima in superficie è pari a 0.299g. Pertanto il rapporto PGA/PGA_0 (Terremoto 2) = 1.87

Di seguito è mostrata la funzione di trasferimento relativa al Terremoto 2 (si vedano commenti per Terremoto1).



Funzione di trasferimento per il Terremoto 2

Per il Terremoto 2 viene riportato nella figura 8 lo spettro di risposta elastico in accelerazione dell'oscillatore armonico ad un grado di libertà. Lo spettro in questione rappresenta il massimo della risposta dell'oscillatore SDOF al terremoto di input in funzione della frequenza naturale e dello smorzamento dell'oscillatore.



Spettro di risposta relativo al Terremoto 2

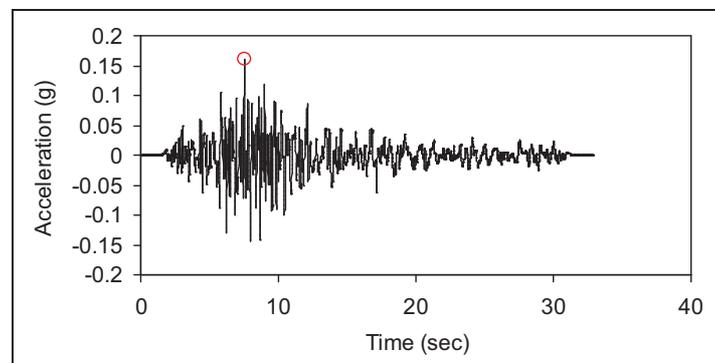
L'intensità di Housner (1959) definita come l'integrale dello spettro di risposta in pseudovelocità per il terremoto 2 è:

INTENSITA' DI HOUSNER TERREMOTO 2		
Periodo [0.1, 0.5] s	S_I/S_{I_0}	2.21
Periodo [0.5, 1.0] s	S_I/S_{I_0}	4.17

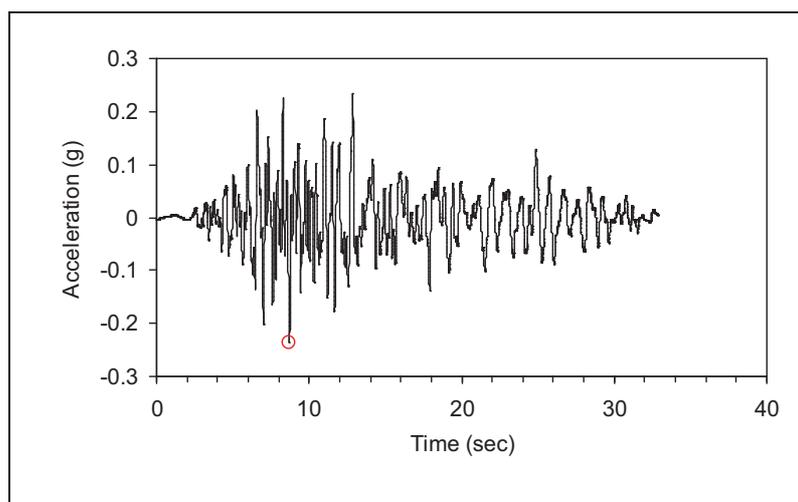
Tabella 5 – Intensità di Housner calcolata sulla base dello spettro in pseudovelocità in superficie e al bedrock

TERREMOTO 3

Il segnale corrispondente al Terremoto 3 viene riportato nella figura sottostante. Il valore di PGA_0 (Pick Ground Acceleration) di tale terremoto è 0.160g.



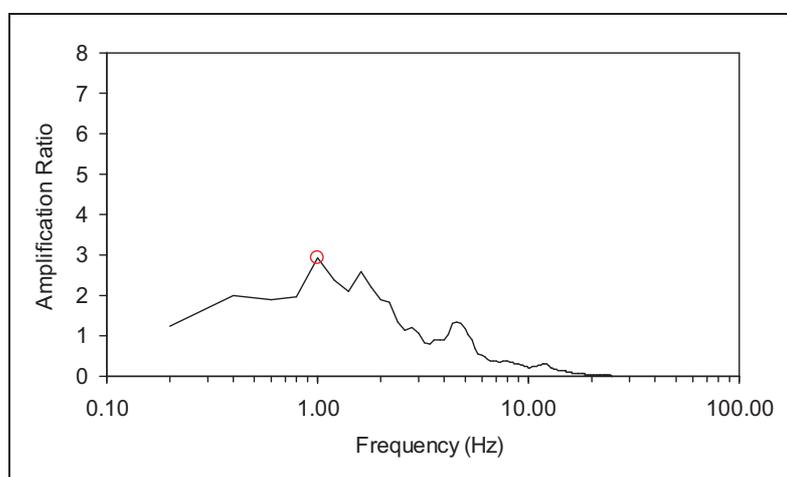
Segnale al bedrock relativo al Terremoto 3 (banca dati Regione Emilia Romagna comune di Argenta - FE)



Segnale atteso in superficie relativo al Terremoto 3 (banca dati Regione Emilia Romagna comune di Argenta - FE)

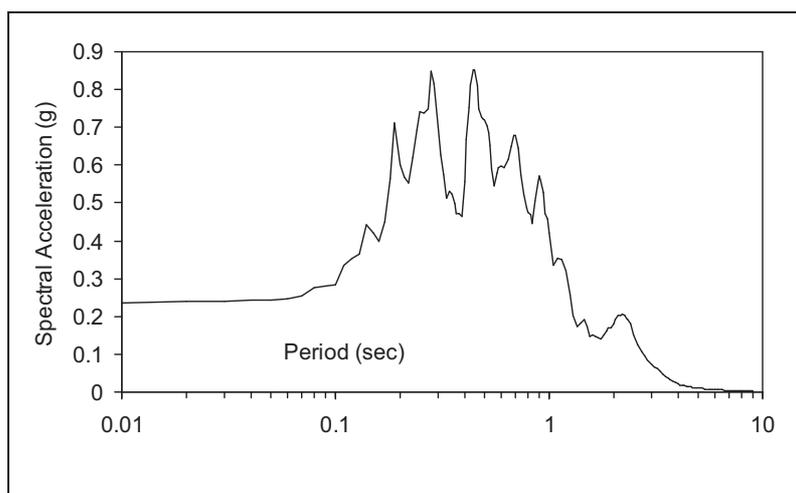
Il valore di PGA (Pick Ground Acceleration), cioè l'accelerazione orizzontale massima in superficie è pari a 0.237g. Pertanto il rapporto **PGA/PGA₀ (Terremoto 3) = 1.48**

Di seguito viene mostrata la funzione di trasferimento relativa al Terremoto 3 (si vedano commenti per Terremoto 1).



Funzione di trasferimento per il Terremoto 3

Per il Terremoto 3 viene riportato nella figura 12 lo spettro di risposta elastico in accelerazione dell'oscillatore armonico ad un grado di libertà. Lo spettro in questione rappresenta il massimo della risposta dell'oscillatore SDOF al terremoto di input in funzione della frequenza naturale e dello smorzamento dell'oscillatore.



Spettro di risposta relativo al Terremoto 3

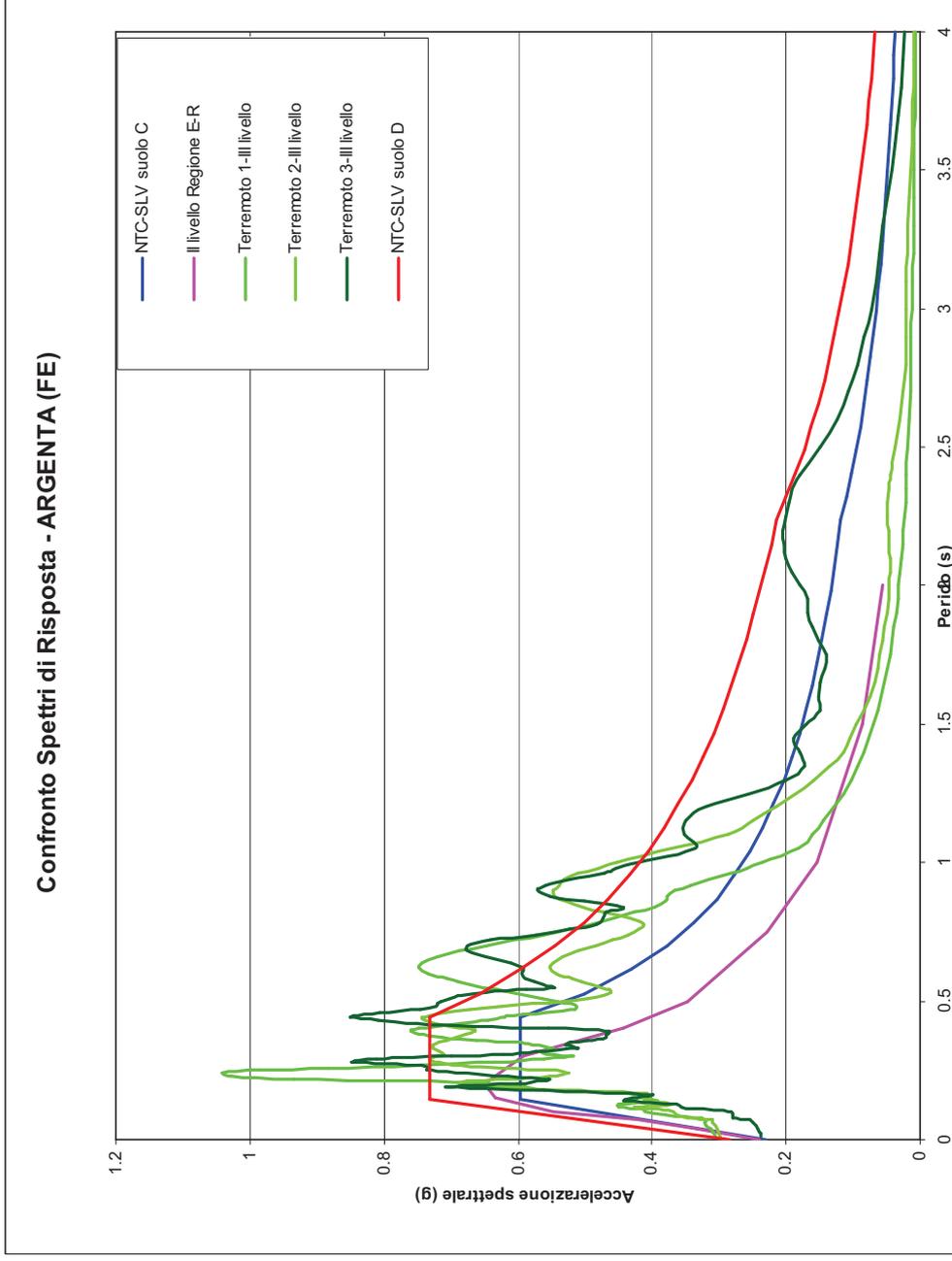
L'intensità di Housner (1959) definita come l'integrale dello spettro di risposta in pseudovelocità per il terremoto 3 è:

INTENSITA' DI HOUSNER TERREMOTO 3		
Periodo [0.1, 0.5] s	S_i/S_{i0}	2.00
Periodo [0.5, 1.0] s	S_i/S_{i0}	3.41

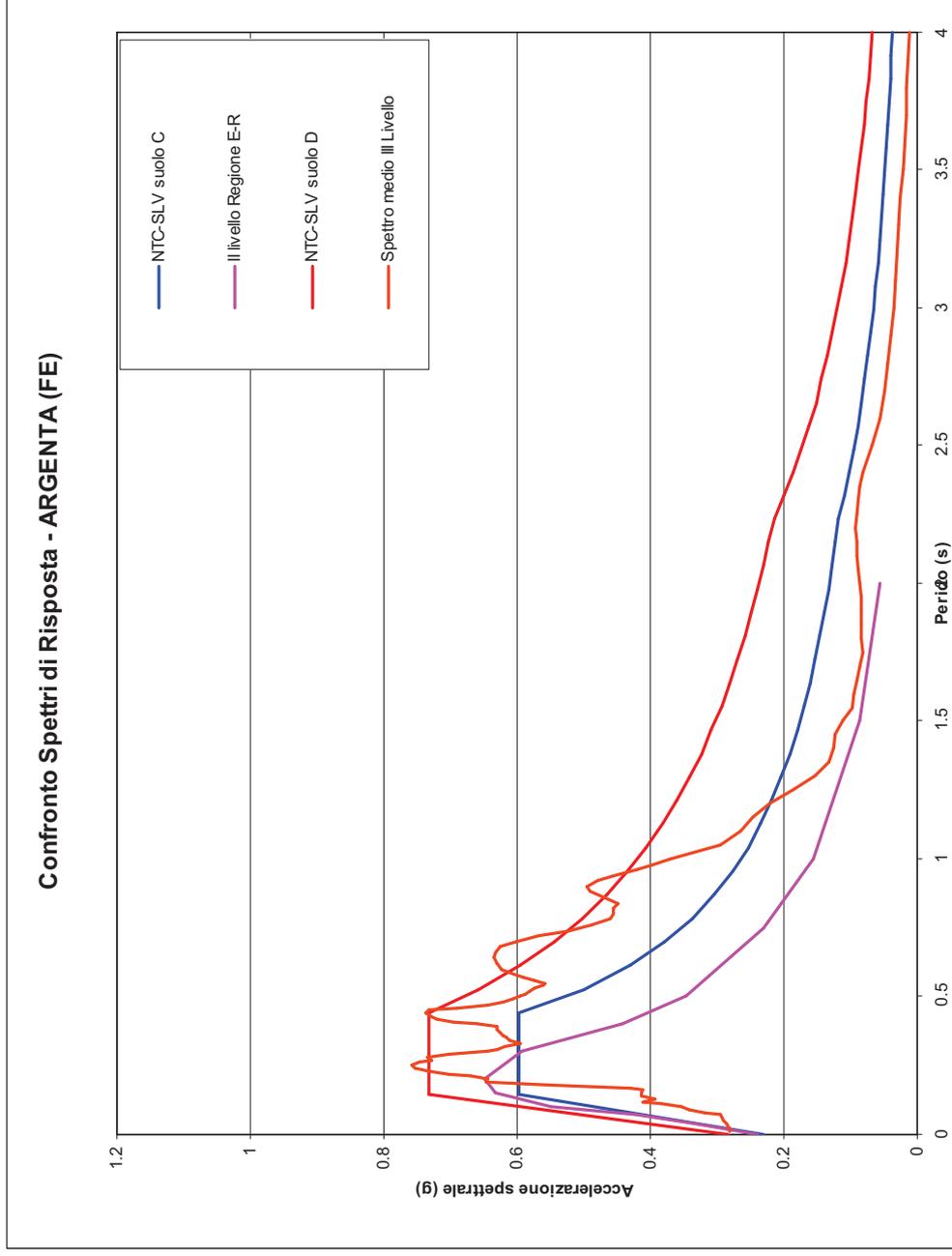
Tabella 6 – Intensità di Housner calcolata sulla base dello spettro in pseudovelocità in superficie e al bedrock

16.3. CONFRONTO SPETTRI

Le figure seguenti mostrano il confronto tra gli spettri calcolati nella presente analisi approfondita di risposta sismica locale (III livello) e quelli ottenuti mediante approccio semplificato secondo quanto indicato nelle NTC 2008 e nella Delibera Regionale Prog. N. 112 – oggetto 3121 del 02/05/2007. Si tenga presente che secondo l'approccio semplificato (tabella 3.2. II paragrafo 3.2.2 NTC 2008) il sito in questione ricade al limite delle categorie C e D con V_{s30} prossima a 180 m/s. Nei grafici pertanto sono stati riportati gli spettri da normativa sia per sottosuolo di categoria C che D.



Spettri a confronto (sono riportati singolarmente i 3 spettri calcolati mediante la presente analisi approfondita di III livello)



Spettri a confronto (è riportato lo spettro medio relativo all'analisi approfondita di III livello)

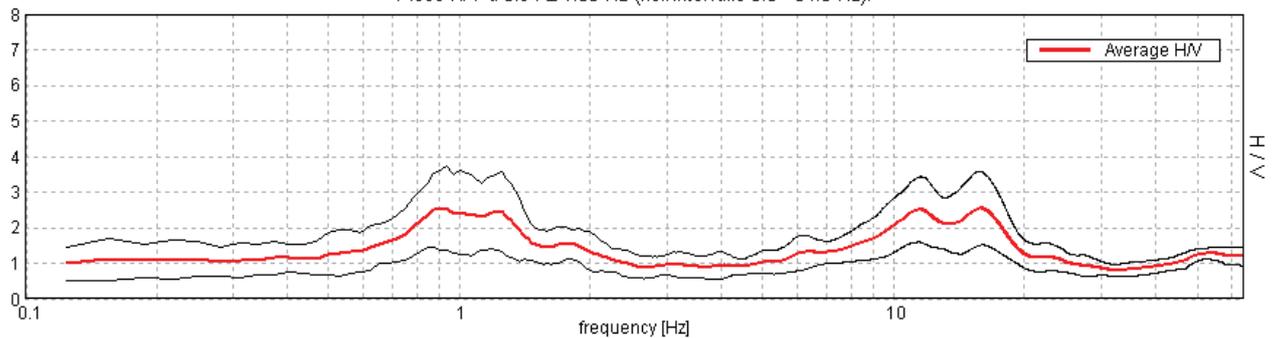
Dal confronto emerge che lo spettro medio calcolato (in arancione) mediante analisi approfondita risulta maggiormente paragonabile a quello ottenuto da approccio semplificato relativo alla categoria di sottosuolo D (in rosso).

MISURA A STAZIONE SINGOLA HVSR

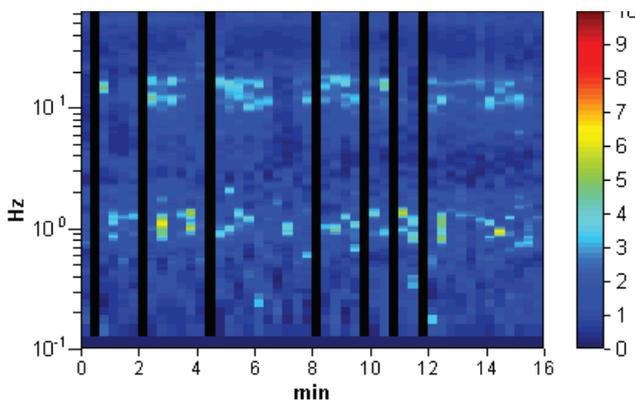
Strumento: TEP-0121/01-10
Sito: via Canove – Argenta (FE)
Inizio registrazione: 28/06/12 11:35:16 Fine registrazione: 28/06/12 11:51:17
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS non disponibile
Durata registrazione: 0h16'00".
Analizzato 85% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

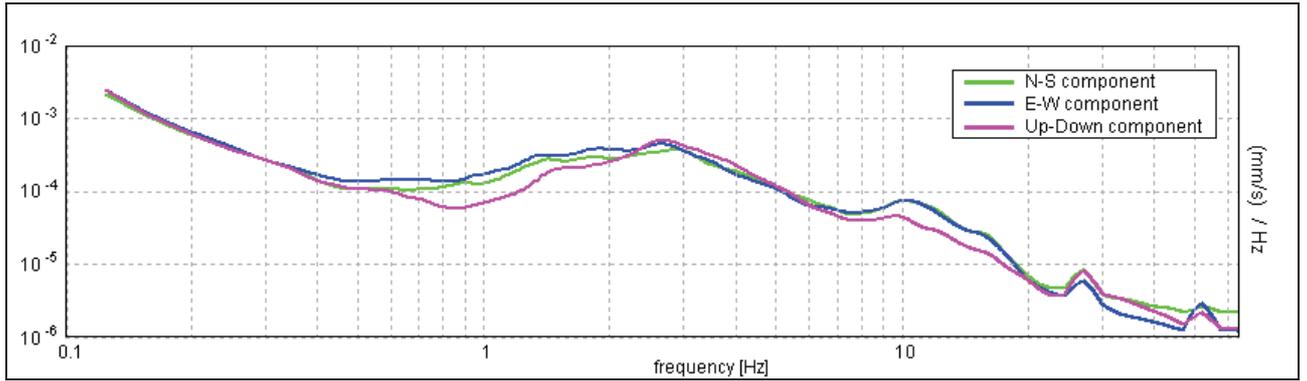
Picco H/V a 0.94 ± 1.63 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



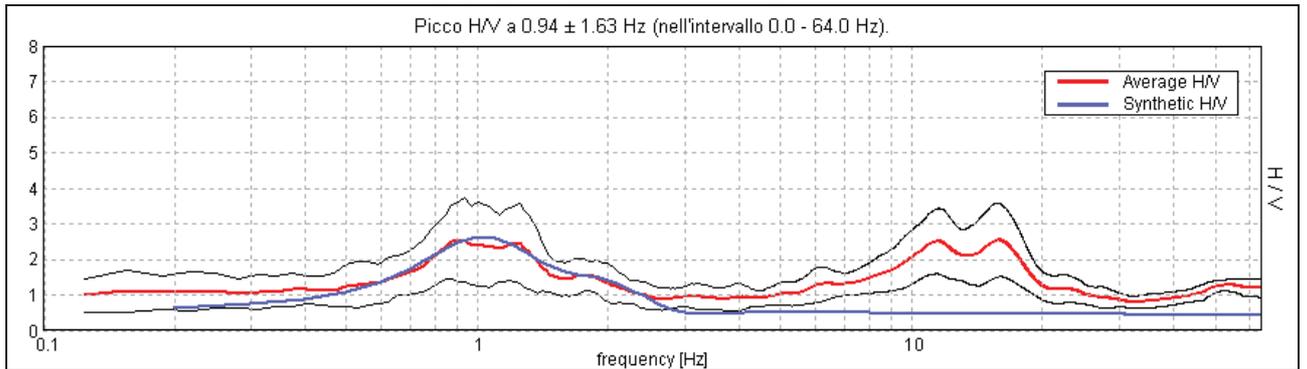
SERIE TEMPORALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

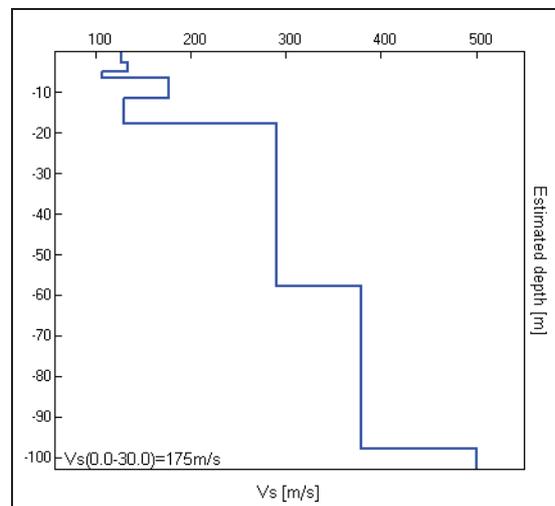


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.60	2.60	127	0.35
4.90	2.30	134	0.35
6.60	1.70	108	0.35
11.50	4.90	178	0.35
17.80	6.30	130	0.35
57.80	40.00	290	0.35
97.80	40.00	380	0.35
inf.	inf.	500	0.35

(modello ricavato da analisi congiunta hvsr e masw)



17. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

In base al presente documento non sussistono allo stato attuale rischi geologici o naturali che possano precludere al procedere del progetto edificatorio.

Per la CARATTERIZZAZIONE GEOLITOLOGICA E SISMICA DEL SITO, visto il tipo di opera prevista ed il volume significativo di terreno da essa coinvolto, *alla luce delle richieste di integrazioni espresse dalla Provincia di Ferrara il 15/05/2012*, è stato concordato con la Committenza di eseguire il seguente piano di indagine (comprendente sia le indagini già eseguite per la redazione della relazione geologica del 2010, sia le nuove indagini del 2012):

- n. 6 prove penetrometriche statiche (CPT1,...CPT6), spinte ad una profondità massima di m 15 da p.c attuale;
- n. 1 indagine Geofisica (Masw + Remi) per la caratterizzazione sismica su tutta l'area con misura delle Vs30
- n. 2 indagini tromografiche a stazione singola HVSR
- n. 6 sondaggi leggeri a m 4 di profondità
- n. 1 sondaggio a m 15 di profondità
- n. 1 prova dinamica a m 15 di profondità (utilizzata per taratura)
- n. 4 prelievi campioni (da p.c. sino a m 10)
- n. analisi di laboratorio geotecnico (granulometrie, limiti di Atterberg) per la verifica di liquefazione e della eventuale necessità di calcolo di cedimenti post sismici
- prelievo n. 5 campioni di terreno per la caratterizzazione granulometrica e la classificazione CNR-UNI per il dimensionamento del pacchetto stradale (relazione 2010)

Tali indagini sono state effettuate per caratterizzare al meglio il sito sia dal punto di vista geotecnico, sia dal punto di vista sismico, in particolare eseguendo le verifiche sul potenziale di liquefazione e sui cedimenti post sismici, come richiesto da una analisi di III° livello. Le prove penetrometriche hanno permesso di ricostruire gli andamenti latero-verticali dei vari orizzonti litologici (pressochè omogenei su tutto l'area indagata).

I sondaggi superficiali, ed in particolar modo il sondaggio profondo 2012, ha permesso di meglio determinare le litologie individuate nel modello geologico e di prelevare campioni di terreno su cui poi effettuare analisi di laboratorio (granulometrie, limiti), finalizzate alla verifica del potenziale di liquefazione e della verifica dei cedimenti post-sismici.

La falda superficiale, al momento dell'esecuzione della prova, stazionava mediamente a quota -2,50 m dap.c..

Le caratteristiche litologiche e geotecniche delle n. 6 prove penetrometriche eseguite, dei n.6 sondaggi superficiali e del n. 1 sondaggio profondo, sono riportate a pag. 14, 28 e negli allegati (relazione 2010).

Si noti che su tutto l'intervallo stratigrafico indagato (sino a m 15), preponderanti sono i sedimenti coesivi (argille inorganiche di media consistenza : R_p medio = 12 Kg/cmq) sin o a m 10, per poi passare a terreni coesivo-granulari (limi sabbioso-argillosi) con valori medi di R_p = 30 Kg/cmq.

Dal punto di vista sismico (NTC 2008, entrate in vigore nel 2010), in base a dati bibliografici ed indagini sismiche (Remi + Masw) eseguite nell'area della lottizzazione in progetto, il sito indagato è contraddistinto da suoli tipo al limite tra C e D.

La Masw eseguita nel 2010 (come altre prove da PSC) , indica valori di V_{s30} = 182 m/sec, ricadenti in suoli tipo C, mentre le indagini tromografiche eseguite nel 2012 (vedi pag. 40-52 del presente lavoro), indicano suoli tipo D (cautelativamente, ed alla luce di quanto preliminarmente registrato dopo gli eventi sismici del 20 e del 29/05/2012 nelle provincie di FE-MO-BO).

Sono stati eseguiti calcoli (sia tramite comparazione curve granulometriche-fusi di riferimento; sia tramite elaborazione prove penetrometriche e software specifici EPC + Geostru) in relazione all'Atto di indirizzo n. 112/2007 (allegato A3), per verificare:

- il potenziale di liquefazione – risultato rischio di liquefazione molto basso e con curve fuori fusi di riferimento ;
- cedimenti post-sismici – risultati non necessari da calcolare, in quanto non soddisfatte le condizioni ($c_u \leq 70\text{KPa}$ e $I_p \geq 30\%$), vedi pag.37-39.

Il progettista strutturista, che eseguirà la relazione geotecnica (come da NTC 2008), deve avvalersi della relazione geologica, in cui sono riportate le caratteristiche litologiche, geotecniche e sismiche del sito, per calcolare portanza e cedimenti associati all'intervento in oggetto.

Il modello geologico e geotecnico elaborato nella presente relazione è stato eseguito sulla base delle indagini geognostiche che si sono potute eseguire, in proporzione ed in relazione: alla disponibilità economica della committenza; al tipo di opera e/o intervento indicato dal Progettista; al volume significativo del terreno coinvolto da tale opera.

Qualora nella relazione geotecnica (da redigere a carico del Progettista) si accerti la necessità, in base ad un approccio prestazionale di progettazione (come indicato nelle NTC 2008), di approfondire e migliorare i dati geologici-geotecnici, si dovranno eseguire ulteriori indagini geognostiche integrative a quelle utilizzate per la redazione del presente documento; *(nuove indagini geognostiche e nuove relazioni geologiche e geotecniche sono obbligatorie per progettazioni specifiche sui singoli lotti).*

Si fa presente che allo stato attuale non si possono fare previsioni sul tipo di fondazioni che verranno eseguite sui singoli lotti.

In definitiva, considerando i fattori geoambientali (analizzati sia nella relazione del 2010), sia i fattori sismici (approfonditi in questa relazione integrativa) l'area può essere classificata come **IDONEA** all'urbanizzazione.

Argenta, il 09 Luglio 2012

Dr.Geol. Matteo Pollini



The image shows a handwritten signature in blue ink that reads "Matteo Pollini". To the right of the signature is a circular professional stamp. The stamp contains the following text: "REGIONE EMILIA ROMAGNA" around the top edge, "DOTT. MATTEO POLLINI" in the center, "Emilia-Romagna" below the name, "GEOLOGO" below that, "SEZA" below that, and "N. 1025 ALBO. P." at the bottom. There is a small graphic of a mountain peak inside the stamp.

ALLEGATI

ANALISI DI

LABORATORIO GEOTECNICO



LIMITI
Normativa di riferimento: CNR-UNI 10014 - BS1377

Certificato:	810 - 12,072 - 001
Verbale:	810
Committente:	Dott. Matteo Pollini
Località:	Argenta (FE)
Cantiere:	Via Canove
Sondaggio:	S1
Campione:	C1
Profondità:	1,00 - 1,50
Data ricevimento:	05/06/2012
Data inizio prove:	11/06/2012
Data fine prove:	12/06/2012
Data certificazione:	27/06/2012
Data apertura campione:	07/06/2012
Classe campione:	Q3
Numero colpi:	20
Massa tara (g):	70,58
Massa Campione umido + tara (g):	96,96
Massa Campione secco + tara (g):	89,36
Limite liquido (%):	39
Massa tara (g):	71,72
Massa Campione umido + tara (g):	77,39
Massa Campione secco + tara (g):	76,22
Limite Plastico (%):	26
Massa Campione umido + tara (g):	Provino1
Massa Campione secco + tara (g):	Provino2
Massa tara (g):	
Volume tara (cm ³):	
Volume mercurio (cm ³):	
Massa campione umido (g):	
Massa Campione secco (g):	
Limite di Ritiro (%):	
Media:	
Lunghezza iniziale (mm):	
Lunghezza finale (mm):	
Ritiro lineare (%):	


 Direttore


 Sperimentatore



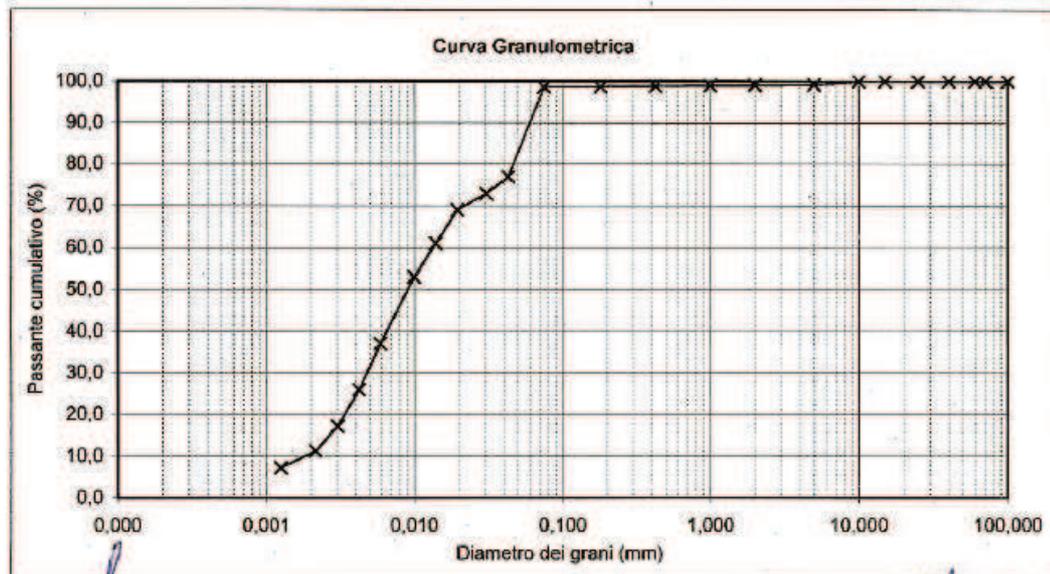
Analisi Granulometrica

Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-4 CNR UNI A. V n° 23

Certificato: 810 - 12.072 - 002
 Verbale: 810
 Committente: Dott. Matteo Pollini
 Località: Argenta (FE)
 Cantiere: Via Canove
Sondaggio: S1
Campione: C1
Profondità: 1,00 - 1,50
 Data ricevimento: 05/06/2012
 Data inizio prove: 11/06/2012
 Data fine prove: 21/06/2012
 Data certificazione: 27/06/2012
 Data apertura campione: 07/06/2012

SETACCIATURA			SEDIMENTAZIONE		
Crivelli/setacc (mm)	Peso (g)	Passante (%)	Diametri (mm)	Letture	Passante (%)
100	0	100,00	0,043	23	76,93
71	0	100,00	0,031	22	72,95
60	0	100,00	0,019	21	68,96
40	0	100,00	0,014	19	60,99
25	0	100,00	0,010	17	53,02
15	0	100,00	0,006	13	37,07
10	0	100,00	0,004	10,2	25,91
5	2,36	99,23	0,0030	8	17,14
2	0,4	99,10	0,0022	6,5	11,16
1	0,32	98,99	0,0013	5,5	7,18
0,425	0,41	98,86			
0,18	0,37	98,74			
0,075	0,31	98,64			

Granulometria A.G.I.	Ghiaia (%)	0,90	Sabbia (%)	10,63	Limo (%)	77,99	Argilla (%)	10,48
-----------------------------	------------	------	------------	-------	----------	-------	-------------	-------



Direttore

Spesimentatore



LIMITI
Normativa di riferimento: CNR-UNI 10014 - BS1377

Certificato: 810 - 12,072 - 003
Verbale: 810
Committente: Dott. Matteo Pollini
Località: Argenta (FE)
Cantiere: Via Canove
Sondaggio: S1
Campione: C2
Profondità: 3,00 - 4,00
Data ricevimento: 05/06/2012
Data inizio prove: 11/06/2012
Data fine prove: 12/06/2012
Data certificazione: 27/06/2012
Data apertura campione: 07/06/2012
Classe campione: Q3

Numero colpi: 26
Massa tara (g): 71,74
Massa Campione umido + tara (g): 105,39
Massa Campione secco + tara (g): 95,1
Limite liquido (%): 44

Massa tara (g): 71,88
Massa Campione umido + tara (g): 77,93
Massa Campione secco + tara (g): 76,80
Limite Plastico (%): 23

	Provino1	Provino2
Massa Campione umido + tara (g):		
Massa Campione secco + tara (g):		
Massa tara (g):		
Volume tara (cm ³):		
Volume mercurio (cm ³):		
Massa campione umido (g):		
Massa campione secco (g):		
Limite di Ritiro (%):		
Media:		

Lunghezza iniziale (mm):
Lunghezza finale (mm):
Ritiro lineare (%):

Direttore

Spesimentatore



LIMITI
Normativa di riferimento: CNR-UNI 10014 - BS1377

Certificato: 810 - 12-072 - 004
Verbale: 810
Committente: Dott. Matteo Pollini
Località: Argenta (FE)
Cantiere: Via Canove
Sondaggio: S1
Campione: C3
Profondità: 6,00 - 7,00
Data ricevimento: 05/06/2012
Data inizio prove: 11/06/2012
Data fine prove: 12/06/2012
Data certificazione: 27/06/2012
Data apertura campione: 07/06/2012
Classe campione: Q3

Numero colpi: 34
Massa tara (g): 71,1
Massa Campione umido + tara (g): 95,33
Massa Campione secco + tara (g): 88,09
Limite liquido (%): 44

Massa tara (g): 72,10
Massa Campione umido + tara (g): 81,64
Massa Campione secco + tara (g): 79,74
Limite Plastico (%): 25

	Provino1	Provino2
Massa Campione umido + tara (g):		
Massa Campione secco + tara (g):		
Massa tara (g):		
Volume tara (cm ³):		
Volume mercurio (cm ³):		
Massa campione umido (g):		
Massa Campione secco (g):		
Limite di Ritiro (%):		
Media:		

Lunghezza iniziale (mm):
Lunghezza finale (mm):
Ritiro lineare (%):

Direttore

Spesimentatore



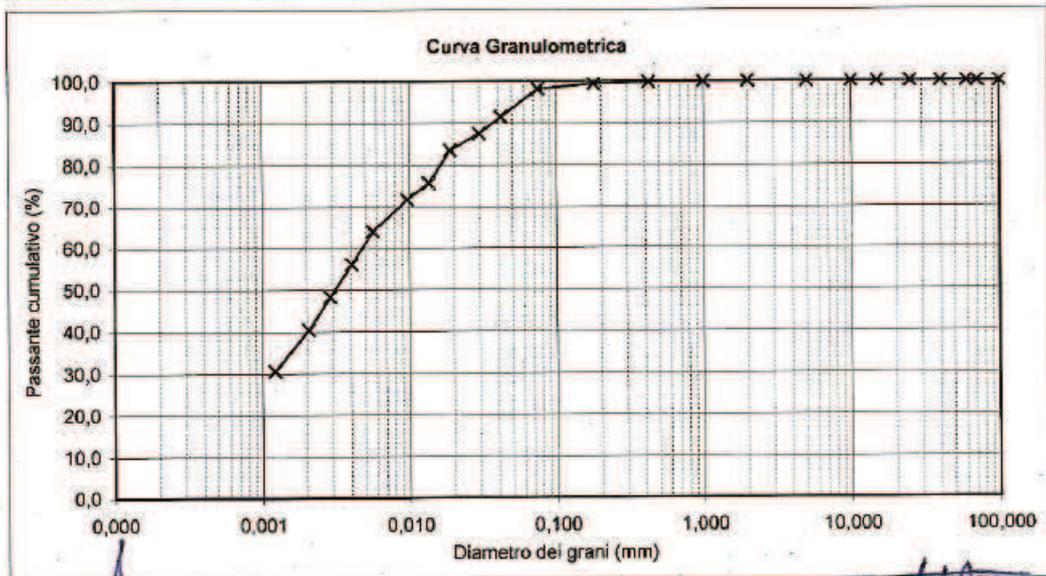
Analisi Granulometrica

Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-4 CNR UNI A. V n° 23

Certificato: 810 - 12,072 - 005
 Verbale: 810
 Committente: Dott. Matteo Pollini
 Località: Argenta (FE)
 Cantiere: Via Canove
 Sondaggio: S1
 Campione: C3
 Profondità: 6,00 - 7,00
 Data ricevimento: 05/06/2012
 Data inizio prove: 11/06/2012
 Data fine prove: 21/06/2012
 Data certificazione: 27/06/2012
 Data apertura campione: 07/06/2012

SETACCIATURA			SEDIMENTAZIONE		
Massa Campione (g)	302,14		Massa Campione (g)	40,67	
Crivelli/setacc (mm)	Peso (g)	Passante (%)	Diametri (mm)	Lecture	Passante (%)
100	0	100,00	0,042	27	91,41
71	0	100,00	0,030	26	87,49
60	0	100,00	0,019	25	83,57
40	0	100,00	0,014	23	75,72
25	0	100,00	0,010	22	71,80
15	0	100,00	0,006	20	63,95
10	0	100,00	0,004	18	56,10
5	0	100,00	0,0029	16	48,26
2	0,1	99,97	0,0021	14	40,41
1	0,23	99,89	0,0012	11,5	30,60
0,425	0,43	99,75			
0,18	1,37	99,30			
0,075	3,56	98,12			

Granulometria A.G.I.	Ghiaia (%)	0,03	Sabbia (%)	4,89	Limo (%)	55,46	Argilla (%)	39,62
-----------------------------	------------	------	------------	------	----------	-------	-------------	-------



Direttore

Spettinatore



GEOTECHA s.r.l.

Laboratorio Geotecnico
Accreditato presso Ministero Lavori Pubblici

LIMITI

Normativa di riferimento: CNR-UNI 10014 - BS1377

Certificato: 810 - 12,072 - 006
Verbale: 810
Committente: Dott. Matteo Pollini
Località: Argenta (FE)
Cantiere: Via Canove
Sondaggio: S1
Campione: C4
Profondità: 8,00 - 10,00
Data ricevimento: 05/06/2012
Data inizio prove: 11/06/2012
Data fine prove: 12/06/2012
Data certificazione: 27/06/2012
Data apertura campione: 07/06/2012
Classe campione: Q3

Numero colpi: 29
Massa tara (g): 71,68
Massa Campione umido + tara (g): 97,4
Massa Campione secco + tara (g): 89,61
Limite liquido (%): 44

Massa tara (g): 71,98
Massa Campione umido + tara (g): 80,38
Massa Campione secco + tara (g): 78,74
Limite Plastico (%): 24

	Provino1	Provino2
Massa Campione umido + tara (g):		
Massa Campione secco + tara (g):		
Massa tara (g):		
Volume tara (cm ³):		
Volume mercurio (cm ³):		
Massa campione umido (g):		
Massa Campione secco (g):		
Limite di Ritiro (%):		
Media:		

Lunghezza iniziale (mm):
Lunghezza finale (mm):
Ritiro lineare (%):

Direttore

Spesmentatore