

PROVINCIA DI FERRARA



COMUNE DI BONDENO

Committente: Comune di Bondeno

Ubicazione: Complesso Sportivo Comunale
Via Napoleonica, Bondeno (FE)

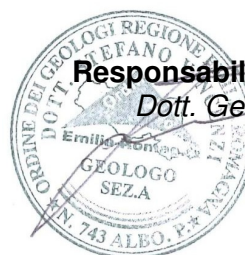
RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA E CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

Realizzazione struttura ad uso palestra

Revisione n. 00	Novembre 2012
Tavole	2
Allegati	2



di Elena Ghetti & C. S.n.c.
Sede legale: via Pironi, 68 - 44012 Bondeno (Ferrara)
Tel/Fax 0532.898245 e-mail: consulenze@gaia-ambiente.eu



Responsabile della consulenza
Dott. Geol. Stefano Vincenzi

Collaboratori
Dott. Elena Ghetti

- Consulenze geologiche
- Consulenze geotecniche
- Consulenze ambientali
- Informatizzazione cartografica
- Realizzazione banche dati per la gestione territoriale
- Pratiche pozzi
- Valutazione impatto ambientale

Elaborazione dati e grafica
Dott. Geol. Silvia Tamburini
Dott. Alice Bertelli
Dott. Manuela Gardelli

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	3
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
4	INQUADRAMENTO PROGRAMMATICO.....	5
4.1	PIANO TERRITORIALE PAESISTICO REGIONALE (P.T.P.R.)	5
4.2	PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE (P.T.A.)	6
4.3	PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (P.T.C.P.)	7
4.4	PIANO STRUTTURALE COMUNALE (P.S.C.)	7
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	8
6	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	12
7	PIANO DELLE INDAGINI IN SITO CONSIDERATE	14
8	PROCEDURE DI RIFERIMENTO SUI DATI ACQUISITI	15
9	ELABORAZIONE DEI DATI.....	16
10	INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA.....	17
11	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	18
12	DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE FONDALI	19
13	PRINCIPI DELLE NTC 08.....	20
14	STIMA DELLA CAPACITA' PORTANTE IN CONDIZIONI STATICHE	22
14.1	RESISTENZA DEL SISTEMA GEOTECNICO RD	22
14.2	CALCOLO DELLA RESISTENZA DEL SISTEMA GEOTECNICO	23
15	CONSIDERAZIONI SUI CEDIMENTI IN CONDIZIONI STATICHE	25
16	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	26
16.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO.....	26
16.2	PARAMETRI SISMICI E SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI AI SENSI DELLE NTC 08	28
16.3	SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO DA DEL. REG. 112/07	32
17	CAPACITA' PORTANTE IN CONDIZIONI PSEUDO-STATICHE.....	33
18	ANALISI DEL RISCHIO ALLA LIQUEFAZIONE.....	35
18.1	PROCEDURA DI CALCOLO DEL FATTORE DI SICUREZZA A LIQUEFAZIONE	35
18.2	RISULTATI VERIFICA LIQUEFAZIONE	37
19	CEDIMENTI POST-SISMICI	39
19.1	PROCEDURA PER TERRENI COESIVI	39
19.1.1	Ipotesi sui parametri di calcolo da utilizzare.....	40
19.2	PROCEDURA PER TERRENI GRANULARI SATURI	41
19.3	CEDIMENTO POST-SISMICO TOTALE.....	42
20	CONCLUSIONI.....	44

1 PREMESSA

Su incarico del Comune di Bondeno è stata redatta la presente relazione geologica, geotecnica e sismica, al fine di valutare l'idoneità dei terreni alla realizzazione di un fabbricato ad uso palestra e situato nel comune di Bondeno (FE).

Lo studio prevede la creazione di un modello geologico-geotecnico del terreno sede dell'intervento, i relativi calcoli per le verifiche di stabilità e le valutazioni del margine di sicurezza nei riguardi delle situazioni limite; queste ultime si possono manifestare sia nelle fasi transitorie di costruzione sia nella fase definitiva per l'insieme manufatto-terreno. Infine verranno determinati i principali parametri di classificazione sismica, richiesti dalla normativa vigente

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Legge n. 109 del 11 febbraio 1994, art.16 comma 3 e 4, e ss.mm. ii.

A.G.I. "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini" (Giugno 1977)

UNI EN 1991 (Eurocodice 1): "Basi di calcolo e azioni sulle strutture"

UNI EN 1997 (Eurocodice 7): "Progettazione geotecnica"

UNI EN 1998 (Eurocodice 8): "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica"

OPCM 3274/2003 e OPCM 3519/2006

D.M. del 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni"

Circolare Cons. Sup. LL. PP. N°17 del 02.02.09: "Istruzioni per l'applicazione delle NT di cui al D.M 14.01.08"

D. Reg. 112/07 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"

Linee Guida NTC08 redatto da Gruppo Interregionale Ordine dei Geologi, Luglio 2010

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di indagine è situata nel comune di Bondeno (FE), all'interno del complesso sportivo di via Napoleonica, ed è censita al Catasto comunale al Foglio 149, mappale 1390.

In **Figura 3.1** si riporta un'immagine satellitare che individua l'area di indagine, mentre in **Tavola 1** si riporta uno stralcio di planimetria catastale indicante l'area di intervento con ubicazione delle indagini geognostiche prese in considerazione.



Figura 3.1. Immagine satellitare della zona di studio (fonte: Google Earth)

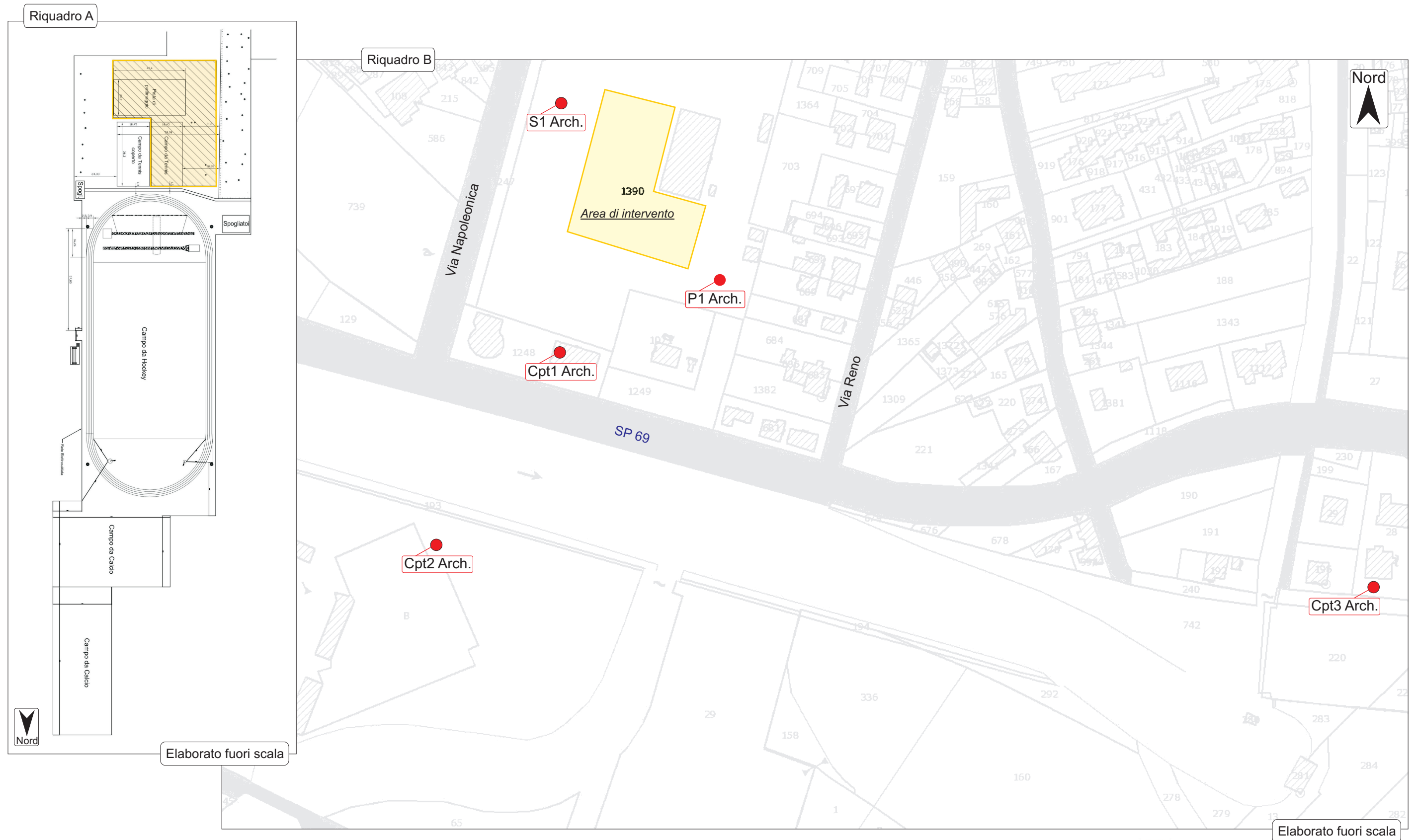


Tavola 1 - Riquadro A - Stralcio di planimetria dell'area di di studio con ubicazione del settore di intervento indicato in giallo;
Riquadro B - Estratto di planimetria catastale comunale con individuazione dell'area di intervento, censita al Foglio 149, particella 1390 (in giallo) ed ubicazione delle indagini geognostiche CPT considerate (fonte cartografica: Carta Geografica Unica Provinciale).



4 INQUADRAMENTO PROGRAMMATICO

L'inquadrimento generale dell'area è stato effettuato mediante consultazione degli elaborati relativi a: Piano Territoriale Paesistico Regionale (P.T.P.R.) e Piano di Tutela delle Acque (P.T.A.) della Regione Emilia Romagna, Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della provincia di Ferrara e Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) associato del comune di Bondeno vigenti.

4.1 PIANO TERRITORIALE PAESISTICO REGIONALE (P.T.P.R.)

La cartografia del P.T.P.R., ed in specifico la "TAV.1 di zonizzazione", non è al momento direttamente consultabile dal web in quanto la banca dati è tuttora in via di configurazione e aggiornamento per effetto dell'approvazione di diversi P.T.C.P. e di modifiche grafiche di iniziativa comunali. Secondo la cartografia di piano approvata nel 1993, la zona di studio (come l'intero comune di Bondeno) ricade nell' Unità di Paesaggio n. 5 denominata "Bonifiche estensi" (<http://territorio.regione.emilia-romagna.it/paesaggio/piano-territoriale-paesaggistico-regionale/strumenti-di-gestione-del-piano/unita-di-paesaggio>).

In **Figura 4.1** si riportano gli elementi fisici, biologici ed antropici caratterizzanti la suddetta unità ed i vincoli generalmente esistenti per tale tipologia paesistica.

Vincoli esistenti	<ul style="list-style-type: none"> • Vincolo paesistico • Vincolo militare • Zone umide • Oasi di protezione della fauna 	
Componenti del paesaggio ed elementi caratterizzanti	Elementi fisici	<ul style="list-style-type: none"> • Parte più antica del Delta del Po • Piano di divagazione a paleovalvei del Po fra cui si inseriscono depressioni bonificate dal medioevo al rinascimento • Dossi di pianura
	Elementi biologici	<ul style="list-style-type: none"> • Fauna della pianura prevalentemente nei coltivi alternati a scarsi incolti • Lungo l'asta fluviale del Po è presente la fauna degli ambienti umidi, palustri e fluviali
	Elementi antropici	<ul style="list-style-type: none"> • Chiaviche, botti e manufatti storici • Presenza di colture a frutteto sui terreni a bonifica e di colture da legno: pioppeti • Insediamenti di dosso che si sviluppano prevalentemente sulle direttrici Bondeno - Ferrara - Consandolo e Ferrara - Migliaro

Figura 4.1. Caratteristiche e vincoli Unità di Paesaggio n. 5 "Bonifiche Estensi" da P.T.P.R. Emilia Romagna

La zona di studio, in base ai dati e alle cartografie a disposizione, non risulta soggetta ad alcun vincolo. Si fa presente però come l'area di studio risulti ubicata tra "fasce" identificate

come SIC-ZPS e coincidenti con l'alveo del Panaro a ovest, il letto del Canale Emissario a sud ed il letto del Cavo Napoleonico a est, tutte appartenenti alla SIC-ZPS IT4060016 "Fiume Po da Stellata a Mesola e Cavo Napoleonico" (dal sito web Rete Natura 2000 <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/parchi-natura2000/sistema-regionale/cartografia-interattiva>).

4.2 PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE (P.T.A.)

Il Piano di Tutela delle Acque (P.T.A.) della Regione Emilia-Romagna prevede che le zone di protezione per la risorsa idrica sotterranea comprendano i seguenti elementi: aree di ricarica, emergenze naturali della falda ed aree di riserva.

In **Figura 4.2**, si riporta uno stralcio della "Tavola delle zone di protezione", in cui si nota come l'area di studio non rientri nei siti tutelati e vincolati dal suddetto piano.

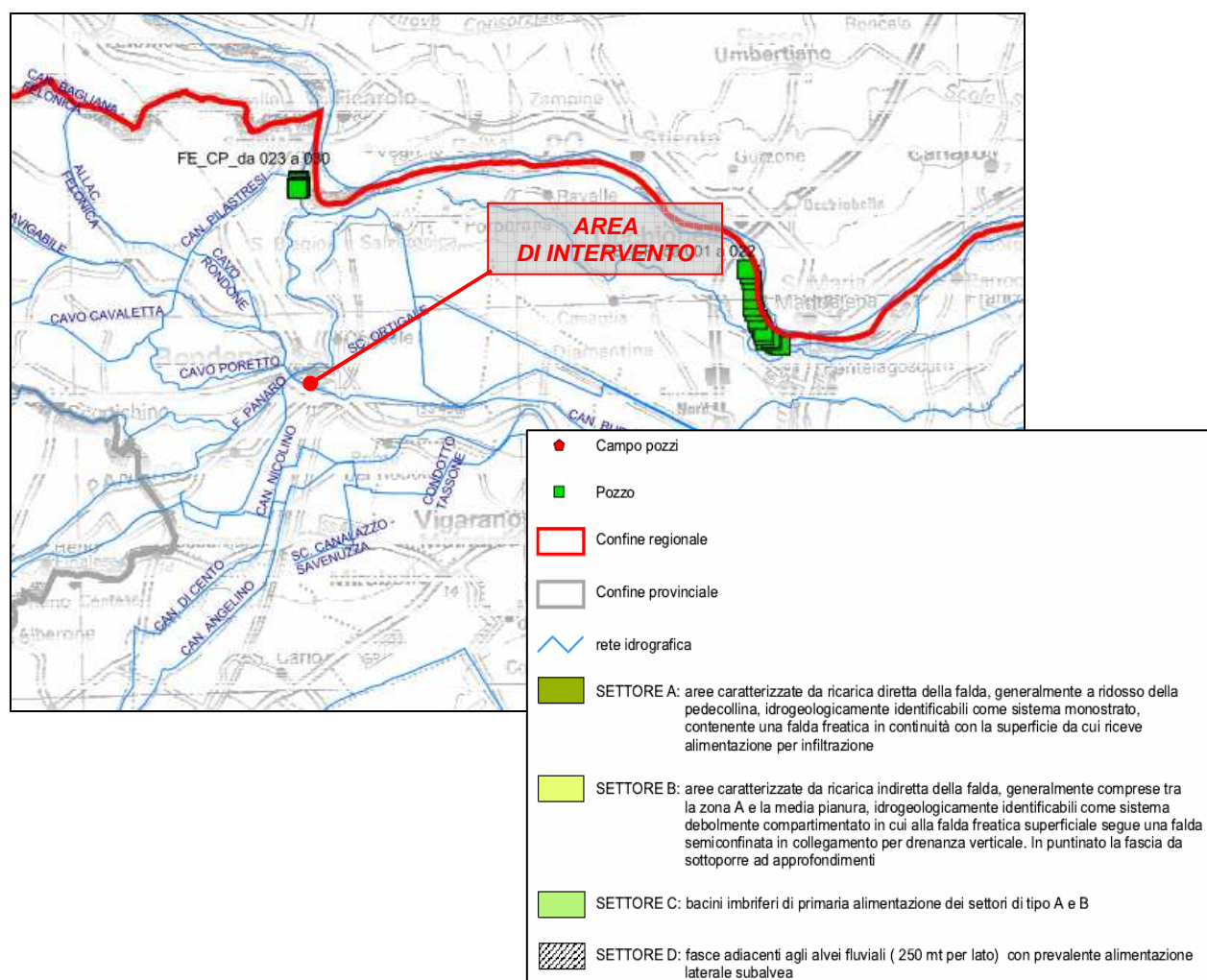


Figura 4.2. Estratto cartografia P.T.A. della Regione Emilia-Romagna, Tavola 1, con indicazione dell'area di intervento

4.3 PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (P.T.C.P.)

Un'analisi più dettagliata eseguita per mezzo del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) della Provincia di Ferrara, mostra come il sito in oggetto risulti compreso all'interno dell'Unità di Paesaggio di rango provinciale n. 1 "dei Serragli".

In **Figura 4.3**, si riporta uno stralcio della Tavola 5.2 – Il Sistema Ambientale: l'area di studio ricade all'interno dell'area denominata "Dossi o dune di rilevanza idrogeologica" disciplinata dall' Art. 20b delle NTA.

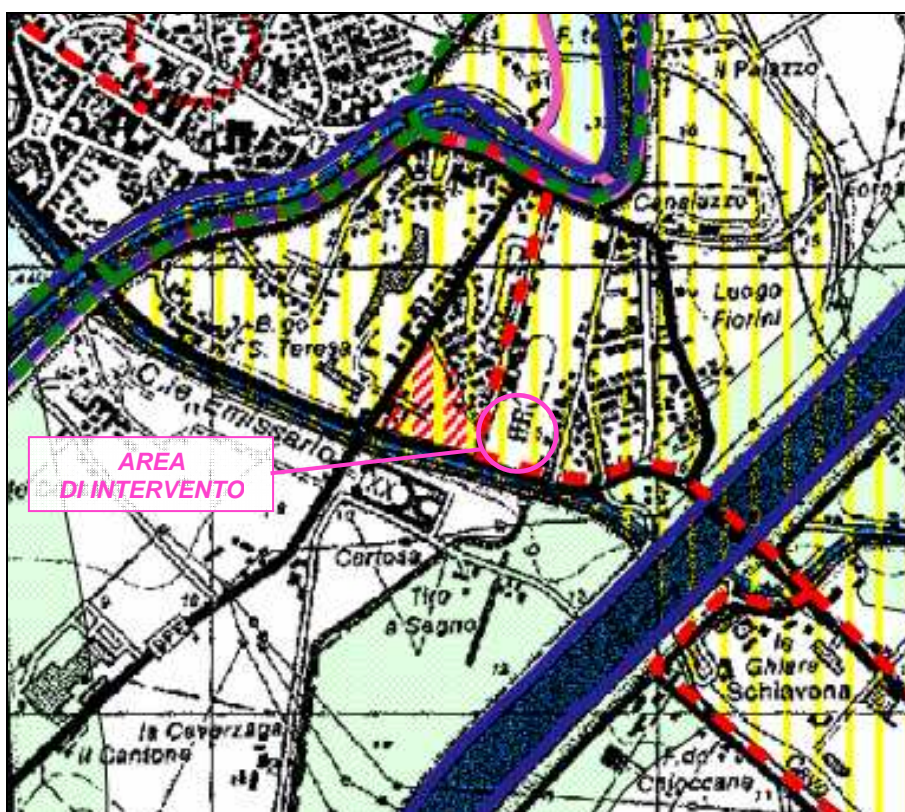


Figura 4.3. Estratto Tavola 5.2 del P.T.C.P. della Provincia di Ferrara, con indicazione dell'area di intervento

4.4 PIANO STRUTTURALE COMUNALE (P.S.C.)

Secondo il vigente Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) associato del Comune di Bondeno, Dal punto di vista del sistema ambientale, la zona è compresa nell'Unità di Paesaggio "delle aree agricole e delle golene attive", ma come indicato in **Figura 4.4** non ricade in alcuna area di tutela sottoposta a vincoli particolari.

Inoltre la zona risulta interna all'area tampone istituita a protezione del sito UNESCO denominato "Ferrara città del Rinascimento e il suo Delta del Po" (http://www.unesco.beniculturali.it/mbac/vis_sk_localizzazione.php).

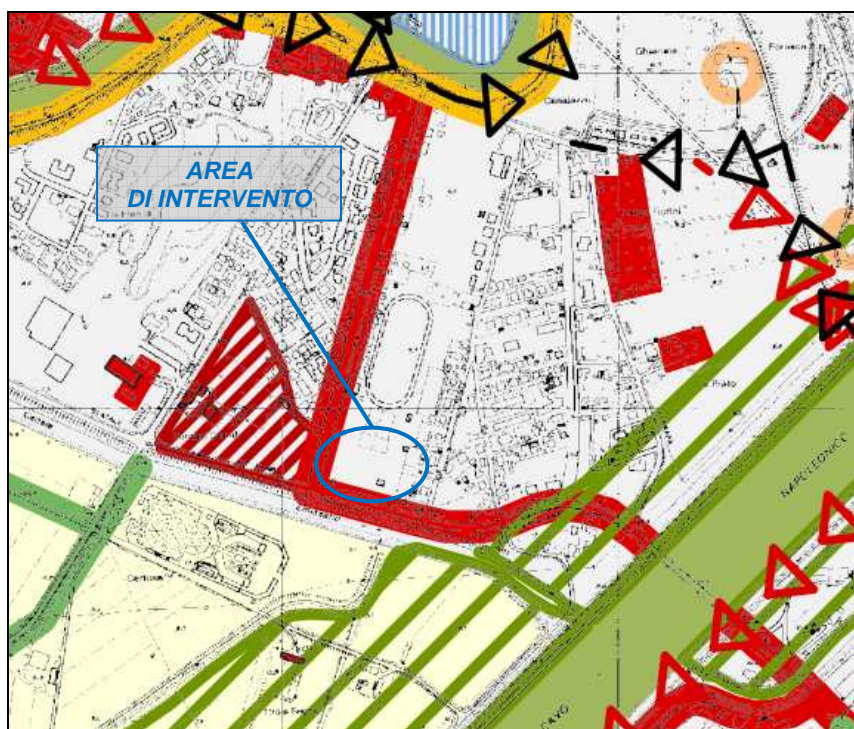


Figura 4.4. Estratto cartografia P.S.C. associato del Comune di Bondeno, Tavola C1.2.0 A – Sintesi ambientale – Bondeno, con indicazione dell'area di intervento.

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il contesto geologico in cui si inserisce l'area in esame è stato definito mediante consultazione di cartografia esistente. Tale operazione ha avuto l'intento di ricostruire, a livello generale, la disposizione delle coperture quaternarie presenti nell'area di intervento, per disporre di preliminari informazioni sulla probabile natura tessiturale dei terreni superficiali.

In generale l'assetto geologico dell'Emilia-Romagna è il risultato dei movimenti crostali che, a partire dal Terziario, hanno coinvolto due placche continentali: il blocco sardo-corso da una parte e la microplacca Padano-Adriatica dall'altra. Questo movimento ha condotto all'orogenesi dell'Appennino Settentrionale, avvenuta nel Terziario, e alla successiva formazione dell'avanfossa padana, chiusa a nord dalla catena alpina meridionale (Sudalpino), già sollevatasi a partire dall'era Mesozoica.

Il progressivo riempimento del bacino marino, fino alle condizioni di continentalità, avviene attraverso eventi tettonico-sedimentari separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale. Queste alternanze di eventi è testimoniato da numerose superfici di discontinuità stratigrafica che "marcano" le diverse fasi ed affiorano sul margine appenninico.

La fase deposizionale di riferimento è rappresentata dal **Supersistema Emiliano – Romagnolo**, o Allogruppo Emiliano-Romagnolo, che viene descritta come *“Depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini organizzati in successioni cicliche di vario ordine gerarchico. Comprende due alloformazioni (Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore e Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore). Spessore massimo: ~ 700 m. Età: ~ 700.000 a – Attuale.*

La sua componente più recente (**Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore**) è caratterizzata da *“Depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini organizzati in successioni cicliche di alcune decine di metri di spessore. Limite superiore coincidente col piano topografico”. Spessore massimo: ~ 300 m. Età: ~ 400.000 a – Attuale*

La parte sommitale dell'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore è denominata **Allomembro (o Subsistema) di Ravenna (AES8)** e comprende *“Unità costituita da ghiaie sabbiose, sabbie e limi ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, in contesti di conoide alluvionale, canale fluviale e piana alluvionale intravalliva; da limi, limi sabbiosi e limi argillosi, in contesti di piana inondabile; da alternanze di sabbie, limi ed argille, in contesti di piana deltizia; da sabbie prevalenti passanti ad argille e limi e localmente a sabbie ghiaiose, in contesti di piana litorale. Al tetto l'unità presenta spesso un suolo parzialmente decarbonatato non molto sviluppato di colore giallo-bruno”. Spessore massimo: ~ 30 m. Età: ~ 9.000 a – Attuale*

La porzione sommitale dell'Allomembro di Ravenna è denominata **Unità di Modena (AES8a)**, così definita: *“Unità costituita da ghiaie e ghiaie sabbiose o da sabbie con livelli e lenti di ghiaie ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, in contesti di conoide alluvionale, canale fluviale e piana alluvionale intravalliva; da argille e limi, in contesti di piana inondabile; da alternanze di sabbie, limi ed argille, in contesti di piana deltizia; da sabbie prevalenti passanti ad argille e limi e localmente a sabbie ghiaiose, in contesti di piana litorale. Al tetto l'unità presenta localmente un suolo calcareo poco sviluppato di colore grigio-giallastro”. Spessore massimo: ~ 5,5 m. Età: Post-Romana (IV- VI sec. d.C. – Attuale).*

La documentazione cartografica consultata nello specifico è la Carta Geologica di Pianura della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000, di cui si riporta uno stralcio in **Figura 5.1**.

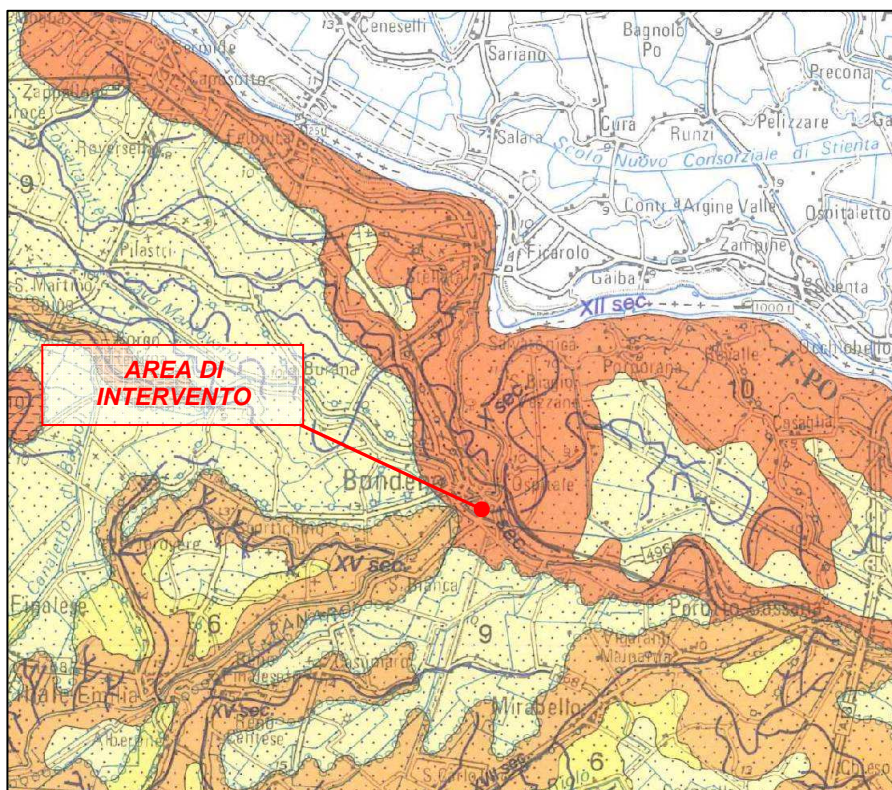


Figura 5.1. Estratto di carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna indicante le formazioni presenti in corrispondenza e prossimità dell'area di intervento

Come mostrato, il lotto oggetto di caratterizzazione si colloca in corrispondenza di depositi tipici di piana a meandri (litotipo 10) caratterizzati da sabbie medie e grossolane, subordinatamente da ghiaie e ghiaie sabbiose, limi e limi sabbiosi in strati di spessore decimetrico.

Dal punto di vista strutturale è possibile dedurre la presenza di alcuni elementi tettonici sepolti. Allo stato di avanzamento attuale, l'informatizzazione della Carta Geologica Regionale di maggior dettaglio (scala 1:10.000) non interessa ancora il settore di intervento (fermandosi poco a sud, all'altezza di Sant' Agostino).

In **Figura 5.2** si riporta uno stralcio della Carta Geologica Regionale (scala 1:50.000), nella quale è evidenziata la presenza, sepolte nel substrato roccioso, di faglie indicate come "Faglia profonda diretta dedotta" con direzione prevalente O-E e di un sovrascorrimento indicato come "Sovrascorrimento profondo post-tortoniano dedotto".

Si precisa come la posizione degli elementi tettonici "dedotta", ovvero derivata generalmente da risultati di prospezioni sismiche a riflessione e dall'interpolazione di stratigrafie di perforazioni profonde (pozzi Agip).

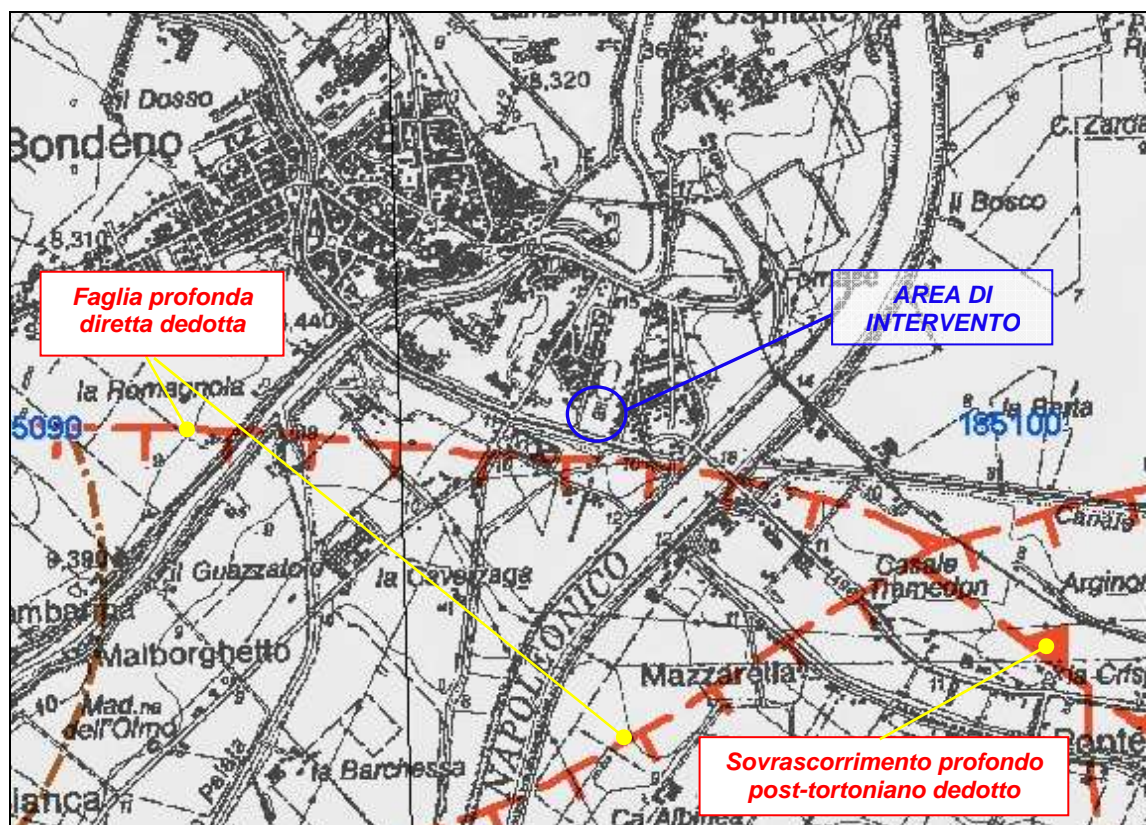
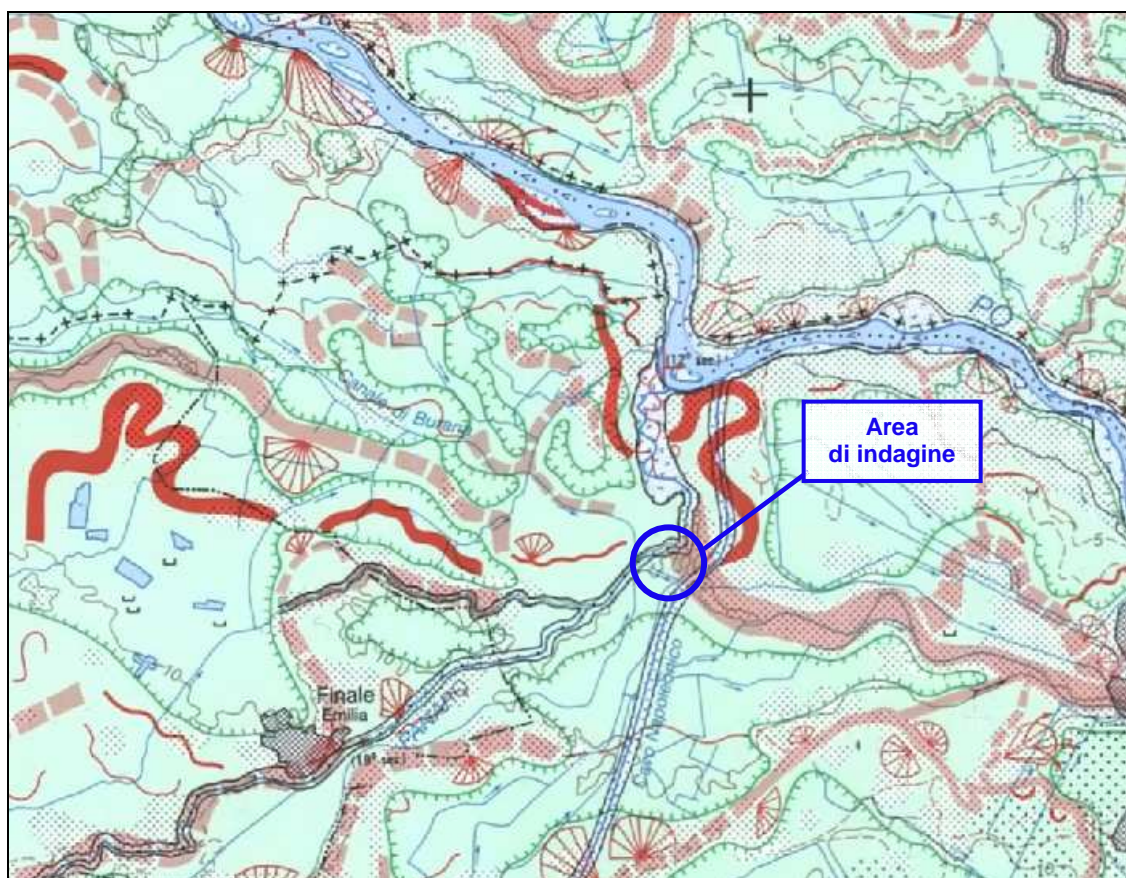


Figura 5.2. Estratto di Carta Geologica interattiva della Regione Emilia Romagna - elementi strutturali

6 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il contesto geomorfologico in cui si inserisce l'area di intervento è stato definito dalla consultazione di cartografica esistente al fine di ricostruire a livello generale la disposizione degli elementi geomorfologici maggiormente rilevanti in modo da ricavare preliminari informazioni sulle caratteristiche tessiturali dei terreni.

Per l'inquadramento geomorfologico generale è stata consultata la Carta Geomorfologica della Pianura Padana scala 1:250.000 (AA. VV.), di cui si riporta uno stralcio comprendente l'area di studio in **Figura 6.1**.



*Figura 6.1. Estratto cartografico relativo alla Carta Geomorfologica della Pianura Padana.
Nel cerchio blu l'area di intervento*

Come si può notare il settore in cui si colloca l'area di indagine è fortemente caratterizzato dalla presenza di diversi elementi morfologici, tipici della pianura alluvionale. In primo luogo i paleoalvei e i dossi fluviali, più o meno pronunciati, largamente diffusi, a testimoniare la dinamica fluviale storica del Po (tracciati con direzione prevalente ONO-ESE) e dei suoi affluenti di provenienza appenninica (Panaro e Reno), con andamento medio SSO-NNE.

Questa porzione di territorio si caratterizza inoltre per la presenza di diverse aree depresse, più o meno ampie, racchiuse generalmente dai dossi fluviali citati. Tali depressioni morfologiche, caratterizzate da bassa energia deposizionale, hanno comportato nel tempo la formazione di sequenze sedimentarie di tessitura argillosa talora organica, che lateralmente, in direzione dei paleoalvei, assume carattere gradualmente limo-sabbioso. Infine è possibile distinguere diversi ventagli di esondazioni, formatesi in occasione di rotte fluviali, associati ai tracciati storici o attuali dei corsi d'acqua citati.

La zona di interesse, nell'inquadramento a grande scala proposto, si colloca nelle immediate vicinanze di un dosso fluviale di notevoli dimensioni che separa due aree morfologicamente depresse piuttosto estese, ubicate a nord-est e a sud.

Nel dettaglio dell'area di intervento si riporta in **Figura 6.2** un estratto di Tavola B2.1 – Carta Geomorfologica (scala 1:40.000), riferita al Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) elaborato in forma associata, con riferimento all'area di indagine.

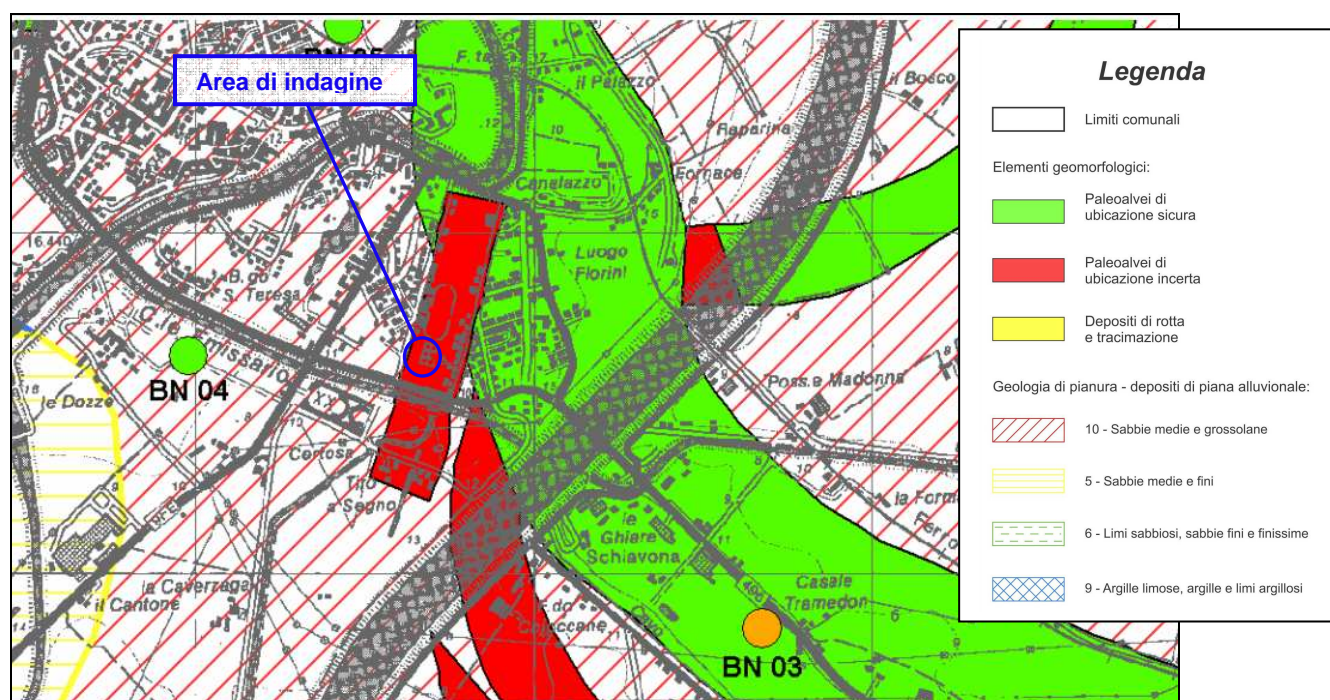


Figura 6.2. Estratto cartografico relativo alla Carta Geomorfologica del Comune di Bondeno con individuazione dell'area di indagine

L'elaborato mostra come questo settore sia interessato da elementi geomorfologici fortemente rilevanti, legati principalmente alla morfologia fluviale dei Fiumi Po e Panaro, aventi decorso rispettivamente nel settore settentrionale ed occidentale rispetto l'area di intervento. Quest'ultima risulta in particolare ubicata in corrispondenza di un paleoalveo di ubicazione incerta con decorso medio SO-NE. A est dell'area è ben visibile un altro paleoalveo ad ubicazione sicura e di notevole estensione.

In riferimento alla litologia di superficie, nell'area di intervento sono presenti depositi principalmente caratterizzati da sabbie medie e grossolane passanti nel settore occidentale a sabbie medie e fini.

7 PIANO DELLE INDAGINI IN SITO CONSIDERATE

Per la caratterizzazione della zona in oggetto sono state prese in esame ed in parte rielaborate le seguenti indagini effettuate nelle vicinanze della zona di studio, provenienti sia dall'archivio dello scrivente, sia dal database online della Regione Emilia Romagna, ubicate come in **Tavola 1** e indicate come segue:

- ☒ n°2 prove penetrometriche statiche CPT dall'archivio dello scrivente, spinte alle profondità di 10,0 m (**CPT 1 arch**) e 30,0 m (**CPT 3 arch**) dal piano campagna locale
- ☒ n°1 prova penetrometrica statica CPT dalla banca dati regionale (185100C004), spinta alla profondità di 12,0 m (**CPT 2 arch**) dal piano campagna locale
- ☒ n°1 pozzo dalla banca dati regionale (185100P602) che raggiunge la profondità di 36,0 m da piano campagna locale (**P1 arch**)
- ☒ n°1 sondaggio dalla banca dati regionale (185100P4 07) che raggiunge la profondità di 10,0 m da piano campagna locale (**S1 arch**)

Tutte le prove CPT sono state utilizzate per la ricostruzione del modello stratigrafico del sottosuolo e per la definizione della categoria di sottosuolo. Le restanti indagini sono state esaminate per avere maggiori informazioni sulla continuità orizzontale litologica e meccanica e per ricostruire il modello stratigrafico almeno fino ai 30 m di profondità. Dalla prova penetrometrica presa in esame dall'archivio dello scrivente e ubicata nelle immediate vicinanze dell'area di intervento (CPT 1 arch) sono state ricavate le informazioni utili alla caratterizzazione geotecnica del terreno di fondazione oltre, naturalmente, alla verifica a liquefazione.

8 PROCEDURE DI RIFERIMENTO SUI DATI ACQUISITI

Le prove penetrometriche statiche prese in esame dall'archivio dello scrivente, sono state eseguite mediante penetrometro meccanico con punta standard meccanica tipo Begemann, in accordo con la procedura di riferimento ISSMFE (codice RM) con attrezzatura di spinta ancorata da 20 ton. I vari parametri di prova sono ottenuti mediante le seguenti relazioni energetiche:

Resistenza alla punta	$q_c = R_p = Q_c/A_c$
Resistenza unitaria di attrito laterale locale	$f_s = RI = Q_s/A_s$
Rapporto della resistenza (Friction Ratio)	$Rf(\%) = 100 f_s/q_c *$
Indice delle resistenze (Friction Index)	$q_c/f_s *$

*(R_p , R_f misurate alla stessa profondità)

dove:

R_p = forza assiale agente sul cono

RI = forza di attrito per infiggere il manicotto

A_c = area di base del cono

A_s = superficie laterale del manicotto

La prova penetrometrica statica in generale trova applicazione per:

- rilevare l'andamento stratigrafico lungo la verticale
- individuare i tipi di terreno attraversati
- interpolare l'andamento degli strati fra verticali di sondaggio
- misurare la pressione interstiziale (solo CPTU)

I parametri desunti possono essere utilizzati con affidabilità per valutare:

- l'angolo di attrito e la compressibilità drenata dei terreni granulari
- la resistenza al taglio non drenata dei terreni coesivi.

Meno attendibile risulta la valutazione dei parametri di compressibilità drenata e non dei terreni coesivi. Da notare che la procedura di riferimento indica l'espressione di q_c e f_s in Pa, kPa o MPa; per una migliore comprensione dei dati si è preferito esprimere i parametri anche in kg/cm^2 .

9 ELABORAZIONE DEI DATI

Nelle tabelle e diagrammi allegati sono riportati tutti i parametri geotecnici elaborati dai dati ottenuti dalle prove CPT. In particolare, nei diagrammi sono graficati i valori di resistenza alla punta R_p e resistenza laterale locale R_f , rilevati ad ogni 20 cm. Questi valori sono stati ricavati moltiplicando la lettura alla punta o laterale per la costante di trasformazione C_t , la quale è legata alle caratteristiche tecniche del penetrometro impiegato.

La diretta correlazione tra il rapporto $F = R_p/R_f$ e la granulometria dei terreni attraversati (secondo Begemann, 1965 e secondo Schmertmann; Raccomandazioni A.G.I. 1977), rende possibile caratterizzare la natura dei terreni differenziandoli rispettivamente in torbe e argille organiche, limi e argille, limi sabbiosi e sabbie limose e sabbie e sabbie con ghiaia.

Negli allegati vengono riportati i seguenti parametri:

- valutazione litologica secondo Schmertmann ottenuta in base all'analisi dei valori di R_p e del rapporto R_f/R_p %.
- la natura dei terreni classificati come granulari o coesivi, ricavata sempre dal diagramma di Schmertmann.
- il peso per unità di volume γ' (t/m^3), ottenuta dalla relazione esistente tra la densità del terreno e la sua resistenza ad essere attraversato dalla punta;
- la tensione verticale geostatica efficace σ'_{vo} , espressa come

$$\sigma'_{vo} = 1,85 \times z_1 + 0,20 \times \sum \gamma' i$$

dove z_1 è uguale alla profondità media della falda;

- la coesione non drenata C_u (Kg/cm^2) (per i terreni di natura coesiva) ottenuto dal rapporto " $C_u = R_p/a$ " (da Sanglerat, 1972) dove " a " è un coefficiente dipendente dalla natura del terreno, e quindi da R_p ;
- l'angolo di attrito interno efficace F (per i terreni di natura granulare), anch'esso correlato alla R_p (Robertson & Campanella, 1983);
- il coefficiente di compressibilità di volume M_v

Il coefficiente di compressibilità M_v viene definito come:

$$M_v = 1/R_p \times a$$

dove il coefficiente " a " è direttamente dipendente da R_p .

10 INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA

Il **modello stratigrafico (Tavola 2)**, è stato ricostruito fino a 30 m di profondità dal piano campagna locale, attraverso l'elaborazione delle indagini geognostiche di archivio prese in esame (CPT 1 arch, CPT 2 arch e CPT 3 arch), delle indagini geognostiche presenti nel database regionale ed ubicate nelle vicinanze della zona di indagine, in particolare della stratigrafia del pozzo P1 profondo 36 m e del sondaggio S1 (**Tavola 1**), fanno supporre la presenza di depositi prevalentemente argillosi fino ad una profondità media di circa 16/17 m. Risulta inoltre ragionevole supporre, al di sotto dei 16/17 m e fino almeno a 30 m, la presenza di sabbie prevalentemente addensate, come si rileva anche nella stratigrafia della CPT 3 arch. Di seguito, viene riportato il dettaglio dei vari orizzonti litologici intercettati nelle CPT rielaborate.

LIVELLI LITOLOGICI RILEVATI NELLA CPT 1 arch		
PROFONDITA' da p.c. (m÷m)	LITOLOGIA (secondo Schmertmann)	FALDA DA P.C. (m)
0,2 – 1,0	Argille inorganiche molto compatte	impostata a: 2,00
1,0 – 2,0	Terre limo-sabbiose, sabbie argillose, limi	
2,0 – 2,4	Sabbie addensate o cementate	
2,4 – 3,4	Argille inorganiche molto compatte	
3,4 – 4,4	Argille inorganiche compatte	
4,4 – 5,0	Argille limo-sabbiose	
5,0 – 7,8	Argille inorganiche compatte	
7,8 – 9,4	Argille inorganiche compatte	
9,4 – 10,0	Argille limo-sabbiose	

LIVELLI LITOLOGICI RILEVATI NELLA CPT 2 arch		
PROFONDITA' da p.c. (m÷m)	LITOLOGIA (secondo Schmertmann)	FALDA DA P.C. (m)
1,0 – 2,0	Terre limo-sabbiose, sabbie argillose, limi	impostata a: 2,00
2,0 – 2,8	Argille limo-sabbiose	
2,8 – 4,2	Argille inorganiche compatte	
4,2 – 5,8	Terre limo-sabbiose, sabbie argillose, limi	
5,8 – 7,2	Argille inorganiche compatte	
7,2 – 8,6	Argille organiche e terreni misti	
8,6 – 9,4	Argille inorganiche compatte	
9,4 – 10,2	Argille limo-sabbiose	
10,2 – 12,0	Sabbie	

Committente: Comune di Bondeno	Tipologia di indagini utilizzate: CPT, sondaggio e pozzo
Ubicazione: Bondeno (FE), via Napoleonica	Prove di riferimento: CPT 1 arch, CPT 2 arch, CPT 3 arch P1 arch e S1 arch

p.c.	litologie	Descrizione	qc kPa (kg/cmq)	fs kPa (kg/cmq)	cu kPa (kg/cmq)	φ (°)
1,0		Argille inorganiche molto compatte	3442 (35,1)	253 (2,58)	173 (1,76)	-
2,4		Terre limo-sabbiose, sabbie argillose e limi con livello decimetrico di sabbia alla base	5815 (59,3)	158 (1,61)	290 (2,96)	31
10,0		Prevalenza di argille inorganiche da molto compatte a compatte con livelli decimetrici di argille limo-sabbiose alla base	1677 (17,1)	84 (0,86)	84 (0,86)	-
16,0		Argille inorganiche più o meno compatte				
30,0		Alternanze di sabbie e sabbie addensate o cementate				



TAVOLA 2	 <p>gaia di Elena Ghetti & C. s.n.c. Sede legale e operativa: via Pironi, 68, 44012 Bondeno (Ferrara) Cod. Fiscale e P. IVA: 01637020387 Numero REA (FE): 184859 Tel/Fax: 0532-898245 e-mail: consulenze@gaia-ambiente.eu</p>	MODELLO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO
-------------	---	---

Il livello statico della falda freatica è stato fissato alla profondità di **2,0 m** da p.c., non disponendo di misure dirette sull'area di indagine; sono inoltre possibili variazioni stagionali del livello della falda e conseguentemente della frangia capillare ad esso associata.

11 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Dall'analisi condotta emerge un terreno composto nel complesso da depositi a comportamento geomeccanico prevalentemente coesivo nei primi 10,2 m di profondità da piano campagna locale, per passare poi a depositi a comportamento prevalentemente attritivo fino a 12,0 m da p.c.. Il **modello geotecnico** del sottosuolo ricavato generalizzando e mediando i parametri dei livelli principali definiti viene schematizzato in **Tavola 2**. Le tabelle seguenti riassumono nel dettaglio le principali caratteristiche meccaniche che risulteranno fondamentali ai fini delle valutazioni geotecniche che seguiranno.

PARAMETRI GEOTECNICI CPT 1 arch				
PROF. (da mt a mt)	qc media kPa (kg/cm²)	c_u media kPa (kg/cm²)	Ed medio kPa (kg/cm²)	φ (°)
0,2 – 1,0	3442 (35,1)	173 (1,76)	6894 (70,3)	-
1,0 – 2,0	5815 (59,3)	290 (2,96)	11630 (118,6)	31
2,0 – 2,4	9894 (100,9)	-	-	32
2,4 – 3,4	2363 (24,1)	118 (1,20)	4717 (48,1)	-
3,4 – 4,4	1412 (14,4)	71 (0,72)	4717 (48,1)	-
4,4 – 5,0	3138 (32,0)	157 (1,60)	6286 (64,1)	24
5,0 – 7,8	1147 (11,7)	57 (0,58)	4550 (46,4)	-
7,8 – 9,4	1383 (14,1)	70 (0,71)	4746 (48,4)	-
9,4 – 10,0	3422 (34,9)	171 (1,74)	6845 (69,8)	22

PARAMETRI GEOTECNICI CPT 2 arch				
PROF. (da mt a mt)	qc media kPa (kg/cm²)	c_u media kPa (kg/cm²)	Ed medio kPa (kg/cm²)	φ (°)
1,0 – 2,0	1402 (14,3)	70 (0,71)	4746 (48,4)	25
2,0 – 2,8	1147 (11,7)	57 (0,58)	4550 (46,4)	22
2,8 – 4,2	1343 (13,7)	67 (0,68)	4726 (48,2)	-
4,2 – 5,8	1461 (14,9)	73 (0,74)	4746 (48,4)	21
5,8 – 7,2	1520 (15,5)	76 (0,78)	4736 (48,3)	-
7,2 – 8,6	1598 (16,3)	80 (0,82)	4687 (47,8)	-
8,6 – 9,4	1942 (19,8)	97 (0,99)	4158 (42,4)	-
9,4 – 10,2	1853 (18,9)	93 (0,95)	4344 (44,3)	20
10,2 – 12,0	2236 (22,8)	-	-	20

Si precisa che in questa fase vengono forniti i parametri medi, mentre in fase di calcolo verranno utilizzati i parametri caratteristici degli strati interessati dal cuneo di rottura potenziale.

12 DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE FONDALI

Non disponendo allo stato attuale, del progetto dell'apparato fondale, riferendosi alla planimetria illustrata in **Figura 12.1**, vengono presentate due ipotesi di fondazioni al contatto col terreno.

Pertanto il dimensionamento degli apparati fondali ipotizzati, ai fini geotecnici, risulta come nella tabella che segue:

GEOMETRIA APPARATO FONDALE				
FONDAZIONE	B (m)	B' (m)	L (m)	D (m)
PLINTO	1,5	-	1,5	1,5
PLATEA	-	49	70	0,5

In cui B' rappresenta la larghezza equivalente, ovvero la larghezza di una platea con lunghezza e superficie pari a quella di progetto; tale accorgimento algebrico deve essere operato ogni qualvolta la fondazione di progetto ha forma irregolare e dev'essere ricondotta ad un rettangolo.

Tali valori verranno utilizzati per la stima dei fattori di forma e profondità delle fondazioni nell'ambito della stima della capacità portante.

13 PRINCIPI DELLE NTC 08

Le disposizioni formulate nell'Eurocodice 7 (UNI EN 1997-1:2005 e UNI EN 1997-2:2007) costituiscono le basi concettuali per la formulazione delle NTC 2008, nella sezione dedicata alla progettazione geotecnica. In particolare vengono definiti gli stati limite di un sistema geotecnico (Stato Limite Ultimo **SLU** e Stato Limite di Esercizio **SLE**) e le verifiche di sicurezza e delle prestazioni nei confronti di questi.

Le verifiche vengono effettuate secondo un metodo semiprobabilistico basato essenzialmente su:

- ☒ Scelta idonea del valore di ciascuna variabile in gioco nel modello geotecnico proposto (valore caratteristico)
- ☒ Applicazione del metodo dei coefficienti parziali, i quali devono essere ripartiti con criterio e consapevolezza sulla base dell'esperienza e dell'osservazione del contesto reale di inserimento del progetto

Traducendo il tutto in termini matematici il metodo semiprobabilistico si basa sulla disequazione fondamentale:

$$E_d \leq R_d$$

Dove:

E_d : valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

R_d : resistenza del sistema geotecnico

Sostanzialmente la sicurezza è garantita solo quando la resistenza del sistema è maggiore della sommatoria delle azioni che agiscono su questo. Ne deriva che ad influenzare in maniera inequivocabile la stabilità globale sono:

- ☒ Entità delle azioni (permanenti, variabili, accidentali e sismiche)
- ☒ Parametri geotecnici del terreno
- ☒ Resistenza a rottura del sistema

Si ricorda inoltre che:

$$E_d = E [\gamma_F F_K ; X_K / \gamma_M ; a_d]$$

$$R_d = R / \gamma_R [\gamma_F F_K ; X_K / \gamma_M ; a_d]$$

Ovvero l'effetto delle azioni e le resistenze sono espresse in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_K$, dei parametri di progetto X_K/γ_M e della geometria di progetto a_d .

Per quanto riguarda la scelta dei parametri rappresentativi del sistema occorre fare riferimento al valore caratteristico, cioè una *“stima cautelativa del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite”*. A seconda della variabilità dello stesso parametro, sarà possibile inserire o la media dell'insieme di valori del parametro calcolati (se la stima è molto precisa) o il valore per il quale, nella distribuzione gaussiana dei valori determinati, vi è una probabilità del 5% di ottenere un valore “peggiore” (se la stima è imprecisa).

I valori caratteristici così determinati subiscono una correzione attraverso i coefficienti parziali, da combinare a seconda dell'approccio analitico che si intende utilizzare.

I coefficienti parziali da utilizzare nelle verifiche allo stato limite ultimo vengono riportati nelle Tabelle inserite nelle NTC.

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi:

- ☒ *Approccio 1 – Combinazione 1: A1+M1+R1*
– *Combinazione 2: A2+M2+R2 (M1 nel caso di fondazioni su pali)*
- ☒ *Approccio 2 – Combinazione 1: A1+M1+R3*

Nel caso in esame si intende procedere attraverso tutti gli approcci indicati dalla normativa per la stima della resistenza del sistema geotecnico in ambito di capacità portante.

14 STIMA DELLA CAPACITA' PORTANTE IN CONDIZIONI STATICHE

14.1 RESISTENZA DEL SISTEMA GEOTECNICO RD

La resistenza del sistema geotecnico dell'area indagata viene calcolata a partire dalla teoria della capacità portante secondo Brinch-Hansen (1970) con l'applicazione della formula:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot [s_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma}] + c \cdot N_c \cdot [s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c] + q \cdot N_q \cdot [s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q]$$

dove

q_{lim} è il carico limite, corrispondente a **R_d** (a seguito delle opportune correzioni);

B è la larghezza della fondazione;

c è la coesione;

q = γ' D;

γ' è il peso di volume. Per il terzo fattore della formula (dal momento che **q = γ' D**) è riferito al terreno compreso tra il piano campagna e il piano di posa della fondazione, per il primo fattore della formula è riferito al terreno compreso tra il piano di posa della fondazione e la profondità alla quale può spingersi il cuneo di rottura;

D è la profondità del piano di posa della fondazione;

N_c, N_q, N_γ sono i fattori di capacità portante, dipendenti dall'angolo di attrito φ;

s_γ, s_c, s_q: sono fattori di forma della fondazione;

i_γ, i_c, i_q: sono fattori correttivi dipendenti dall'inclinazione del carico;

b_γ, b_c, b_q: sono fattori correttivi dipendenti dall'inclinazione della base della fondazione;

g_γ, g_c, g_q: sono fattori correttivi dipendenti dall'inclinazione del piano campagna;

d_γ, d_c, d_q: sono fattori correttivi dipendenti dalla profondità del piano di posa;

(Per l'illustrazione di tali fattori si rimanda a specifica letteratura)

Si è calcolata la capacità portante con i parametri del terreno in termini di tensioni totali: questo metodo, nel caso di terreni coesivi, pone il sistema nelle condizioni più gravose, ipotizzando un'applicazione istantanea dei carichi, con conseguente notevole incremento delle pressioni interstiziali, che non possono essere dissipate per drenaggio.

Nello specifico si individua dapprima la profondità alla quale il terreno può andare incontro a rottura; le Raccomandazioni A.G.I. (1977) prescrivono di spingersi fino a profondità compresa tra B e 2B a partire dal piano di posa. Successivamente si calcolano i parametri del terreno considerando tutti quelli intercettati fino alla profondità dell'eventuale cuneo di rottura, valore da inserire nella determinazione della **R_d**. In ottemperanza alle nuove norme

tecniche (D.M. 14.01.08) tali parametri vanno trattati statisticamente per ottenere i corrispondenti valori caratteristici, così come definiti nell'introduzione del **capitolo 13**. Nel caso specifico, effettuato i calcoli in termini di tensioni totali, la formula del carico limite si riduce notevolmente e diventa indipendente dalle caratteristiche della fondazione (anche se la geometria della fondazione è necessaria per calcolare i fattori di forma e di profondità), con le motivazioni che seguono:

Nel caso di terreni coesivi l'angolo di attrito $\varphi = 0^\circ$

Da cui deriva $N_\gamma = 0$; $N_q = 1$ e $N_c = 5,14$;

La formula del carico limite si semplifica notevolmente e diventa:

$$q_{lim} = 5,14 c_{uk} s_c^0 d_c^0 i_c^0 b_c^0 g_c^0 + \gamma D$$

e la q_{lim} netta, cioè la capacità portante del terreno al di sotto della fondazione, senza considerare il contributo del peso del terreno ai lati di questa:

$$q_{lim} \text{ netta} = 5,14 c_{uk} s_c^0 d_c^0 i_c^0 b_c^0 g_c^0$$

Dove c_{uk} è la coesione caratteristica non drenata, calcolata per ogni 20 cm di profondità in base alla formula $c_u = R_p/b$ (Sanglerat 1972) e ridotta secondo i metodi statistici e i fattori s_c^0 , d_c^0 , i_c^0 , b_c^0 e g_c^0 sono dipendenti dalle caratteristiche del sistema, quali la geometria e la profondità di posa della fondazione, l'inclinazione del piano campagna e dei carichi trasmessi.

A questo punto la formula viene parzialmente corretta secondo le disposizioni attualmente in vigore, ovvero attraverso il metodo dei coefficienti parziali, riducendo il fattore c_{uk} a c_{uk}/γ_{cu} e dividendo inoltre la R_d risultante per il coefficiente γ_R , come indicato di seguito:

$$R_d = 5,14 * c_{uk}/\gamma_{cu} s_c^0 d_c^0 i_c^0 b_c^0 g_c^0$$

$$R_d \text{ capacità portante} = R_d / \gamma_R$$

14.2 CALCOLO DELLA RESISTENZA DEL SISTEMA GEOTECNICO

Per la determinazione della resistenza del sistema geotecnico sono stati esaminati tutti i valori di c_u , da cui calcolare i valori caratteristici, relativamente alla CPT 1 arch.

In particolare, per i plinti ipotizzati sono stati esaminati i valori di c_u relativi ai livelli argillosi compresi tra 3,4 e 4,4 m da p.c., che risulta essere l'intervallo stratigrafico più scadente interessato dall'instaurarsi del potenziale cuneo di rottura.

Per i plinti, ci si trova in condizioni di non compensazione strutturale, pertanto nella trattazione statistica dei dati occorre calcolare il valore di c_{uk} come il 5 percentile della distribuzione dell'intero campione.

Nella tabella seguente si riporta il risultato dei calcoli eseguiti.

CAPACITA' PORTANTE SLU – condizioni statiche <i>PLINTO</i>			
APPROCCIO	c_{uk} (kPa)	c_{uD} (kPa)	R_d netta (kPa)
1- COMB. 1	52	52	284
1- COMB. 2	52	37,1	113
2	52	52	123

Per l'ipotesi di fondazione a platea, sono stati esaminati i valori di c_u relativi ai livelli argillosi compresi tra 5,0 e 7,8 m da p.c., che risulta essere l'intervallo stratigrafico più scadente interessato dall'instaurarsi del potenziale cuneo di rottura.

Trattando la realizzazione di fondazione a platea ci si trova in condizioni di compensazione strutturale, pertanto nella trattazione statistica dei dati è possibile calcolare il valore di c_{uk} come il 5 percentile della distribuzione della media del campione.

Nella tabella seguente si riporta il risultato dei calcoli eseguiti.

CAPACITA' PORTANTE SLU – condizioni statiche <i>PLATEA</i>			
APPROCCIO	c_{uk} (kPa)	c_{uD} (kPa)	R_d netta (kPa)
1- COMB. 1	55	55	324
1- COMB. 2	55	39,3	128
2	55	55	141

Si precisa che con c_{uk} è stato indicato il valore caratteristico, mentre con c_{uD} il valore di progetto, derivante dalla divisione del valore caratteristico per il relativo coefficiente parziale. Inoltre si rimarca nuovamente che la R_d è una R_d netta, ovvero calcolata cautelativamente senza considerare il contributo del terreno ai lati della fondazione.

15 CONSIDERAZIONI SUI CEDIMENTI IN CONDIZIONI STATICHE

In questa fase di caratterizzazione del terreno di fondazione, non disponendo di informazioni relative alla tipologia e dimensionamento dell'apparato fondale e dei carichi di progetto che verranno trasmessi, risulta improprio avanzare stime sulle deformazioni statiche per consolidazione.

Pertanto ci si limiterà ad alcune considerazioni di carattere generale, da utilizzare eventualmente in fase di progettazione.

- ☑ I moduli edometrici dei terreni argillosi intercettati nei primi 10 m da p.c. risultano sempre superiori ai 40 kg/cm^2 , pertanto è possibile presumere una discreta risposta di resistenza alle azioni di progetto in condizioni di esercizio.
- ☑ I bulbi di tensione di fondazioni di tipo plinto, che comportano pressioni unitarie piuttosto elevate, andranno ad interessare i depositi dei primi 5-6 m da p.c. (in ogni caso i bulbi di tensione si estendono in funzione delle dimensioni del plinto), coinvolgendo depositi con un discreto grado di consistenza.
- ☑ I bulbi di tensione di fondazioni di tipo a platea si estenderanno a profondità piuttosto elevate, interessando l'intero pacchetto argilloso superficiale (fino a circa 15 m da p.c.) e le sabbie sottostanti, pertanto, anche se le pressioni unitarie trasmesse risulteranno ridotte, occorrerà valutare che il volume di terreno coinvolto nel cedimento sarà elevato.

Sicuramente il vantaggio della fondazione a platea risiede nell'assorbire meglio i cedimenti differenziali che possono crearsi nel caso di locali disomogeneità stratigrafiche non evidenziate dalle prove considerate.

16 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Le onde sismiche legate ad un evento tellurico, subiscono riflessioni e rifrazioni durante la loro propagazione, a causa delle eterogeneità crostali.

Negli strati più superficiali, dal punto di vista geotecnico, questo può causare variazioni della capacità portante, oppure dar luogo a incrementi della spinta sulle opere di sostegno, o ancora causare veri e propri fenomeni di instabilità, particolarmente nei terreni potenzialmente liquefacibili.

Le onde meccaniche generate da un terremoto inducono effetti diversi in relazione al tipo di terreno, a seconda che questo abbia un comportamento stabile o instabile sotto l'effetto del moto vibratorio legato al sisma.

Il terreno ha un comportamento stabile quando le sollecitazioni del sisma sono inferiori alla resistenza al taglio del terreno, quando i terreni sono costituiti da ghiaie, sabbie addensate e argille consistenti.

Il terreno ha un comportamento instabile quando le sollecitazioni del sisma superano la resistenza al taglio del terreno e questo si verifica in terreni caratterizzati dalla presenza di argille molli e in terreni saturi, con effetto di degradazione legati alla pressione interstiziale.

16.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

Il comune di Bondeno (FE) ricade in Zona 3 ai sensi del OPCM 3519/2006, con accelerazione massima orizzontale pari a $a_{refg} = 0,130 \text{ g}$ (da Del. Reg. n°112/07).

In funzione dell'elaborazione di seguito proposta dei dati derivati dalle indagini geognostiche prese in considerazione come indicato nel **capitolo 7** e dei dati bibliografici, la categoria di suolo di fondazione dell'area in oggetto rientra in **categoria C** rispetto alle NTC08, ovvero:

“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati, o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, 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 ($15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < c_{u,30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)”.

Si specifica come nel caso in esame non si abbiano a disposizione i valori di N_{spt} e di V_{s30} .

Il valore rappresentativo di c_u , dovrebbe essere calcolato nei primi 30,0 m utilizzando la formula indicata al punto 3.2.2 delle NTC 08 e di seguito riproposta:

$$c_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{c_{u,i}}}$$

Non avendo a disposizione una indagine a tale profondità ubicata nell'area di intervento, si è proceduto come segue:

- ☒ Sono stati calcolati i valori rappresentativi di c_u nei primi 10 m di profondità da p.c. locale, che sono risultati pari a **85 KPa in CPT 1 arch** e pari a **74 kPa in CPT 2 arch**.
- ☒ Dalla interpretazione stratigrafica proposta come indicato nel **capitolo 10**, è risultato che i livelli coesivi sembrerebbero presenti fino a circa 16 m di profondità da p.c. locale, perciò è ragionevole supporre che i livelli coesivi possano essere considerati significativi per il calcolo della categoria di suolo.
- ☒ La categoria di suolo associata al terreno di fondazione della CPT 3 arch, la cui stratigrafia risulta caratterizzata nei primi 4 m da terreni coesivi e dai 4 ai 30 m di profondità da piano campagna locale da terreni incoerenti, è la categoria C.

In conclusione, è risultato ragionevole associare il terreno di fondazione alla **categoria C**.

Secondo quanto riportato nelle prescrizioni della normativa vigente la sollecitazione sismica si traduce in un'accelerazione nelle tre direzioni (due orizzontali e una verticale), funzione delle caratteristiche del sito e della risposta delle componenti costitutive delle diverse strutture. La rappresentazione di riferimento per tali componenti è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%. L'approccio alla quantificazione dell'azione sismica attraverso l'analisi spettrale prevede la definizione di uno spettro orizzontale e uno verticale e ha origine dalla determinazione dei seguenti parametri:

- ☒ Categoria di suolo e categoria topografica
- ☒ T_c^0 : periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante
- ☒ a_g : accelerazione orizzontale massima del sito
- ☒ F_0 : massimo valore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

da cui dedurre i coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v , rispettivamente pari a:

$$k_h = \beta_s * a_{max}/g$$
$$k_v = 0,5 k_h$$

16.2 PARAMETRI SISMICI E SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI AI SENSI DELLE NTC 08

La caratterizzazione sismica procede con la definizione dei parametri sismici relativi al sito di riferimento. Il sito di interesse viene dapprima localizzato all'interno del reticolo di riferimento proposto nell'Allegato B delle NTC08 (**Figura 15.1**), compreso nei quattro nodi identificati come segue:

PARAMETRI DEI NODI DEL RETICOLO per $T_r = 712$ anni					
Nodo	ID	a_g (m/s²)	F_0 (-)	T_c^0 (sec)	Distanza dal sito (m)
1	15177	1,678	2,56	0,28	4366
2	15178	1,638	2,56	0,28	2077
3	14956	1,393	2,58	0,28	4320
4	14955	1,457	2,58	0,28	5781

Come verrà specificato a breve, l'edificio è stato associato a classe d'uso 3, pertanto, i valori di a_g , F_0 e T_c sono riferiti ad un sisma con tempo di ritorno pari a $T_r=712$ anni. Dal momento che i parametri per tale tempo di ritorno non vengono esplicitati nelle tabelle dell'Allegato B, si è proceduto alla loro determinazione attraverso la formula indicata nell'Allegato A alle NTC08, riportata di seguito:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

In cui:

p è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno T_r desiderato;

T_{R1} , **T_{R2}** sono i periodi di ritorno più prossimi a T_R per i quali si dispone dei valori p_1 e p_2 del generico parametro p .

Le coordinate geografiche dell'area di intervento, espresse nel sistema di riferimento ED50, vengono riportate nella tabella seguente:

COORDINATE SITO	
Latitudine	44,880446
Longitudine	11,426881

mentre il posizionamento dei nodi viene indicato in **Figura 15.1** (da GeoStru PS della Geostru®), in cui si indica anche la zona interessata dal progetto.



Figura 15.1. Ubicazione nodi reticolo di riferimento

I seguenti dati di input sono stati introdotti nel software di calcolo GeoStru PS:

PARAMETRO	VALORE
Vita nominale	50
Classe d'uso	3
Categoria di suolo	C
Categoria topografica	T1

Come detto la struttura di progetto è stato associato ad una classe d'uso 3, corrispondente, ai sensi del Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n° 3685 del 21 ottobre 2003, ad un edificio ricadente nell'Elenco B punto 1, ovvero *“Edifici pubblici o comunque destinati allo svolgimento di funzioni pubbliche nell'ambito dei quali siano normalmente presenti comunità di dimensioni significative, nonché edifici e strutture aperti al pubblico suscettibili di grande affollamento, il cui collasso può comportare gravi conseguenze in termini di perdite di vite umane”*.

Di seguito i parametri e coefficienti sismici riferiti ai diversi stati limite da considerare.

PARAMETRI SISMICI					
STATO LIMITE	PROB. SUPERAM. (%)	Tr (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^0 (sec)
OPERATIVITA' (SLO)	81	45	0,043	2,526	0,268
DANNO (SLD)	63	75	0,056	2,482	0,279
SALVAGUARDIA VITA (SLV)	10	712	0,157	2,569	0,276
PREVENZIONE COLLASSO (SLC)	5	1462	0,209	2,513	0,283

COEFFICIENTI SISMICI							
STATO LIMITE	Ss (-)	Cc (-)	St (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (m/s ²)	Beta (-)
(SLO)	1,500	1,620	1,000	0,013	0,006	0,635	0,200
(SLD)	1,500	1,600	1,000	0,017	0,008	0,823	0,200
(SLV)	1,460	1,610	1,000	0,055	0,027	2,244	0,240
(SLC)	1,380	1,590	1,000	0,081	0,040	2,831	0,280

VALORI DI RIFERIMENTO DA NTC08	
PARAMETRO	VALORE
a_{refg}	0,157 g
F.A. di P.G.A.	1,460
F.A. topografico	1,00
Acc max di picco al suolo	0,229 g

Ss, Cc e St e Beta ($=\beta_s$) sono coefficienti rispettivamente di amplificazione stratigrafica, di categoria di suolo, di amplificazione topografica e di riduzione dell'accelerazione massima attesa. Chiaramente tali parametri sono suscettibili di variazioni qualora vengano modificati i dati di input definiti.

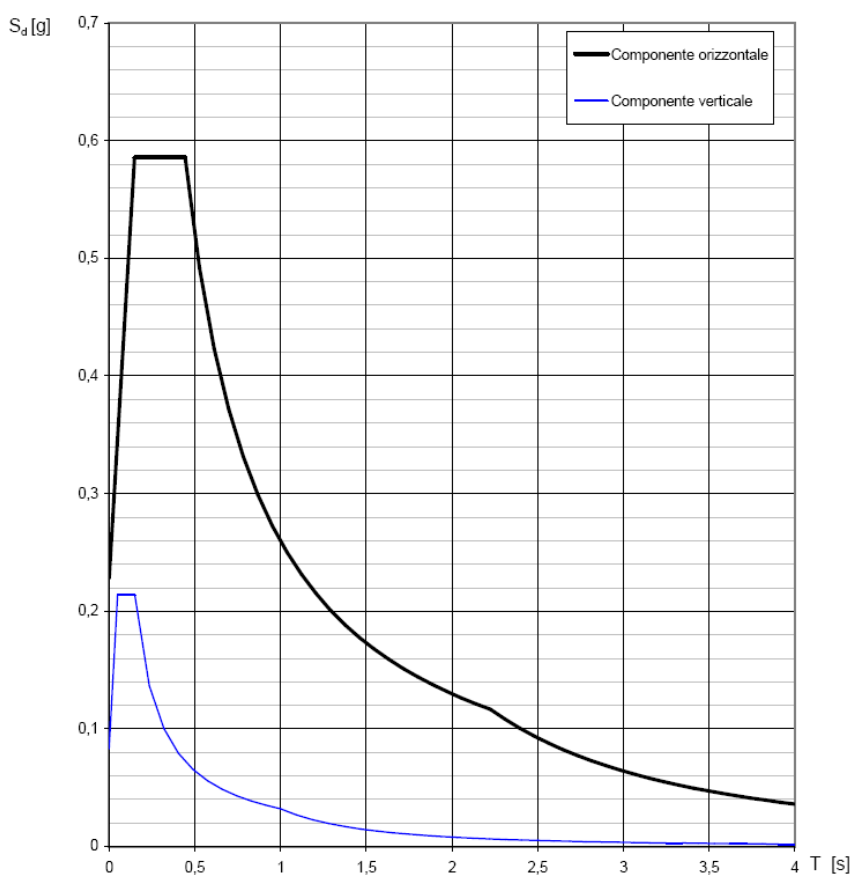


Figura 15.2. Spettro di risposta elastico in accelerazione – comp. Orizzontale e verticale



Ora è possibile calcolare lo spettro di risposta elastico in accelerazione (attraverso il codice Spettri NTC ver.1.0.3., messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici), così come illustrato in **Figura 15.2** (componente orizzontale e verticale).

Definiti gli spettri di risposta elastici e, da parte del Progettista, il fattore di struttura (q) orizzontale dell'opera, sarà possibile determinare lo spettro di progetto orizzontale. Da questo, noto il periodo fondamentale della struttura, sarà possibile ricavare il k_{hi} per il calcolo del taglio sismico e per la verifica a scorrimento della fondazione.

16.3 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO DA DEL. REG. 112/07

Facendo riferimento all'atto di indirizzo della Regione Emilia-Romagna n°112 del 02.05.2007, in merito a "Indirizzi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" si riporta in **Figura 5.3** lo spettro di risposta elastico relativo e l'accelerazione di picco massima al suolo.

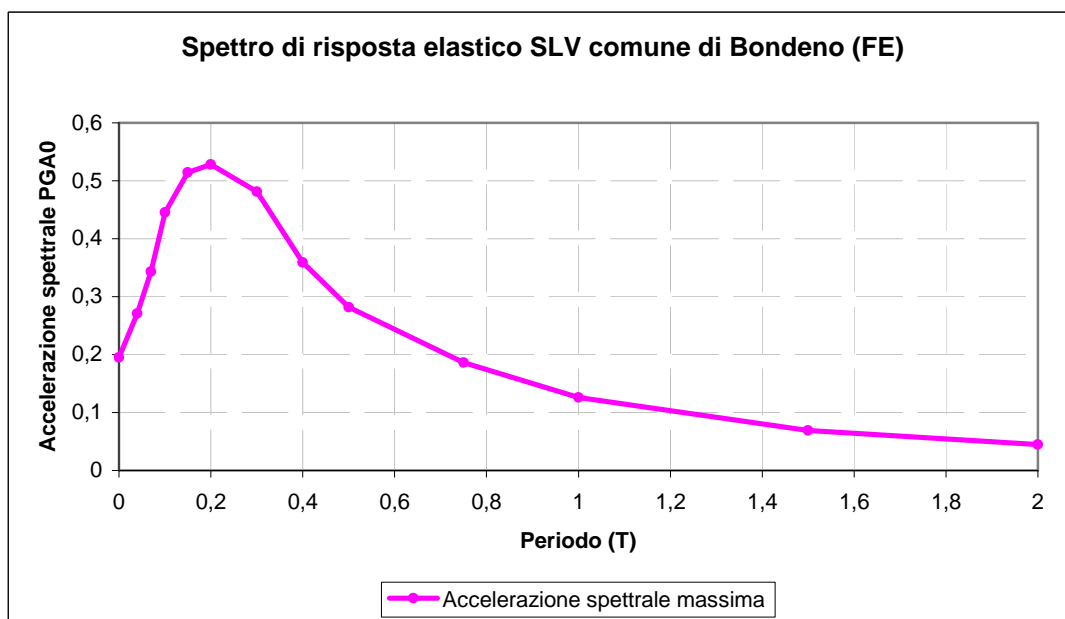


Figura 5.3. Spettro di risposta elastico in accelerazione – comp. orizzontale

VALORI DI RIFERIMENTO DA DEL. REG. 112/07	
PARAMETRO	VALORE
AMBITO	PIANURA 2
a_{refg}	0,130 g
F.A. di P.G.A.	1,5
F.A. topografico	1,00
Acc max di picco al suolo	0,195 g
F.A. intensità spett. ($0,1s < T_0 < 0,5s$)	1,8 (presunto)
F.A. intensità spett. ($0,5s < T_0 < 1,0s$)	2,3 (presunto)

Pertanto, confrontando le accelerazioni massime di picco al suolo, calcolate ai sensi delle NTC08 e ai sensi della Del. Reg. 112/07, è possibile constatare che il valore delle NTC08 risulta più conservativo. Si fa notare come, in questo caso, la normativa regionale sottostimi l'accelerazione massima poiché relativa ad un tempo di ritorno $T_r=475$ anni e non $T_r=712$ anni come impostato per l'edificio in progetto.

17 CAPACITA' PORTANTE IN CONDIZIONI PSEUDO-STATICHE

Le conoscenze oggi disponibili non consentono di formulare criteri generali e affidabili circa le previsioni delle variazioni della capacità portante e della deformabilità del terreno durante il moto sismico. Tuttavia è possibile fare alcune considerazioni.

I terreni coesivi manifestano alterazioni costitutive che determinano una diminuzione della resistenza; i cedimenti causati dall'incremento della deformabilità sono comunque molto modesti.

I terreni non coesivi sono senza dubbio i più suscettibili a subire alterazioni di rilievo, soprattutto se sono poco addensati, possono venire compattati dalle azioni cicliche di un terremoto, dando luogo a cedimenti spesso importanti.

L'azione sismica dunque genera una riduzione delle proprietà resistenti del terreno. Come riportato al punto C7.11.5.3.1 della Circ. 617/09 “...l'effetto inerziale produce variazioni di tutti i coefficienti di capacità portante del carico limite in funzione del coefficiente sismico k_{hi} e viene portato in conto impiegando le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa. L'effetto cinematico modifica il solo coefficiente N_{γ} in funzione del coefficiente sismico k_{hk} ; il fattore N_{γ} viene quindi moltiplicato sia per il coefficiente correttivo dell'effetto inerziale, sia per il coefficiente correttivo per l'effetto cinematico.”

Pertanto i coefficienti di inclinazione del carico della formula trinomia della portanza vengono corretti in funzione di k_{hi} (e anche k_{hk} per il solo termine N_{γ}).

Per quanto riguarda invece la combinazioni delle azioni in condizioni pseudo-statiche, questa viene così sintetizzata dalle NTC 08:

Combinazione sismica, per gli stati limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE) connessi all'azione sismica E :

$$E_d = E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} Q_{K1} + \psi_{22} Q_{K2} + \psi_{23} Q_{K3} + \dots$$

Dove l'azione sismica E , funzione dei carichi di progetto e del coefficiente sismico k_v , è pari a:

$$E = (G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{Kj}) * k_v$$

A questo proposito è possibile calcolare la portanza in condizioni pseudo-statiche, partendo però da alcune precisazioni di carattere generale:

- ☑ La massima combinazione dei carichi da utilizzare per la verifica dovrà essere la combinazione sismica SLV
- ☑ Per la stima dell'azione sismica il fattore di struttura per la componente verticale, verrà assunto, generalmente, pari a 1,5.
- ☑ La combinazione sismica delle azioni deve essere verificata con la R_d ridotta secondo normativa (cioè riducendo i coefficienti della formula trinomia). In particolare si è proceduto alla riduzione attraverso l'introduzione dei fattori correttivi z (*Paolucci & Pecker, 1997*), di seguito proposti:

$$z\gamma = zq = (1 - kh/tg\varphi)^{0,35}$$

$$z_c = 1 - 0,32 kh$$

nel caso in esame, avendo effettuato le verifiche in termini di tensioni totali si prenderà in esame il solo termine z_c . In via cautelativa in luogo del kh verrà utilizzata l'accelerazione massima di picco al suolo ($a_{max} = 0,157 \cdot 1,46$).

- ☑ Per la verifica della portanza in condizioni pseudo-statiche il k_v farà riferimento, come da normativa, allo spettro di progetto nello stato limite SLV.

Alla luce di quanto esposto si riportano i risultati dei calcoli effettuati.

CAPACITA' PORTANTE - condizioni pseudo-statiche - PLINTO		
COMBINAZIONE	z_c	R_d (kPa)
SISMICA	0,93	264 (app.1-c.1)
	0,93	105 (app.1-c.2)
	0,93	114 (app.2)

CAPACITA' PORTANTE - condizioni pseudo-statiche - PLATEA		
COMBINAZIONE	z_c	R_d (kPa)
SISMICA	0,93	301 (app.1-c.1)
	0,93	119 (app.1-c.2)
	0,93	131 (app.2)

18 ANALISI DEL RISCHIO ALLA LIQUEFAZIONE

La verifica di liquefazione dei suoli, è stata eseguita sui livelli potenzialmente liquefacibili, secondo il metodo di Robertson e Wride (1998), come prescritto anche dalla Del. Reg. 112/07.

E' noto che nei sedimenti granulari la presenza di percentuali di argilla riduce in maniera rilevante la suscettibilità alla liquefazione dei depositi. Anche la presenza di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3 metri può ulteriormente contrastare la liquefazione degli strati sottostanti.

Nell'area la falda freatica è stata fissata alla profondità di **2,0 m** dal p.c. attuale.

Con l'indagine geognostica eseguite sono state evidenziate le disomogeneità stratigrafiche verticali. Il calcolo del coefficiente di sicurezza F_s individua con $F_s < 1,0$ indica la possibilità che avvenga la liquefazione, mentre $F_s > 1,0$ esclude la possibilità del fenomeno.

Nel caso specifico la verifica alla liquefazione è stata effettuata sui livelli incoerenti intercettati in CPT 3 arch, nei primi 20 m, solitamente più suscettibili a fenomeni di liquefazione. Si tratta di un'analisi cautelativa, in quanto effettuata su una prova relativamente prossima all'area di intervento ma caratterizzata da presenza di sabbie anche superficiali.

18.1 PROCEDURA DI CALCOLO DEL FATTORE DI SICUREZZA A LIQUEFAZIONE

La verifica è stata articolata secondo le seguenti fasi:

- ☒ Determinazione dei parametri necessari ai calcoli, dall'elaborazione della prova penetrometrica statica; nello specifico si tratta delle resistenze di punta q_c e laterale f_s , della pressione atmosferica P_a , della tensione litostatica totale σ_{v0} e tensione litostatica efficace σ'_{v0} .
- ☒ Definizione del tipo di suolo attraverso l'indice I_c (Robertson e Wride, 1998), definito come:

$$I_c = [(3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + \log F)^2]^{0,5}$$

Con:

$$Q = [(q_c - \sigma_{v0}) / P_a] * [(P_a / \sigma'_{v0})^n]$$

$$F = [f_s / (q_c - \sigma_{v0})] * 100\%$$

- ☒ Calcolo della resistenza conica normalizzata Q , con adeguato esponente n .
- ☒ Calcolo della resistenza penetrometrica statica normalizzata q_{c1N}

$$(q_{c1N}) = C_q * (q_c / P_a)$$

Con $C_q = (P_a / \sigma'_{v0})^n$, in cui n è l'esponente utilizzato per calcolare I_c .

- ☑ Trasformazione della resistenza penetrometrica statica normalizzata q_{c1N} in resistenza penetrometrica statica normalizzata equivalente a sabbia pulita $(q_{c1N})_{CS}$ attraverso la relazione:

$$(q_{c1N})_{CS} = K_c * (q_{c1N})$$

In cui K_c , nel caso $I_c > 1,64$ rispetta la seguente equazione, proposta da Robertson e Wride (1998):

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88$$

- ☑ Calcolo della capacità del terreno di resistere alla liquefazione, CRR_M , a partire dalla definizione della resistenza a liquefazione per un terremoto di magnitudo 7,5 ($CRR_{7,5}$), dalla definizione del fattore di correzione della Magnitudo MSF (da Idriss, 1995):

$$CRR_{7,5} = 93 [(q_{c1N})_{CS} / 1000]^3 + 0,08$$

$$MSF = 10^{0,99} / M^{1,13}$$

$$CRR_M = CRR_{7,5} MSF$$

Dove M è la magnitudine di riferimento per l'area di intervento (nel caso specifico è stata utilizzata la magnitudine regionale massima $M = 6,14$, senza ricorrere al processo di disaggregazione, anche alla luce dei recenti episodi sismici che hanno interessato l'Emilia-Romagna)

- ☑ Correzione della CRR_M in CRR_{eq} per il fattore K_α (funzione della topografia) e K_σ (funzione della pressione litostatica efficace).

$$CRR_{eq} = CRR_M K_\alpha K_\sigma$$

- ☑ Calcolo del fattore di sicurezza a liquefazione come rapporto tra la capacità di resistenza a liquefazione e la domanda richiesta per il sito in esame:

$$F_s_{liq} = CRR_{eq} / CSR$$

In cui:

$$CSR = 0,65 (a_{max} / g) * (\sigma_{v0} / \sigma'_{v0}) * r_d$$

In cui, a sua volta, $a_{\max} = a_g * (S_T * S_s)$. In questa formula a_g è l'accelerazione di riferimento per il comune interessato (nel caso specifico da NTC08 per classe d'uso 3); S_T è il coefficiente di amplificazione topografico, S_s è il coefficiente di amplificazione dipendente dalla categoria di suolo, r_d è un coefficiente di riduzione con la profondità.

18.2 RISULTATI VERIFICA LIQUEFAZIONE

I risultati della verifica a liquefazione vengono riportati in **Allegato 2**; l'elaborazione è stata effettuata attraverso il software Cliq v. 1.5.1.26 della Geologismiki Geotechnical Engineers - Serrai (Grecia). In particolare:

- ☒ Gli F_s , calcolati ogni 20 cm, risultano inferiori all'unità in alcuni punti degli intervalli 9,5-13,0 m, 14,0-16,5 m e 18,0-19,0 m; in un solo punto dell'intervallo 4,5-5,5 m risulta $F_s=1,00$ (**Figura 17.1**). Tutti i restanti F_s calcolati risultano superiori all'unità.
- ☒ Per quanto riguarda la quantificazione del potenziale a liquefazione (I_L o LPI), si ricorda che questo è formulabile come segue:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

In cui:

z è la profondità dal p.c.,

$w(z) = 10-0,5z$

$F(z) = 1-F_s$ se $F_s \leq 1$; $F(z) = 0$ se $F_s > 1$ (con F_s = fattore di sicurezza a liquefazione)

Dai valori risultanti di I_L si può stimare il rischio a liquefazione così come segue:

$0 < I_L \leq 5$ il rischio di liquefazione è basso

$5 < I_L \leq 15$ il rischio di liquefazione è elevato

$I_L > 15$ il rischio di liquefazione è estremamente elevato

La cumulata dei singoli I_L dei primi 20 m fornisce un valore complessivo pari a $I_L = 1,69$, dal quale risulta un rischio basso.

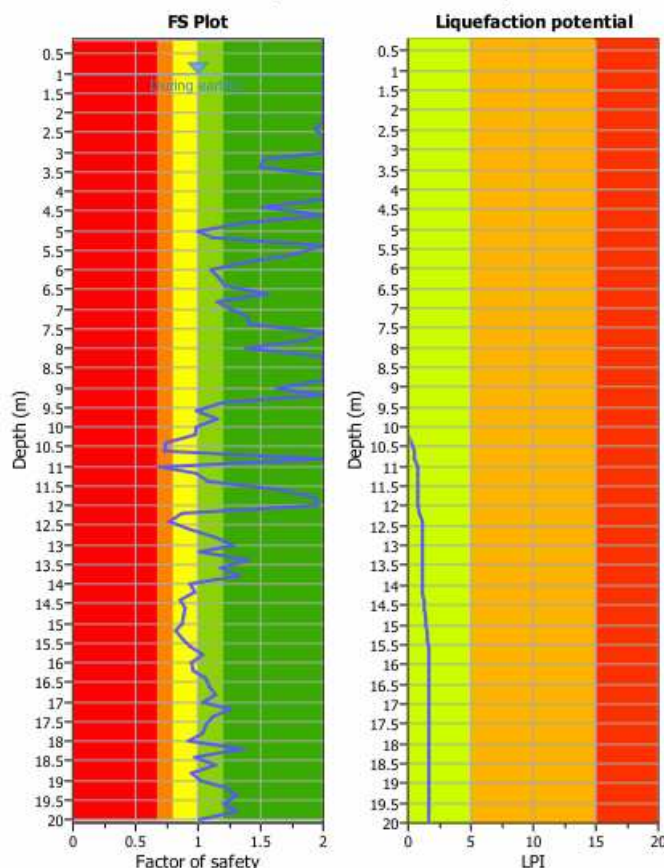


Figura 17.1. Grafici dell'andamento di F_s (a sinistra) e di LPI (a destra)

- ☑ Il grafico “Summary of liquefaction potential” (**Allegato 2**), in cui sono plottate le coppie di punti rapporto d'attrito normalizzato - resistenza conica normalizzata mostra che, complessivamente, tutti i punti ricadono in Zona A1, in cui il potenziale a liquefazione dipende dall'entità e durata del carico ciclico, anche se occorrerebbero prove specifiche per la verifica del rammollimento ciclico. Le restanti coppie di valori ricadono in Zona B (liquefazione e perdita di resistenza post-sismica improbabile).
- ☑ Le stratigrafie risultanti con correlazioni di Robertson (in **Allegato 2**) risultano nel complesso in accordo con quelle ricavate da correlazione di Schmertmann e utilizzate per il modello stratigrafico e geotecnico dell'area di intervento.
- ☑ Il calcolo è stato eseguito utilizzando la massima accelerazione di picco al suolo calcolata secondo la normativa attuale. Qualora le Autorità competenti varino nuove normative sulle accelerazioni da utilizzare per le verifiche sismiche, indicando in particolare valori più elevati di quelli attuali, occorrerà rivedere la verifica a liquefazione qui effettuata.

19 CEDIMENTI POST-SISMICI

Terreni incoerenti (saturi e non), se sottoposti a forze dinamiche temporanee, quali intense vibrazioni o eventi tellurici, subiscono un riordino delle particelle, che si traduce in una compattazione dello strato interessato, e quindi in un cedimento, denominato *post-sismico*. L'entità della deformazione verticale è funzione della densità iniziale del deposito (per le sabbie), del grado di sovraconsolidazione (per le argille), del suo spessore e della massima resistenza che si sviluppa nello strato.

In depositi incoerenti asciutti il cedimento post-sismico avviene pressoché immediatamente, mentre nei depositi incoerenti e coesivi saturi si completa quando le sovrappressioni interstiziali, generate dalle forze dinamiche, vengono interamente dissipate.

La valutazione dei cedimenti post-sismici viene usualmente fatta per i terreni incoerenti; effettivamente il riordino dei granuli in uno strato a seguito della dissipazione delle sovrappressioni è spesso legata al fenomeno della liquefazione, che interessa i soli depositi sabbiosi. Tuttavia anche depositi coesivi soffici e/o plastici, sotto carichi dinamici particolarmente intensi, possono subire un riassetto delle particelle.

L'allegato A3 della Delibera della Regione Emilia-Romagna n°112/07 fornisce le "Procedure di riferimento per analisi di terzo livello di approfondimento". In particolare stabilisce i criteri per una caratterizzazione sismica piuttosto spinta, quali la stima del potenziale di liquefazione, i cedimenti post-sismici in terreni granulari (saturi e non) e coesivi, l'identificazione dei pendii potenzialmente instabili.

Si precisa che, nel caso in esame, i cedimenti post-sismici sono stati calcolati nei soli livelli argillosi saturi intercettati con la prova CPT 1 arch fino a 10,0 m di profondità da p.c. locale, utilizzando la relativa procedura. Per quanto concerne i livelli granulari saturi presumibilmente presenti al di sotto di tale profondità, si farà riferimento al cedimento calcolato automaticamente dal software Cliq (risultati in **Allegato 2**, nel grafico "vertical settlements") nei livelli sabbiosi intercettati con la prova CPT 3 arch.

19.1 PROCEDURA PER TERRENI COESIVI

Il calcolo dei cedimenti post-sismici in terreni coesivi ha origine dalla seguente formula:

$$\Delta H = H_0 * \epsilon_{vr}$$

In cui H_0 è lo spessore dello strato interessato e ϵ_{vr} rappresenta la deformazione volumetrica percentuale post-ciclica che può subire.

A sua volta ϵ_{vr} è calcolabile dalla seguente espressione:

$$\varepsilon_{vr} = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

In cui α è una costante sperimentale, C_r è l'indice di riconsolidazione post-ciclica, derivabile da C_c , e $\Delta u/\sigma'_0$ indica il rapporto delle pressioni interstiziali, espresso dalla seguente formula:

$$\frac{\Delta u}{\sigma'_0} = \beta \left[\log \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_v} \right]$$

In cui β è una costante, γ_{\max} è l'ampiezza della deformazione di taglio massima pari a:

$$\gamma_{\max} = 0.65 \frac{a_{\max s}}{g} \sigma_v r_d \frac{1}{G}$$

Funzione a sua volta del picco di accelerazione al piano campagna per il terremoto di riferimento, della tensione litostatica totale, della profondità media del deposito e del modulo di taglio corrispondente alla massima deformazione (deducibile, in via preliminare, come aliquota del modulo di taglio G_0);

γ_v è pari a

$$\gamma_v = A(OCR-1)+B$$

in cui A e B sono coefficienti sperimentali deducibili dall'indice di plasticità I_p e OCR è chiaramente il grado di sovraconsolidazione.

19.1.1 Ipotesi sui parametri di calcolo da utilizzare

Non disponendo, in via preliminare, della totalità dei parametri geotecnici richiesti per il calcolo dei cedimenti post-sismici di cui sopra, sono state fatte assunzioni, comunque cautelative, per una stima verosimile delle deformazioni.

Lo studio è stato articolato come segue:

- ☒ Il calcolo, secondo quanto prescritto, è stato effettuato sui livelli coesivi con $c_u < 70$ kPa intercettati
- ☒ I parametri necessari al calcolo, ove possibile, sono stati desunti dalle prove CPT
- ☒ L'indice dei vuoti e_0 è stato assunto pari a 1,5 con $c_u > 60$ kPa e pari a 2,0 per depositi più soffici, con $c_u \leq 60$ kPa.
- ☒ I valori di indice di compressibilità C_c inseriti sono compresi tra un minimo di 0,30 per i terreni più consistenti e un massimo di 0,55 per i depositi più scadenti.

- ☒ I valori di OCR inseriti sono tutti pari a 0,7. Si tratta di un'ipotesi cautelativa, in quanto i terreni sono stati ipotizzati, ragionevolmente, come ancora in fase di consolidazione. Non sono stati pertanto valutati gradi di sovraconsolidazione pari o superiore all'unità.
- ☒ I coefficienti A e B sono stati assunti come riportati nella categoria intermedia tra le 3 proposte.
- ☒ Il coefficiente α , variabile tra 1,0 e 1,5, è stato assunto pari a 1,25.

19.2 PROCEDURA PER TERRENI GRANULARI SATURI

Il calcolo dei cedimenti post-sismici in terreni granulari saturi, secondo il metodo Tokimatsu e Seed (1987), ha origine dalla seguente formula:

$$\Delta H = H_0 * \varepsilon_v$$

In cui H_0 è la potenza dello strato e ε_v è la deformazione volumetrica

La procedura di calcolo è la seguente:

- ☒ Determinazione della $CSR_{7,5}$ come illustrato nel calcolo della liquefazione.
- ☒ Calcolo della $(N_1)_{60CS}$ dalla $(q_{c1N})_{CS}$ precedentemente calcolata per la liquefazione, attraverso la correlazione tra dati SPT e CPT (Robertson 1992, Hegazy e Mayne 1995)

$$(N_1)_{60CS} = B_1 * [(q_{c1N})_{CS}]^{B2}$$

In cui $B1 = 0,488$ e $B2 = 0,779$

- ☒ Determinazione della $(N_1)_{60}$ attraverso la relazione con $(N_1)_{60CS}$ (Youd e Idriss, 1997)

$$(N_1)_{60CS} = \alpha + \beta * (N_1)_{60}$$
$$\text{cioè } (N_1)_{60} = [(N_1)_{60CS} - \alpha] / \beta$$

In cui α e β sono dipendenti dal contenuto di fine

- ☒ Stima dello sforzo volumetrico ε_v , funzione della $CSR_{7,5}$ e della $(N_1)_{60}$ attraverso l'abaco proposto da Tokimatsu e Seed (1987), riproposto in **Figura 18.1**.

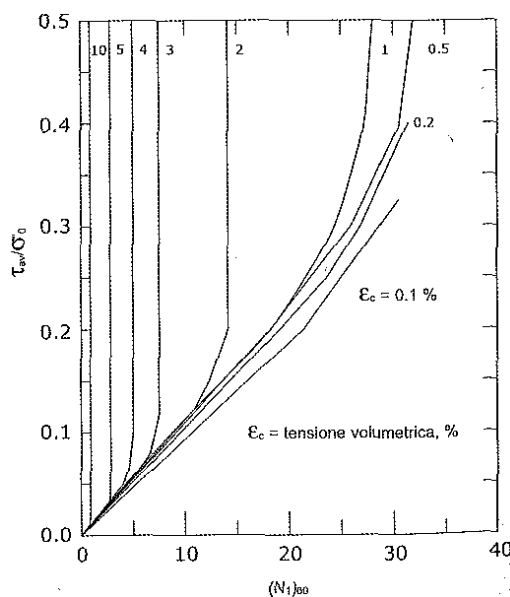


Figura 18.1. Abaco per la definizione della deformazione volumetrica

La procedura suggerisce che la stima delle deformazioni venga eseguita per terreni incoerenti con densità relativa < 75%.

19.3 CEDIMENTO POST-SISMICO TOTALE

Attraverso le modalità di calcolo esposte sono stati calcolati i cedimenti per tutti i livelli critici intercettati nelle CPT prese in considerazione, riportando di seguito i risultati dei calcoli effettuati e il valore del cedimento post-sismico totale ipotizzato:

CEDIMENTI POST-SISMICI CALCOLATI SU CPT 1 arch e CPT 3 arch				
STRATO	PROF. (m-m)	Cu (kPa)	DEFORM. VOLUM. (%)	ΔH POST-SISMICO (cm)
Livelli coesivi - CPT 1 arch				
1	3,4 – 4,4	71	0,002	0,229
2	5,0 – 7,8	57	0,005	1,290
3	7,8 – 9,4	70	0,006	1,012
Livelli granulari saturi – CPT 3 arch (da software CLiq)				
-	Livelli millimetrici sporadici tra 5,0 e 7,0 m			
-	Tra 9,5 e 19,0 m			13,250
CEDIMENTO POST-SISMICO TOTALE (cm)				15,8



gaia di Elena Ghetti & C. s.n.c.
Sede legale e operativa:
via Pironi, 68, 44012 Bondeno (Ferrara)
Tel/Fax: 0532-898245
e-mail: consulenze@gaia-ambiente.eu

E' possibile constatare che le deformazioni risultano piuttosto elevate in valore assoluto; tuttavia è bene specificare che si tratta di deformazioni che hanno carattere areale, pertanto, accertata (attraverso l'esame delle prove di archivio) l'assenza di eteropie geologiche locali significative nel sottosuolo è possibile sostenere che tali cedimenti non provocano danneggiamenti importanti in strutture dimensionalmente contenute.

20 CONCLUSIONI

Le analisi e valutazioni condotte sono state finalizzate alla caratterizzazione geotecnica e sismica del terreno di fondazione per la realizzazione di un fabbricato ad uso palestra.

Di seguito i punti salienti emersi:

- ☒ **FONDAZIONI:** Sono state effettuate due ipotesi di fondazione (PLINTI e PLATEA) per le valutazioni geotecniche. Non disponendo di misure dirette sull'area di indagine, il livello statico della falda freatica è stato fissato alla profondità di 2,0 m da p.c.. Tale livello può essere soggetto a variazioni stagionali, e conseguentemente anche della frangia capillare associata.
- ☒ **AZIONI DI PROGETTO
E RESISTENZE:** Per la natura del terreno individuato, per le caratteristiche geometriche delle fondazioni ipotizzate, e a seguito delle opportune correzioni effettuate in ottemperanza alla normativa vigente, la capacità portante in condizioni statiche, espressa come resistenza del sistema geotecnico R_d , risulta,
- IPOTESI PLINTO: $R_d = 284 \text{ kPa}$ ($2,90 \text{ kg/cm}^2$)** nel calcolo con Approccio 1 – Comb. 1, **$R_d = 113 \text{ kPa}$ ($1,15 \text{ kg/cm}^2$)** nel calcolo con Approccio 1 – Comb. 2 e pari a **$R_d = 123 \text{ kPa}$ ($1,25 \text{ kg/cm}^2$)** nel calcolo con Approccio 2.
- IPOTESI PLATEA: $R_d = 324 \text{ kPa}$ ($3,30 \text{ kg/cm}^2$)** nel calcolo con Approccio 1 – Comb. 1, **$R_d = 128 \text{ kPa}$ ($1,31 \text{ kg/cm}^2$)** nel calcolo con Approccio 1 – Comb. 2 e pari a **$R_d = 141 \text{ kPa}$ ($1,44 \text{ kg/cm}^2$)** nel calcolo con Approccio 2.
- Non disponendo, in questa fase di caratterizzazione, delle pressioni di progetto scaricate dall'edificio (E_d , nei vari approcci previsti da normativa) risulta impossibile procedere alla verifica della disequazione fondamentale $E_d \leq R_d$.

☒ **CLASSIFICAZIONE**

SISMICA:

Per la natura dei terreni individuata, per la collocazione geografica del sito e a seguito dell'elaborazione delle indagini prese in considerazione, i principali parametri sismici risultano i seguenti:

Zona: **3** (da OPCM 3519/06)

A_{max} di picco al suolo più conservativa: **0,229 g**
(da NTC08)

Categoria suolo: C (con **c_u media = 85 kPa** in CPT 1 arch e **c_u media = 74 kPa** in CPT 2 arch; valori certamente sottostimati e relativi alla sola componente argillosa superficiale).

☒ **VERIFICA**

A LIQUEFAZIONE:

Per un sisma con M=6,14 e a=0,23g si stima si ottiene un potenziale a liquefazione **LPI=1,69**, associato a rischio basso.

☒ **CEDIMENTI**

POST-SISMICI:

Attraverso le procedure di calcolo dei cedimenti post-sismici per terreni coesivi (CPT 1 arch) e granulari (CPT 3 arch) si stima un cedimento post-sismico medio complessivo pari a circa **15,8 cm**, calcolati sui primi 20 m da p.c..

Tutti gli elementi acquisiti in corso d'opera permettono di fornire, relativamente ad ogni aspetto delle verifiche effettuate, le informazioni atte a supportare la progettazione e ad esprimere un giudizio di idoneità complessiva dell'area e del terreno investigato, per gli interventi che verranno effettuati.

Bondeno (FE), Novembre 2012

Il tecnico

Dott. Geol. Stefano Vincenzi





gaia di Elena Ghetti & C. s.n.c.
Sede legale e operativa:
via Pironi, 68, 44012 Bondeno (Ferrara)
Tel/Fax: 0532-898245
e-mail: consulenze@gaia-ambiente.eu

TAVOLE ED ALLEGATI

- Tavola 1:** Stralcio di planimetria catastale con ubicazione prove
- Tavola 2:** Modello stratigrafico e geotecnico dell'area di intervento
- Allegato 1:** Tavole dati CPT 1 arch (log stratigrafico e parametri geotecnici)
Tavole dati CPT 2 arch (log stratigrafico e parametri geotecnici)
Tavole dati CPT 3 arch (log stratigrafico e parametri geotecnici)
- Allegato 2:** Report verifica a liquefazione CPT 3 arch

Allegato 1

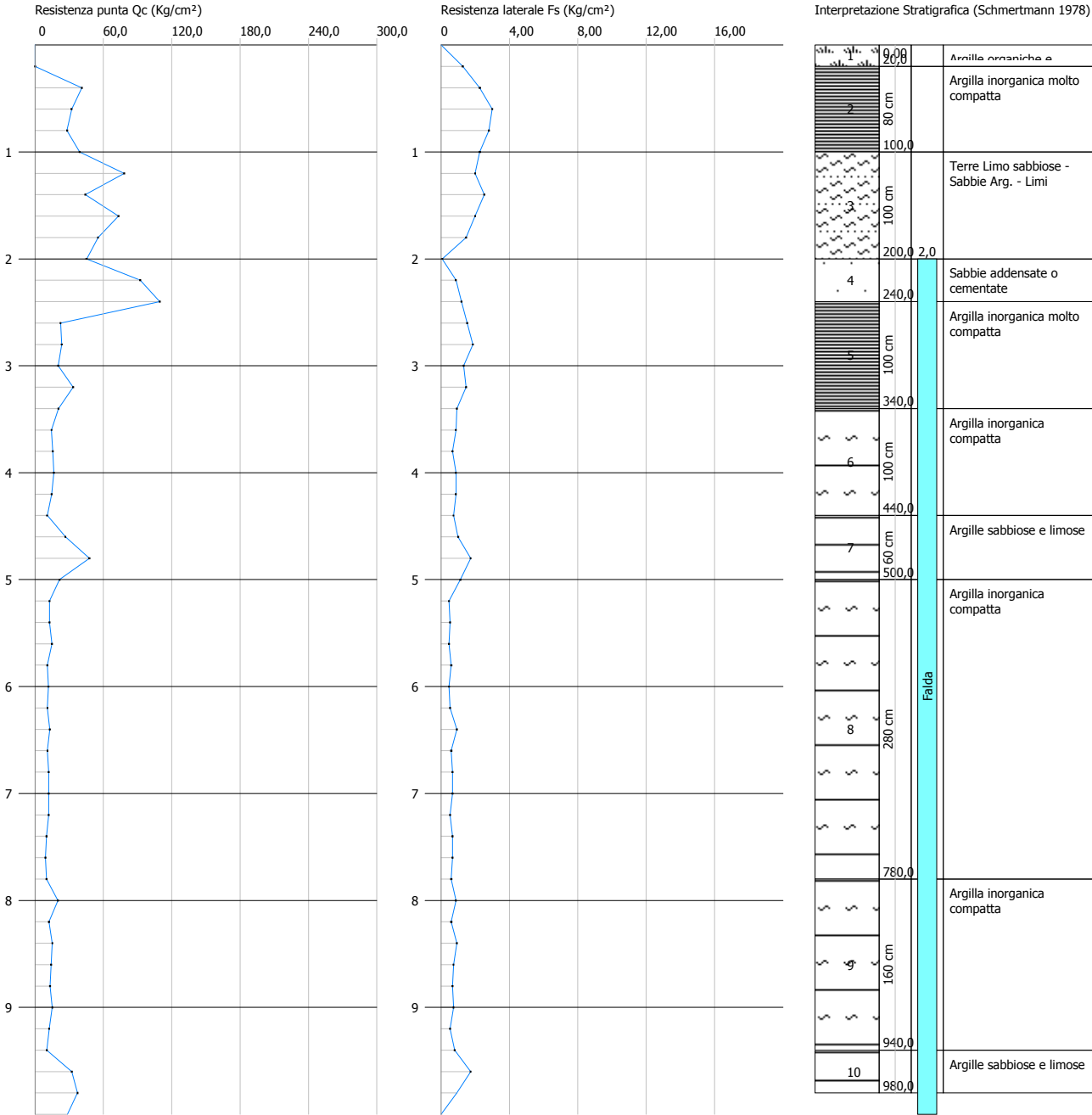
*Tavole dati CPT
(log stratigrafico e parametri geotecnici)*

Laboratorio autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti
DPR 380/01 Art. 59 Circolare 7619/STC del 08/09/2010
Concessione per l'esecuzione e certificazione di indagini geognostiche prelievo di campioni e prove in situ
Decreto n° del e n° del

Probe CPT - Cone Penetration CPT 1 arch
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: Comune di Bondeno
Cantiere: Realizzazione struttura ad uso palestra
Località: Bondeno (FE), via Napoleonica

Data: 04/04/2002
Scala 1:60



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 1 arch

TERRENI COESIV I

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato 1	0,20	0,138	1,267	0,02	0,02	Terzaghi	0,01
Strato 2	1,00	35,138	2,5835	0,11	0,11	Terzaghi	1,76
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Terzaghi	2,96
Strato 5	3,40	24,0692	1,4266	0,59	0,5	Terzaghi	1,2
Strato 6	4,40	14,4072	0,8002	0,78	0,59	Terzaghi	0,72
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Terzaghi	1,6
Strato 8	7,80	11,6704	0,6001	1,26	0,82	Terzaghi	0,58
Strato 9	9,40	14,1343	0,7333	1,68	1,02	Terzaghi	0,71
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Terzaghi	1,74

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato 1	0,20	0,138	1,267	0,02	0,02	Metodo generale del modulo Edometrico	0,91
Strato 2	1,00	35,138	2,5835	0,11	0,11	Metodo generale del modulo Edometrico	70,27
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Metodo generale del modulo Edometrico	118,55
Strato 5	3,40	24,0692	1,4266	0,59	0,5	Metodo generale del modulo Edometrico	48,14
Strato 6	4,40	14,4072	0,8002	0,78	0,59	Metodo generale del modulo Edometrico	48,41
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Metodo generale del modulo Edometrico	64,05
Strato 8	7,80	11,6704	0,6001	1,26	0,82	Metodo generale del modulo Edometrico	46,42
Strato 9	9,40	14,1343	0,7333	1,68	1,02	Metodo generale del modulo Edometrico	48,37
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Metodo generale del modulo Edometrico	69,76

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Eu (Kg/cm²)
Strato 1	0,20	0,138	1,267	0,02	0,02	Cancelli 1980	4,58
Strato 2	1,00	35,138	2,5835	0,11	0,11	Cancelli 1980	1313,39
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Cancelli 1980	2211,5
Strato 5	3,40	24,0692	1,4266	0,59	0,5	Cancelli 1980	883,99
Strato 6	4,40	14,4072	0,8002	0,78	0,59	Cancelli 1980	518,08
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Cancelli 1980	1175,81
Strato 8	7,80	11,6704	0,6001	1,26	0,82	Cancelli 1980	406,84
Strato 9	9,40	14,1343	0,7333	1,68	1,02	Cancelli 1980	491,97
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Cancelli 1980	1266,44

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di deformazion e a taglio (Kg/cm²)
Strato 1	0,20	0,138	1,267	0,02	0,02	Imai & Tomauchi	8,35
Strato 2	1,00	35,138	2,5835	0,11	0,11	Imai & Tomauchi	246,39
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Imai & Tomauchi	339,15
Strato 5	3,40	24,0692	1,4266	0,59	0,5	Imai & Tomauchi	195,54
Strato 6	4,40	14,4072	0,8002	0,78	0,59	Imai & Tomauchi	142,91
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Imai & Tomauchi	232,81
Strato 8	7,80	11,6704	0,6001	1,26	0,82	Imai & Tomauchi	125,65
Strato 9	9,40	14,1343	0,7333	1,68	1,02	Imai & Tomauchi	141,25
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Imai & Tomauchi	245,29

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Ocr
Strato 1	0,20	0,138	1,267	0,02	0,02	P.W.Mayne 1991	0,5
Strato 2	1,00	35,138	2,5835	0,11	0,11	P.W.Mayne 1991	9
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	P.W.Mayne	9

						1991	
Strato 5	3,40	24,0692	1,4266	0,59	0,5	P.W.Mayne 1991	9
Strato 6	4,40	14,4072	0,8002	0,78	0,59	P.W.Mayne 1991	8,64
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	P.W.Mayne 1991	9
Strato 8	7,80	11,6704	0,6001	1,26	0,82	P.W.Mayne 1991	7,78
Strato 9	9,40	14,1343	0,7333	1,68	1,02	P.W.Mayne 1991	9
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	P.W.Mayne 1991	9

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 1	0,20	0,138	1,267	0,02	0,02	Meyerhof	1,12
Strato 2	1,00	35,138	2,5835	0,11	0,11	Meyerhof	2,07
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Meyerhof	2,15
Strato 5	3,40	24,0692	1,4266	0,59	0,5	Meyerhof	2,0
Strato 6	4,40	14,4072	0,8002	0,78	0,59	Meyerhof	1,91
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Meyerhof	2,05
Strato 8	7,80	11,6704	0,6001	1,26	0,82	Meyerhof	1,87
Strato 9	9,40	14,1343	0,7333	1,68	1,02	Meyerhof	1,9
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Meyerhof	2,06

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	C	Crm
Strato 1	0,20	0,138	1,267	0,02	0,02	9,70468	1,26161
Strato 2	1,00	35,138	2,5835	0,11	0,11	0,11602	0,01508
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	0,10183	0,01324
Strato 5	3,40	24,0692	1,4266	0,59	0,5	0,12226	0,01589
Strato 6	4,40	14,4072	0,8002	0,78	0,59	0,15931	0,02071
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	0,11929	0,01551
Strato 8	7,80	11,6704	0,6001	1,26	0,82	0,18096	0,02353
Strato 9	9,40	14,1343	0,7333	1,68	1,02	0,1611	0,02094
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	0,11627	0,01511

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 1	0,20	0,138	1,267	0,02	0,02	Meyerhof	1,2
Strato 2	1,00	35,138	2,5835	0,11	0,11	Meyerhof	2,15
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Meyerhof	2,23
Strato 5	3,40	24,0692	1,4266	0,59	0,5	Meyerhof	2,08
Strato 6	4,40	14,4072	0,8002	0,78	0,59	Meyerhof	1,99
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Meyerhof	2,13
Strato 8	7,80	11,6704	0,6001	1,26	0,82	Meyerhof	1,95
Strato 9	9,40	14,1343	0,7333	1,68	1,02	Meyerhof	1,98
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Meyerhof	2,14

Velocità onde di taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 1	0,20	0,138	1,267	0,02	0,02	Jamiolkowsk i et al 1985	89,71
Strato 2	1,00	35,138	2,5835	0,11	0,11	Jamiolkowsk i et al 1985	270,16
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Jamiolkowsk i et al 1985	299,78
Strato 5	3,40	24,0692	1,4266	0,59	0,5	Jamiolkowsk i et al 1985	250,56
Strato 6	4,40	14,4072	0,8002	0,78	0,59	Jamiolkowsk i et al 1985	226,24
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Jamiolkowsk i et al 1985	265,21
Strato 8	7,80	11,6704	0,6001	1,26	0,82	Jamiolkowsk i et al 1985	216,95
Strato 9	9,40	14,1343	0,7333	1,68	1,02	Jamiolkowsk i et al 1985	225,38
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Jamiolkowsk i et al 1985	269,76

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	68,01
Strato 4	2,40	100,914	1,0335	0,45	0,43	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	78,24
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	39,25
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	34,49

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	De Beer	31,02
Strato 4	2,40	100,914	1,0335	0,45	0,43	De Beer	31,91
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	De Beer	24,32
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	De Beer	22,32

Modulo di Young

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
--	---------------------	----------------	----------------	---	---	--------------	--------------------------------

Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Robertson & Campanella 1983	118,55
Strato 4	2,40	100,914	1,0335	0,45	0,43	Robertson & Campanella 1983	201,83
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Robertson & Campanella 1983	64,05
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Robertson & Campanella 1983	69,76

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Robertson & Campanella da Schmertman n	71,48
Strato 4	2,40	100,914	1,0335	0,45	0,43	Robertson & Campanella da Schmertman n	82,25
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Robertson & Campanella da Schmertman n	40,31
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Robertson & Campanella da Schmertman n	37,26

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Imai & Tomauchi	339,15
Strato 4	2,40	100,914	1,0335	0,45	0,43	Imai & Tomauchi	469,43
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Imai & Tomauchi	232,81
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Imai & Tomauchi	245,29

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Ocr
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Stress-	4,55

						History	
Strato 4	2,40	100,914	1,0335	0,45	0,43	Stress-History	5,49
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Stress-History	1,11
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Stress-History	0,73

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Ko
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Kulhawy & Mayne (1990)	0,94
Strato 4	2,40	100,914	1,0335	0,45	0,43	Kulhawy & Mayne (1990)	1,06
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Kulhawy & Mayne (1990)	0,37
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Kulhawy & Mayne (1990)	0,29

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	C	Crm
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	0,10183	0,01324
Strato 4	2,40	100,914	1,0335	0,45	0,43	0,09443	0,01228
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	0,11929	0,01551
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	0,11627	0,01511

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Meyerhof	1,8
Strato 4	2,40	100,914	1,0335	0,45	0,43	Meyerhof	1,9
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Meyerhof	1,8
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Meyerhof	1,8

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Meyerhof	2,1
Strato 4	2,40	100,914	1,0335	0,45	0,43	Meyerhof	2,2
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Meyerhof	2,1
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Meyerhof	2,1

Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,13

	Prof. Strato	qc	fs	Tensione	Tensione	Correlazione	Fattore di
--	--------------	----	----	----------	----------	--------------	------------

Static probing

	(m)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	litostatica totale (Kg/cm ²)	litostatica efficace (Kg/cm ²)		sicurezza a liquefazione
Strato 4	2,40	100,914	1,0335	0,45	0,43	Robertson & Wride 1997	16,401
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Robertson & Wride 1997	6,306
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Robertson & Wride 1997	2,299

Velocità onde di taglio.

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Jamiolkowsk i et al 1985	364,46
Strato 4	2,40	100,914	1,0335	0,45	0,43	Jamiolkowsk i et al 1985	413,00
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Jamiolkowsk i et al 1985	315,36
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Jamiolkowsk i et al 1985	321,76

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0,20	0,138	1,267	0,02	0,02	Piacentini- Righi 1988	1,00E-11
Strato 2	1,00	35,138	2,5835	0,11	0,11	Piacentini- Righi 1988	1,00E-11
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Piacentini- Righi 1988	1,56E-05
Strato 4	2,40	100,914	1,0335	0,45	0,43	Piacentini- Righi 1988	1,00E-03
Strato 5	3,40	24,0692	1,4266	0,59	0,5	Piacentini- Righi 1988	1,00E-11
Strato 6	4,40	14,4072	0,8002	0,78	0,59	Piacentini- Righi 1988	8,03E-11
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Piacentini- Righi 1988	4,90E-08
Strato 8	7,80	11,6704	0,6001	1,26	0,82	Piacentini- Righi 1988	8,71E-10
Strato 9	9,40	14,1343	0,7333	1,68	1,02	Piacentini- Righi 1988	5,25E-10
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Piacentini- Righi 1988	1,22E-07

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazio ne (cm ² /s)
Strato 1	0,20	0,138	1,267	0,02	0,02	Piacentini- Righi 1988	4,14E-09

Static probing

Strato 2	1,00	35,138	2,5835	0,11	0,11	Piacentini- Righi 1988	1,05414E-06
Strato 3	2,00	59,276	1,6134	0,3	0,3	Piacentini- Righi 1988	2,776152
Strato 4	2,40	100,914	1,0335	0,45	0,43	Piacentini- Righi 1988	0
Strato 5	3,40	24,0692	1,4266	0,59	0,5	Piacentini- Righi 1988	7,22076E-07
Strato 6	4,40	14,4072	0,8002	0,78	0,59	Piacentini- Righi 1988	3,471399E-06
Strato 7	5,00	32,0233	1,2887	0,94	0,67	Piacentini- Righi 1988	4,706517E-03
Strato 8	7,80	11,6704	0,6001	1,26	0,82	Piacentini- Righi 1988	3,048626E-05
Strato 9	9,40	14,1343	0,7333	1,68	1,02	Piacentini- Righi 1988	2,227069E-05
Strato 10	9,80	34,88	1,333	1,87	1,11	Piacentini- Righi 1988	1,273451E-02

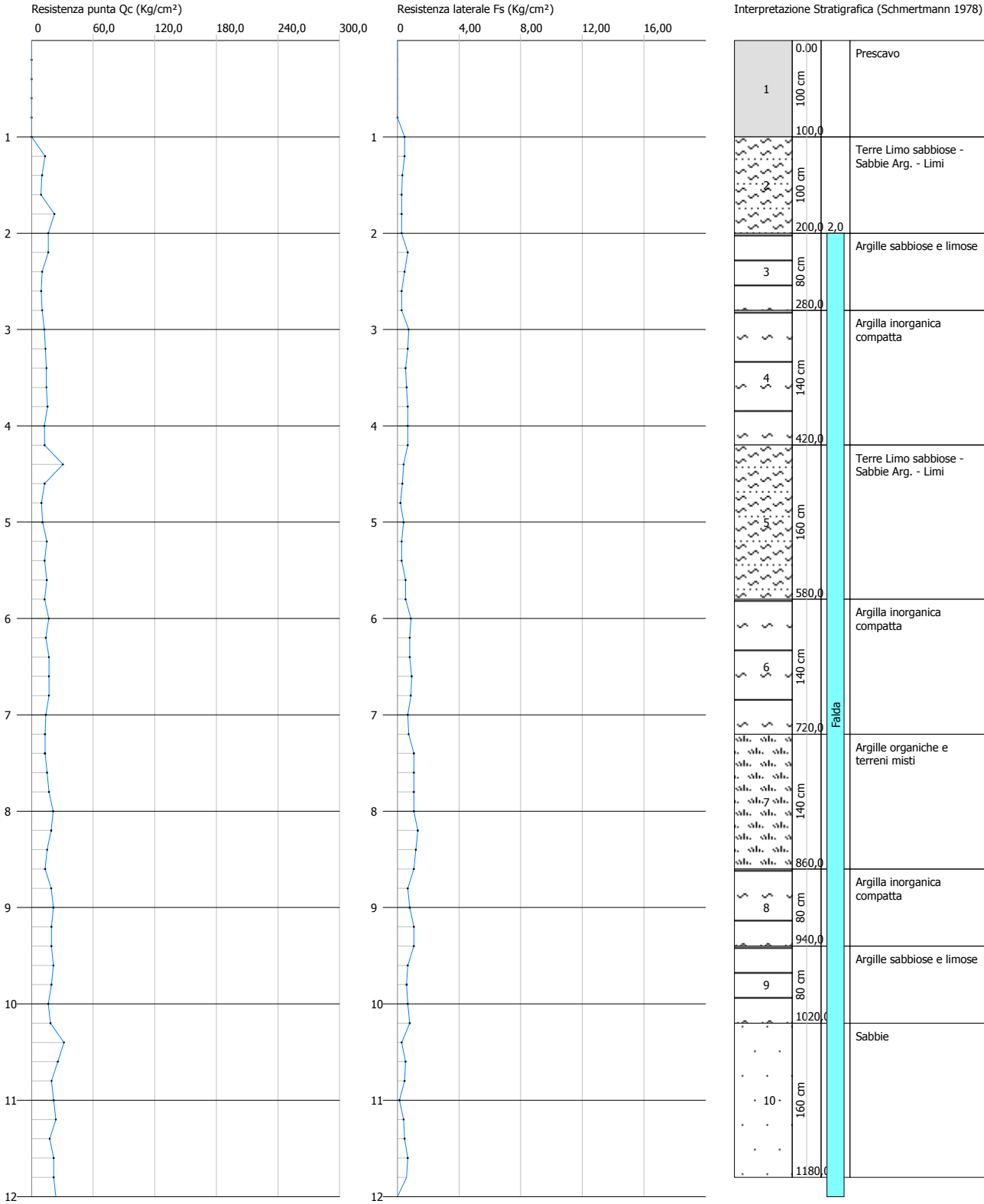
Indice	
1.Coesione non drenata	1
2.Modulo Edometrico	1
3.Modulo di deformazione non drenato Eu	2
4.Modulo di deformazione a taglio	2
5.Grado di sovraconsolidazione	2
6.Peso unità di volume	3
7.Fattori di compressibilità C Crm	3
8.Peso unità di volume saturo	3
9.Velocità onde di taglio	4
10.Densità relativa	4
11.Angolo di resistenza al taglio	4
12.Modulo di Young	4
13.Modulo Edometrico	5
14.Modulo di deformazione a taglio	5
15.Grado di sovraconsolidazione	5
16.Modulo di reazione Ko	6
17.Fattori di compressibilità C Crm	6
18.Peso unità di volume	6
19.Peso unità di volume saturo	6
20.Liquefazione -	6
21.Velocità onde di taglio.	7
22.Permabilità	7
23.Coefficiente di consolidazione	7
Indice	9

Laboratorio autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti
DPR 380/01 Art. 59 Circolare 7619/STC del 08/09/2010
Concessione per l'esecuzione e certificazione di indagini geognostiche prelievo di campioni e prove in situ
Decreto n° del e n°del.....

Probe CPT - Cone Penetration CPT 2 arch
Strumento utilizzato DEEP DRILL

Committente: Comune di Bondeno
Cantiere: Realizzazione struttura ad uso palestra
Località: Bondeno (FE), via Napoleonica

Data: 13/11/2012
Scala 1:60



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 2 arch

TERRENI COESIV I

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato 1	1,00	0,138	0,0934	0,09	0,09	Terzaghi	0,01
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Terzaghi	0,71
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Terzaghi	0,58
Strato 4	4,20	13,6949	0,6477	0,65	0,5	Terzaghi	0,68
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Terzaghi	0,74
Strato 6	7,20	15,5374	0,8096	1,21	0,76	Terzaghi	0,78
Strato 7	8,60	16,306	1,124	1,48	0,89	Terzaghi	0,82
Strato 8	9,40	19,811	0,9003	1,7	1,0	Terzaghi	0,99
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Terzaghi	0,95

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato 1	1,00	0,138	0,0934	0,09	0,09	Metodo generale del modulo Edometrico	0,91
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Metodo generale del modulo Edometrico	48,39
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Metodo generale del modulo Edometrico	46,41
Strato 4	4,20	13,6949	0,6477	0,65	0,5	Metodo generale del modulo Edometrico	48,22
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Metodo generale del modulo Edometrico	48,41
Strato 6	7,20	15,5374	0,8096	1,21	0,76	Metodo generale del modulo Edometrico	48,25
Strato 7	8,60	16,306	1,124	1,48	0,89	Metodo generale del modulo Edometrico	47,81
Strato 8	9,40	19,811	0,9003	1,7	1,0	Metodo generale del modulo Edometrico	42,43
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Metodo generale del modulo Edometrico	44,33

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Eu (Kg/cm²)
Strato 1	1,00	0,138	0,0934	0,09	0,09	Cancelli 1980	1,87
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Cancelli 1980	525,26
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Cancelli 1980	422,51
Strato 4	4,20	13,6949	0,6477	0,65	0,5	Cancelli 1980	494,95
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Cancelli 1980	534,58
Strato 6	7,20	15,5374	0,8096	1,21	0,76	Cancelli 1980	554,09
Strato 7	8,60	16,306	1,124	1,48	0,89	Cancelli 1980	578,05
Strato 8	9,40	19,811	0,9003	1,7	1,0	Cancelli 1980	705,59
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Cancelli 1980	669,08

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di deformazion e a taglio (Kg/cm²)
Strato 1	1,00	0,138	0,0934	0,09	0,09	Imai & Tomauchi	8,35
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Imai & Tomauchi	142,11
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Imai & Tomauchi	125,6
Strato 4	4,20	13,6949	0,6477	0,65	0,5	Imai & Tomauchi	138,55
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Imai & Tomauchi	145,78
Strato 6	7,20	15,5374	0,8096	1,21	0,76	Imai & Tomauchi	149,65
Strato 7	8,60	16,306	1,124	1,48	0,89	Imai & Tomauchi	154,14
Strato 8	9,40	19,811	0,9003	1,7	1,0	Imai & Tomauchi	173,61
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Imai & Tomauchi	168,76

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Ocr
Strato 1	1,00	0,138	0,0934	0,09	0,09	P.W.Mayne 1991	0,5
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	P.W.Mayne 1991	6,64
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	P.W.Mayne	5,81

						1991	
Strato 4	4,20	13,6949	0,6477	0,65	0,5	P.W.Mayne 1991	8,07
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	P.W.Mayne 1991	9
Strato 6	7,20	15,5374	0,8096	1,21	0,76	P.W.Mayne 1991	9
Strato 7	8,60	16,306	1,124	1,48	0,89	P.W.Mayne 1991	9
Strato 8	9,40	19,811	0,9003	1,7	1,0	P.W.Mayne 1991	9
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	P.W.Mayne 1991	9

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 1	1,00	0,138	0,0934	0,09	0,09	Meyerhof	0,97
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Meyerhof	1,91
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Meyerhof	1,88
Strato 4	4,20	13,6949	0,6477	0,65	0,5	Meyerhof	1,9
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Meyerhof	1,92
Strato 6	7,20	15,5374	0,8096	1,21	0,76	Meyerhof	1,92
Strato 7	8,60	16,306	1,124	1,48	0,89	Meyerhof	1,93
Strato 8	9,40	19,811	0,9003	1,7	1,0	Meyerhof	1,96
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Meyerhof	1,95

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	C	Crm
Strato 1	1,00	0,138	0,0934	0,09	0,09	9,70468	1,26161
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	0,16016	0,02082
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	0,18103	0,02353
Strato 4	4,20	13,6949	0,6477	0,65	0,5	0,16412	0,02134
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	0,15636	0,02033
Strato 6	7,20	15,5374	0,8096	1,21	0,76	0,1526	0,01984
Strato 7	8,60	16,306	1,124	1,48	0,89	0,14857	0,01931
Strato 8	9,40	19,811	0,9003	1,7	1,0	0,13413	0,01744
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	0,13732	0,01785

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 1	1,00	0,138	0,0934	0,09	0,09	Meyerhof	1,05
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Meyerhof	1,99
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Meyerhof	1,96
Strato 4	4,20	13,6949	0,6477	0,65	0,5	Meyerhof	1,98
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Meyerhof	2,0
Strato 6	7,20	15,5374	0,8096	1,21	0,76	Meyerhof	2,0
Strato 7	8,60	16,306	1,124	1,48	0,89	Meyerhof	2,01
Strato 8	9,40	19,811	0,9003	1,7	1,0	Meyerhof	2,04
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Meyerhof	2,03

Velocità onde di taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 1	1,00	0,138	0,0934	0,09	0,09	Jamiolkowsk i et al 1985	89,71
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Jamiolkowsk i et al 1985	225,83
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Jamiolkowsk i et al 1985	216,92
Strato 4	4,20	13,6949	0,6477	0,65	0,5	Jamiolkowsk i et al 1985	223,97
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Jamiolkowsk i et al 1985	227,71
Strato 6	7,20	15,5374	0,8096	1,21	0,76	Jamiolkowsk i et al 1985	229,66
Strato 7	8,60	16,306	1,124	1,48	0,89	Jamiolkowsk i et al 1985	231,88
Strato 8	9,40	19,811	0,9003	1,7	1,0	Jamiolkowsk i et al 1985	241,04
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Jamiolkowsk i et al 1985	238,83

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	29,22
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	17,94
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	18,35
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	17,57
Strato 10	11,80	22,837	0,4418	2,09	1,19	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	21,5

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	De Beer	24,8
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	De Beer	21,99
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	De Beer	20,96
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	De Beer	19,56
Strato 10	11,80	22,837	0,4418	2,09	1,19	De Beer	19,98

Modulo di Young

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Robertson & Campanella 1983	28,55
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Robertson & Campanella 1983	23,33
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Robertson & Campanella 1983	29,77
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Robertson & Campanella 1983	37,83
Strato 10	11,80	22,837	0,4418	2,09	1,19	Robertson & Campanella 1983	45,67

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Robertson & Campanella da Schmertman n	31,08
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Robertson & Campanella da Schmertman n	18,39
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Robertson & Campanella da Schmertman n	18,48
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Robertson & Campanella da Schmertman n	19,37
Strato 10	11,80	22,837	0,4418	2,09	1,19	Robertson & Campanella da Schmertman n	24,13

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Imai & Tomauchi	142,11
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Imai &	125,6

						Tomauchi	
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Imai & Tomauchi	145,78
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Imai & Tomauchi	168,76
Strato 10	11,80	22,837	0,4418	2,09	1,19	Imai & Tomauchi	189,36

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Ocr
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Stress- History	1,23
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Stress- History	0,68
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Stress- History	0,55
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Stress- History	<0.5
Strato 10	11,80	22,837	0,4418	2,09	1,19	Stress- History	<0.5

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Ko
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Kulhawy & Mayne (1990)	0,40
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Kulhawy & Mayne (1990)	0,27
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Kulhawy & Mayne (1990)	0,24
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00
Strato 10	11,80	22,837	0,4418	2,09	1,19	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	C	Crm
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	0,16016	0,02082
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	0,18103	0,02353
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	0,15636	0,02033
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	0,13732	0,01785
Strato 10	11,80	22,837	0,4418	2,09	1,19	0,12524	0,01628

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica	Tensione litostatica	Correlazione	Peso unità di volume
--	---------------------	----------------	----------------	-------------------------	-------------------------	--------------	-------------------------

				totale (Kg/cm²)	efficace (Kg/cm²)		(t/m³)
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Meyerhof	1,8
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Meyerhof	1,8
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Meyerhof	1,8
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Meyerhof	1,8
Strato 10	11,80	22,837	0,4418	2,09	1,19	Meyerhof	1,8

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Meyerhof	2,1
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Meyerhof	2,1
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Meyerhof	2,1
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Meyerhof	2,1
Strato 10	11,80	22,837	0,4418	2,09	1,19	Meyerhof	2,1

Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,13

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Robertson & Wride 1997	1,233
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Robertson & Wride 1997	0,817
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Robertson & Wride 1997	0,753
Strato 10	11,80	22,837	0,4418	2,09	1,19	Robertson & Wride 1997	0,724

Velocità onde di taglio.

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Jamiolkowski et al 1985	260,83
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Jamiolkowski et al 1985	248,73
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Jamiolkowski et al 1985	263,40
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Jamiolkowski et al 1985	278,66
Strato 10	11,80	22,837	0,4418	2,09	1,19	Jamiolkowski et al 1985	291,28

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	1,00	0,138	0,0934	0,09	0,09	Piacentini- Righi 1988	1,00E-11
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Piacentini-	1,82E-04

						Righi 1988	
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Piacentini- Righi 1988	8,71E-07
Strato 4	4,20	13,6949	0,6477	0,65	0,5	Piacentini- Righi 1988	4,92E-09
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Piacentini- Righi 1988	7,59E-05
Strato 6	7,20	15,5374	0,8096	1,21	0,76	Piacentini- Righi 1988	3,98E-10
Strato 7	8,60	16,306	1,124	1,48	0,89	Piacentini- Righi 1988	1,00E-11
Strato 8	9,40	19,811	0,9003	1,7	1,0	Piacentini- Righi 1988	7,37E-09
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Piacentini- Righi 1988	5,84E-07
Strato 10	11,80	22,837	0,4418	2,09	1,19	Piacentini- Righi 1988	5,90E-04

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazio ne (cm²/s)
Strato 1	1,00	0,138	0,0934	0,09	0,09	Piacentini- Righi 1988	4,14E-09
Strato 2	2,00	14,276	0,3202	0,27	0,27	Piacentini- Righi 1988	7,80373
Strato 3	2,80	11,664	0,417	0,44	0,4	Piacentini- Righi 1988	3,046541E- 02
Strato 4	4,20	13,6949	0,6477	0,65	0,5	Piacentini- Righi 1988	2,022511E- 04
Strato 5	5,80	14,884	0,3666	0,93	0,63	Piacentini- Righi 1988	3,388177
Strato 6	7,20	15,5374	0,8096	1,21	0,76	Piacentini- Righi 1988	1,853945E- 05
Strato 7	8,60	16,306	1,124	1,48	0,89	Piacentini- Righi 1988	4,8918E-07
Strato 8	9,40	19,811	0,9003	1,7	1,0	Piacentini- Righi 1988	4,38044E-04
Strato 9	10,20	18,9145	0,6835	1,85	1,07	Piacentini- Righi 1988	3,311003E- 02
Strato 10	11,80	22,837	0,4418	2,09	1,19	Piacentini- Righi 1988	0

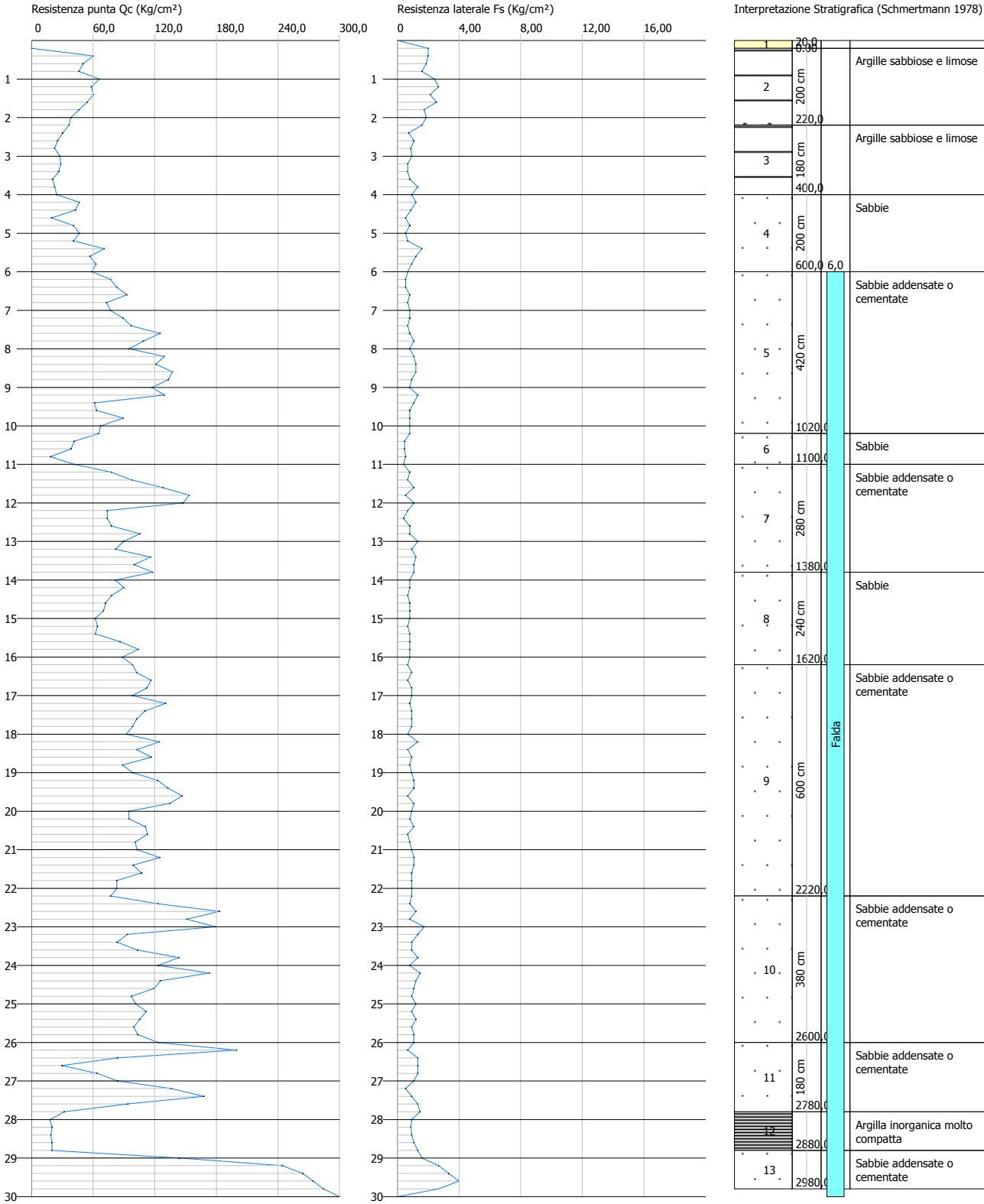
Indice	
1.Coesione non drenata	1
2.Modulo Edometrico	1
3.Modulo di deformazione non drenato Eu	2
4.Modulo di deformazione a taglio	2
5.Grado di sovraconsolidazione	2
6.Peso unità di volume	3
7.Fattori di compressibilità C Crm	3
8.Peso unità di volume saturo	3
9.Velocità onde di taglio	4
10.Densità relativa	4
11.Angolo di resistenza al taglio	4
12.Modulo di Young	5
13.Modulo Edometrico	5
14.Modulo di deformazione a taglio	5
15.Grado di sovraconsolidazione	6
16.Modulo di reazione Ko	6
17.Fattori di compressibilità C Crm	6
18.Peso unità di volume	6
19.Peso unità di volume saturo	7
20.Liquefazione -	7
21.Velocità onde di taglio.	7
22.Permabilità	7
23.Coefficiente di consolidazione	8
Indice	9

Laboratorio autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti
DPR 380/01 Art. 59 Circolare 7619/STC del 08/09/2010
Concessione per l'esecuzione e certificazione di indagini geognostiche prelievo di campioni e prove in situ
Decreto n° del e n°del.....

Probe CPT - Cone Penetration CPT 3 arch
Strumento utilizzato DEEP DRILL

Committente: Comune di Bondeno
Cantiere: Realizzazione struttura ad uso palestra
Località: Bondeno (FE), via Napoleonica

Data: 18/07/2012
Scala 1:150



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 3 arch

TERRENI COESIV I

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato 1	0,20	0,14	2,0	0,02	0,02	Terzaghi	0,01
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Terzaghi	2,58
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Terzaghi	1,27
Strato 12	28,80	19,37	1,03	5,58	3,35	Terzaghi	0,97

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato 1	0,20	0,14	2,0	0,02	0,02	Metodo generale del modulo Edometrico	0,92
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Metodo generale del modulo Edometrico	103,28
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Metodo generale del modulo Edometrico	50,76
Strato 12	28,80	19,37	1,03	5,58	3,35	Metodo generale del modulo Edometrico	43,41

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Eu (Kg/cm²)
Strato 1	0,20	0,14	2,0	0,02	0,02	Cancelli 1980	4,66
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Cancelli 1980	1927,33
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Cancelli 1980	927,81
Strato 12	28,80	19,37	1,03	5,58	3,35	Cancelli 1980	600,62

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di deformazion e a taglio (Kg/cm²)
Strato 1	0,20	0,14	2,0	0,02	0,02	Imai & Tomauchi	8,42
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Imai & Tomauchi	311,74
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Imai &	201,98

						Tomauchi	
Strato 12	28,80	19,37	1,03	5,58	3,35	Imai & Tomauchi	171,24

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Ocr
Strato 1	0,20	0,14	2,0	0,02	0,02	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 12	28,80	19,37	1,03	5,58	3,35	Piacentini Righi 1978	2,07

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 1	0,20	0,14	2,0	0,02	0,02	Meyerhof	1,12
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Meyerhof	2,13
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Meyerhof	2,01
Strato 12	28,80	19,37	1,03	5,58	3,35	Meyerhof	1,94

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	C	Crm
Strato 1	0,20	0,14	2,0	0,02	0,02	9,567	1,24371
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	0,1049	0,01364
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	0,1194	0,01552
Strato 12	28,80	19,37	1,03	5,58	3,35	0,13566	0,01764

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 1	0,20	0,14	2,0	0,02	0,02	Meyerhof	1,2
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Meyerhof	2,21
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Meyerhof	2,09
Strato 12	28,80	19,37	1,03	5,58	3,35	Meyerhof	2,02

Velocità onde di taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 1	0,20	0,14	2,0	0,02	0,02	Jamiolkowsk i et al 1985	89,97
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Jamiolkowsk i et al 1985	291,67
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Jamiolkowsk	253,22

						i et al 1985	
Strato 12	28,80	19,37	1,03	5,58	3,35	Jamiolkowsk i et al 1985	239,96

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	67,1
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	33,3
Strato 4	6,00	48,66	0,9	1,02	1,02	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	45,2
Strato 5	10,20	96,81	0,87	1,62	1,41	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	60,1
Strato 6	11,00	35,02	0,47	2,1	1,64	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	29,0
Strato 7	13,80	102,93	0,89	2,45	1,81	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	58,3
Strato 8	16,20	79,81	0,77	2,96	2,06	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	49,2
Strato 9	22,20	107,45	0,91	3,78	2,46	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	55,1
Strato 10	26,00	123,39	1,1	4,75	2,94	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	56,5
Strato 11	27,80	98,9	1,11	5,31	3,22	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	49,0
Strato 13	29,80	242,11	2,85	5,78	3,45	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	73,4

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	De Beer	31,4
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	De Beer	23,4
Strato 4	6,00	48,66	0,9	1,02	1,02	De Beer	24,3
Strato 5	10,20	96,81	0,87	1,62	1,41	De Beer	26,0
Strato 6	11,00	35,02	0,47	2,1	1,64	De Beer	20,5
Strato 7	13,80	102,93	0,89	2,45	1,81	De Beer	25,1
Strato 8	16,20	79,81	0,77	2,96	2,06	De Beer	23,3
Strato 9	22,20	107,45	0,91	3,78	2,46	De Beer	23,9
Strato 10	26,00	123,39	1,1	4,75	2,94	De Beer	23,7
Strato 11	27,80	98,9	1,11	5,31	3,22	De Beer	22,2

Strato 13	29,80	242,11	2,85	5,78	3,45	De Beer	26,1
-----------	-------	--------	------	------	------	---------	------

Modulo di Young

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Robertson & Campanella 1983	103,28
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Robertson & Campanella 1983	50,76
Strato 4	6,00	48,66	0,9	1,02	1,02	Robertson & Campanella 1983	97,32
Strato 5	10,20	96,81	0,87	1,62	1,41	Robertson & Campanella 1983	193,62
Strato 6	11,00	35,02	0,47	2,1	1,64	Robertson & Campanella 1983	70,04
Strato 7	13,80	102,93	0,89	2,45	1,81	Robertson & Campanella 1983	205,86
Strato 8	16,20	79,81	0,77	2,96	2,06	Robertson & Campanella 1983	159,62
Strato 9	22,20	107,45	0,91	3,78	2,46	Robertson & Campanella 1983	214,9
Strato 10	26,00	123,39	1,1	4,75	2,94	Robertson & Campanella 1983	246,78
Strato 11	27,80	98,9	1,11	5,31	3,22	Robertson & Campanella 1983	197,8
Strato 13	29,80	242,11	2,85	5,78	3,45	Robertson & Campanella 1983	484,22

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Buisman - Sanglerat	77,46
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Buisman - Sanglerat	126,9
Strato 4	6,00	48,66	0,9	1,02	1,02	Buisman - Sanglerat	72,99
Strato 5	10,20	96,81	0,87	1,62	1,41	Buisman - Sanglerat	145,21
Strato 6	11,00	35,02	0,47	2,1	1,64	Buisman - Sanglerat	105,06
Strato 7	13,80	102,93	0,89	2,45	1,81	Buisman - Sanglerat	154,4
Strato 8	16,20	79,81	0,77	2,96	2,06	Buisman -	119,71

						Sanglerat	
Strato 9	22,20	107,45	0,91	3,78	2,46	Buisman - Sanglerat	161,17
Strato 10	26,00	123,39	1,1	4,75	2,94	Buisman - Sanglerat	185,08
Strato 11	27,80	98,9	1,11	5,31	3,22	Buisman - Sanglerat	148,35
Strato 13	29,80	242,11	2,85	5,78	3,45	Buisman - Sanglerat	363,17

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Imai & Tomauchi	311,74
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Imai & Tomauchi	201,98
Strato 4	6,00	48,66	0,9	1,02	1,02	Imai & Tomauchi	300,62
Strato 5	10,20	96,81	0,87	1,62	1,41	Imai & Tomauchi	457,67
Strato 6	11,00	35,02	0,47	2,1	1,64	Imai & Tomauchi	245,89
Strato 7	13,80	102,93	0,89	2,45	1,81	Imai & Tomauchi	475,14
Strato 8	16,20	79,81	0,77	2,96	2,06	Imai & Tomauchi	406,74
Strato 9	22,20	107,45	0,91	3,78	2,46	Imai & Tomauchi	487,78
Strato 10	26,00	123,39	1,1	4,75	2,94	Imai & Tomauchi	530,8
Strato 11	27,80	98,9	1,11	5,31	3,22	Imai & Tomauchi	463,68
Strato 13	29,80	242,11	2,85	5,78	3,45	Imai & Tomauchi	801,29

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Ocr
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 4	6,00	48,66	0,9	1,02	1,02	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 5	10,20	96,81	0,87	1,62	1,41	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 6	11,00	35,02	0,47	2,1	1,64	Piacentini Righi 1978	3,4
Strato 7	13,80	102,93	0,89	2,45	1,81	Piacentini Righi 1978	7,9
Strato 8	16,20	79,81	0,77	2,96	2,06	Piacentini Righi 1978	5,5
Strato 9	22,20	107,45	0,91	3,78	2,46	Piacentini Righi 1978	6,0

Strato 10	26,00	123,39	1,1	4,75	2,94	Piacentini Righi 1978	5,7
Strato 11	27,80	98,9	1,11	5,31	3,22	Piacentini Righi 1978	4,4
Strato 13	29,80	242,11	2,85	5,78	3,45	Piacentini Righi 1978	>9

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Ko
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Kulhawy & Mayne (1990)	0,98
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Kulhawy & Mayne (1990)	0,33
Strato 4	6,00	48,66	0,9	1,02	1,02	Kulhawy & Mayne (1990)	0,37
Strato 5	10,20	96,81	0,87	1,62	1,41	Kulhawy & Mayne (1990)	0,48
Strato 6	11,00	35,02	0,47	2,1	1,64	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00
Strato 7	13,80	102,93	0,89	2,45	1,81	Kulhawy & Mayne (1990)	0,42
Strato 8	16,20	79,81	0,77	2,96	2,06	Kulhawy & Mayne (1990)	0,33
Strato 9	22,20	107,45	0,91	3,78	2,46	Kulhawy & Mayne (1990)	0,35
Strato 10	26,00	123,39	1,1	4,75	2,94	Kulhawy & Mayne (1990)	0,34
Strato 11	27,80	98,9	1,11	5,31	3,22	Kulhawy & Mayne (1990)	0,28
Strato 13	29,80	242,11	2,85	5,78	3,45	Kulhawy & Mayne (1990)	0,48

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	C	Crm
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	0,1049	0,01364
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	0,1194	0,01552
Strato 4	6,00	48,66	0,9	1,02	1,02	0,10637	0,01383
Strato 5	10,20	96,81	0,87	1,62	1,41	0,09473	0,01231
Strato 6	11,00	35,02	0,47	2,1	1,64	0,11613	0,0151
Strato 7	13,80	102,93	0,89	2,45	1,81	0,09431	0,01226
Strato 8	16,20	79,81	0,77	2,96	2,06	0,09679	0,01258
Strato 9	22,20	107,45	0,91	3,78	2,46	0,09409	0,01223

Static probing

Strato 10	26,00	123,39	1,1	4,75	2,94	0,0939	0,01221
Strato 11	27,80	98,9	1,11	5,31	3,22	0,09457	0,01229
Strato 13	29,80	242,11	2,85	5,78	3,45	1,71224	0,22259

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Meyerhof	1,8
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Meyerhof	1,8
Strato 4	6,00	48,66	0,9	1,02	1,02	Meyerhof	1,8
Strato 5	10,20	96,81	0,87	1,62	1,41	Meyerhof	1,9
Strato 6	11,00	35,02	0,47	2,1	1,64	Meyerhof	1,9
Strato 7	13,80	102,93	0,89	2,45	1,81	Meyerhof	1,9
Strato 8	16,20	79,81	0,77	2,96	2,06	Meyerhof	1,9
Strato 9	22,20	107,45	0,91	3,78	2,46	Meyerhof	1,9
Strato 10	26,00	123,39	1,1	4,75	2,94	Meyerhof	1,9
Strato 11	27,80	98,9	1,11	5,31	3,22	Meyerhof	1,9
Strato 13	29,80	242,11	2,85	5,78	3,45	Meyerhof	1,9

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Meyerhof	2,1
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Meyerhof	2,1
Strato 4	6,00	48,66	0,9	1,02	1,02	Meyerhof	2,1
Strato 5	10,20	96,81	0,87	1,62	1,41	Meyerhof	2,2
Strato 6	11,00	35,02	0,47	2,1	1,64	Meyerhof	2,2
Strato 7	13,80	102,93	0,89	2,45	1,81	Meyerhof	2,2
Strato 8	16,20	79,81	0,77	2,96	2,06	Meyerhof	2,2
Strato 9	22,20	107,45	0,91	3,78	2,46	Meyerhof	2,2
Strato 10	26,00	123,39	1,1	4,75	2,94	Meyerhof	2,2
Strato 11	27,80	98,9	1,11	5,31	3,22	Meyerhof	2,2
Strato 13	29,80	242,11	2,85	5,78	3,45	Meyerhof	2,2

Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,13

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 4	6,00	48,66	0,9	1,02	1,02	Robertson & Wride 1997	5,131
Strato 5	10,20	96,81	0,87	1,62	1,41	Robertson & Wride 1997	13,89
Strato 6	11,00	35,02	0,47	2,1	1,64	Robertson & Wride 1997	0,996
Strato 7	13,80	102,93	0,89	2,45	1,81	Robertson & Wride 1997	11,994
Strato 8	16,20	79,81	0,77	2,96	2,06	Robertson & Wride 1997	3,233
Strato 9	22,20	107,45	0,91	3,78	2,46	Robertson & Wride 1997	8,029
Strato 10	26,00	123,39	1,1	4,75	2,94	Robertson & Wride 1997	9,702
Strato 11	27,80	98,9	1,11	5,31	3,22	Robertson &	3,541

Static probing

Strato 13	29,80	242,11	2,85	5,78	3,45	Wride 1997 Robertson & Wride 1997	155,81

Velocità onde di taglio.

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Jamiolkowsk i et al 1985	352,84
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Jamiolkowsk i et al 1985	298,59
Strato 4	6,00	48,66	0,9	1,02	1,02	Jamiolkowsk i et al 1985	347,94
Strato 5	10,20	96,81	0,87	1,62	1,41	Jamiolkowsk i et al 1985	408,99
Strato 6	11,00	35,02	0,47	2,1	1,64	Jamiolkowsk i et al 1985	322,06
Strato 7	13,80	102,93	0,89	2,45	1,81	Jamiolkowsk i et al 1985	414,93
Strato 8	16,20	79,81	0,77	2,96	2,06	Jamiolkowsk i et al 1985	390,85
Strato 9	22,20	107,45	0,91	3,78	2,46	Jamiolkowsk i et al 1985	419,14
Strato 10	26,00	123,39	1,1	4,75	2,94	Jamiolkowsk i et al 1985	432,99
Strato 11	27,80	98,9	1,11	5,31	3,22	Jamiolkowsk i et al 1985	411,05
Strato 13	29,80	242,11	2,85	5,78	3,45	Jamiolkowsk i et al 1985	507,30

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0,20	0,14	2,0	0,02	0,02	Piacentini- Righi 1988	1,00E-11
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Piacentini- Righi 1988	2,95E-08
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Piacentini- Righi 1988	7,69E-07
Strato 4	6,00	48,66	0,9	1,02	1,02	Piacentini- Righi 1988	7,61E-04
Strato 5	10,20	96,81	0,87	1,62	1,41	Piacentini- Righi 1988	1,00E-03
Strato 6	11,00	35,02	0,47	2,1	1,64	Piacentini- Righi 1988	5,89E-03
Strato 7	13,80	102,93	0,89	2,45	1,81	Piacentini- Righi 1988	1,00E-03
Strato 8	16,20	79,81	0,77	2,96	2,06	Piacentini- Righi 1988	1,00E-03
Strato 9	22,20	107,45	0,91	3,78	2,46	Piacentini- Righi 1988	1,00E-03
Strato 10	26,00	123,39	1,1	4,75	2,94	Piacentini-	1,00E-03

						Righi 1988	
Strato 11	27,80	98,9	1,11	5,31	3,22	Piacentini-Righi 1988	1,00E-03
Strato 12	28,80	19,37	1,03	5,58	3,35	Piacentini-Righi 1988	1,42E-10
Strato 13	29,80	242,11	2,85	5,78	3,45	Piacentini-Righi 1988	9,75E-03

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazio ne (cm ² /s)
Strato 1	0,20	0,14	2,0	0,02	0,02	Piacentini-Righi 1988	4,2E-09
Strato 2	2,20	51,64	2,04	0,24	0,24	Piacentini-Righi 1988	4,565482E-03
Strato 3	4,00	25,38	0,89	0,64	0,64	Piacentini-Righi 1988	5,856657E-02
Strato 4	6,00	48,66	0,9	1,02	1,02	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 5	10,20	96,81	0,87	1,62	1,41	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 6	11,00	35,02	0,47	2,1	1,64	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 7	13,80	102,93	0,89	2,45	1,81	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 8	16,20	79,81	0,77	2,96	2,06	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 9	22,20	107,45	0,91	3,78	2,46	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 10	26,00	123,39	1,1	4,75	2,94	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 11	27,80	98,9	1,11	5,31	3,22	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 12	28,80	19,37	1,03	5,58	3,35	Piacentini-Righi 1988	8,238067E-06
Strato 13	29,80	242,11	2,85	5,78	3,45	Piacentini-Righi 1988	0

Allegato 2

Report verifica a liquefazione

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

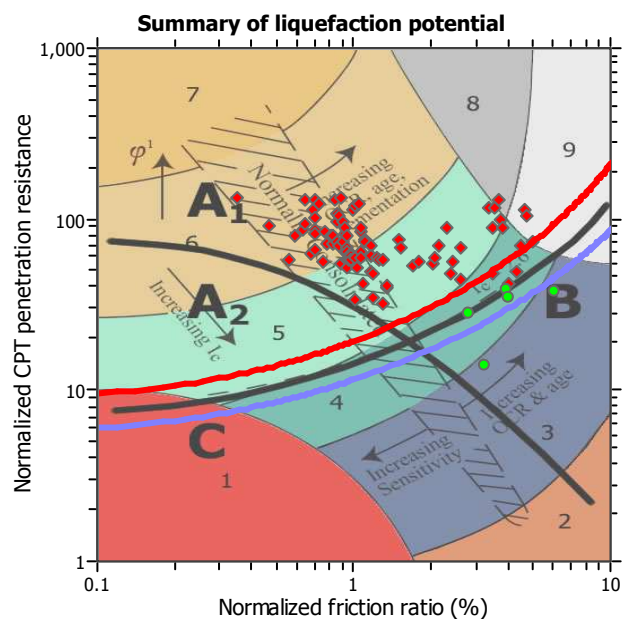
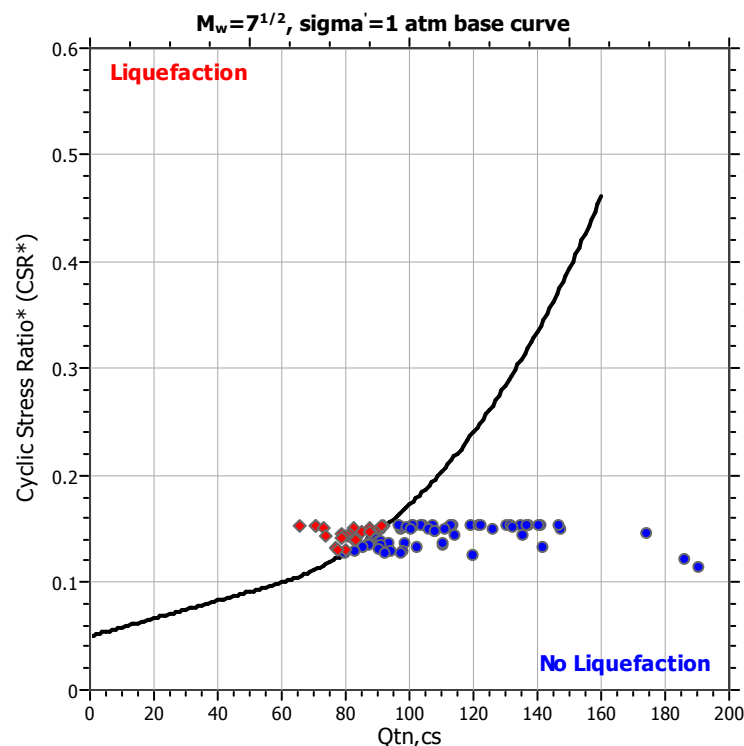
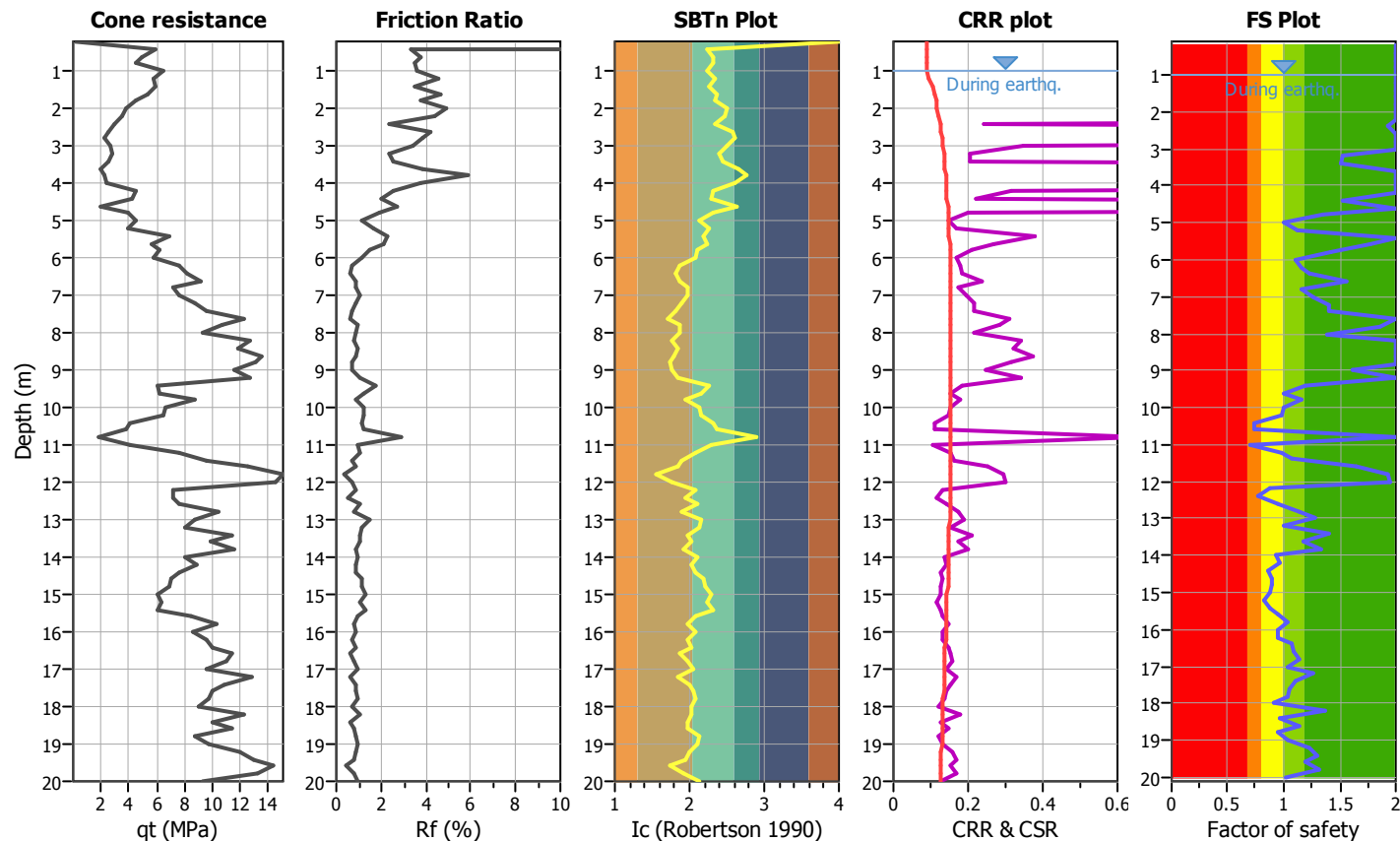
Project title : Realizzazione palestra

Location : Bondeno (FE), via Napoleonica

CPT file : Foglio1

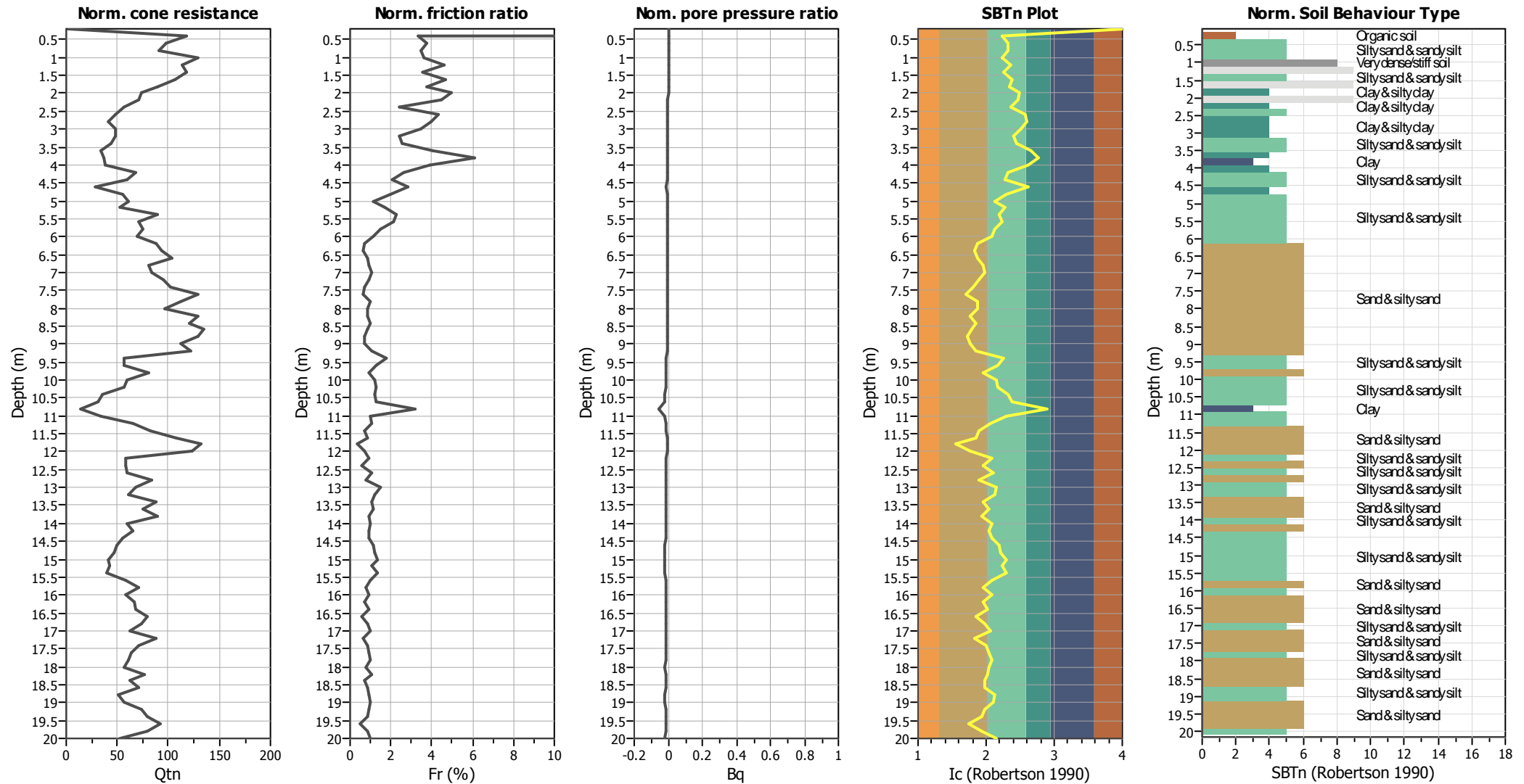
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
 Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

CPT basic interpretation plots (normalized)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

