



**SAL - SOCIETA' ACQUA LODIGIANA S.R.L.**  
26900 - Lodi - Via dell'Artigianato 1/3 - Loc. San Grato

**LAVORI DI AMPLIAMENTO E  
ADEGUAMENTO DELL'IMPIANTO  
DI DEPURAZIONE IN COMUNE  
DI CASTIGLIONE D'ADDA (LO)**

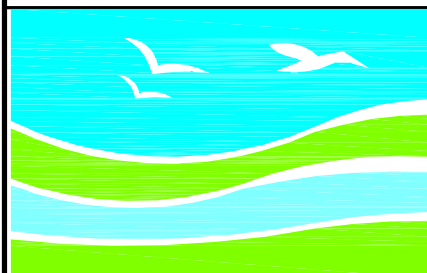
**PROGETTO DEFINITIVO**

**R02 – RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

PROGETTISTA:  
DOTT. ING. **FULVIO BERNABEI**

GRUPPO DI LAVORO:  
DOTT. ING. **LAURA GRILLI**  
DOTT. ING. **GIANLUIGI SEVINI**

CONSULENTE:  
DOTT. GEOL. **FELICE SACCHI**



**DIZETA INGEGNERIA S.r.l.**

Via Bassini, 19 – 20133 MILANO Tel. 02-70600125  
server@dizetaingegneria.it Fax 02-70600014

DIRETTORE TECNICO:  
dott. ing. **FULVIO BERNABEI**

DATA **OTTOBRE 2017**

COMMESSA N° <b>2017/007</b>	REDATTO
CODICE COMMESSA <b>ESSALCASTIGLIONE</b>	CONTROLLATO
NOME FILE	APPROVATO

Mod. 7.3 G – Rev. 01	REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICA	REDATTO	CONTR.	APPR.



**di Sacchi T. & C. Via Molino 54/A 27010 San Zenone Po (PV)**  
**Tel. 0382 79326 - 335 5493146 E-mail. gheos-fs@libero.it**  
**C.F. e P:IVA 01753420189. Reg.Imp.7727/1998**

## **DIZETA INGEGNERIA**

**Via Bassini 19**

**20133 Milano (Mi)**

**Indagini geofisiche, geognostiche e relazione geologica, per  
la costruzione di una vasca per acqua parzialmente  
interrata sita in 45.224191 N, 9.690315 E,  
Castiglione d'Adda (Lo).**

**R1 - Relazione Geologica ai sensi del DM 14/01/08 NTC**  
**R2 - Relazione Geotecnica ai sensi del DM 14/01/08 NTC**  
**R3 - Relazione Geologica ai sensi della DGR IX/2616/2011**

**Luglio 2017**

# R1 – Relazione Geologica ai sensi del DM 14/01/08 NTC

Indagini geofisiche, geognostiche e relazione geologica, per la costruzione di una vasca per acqua parzialmente interrata sita in 45.224191 N, 9.690315 E, Castiglione d'Adda (Lo).

## • PREMESSE

La presente indagine è stata commissionata allo scopo di individuare le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni interessati alla costruzione di una vasca per acqua parzialmente interrata sita in 45.224191 N, 9.690315 E, Castiglione d'Adda (Lo).

Il programma delle indagini, concordato con il progettista, vista anche la conoscenza dei luoghi, ha previsto la realizzazione di n.1 prova penetrometrica statica fino alla profondità massima di 9.80 m con l'utilizzo del penetrometro automatico PAGANI TG 63/200 dotato di trasduttore di carico e display digitale riportante i valori compensati del carico alla punta in Kg/cm<sup>2</sup>.

A completamento dell'indagine è stata riutilizzata un'indagine sismica di superficie di tipo HVSR eseguita dalla Società Gheos S.a.s. in area limitrofa, per la caratterizzazione dei terreni in chiave sismica (VS 30) con una registrazione di venti minuti attraverso un geofono tridimensionale.

## • MODALITÀ DELL'INDAGINE PENETROMETRICA STATICA

Prove Penetrometriche Statiche a punta meccanica Begemann (Cone Penetration Test CPT)

Procedure di riferimento: ASTM (D3441-79) (3441-86),

Raccomandazioni AGI Associazione Geotecnica Italiana (1977),

ISSMFE (Internatione Society of Soil Mechanics and geotechnical Engineering), 1988

Penetrometro TG 63/200 KN Manuale d'uso del Costruttore (Pagani)

## • MODALITÀ OPERATIVA DI CAMPAGNA DELL'INDAGINE PENETROMETRICA STATICA

La prova penetrometrica statica si realizza infiggendo nel terreno la speciale punta meccanica Begeman, collegata ad una batteria di aste, mediante la pressione del gruppi di spinta idraulica del penetrometro, alla velocità standardizzata di 2 cm al secondo. Suddetta punta, avente un diametro alla punta di 36 mm, una conicità di 60° e una superficie sul piano orizzontale di 10 cm, supporta, lungo il suo stelo, un manicotto di frizione la cui superficie laterale è di 150 cm<sup>2</sup>. La punta stessa è raccordata tramite filettatura conica ad una batteria di aste con diametro di 36 mm. che alloggiavano al loro interno una serie di astine con diametro di 15 mm. Utilizzando il selettore meccanico di cui è dotata la testa di spinta del penetrometro si spinge alternativamente sulle astine interne e sulle aste esterne mediante l'interposta cella di pressione.

La cella è dotata di un trasduttore di carico in grado di convertire lo sforzo di spinta in un segnale elettrico, che opportunamente condizionato viene visualizzato sul display digitale della centralina menzionata, essa esprime i valori di resistenza alla punta in kg/cm<sup>2</sup>, in Kg per lo sforzo di attrito laterale agente sul manicotto di frizione ed in Kg per quanto riguarda la resistenza totale.

Caricando quindi sulla astine interne per i primi 4 cm si ottiene il carico di rottura del terreno in kg/cm, continuando l'avanzamento per altri 4 cm si infigge il manicotto laterale ed il valore letto in centralina rappresenta l'attrito laterale del terreno, proseguendo nell'infissione si misura il valore totale, cioè carico di punta + attrito laterale sul manicotto + attrito laterale sulla batteria di aste, si riprende la spinta sulla batteria di aste esterna per 12 cm in modo tale da avere la tripletta di valori per tratti di 20 cm di terreno attraversato. In effetti la misura del valore di resistenza totale (Rt) è un numero che non ha una particolare importanza ai fini interpretativi della prova, ma bensì è un elemento di controllo della buona esecuzione della procedura in campagna, pertanto esso viene rilevato saltuariamente in casi di dubbi nell'acquisizione dei valori o per conferma della spinta totale del penetrometro che è di 20 ton. I valori di campagna vengono riportati sul MOD. 7510

## • MODALITÀ OPERATIVA D'UFFICIO DELL'INDAGINE PENETROMETRICA STATICA E DINAMICA

I dati di campagna riportati sul MOD. 7510, vengono caricati su computer tramite Software dedicato (Programma win-cpt per le statiche e win-din per le dinamiche); questi programmi ordinano le prove per cantiere di esecuzione adottando una numerazione progressiva, divisa per anno di esecuzione e per computer di memorizzazione. (N° cantiere – anno di esecuzione-computer utilizzato, ...) Il trattamento dei dati permette di stampare: i certificati di campagna, numerici ed in grafico, le valutazioni litologiche secondo il metodo Begemann e AGI 1977 e secondo il metodo di Schmertmann 1978, i parametri geotecnici del terreno per intervalli di 20 cm.

## • BREVE DESCRIZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE ESEGUITE

La prova eseguita, può essere così schematizzata. Viene di seguito diagrammata, riporta i valori di campagna e indica la presenza di :

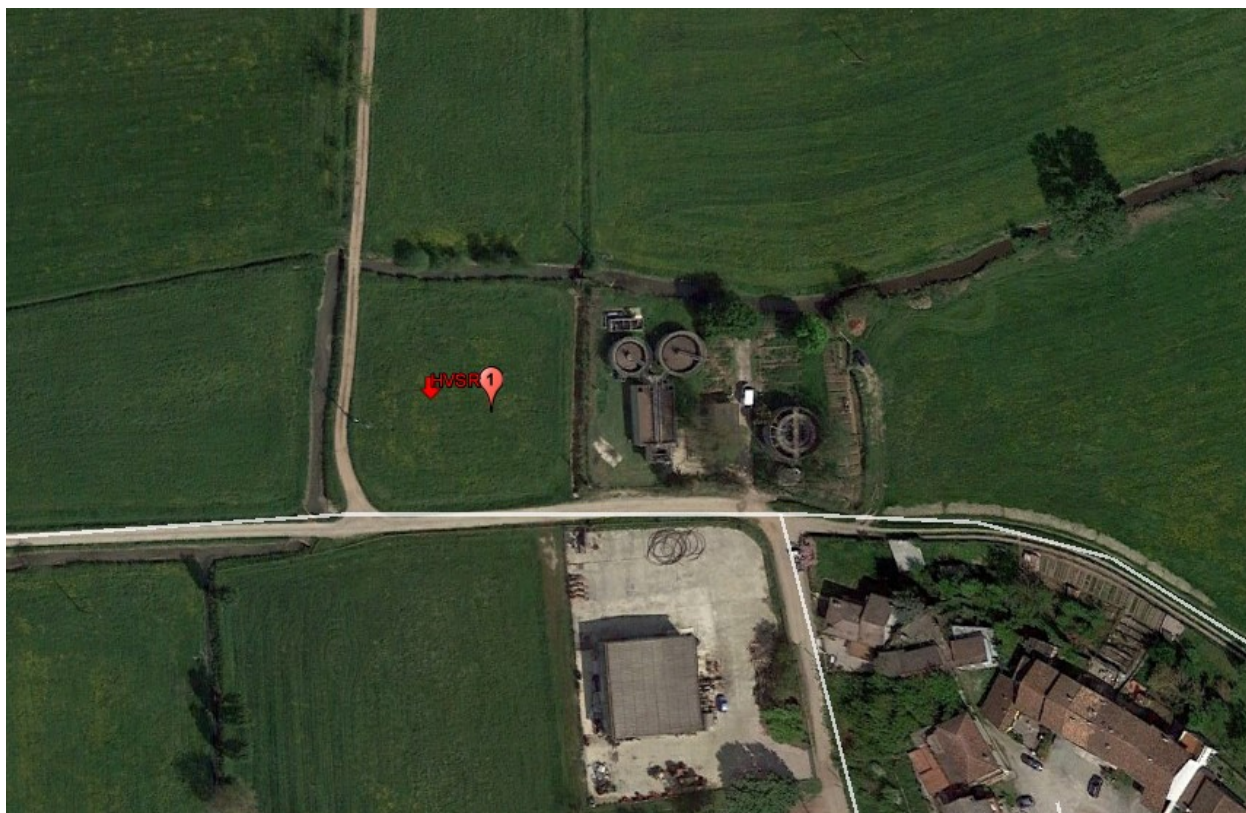
### Prova 1

LIVELLO 1 da 0.00 sino a 0.60 m,	sabbia limosa	(7 Nspt)
LIVELLO 2 da 0.60 sino a 2.20 m,	limo sabbioso	(5 Nspt)
LIVELLO 3 da 2.20 sino a 3.20 m,	sabbia	(10 Nspt)
LIVELLO 4 da 3.20 sino a 9.20 m,	sabbia	(15 Nspt)
LIVELLO 5 da 9.20 sino a 9.80 m,	sabbia ghiaiosa	(40 Nspt)

## • INDIVIDUAZIONE DEI PARAMETRI MECCANICI E GEOTECNICI

Sempre utilizzando i dati di campagna è possibile, per ogni strato avente spessore di 20 cm, individuare una serie di valori numerici che caratterizzano i terreni attraversati dalle prove penetrometriche, questi valori vanno dal peso dell'unità di volume ai vari moduli di deformazione, all'angolo di attrito interno, al valore delle coesione non drenata, da utilizzarsi nelle zone sismiche per calcolare la potenziale liquefazione delle sabbie. Al momento dell'indagine è stato individuato il livello della falda freatica posto a -1.30 m da piano campagna.

In allegato Ubicazione indagini, legende delle prove penetrometriche, certificati, diagrammi, valutazioni litologiche e tabelle dei parametri geotecnici.



## • INDAGINE SISMICA

Ad integrazione dell'indagine, è stato riutilizzato un rilevamento sismico passivo di tipo HVSR eseguito dalla Società Gheos S.a.s. in zona limitrofa, per la determinazione delle Vs 30, onde che servono per classificare sismicamente i terreni coinvolti nel progetto. L'energizzazione è causata dai microtremiti che il terreno produce di continuo. La strumentazione di acquisizione dati è composta dal sismografo ECHO 24 con l'utilizzo di cavi multipolari e un geofono tridimensionale da 4,5 Hz. Scopo dell'indagine è stato essenzialmente quello di fornire indicazioni relative alla velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione P e di taglio S con conseguente possibilità di individuare i rapporti geometrici nel sottosuolo tra i terreni sciolti e quelli dotati di coesione ed, entro questi, quelli più o meno disgiunti per fessurazione e fatturazione e di caratterizzare il terreno sino a 30 metri di profondità in termini di propagazione delle onde sismiche di taglio S.

## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

**PENETROMETRO STATICO OLANDESE tipo GOUDA (tipo meccanico).**

Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing 35.7$  mm, angolo di apertura  $\alpha = 60^\circ$  - (area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$ )
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ( $\varnothing 35.7$  mm - h 133 mm - sup. lat. Am. =  $150 \text{ cm}^2$ )
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm / sec}$  ( $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$ )
- spinta max nominale dello strumento  $S_{max}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett.  $\Rightarrow$  Spinta)  $C_t = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$

fase 1 - resistenza alla punta  $q_c$  (Kg /  $\text{cm}^2$ ) = (L. punta)  $C_t / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale  $f_s$  (Kg /  $\text{cm}^2$ ) = [(L. laterale) - (L. punta)]  $C_t / 150$

fase 3 - resistenza totale  $R_t$  (Kg) = (L. totale)  $C_t$

$q_c / f_s$  = 'rapporto Begemann'

- L. punta = lettura di campagna durante l'infissione della sola punta (fase 1)
- L. laterale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- L. totale = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta  $S$  (Kg), corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna  $L$  per la costante di trasformazione  $C_t$ .

N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata 20 cm sopra la punta.

### CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N  $\approx$  100 kg = 0,1 t - 1MN (megaNewton) = 1000 kN = 1000000 N  $\approx$  100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/ $\text{m}^2$  = 0,001 MN/ $\text{m}^2$  = 0,001 MPa  $\approx$  0,1 t/ $\text{m}^2$  = 0,01 kg/ $\text{cm}^2$

1 MPa (MegaPascal) = 1 MN/ $\text{m}^2$  = 1000 kN/ $\text{m}^2$  = 1000 kPa  $\approx$  100 t/ $\text{m}^2$  = 10 kg/ $\text{cm}^2$

kg/ $\text{cm}^2$  = 10 t/ $\text{m}^2$   $\approx$  100 kN/ $\text{m}^2$  = 100 kPa = 0,1 MN/ $\text{m}^2$  = 0,1 Mpa

1 t = 1000 kg  $\approx$  10 kN

## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto:  $F = (q_c / f_s)$

( Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977 )

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

F = $q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
F < 15	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
15 < F ≤ 30	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
30 < F ≤ 60	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
F > 60	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di  $q_c$  e di  $FR = (f_s / q_c) \% :$

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$  di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato ( inalterato ) , per depositi coesivi.

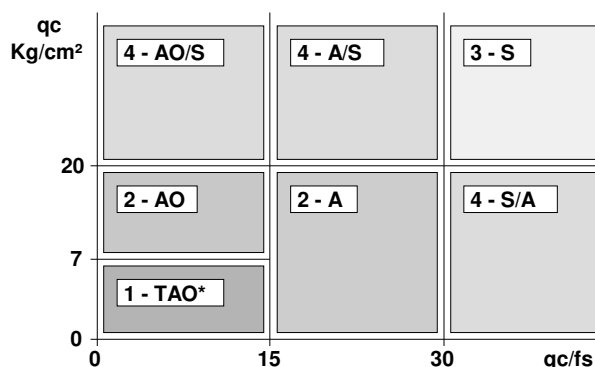
## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

### SCELTE LITOLOGICHE ( validità orientativa )

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto  $qc / fs$  ( Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977 ), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$qc \leq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni COESIVI anche se  $( qc / fs ) > 30$

$qc \geq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni GRANULARI anche se  $( qc / fs ) < 30$



### NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

### PARAMETRI GEOTECNICI ( validità orientativa ) - simboli - correlazioni - bibliografia

- $\gamma'$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [ correlazioni :  $\gamma'$  - qc - natura ] ( Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma'$  )
- $C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $C_u$  - qc ]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi ) [ correlazioni : OCR -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ] ( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- $E_u$  = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [ correl. :  $E_u$  -  $C_u$  - OCR -  $I_p$   $I_p$ = ind.plast.]  
 $E_{u50}$  -  $E_{u25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- $E'$  = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni :  $E'$  - qc ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza  $F = 2 - 4$  rispettivamente ) (Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983 )
- $M_o$  = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. :  $M_o$  - qc - natura] (Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- $D_r$  = densità relativa (terreni gran. N. C. - normalmente consolidati) [ correlazioni :  $D_r$  - qc -  $\sigma'_{vo}$  ] (Schmertmann 1976 )
- $\emptyset'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\emptyset'$  -  $D_r$  - qc -  $\sigma'_{vo}$  ] (Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976 )  
 $\emptyset'_{1s}$  - (Schmertmann) sabbia fine uniforme       $\emptyset'_{2s}$  - sabbia media unif./ fine ben gradata  
 $\emptyset'_{3s}$  - sabbia grossa unif./ media ben gradata       $\emptyset'_{4s}$  - sabbia-ghiaia poco lim./ ghiaietto unif.  
 $\emptyset'_{dm}$  - ( Durgunoglu & Mitchell ) sabbie N.C.       $\emptyset'_{my}$  - (Meyerhof) sabbie limose
- $A_{max}$  = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari ) (  $g$  = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni : ( $A_{max}/g$ ) -  $D_r$  ]

## PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 1

2.01PG05-015

- committente : DZ Ingegneria - SAL S.r.l.  
 - lavoro : Costruzione vasca parzialmente interrata  
 - località : 45.224191N 9.690315E, Castiglione d'Adda (Lo)  
 - note :

- data : 26/07/1917  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : 1,30 m da quota inizio  
 - pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>				punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>		
0,20	29,0	40,0	29,0	0,80	36,0	5,20	51,0	68,0	51,0	1,53	33,0
0,40	30,0	42,0	30,0	0,93	32,0	5,40	59,0	82,0	59,0	1,20	49,0
0,60	31,0	45,0	31,0	1,00	31,0	5,60	62,0	80,0	62,0	1,07	58,0
0,80	14,0	29,0	14,0	1,13	12,0	5,80	62,0	78,0	62,0	1,47	42,0
<b>1,00</b>	9,0	26,0	9,0	0,80	11,0	<b>6,00</b>	55,0	77,0	55,0	1,33	41,0
1,20	22,0	34,0	22,0	0,60	37,0	6,20	51,0	71,0	51,0	1,40	36,0
1,40	21,0	30,0	21,0	0,60	35,0	6,40	38,0	59,0	38,0	1,00	38,0
1,60	21,0	30,0	21,0	0,53	39,0	6,60	37,0	52,0	37,0	1,00	37,0
1,80	12,0	20,0	12,0	0,47	26,0	6,80	57,0	72,0	57,0	1,47	39,0
<b>2,00</b>	18,0	25,0	18,0	0,47	39,0	<b>7,00</b>	31,0	53,0	31,0	1,47	21,0
2,20	16,0	23,0	16,0	0,40	40,0	7,20	54,0	76,0	54,0	1,33	40,0
2,40	28,0	34,0	28,0	1,00	28,0	7,40	52,0	72,0	52,0	0,60	87,0
2,60	41,0	56,0	41,0	0,87	47,0	7,60	56,0	65,0	56,0	2,27	25,0
2,80	47,0	60,0	47,0	0,93	50,0	7,80	62,0	96,0	62,0	0,73	85,0
<b>3,00</b>	45,0	59,0	45,0	1,13	40,0	<b>8,00</b>	78,0	89,0	78,0	1,47	53,0
3,20	39,0	56,0	39,0	1,27	31,0	8,20	76,0	98,0	76,0	2,33	33,0
3,40	52,0	71,0	52,0	1,40	37,0	8,40	79,0	114,0	79,0	1,40	56,0
3,60	83,0	104,0	83,0	1,80	46,0	8,60	88,0	109,0	88,0	2,60	34,0
3,80	69,0	96,0	69,0	1,60	43,0	8,80	62,0	101,0	62,0	0,87	72,0
<b>4,00</b>	77,0	101,0	77,0	1,80	43,0	<b>9,00</b>	62,0	75,0	62,0	3,47	18,0
4,20	70,0	97,0	70,0	1,40	50,0	9,20	70,0	122,0	70,0	3,13	22,0
4,40	64,0	85,0	64,0	1,80	36,0	9,40	157,0	204,0	157,0	3,60	44,0
4,60	56,0	83,0	56,0	1,40	40,0	9,60	169,0	223,0	169,0	4,33	39,0
4,80	49,0	70,0	49,0	1,13	43,0	9,80	155,0	220,0	155,0	-----	----
<b>5,00</b>	48,0	65,0	48,0	1,13	42,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t  
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
 - punta meccanica tipo Begemann  $\phi = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
 - manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

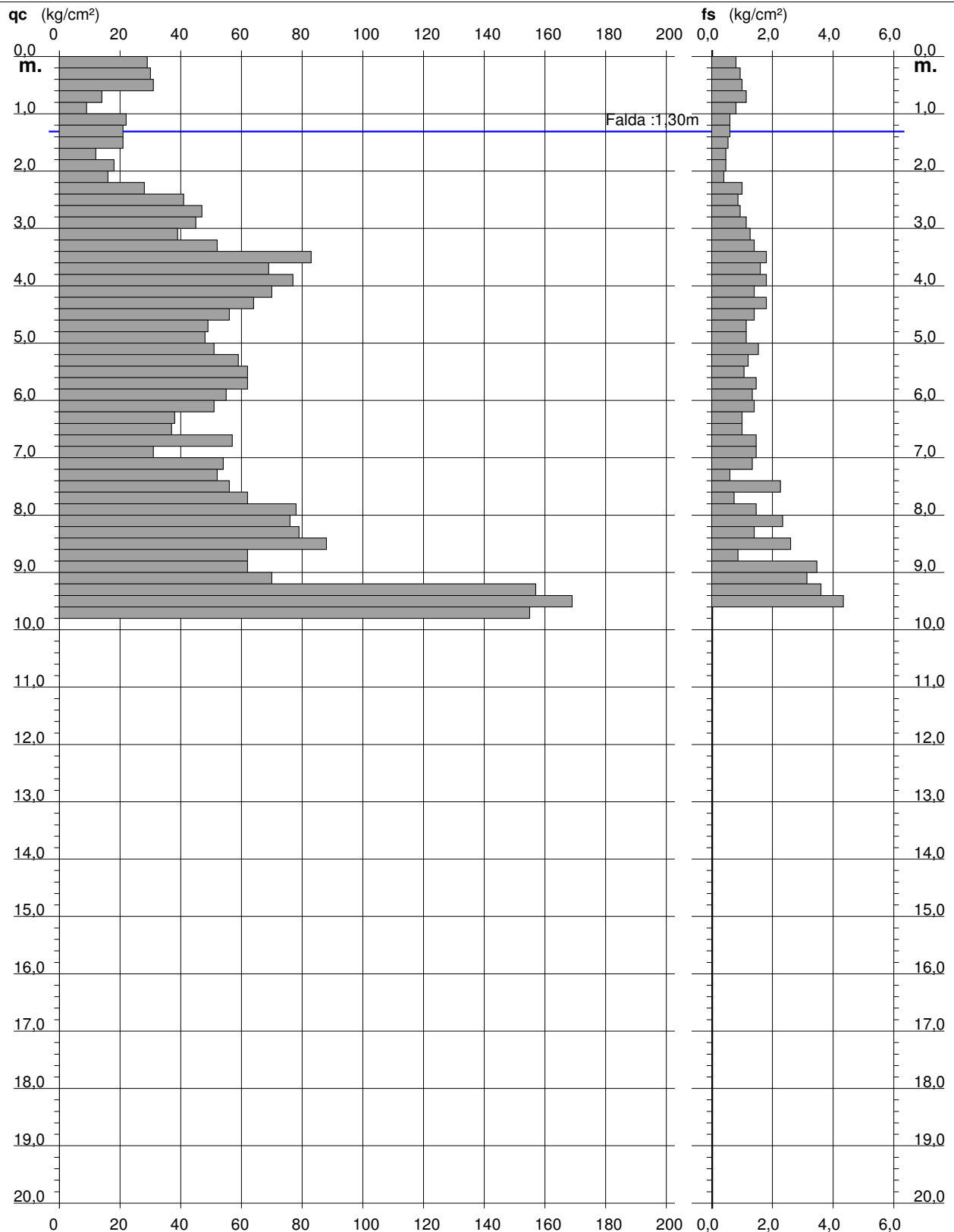
# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

## CPT 1

2.01PG05-015

- committente : DZ Ingegneria - SAL S.r.l.  
- lavoro : Costruzione vasca parzialmente interrata  
- località : 45.224191N 9.690315E, Castiglione d'Adda (Lo)

- data : 26/07/1917  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,30 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100



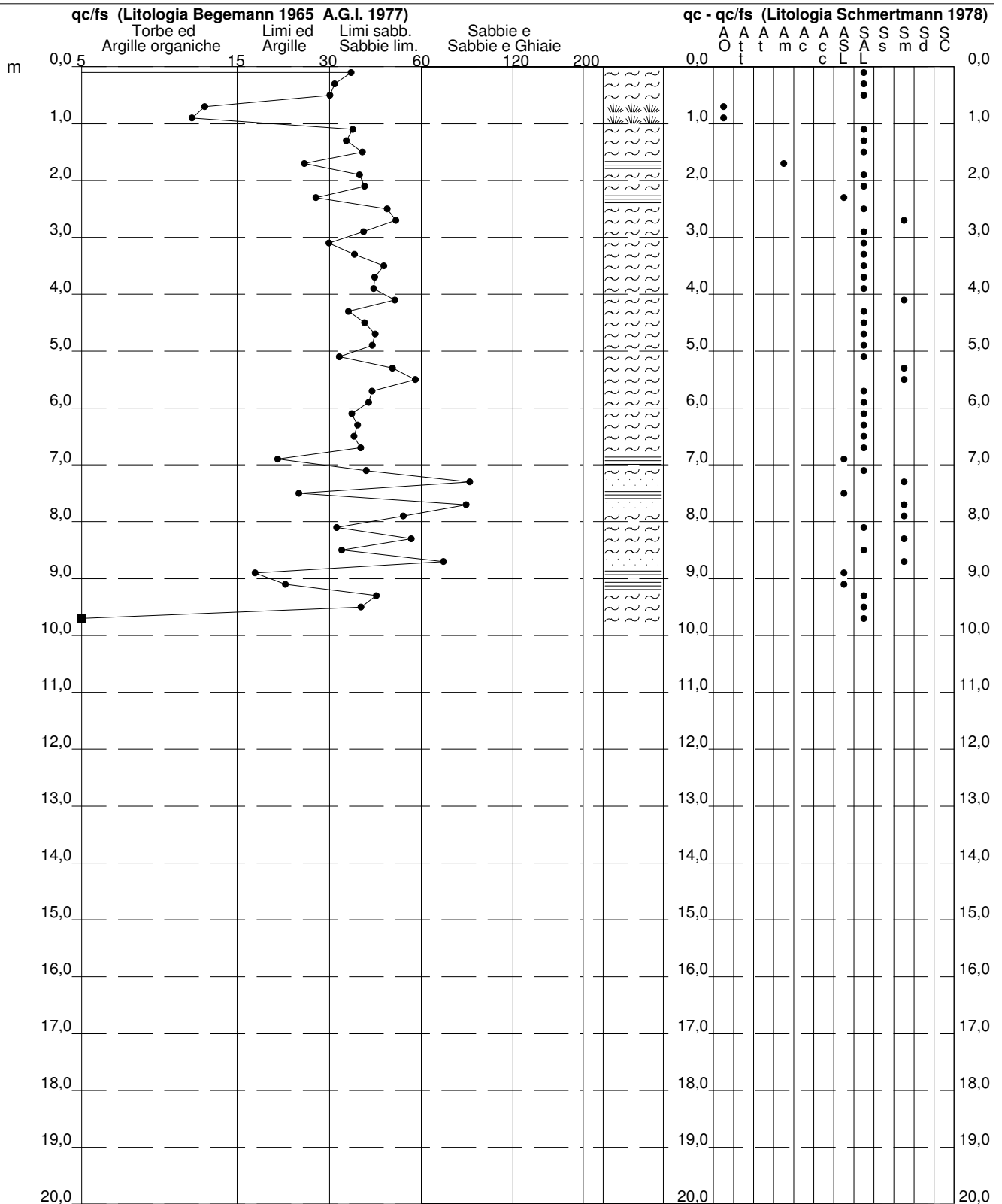
# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

**CPT 1**

2.01PG05-015

- committente : DZ Ingegneria - SAL S.r.l.  
 - lavoro : Costruzione vasca parzialmente interrata  
 - località : 45.224191N 9.690315E, Castiglione d'Adda (Lo)  
 - note :

- data : 26/07/1917  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : 1,30 m da quota inizio  
 - scala vert.: 1 : 100



## PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

**CPT 1**

2.01PG05-015

- committente : DZ Ingegneria - SAL S.r.l.  
- lavoro : Costruzione vasca parzialmente interrata  
- località : 45.224191N 9.690315E, Castiglione d'Adda (Lo)  
- note :

- data : 26/07/1917  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,30 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof. m	qc kg/cm <sup>2</sup>	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m <sup>3</sup>	d'vo kg/cm <sup>2</sup>	Cu kg/cm <sup>2</sup>	OCR (-)	Eu50 kg/cm <sup>2</sup>	Eu25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE					Amax/g (-)	E'50 kg/cm <sup>2</sup>	E'25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>
												ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)				
0,20	29	36	3:~:~:	1,85	0,04	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	29	0,258	48	73	87				
0,40	30	32	3:~:~:	1,85	0,07	--	--	--	--	--	94	41	43	44	46	43	29	0,237	50	75	90				
0,60	31	31	3:~:~:	1,85	0,11	--	--	--	--	--	85	40	41	43	45	41	29	0,208	52	78	93				
0,80	14	12	2:~:~:~:	1,85	0,15	0,64	38,9	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
1,00	9	11	2:~:~:~:	1,85	0,19	0,45	19,1	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
1,20	22	37	3:~:~:	1,85	0,22	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	37	28	0,121	37	55	66				
1,40	21	35	3:~:~:	0,85	0,24	--	--	--	--	--	53	35	38	40	42	36	27	0,112	35	53	63				
1,60	21	39	3:~:~:	0,85	0,26	--	--	--	--	--	52	35	37	40	42	36	27	0,108	35	53	63				
1,80	12	26	2:~:~:~:	0,92	0,27	0,57	15,7	97	146	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
2,00	18	39	4:~:~:~:	0,91	0,29	0,75	20,3	128	191	56	43	34	36	39	41	34	27	0,087	30	45	54				
2,20	16	40	4:~:~:~:	0,90	0,31	0,70	17,2	118	177	52	38	33	36	38	41	33	27	0,074	27	40	48				
2,40	28	28	4:~:~:~:	0,96	0,33	0,97	24,0	164	246	84	55	36	38	40	42	36	28	0,118	47	70	84				
2,60	41	47	3:~:~:	0,90	0,35	--	--	--	--	--	67	37	39	41	43	38	30	0,151	68	103	123				
2,80	47	50	3:~:~:	0,91	0,37	--	--	--	--	--	71	38	40	42	44	38	31	0,161	78	118	141				
3,00	45	40	3:~:~:	0,91	0,38	--	--	--	--	--	68	38	39	41	43	38	31	0,153	75	113	135				
3,20	39	31	3:~:~:	0,90	0,40	--	--	--	--	--	62	37	39	41	43	37	30	0,136	65	98	117				
3,40	52	37	3:~:~:	0,92	0,42	--	--	--	--	--	71	38	40	42	44	38	31	0,161	87	130	156				
3,60	83	46	3:~:~:	0,97	0,44	--	--	--	--	--	86	40	42	43	45	40	33	0,208	138	208	249				
3,80	69	43	3:~:~:	0,95	0,46	--	--	--	--	--	78	39	41	42	44	39	32	0,184	115	173	207				
4,00	77	43	3:~:~:	0,96	0,48	--	--	--	--	--	81	39	41	43	44	39	33	0,193	128	193	231				
4,20	70	50	3:~:~:	0,95	0,50	--	--	--	--	--	77	39	40	42	44	39	32	0,180	117	175	210				
4,40	64	36	3:~:~:	0,94	0,52	--	--	--	--	--	73	38	40	42	44	38	32	0,168	107	160	192				
4,60	56	40	3:~:~:	0,93	0,53	--	--	--	--	--	67	37	39	41	43	37	31	0,151	93	140	168				
4,80	49	43	3:~:~:	0,92	0,55	--	--	--	--	--	62	37	39	41	43	36	31	0,136	82	123	147				
5,00	48	42	3:~:~:	0,91	0,57	--	--	--	--	--	60	36	39	41	43	36	31	0,132	80	120	144				
5,20	51	33	3:~:~:	0,92	0,59	--	--	--	--	--	62	37	39	41	43	36	31	0,135	85	128	153				
5,40	59	49	3:~:~:	0,93	0,61	--	--	--	--	--	66	37	39	41	43	37	32	0,147	98	148	177				
5,60	62	58	3:~:~:	0,94	0,63	--	--	--	--	--	67	37	39	41	43	37	32	0,150	103	155	186				
5,80	62	42	3:~:~:	0,94	0,65	--	--	--	--	--	66	37	39	41	43	37	32	0,148	103	155	186				
6,00	55	41	3:~:~:	0,93	0,66	--	--	--	--	--	61	37	39	41	43	36	31	0,134	92	138	165				
6,20	51	36	3:~:~:	0,92	0,68	--	--	--	--	--	58	36	38	40	43	35	31	0,125	85	128	153				
6,40	38	38	3:~:~:	0,90	0,70	--	--	--	--	--	47	35	37	39	42	34	30	0,098	63	95	114				
6,60	37	37	3:~:~:	0,89	0,72	--	--	--	--	--	46	34	37	39	42	33	30	0,094	62	93	111				
6,80	57	39	3:~:~:	0,93	0,74	--	--	--	--	--	60	36	38	41	43	36	31	0,131	95	143	171				
7,00	31	21	4:~:~:~:	0,97	0,76	1,03	9,3	180	270	93	39	33	36	38	41	32	29	0,076	52	78	93				
7,20	54	40	3:~:~:	0,92	0,77	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	35	31	0,122	90	135	162				
7,40	52	87	3:~:~:	0,92	0,79	--	--	--	--	--	55	36	38	40	42	35	31	0,117	87	130	156				
7,60	56	25	4:~:~:~:	1,01	0,81	1,87	17,7	317	476	168	57	36	38	40	43	35	31	0,123	93	140	168				
7,80	62	85	3:~:~:	0,94	0,83	--	--	--	--	--	60	36	38	41	43	35	32	0,131	103	155	186				
8,00	78	53	3:~:~:	0,96	0,85	--	--	--	--	--	67	37	39	41	43	36	33	0,151	130	195	234				
8,20	76	33	3:~:~:	0,96	0,87	--	--	--	--	--	66	37	39	41	43	36	33	0,147	127	190	228				
8,40	79	56	3:~:~:	0,97	0,89	--	--	--	--	--	67	37	39	41	43	36	33	0,150	132	198	237				
8,60	88	34	3:~:~:	0,98	0,91	--	--	--	--	--	70	38	40	42	44	37	33	0,159	147	220	264				
8,80	62	72	3:~:~:	0,94	0,93	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	35	32	0,123	103	155	186				
9,00	62	18	4:~:~:~:	1,02	0,95	2,07	16,6	351	527	186	57	36	38	40	43	35	32	0,122	103	155	186				
9,20	70	22	4:~:~:~:	1,03	0,97	2,33	18,8	397	595	210	60	36	39	41	43	35	32	0,132	117	175	210				
9,40	157	44	3:~:~:	1,09	0,99	--	--	--	--	--	88	40	42	43	45	39	36	0,215	262	393	471				
9,60	169	39	3:~:~:	1,10	1,01	--	--	--	--	--	90	41	42	44	45	39	37	0,222	282	423	507				
9,80	155	--	3:~:~:	1,08	1,03	--	--	--	--	--	86	40	42	43	45	39	36	0,210	258	388	465				

#### • INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO

Il territorio del Comune di Castiglione d'Adda si colloca nella Pianura Padana, a Nord di Codogno, a Nord-Est di Casalpusterlengo e ad Ovest del Fiume Adda e del "Parco Regionale Adda Sud". Le coordinate geografiche decimali medie del terreno indagato sono: 45.224191 N, 9.690315 E.

#### La formazione della pianura

La Pianura Padana è costituita da una successione plio-quadernaria di ambiente marino e continentale, con spessori dell'ordine delle migliaia di metri, ricoprente in discordanza da un substrato deformato, costituito da rocce carbonatiche e terrigene mesozoico-eoceniche e da depositi oligo-miocenici.

Essa comincia a delinarsi alla fine del Pliocene, quando nel braccio di mare Adriatico, che allora giungeva a lambire i piedi delle Alpi occidentali, si accumulano, su un complesso prevalentemente argilloso di origine marina, materiali provenienti attraverso i fiumi, dalle catene di neoformazione.

A partire dal Pleistocene, e durante tutto il Quaternario, l'evoluzione geologica dell'area, è il risultato dei fenomeni di sollevamento che hanno comportato il passaggio da condizioni ambientali marine a quelle continentali con la deposizione di sedimenti via più grossolani. Le fasi di espansione e regressione dei ghiacciai succedutesi in età quaternaria, oltre che l'azione di erosione, trasporto e deposizione da parte di corsi d'acqua hanno determinato la formazione di depositi morenici nella parte alta della pianura padana, fluvioglaciali nella sua parte centrale e fluviali nella parte bassa.

Durante le fasi di espansione, i ghiacciai hanno originato le grandi cerchie moreniche che man mano si sono accumulate ai piedi dei rilievi prealpini; nelle fasi di ritiro, i torrenti e le fiumane hanno invece eroso buona parte di questi accumuli, trasportando a valle grandi quantità di materiale, dai ciottoli più grandi al limo più fine, colmando progressivamente il bacino padano-adriatico.

Ad ogni stadio interglaciale, la forza erosiva dei corsi d'acqua ha causato l'incisione e la rimozione dei sedimenti fluviali precedentemente deposti con la formazione di sistemi di terrazzi in corrispondenza dei nuovi percorsi fluviali all'interno della pianura.

Da un punto di vista geomorfologico, la Pianura lombarda può essere suddivisa in tre settori:

- Il primo settore corrisponde all'alta Pianura, caratterizzata dalla presenza di più ordini di terrazzi costituiti da depositi fluvioglaciali e alluvionali, generati dall'azione erosiva e di deposito operata dalle fiumane che fuoriuscivano dalle lingue glaciali.
- Il settore di media pianura e parte del territorio di Castiglione d'Adda è compreso tra la linea superiore e quella inferiore dei fontanili (o risorgive), si sviluppa secondo un piano debolmente inclinato verso sud ed è costituito da depositi fluvioglaciali recenti (Diluvium recente), localmente interrotti dalle alluvioni dei corsi d'acqua principali.
- Il terzo settore, che si trova a sud della linea inferiore dei fontanili; è costituito da alluvioni fini ed è caratterizzato da una morfologia piatta ed uniforme. Le litologie superficiali ed affioranti sono costituite dalle alluvioni fluviali e fluvioglaciali plioceniche, tranne che per l'orizzonte superficiale agricolo, di terreni sabbiosi, limo sabbiosi e ghiaiosi.

#### Geologia dell'area

Come si desume dall'analisi della carta geologica F°60 PIACENZA, il territorio comunale di Castiglione d'Adda è costituito in superficie quasi interamente da terreni alluvionali quaternari indicati dalla sigla "fg<sup>w</sup>" e descritti come "Alluvioni fluvioglaciali e fluviali, prevalentemente sabbiose con lenti limose e sottili livelli ghiaiosi e con strato di alterazione superficiale di debole spessore, generalmente brunastro (WURM)". Sono poi presenti a Nord le "Alluvioni sabbioso-ghiaiose e argilloso-limose, postglaciali, antiche" indicate dalla sigla "a<sup>1</sup>".

La morfologia naturale dell'area è stata in parte modificata dalle attività antropiche.

Si vuole a questo punto, ricostruire nel dettaglio la successione dell'area della pianura padana su cui in parte si inserisce il territorio del comune di Castiglione d'Adda, utilizzando le numerose informazioni che ci derivano sia dai sondaggi eseguiti dall'Agip per la ricerca petrolifera e geotermica, sia da lavori esistenti in letteratura.

DESCRIZIONE GEOLOGICA SECONDO I DIFFERENTI AUTORI							
	UNITA' LITOLOGICHE		UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE		UNITA' STRATIGRAFICHE	ETA'	UNITA' IDROGEOLOGICHE
	Mazzarella S. e Martinis B.		Francani V. e Pozzi R.		A.G.I.P.		Avanzini M. et AL.
	LITOZONA GHIAIOSO-SABBIOSA	ACQUIFERO TRADIZIONALE	FLUVIOGLACIALE WURM AUCT. (Diluvium recente)	I ACQUIFERO	ALLUVIONE	PLEISTOCENE SUPERIORE	UNITA' GHIAIOSO-SABBIOSA
			FLUVIOGLACIALE RISS-MINDEL-WURM (Dil. Medio-Antico)	II ACQUIFERO		PLEISTOCENE MEDIO	UNITA' GHIAIOSO-SABBIOSO-LIMOSA
			CEPPO AUCT.				
	LITOZONA SABBIOSO-ARGILLOSA	ACQUIFERI PROFONDI	VILLAFRANCHIANO	III ACQUIFERO	SABBIE DI ASTI	PLEISTOCENE INFERIORE	UNITA' SABBIOSO-ARGILLOSA (facies continentali e di transizione)
	LITOZONA ARGILLOSA					(CALABRIANO)	UNITA' ARGILLOSA (facies marina)

Partendo dall'alto, le unità distinte dagli autori sono le seguenti:

- Unità ghiaioso-sabbiosa (Olocene – Pleistocene superiore)

Questa unità affiora con continuità su tutto il territorio comunale ed è costituita da sabbie e ghiaie prevalenti, a cui si aggiungono, nella parte inferiore, intercalazioni limose e argillose di limitato spessore e con una buona estensione laterale. È caratterizzata da complesse strutture deposizionali, con corpi lentiformi anastomizzati ed embriciati, tipici di una sedimentazione in aree a rapido cambiamento di energia deposizionale; in fasi di calma è stato anche possibile l'accumulo di materiali fini che costituiscono livelli impermeabili o semipermeabili poco estesi. Si tratta di depositi fluvioglaciali del Würm (Olocene-Pleistocene superiore e medio) e di alluvioni recenti a riempimento delle valli di erosione post-würmiane, disposte lungo i corsi d'acqua.

- Unità sabbioso-ghiaiosa (Pleistocene medio)

Tale unità è costituita da depositi sabbiosi con intercalazioni argillose e ghiaiose, di età pleistocenica. Si tratta di sedimenti di origine glaciale e fluvioglaciale; i primi, scarsamente selezionati, sono costituiti da elementi grossolani quali ghiaie e ciottoli, in abbondante matrice limoso-sabbiosa.

- Unità sabbioso-argillosa (Pleistocene inferiore)

Si tratta di sabbie con abbondanti intercalazioni argillose e limose di colore grigio e giallo, con frequente alternanza nella colorazione; sono sedimenti depositi in facies deltizia e lagunare, nel Pleistocene inferiore.

- Unità argillosa (Pleistocene inferiore – Calabriano inferiore)

Nell'area in esame non sono presenti perforazioni che arrivano ad individuare l'unità argillosa; le uniche informazioni che permettono di definire l'unità derivano da alcuni pozzi situati più a Sud e da indagini indirette. Essa è costituita prevalentemente da argille e limi di colore grigio e azzurro con fossili marini, alle quali sono subordinatamente intercalati livelli sabbiosi, talora cementati e generalmente di limitato spessore. Questi depositi appartengono a facies marine costiere e di mare aperto, di età compresa tra il Pleistocene inferiore e il Pliocene, noti in letteratura come "Argille Villafranchiane".

Il territorio della media pianura e di Castiglione d'Adda in particolare è pianeggiante, con una debole inclinazione del 1–1,5 per mille verso Sud- Sud/Est, presenta caratteristiche estremamente uniformi tipiche delle zone di pianura, interrotto da un reticolo idrografico naturale ampiamente antropizzato o artificiale ad uso irriguo.

Gli elementi geomorfologici di maggiore importanza, sono i terrazzamenti di origine fluviale che si sono formati a seguito dell'attività erosiva e deposizionale dei corsi d'acqua che scorrevano nella Pianura Padana.

## • INQUADRAMENTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO

### Le acque superficiali

La rete idrografica del Comune di Castiglione d'Adda, al di là del Fiume Adda, è costituita da canali e rogge destinati allo scorrimento delle acque di irrigazione e da colatori che smaltiscono le acque meteoriche.

### Le acque sotterranee

Secondo le definizioni più recenti (M. Avanzini, G.P. Beretta, V. Francani, M. Nespoli, ) la struttura idrogeologica della media e bassa pianura padana è costituita dal sovrapporsi di cinque unità:

- 1 - Unità ghiaioso-sabbiosa (Olocene-Pleistocene sup.)
- 2 - Unità ghiaioso-sabbioso-limoso (Pleistocene med.)
- 3 - Unità a conglomerati e arenarie basali (Pleistocene inf.)
- 4 - Unità sabbioso-argillosa (Pleistocene inf. - Villafranchiano sup. e Medio Auct.)
- 5 - Unità argillosa (Pleistocene inf. - Calabriano Auct.)

In base alle sezioni idrogeologiche di letteratura tracciate a scala provinciale, nel settore in esame, le prime due unità costituite da depositi di tipo continentale si riconoscono fino a circa 120 – 150 m di profondità (definite da autori precedenti come Litozona A ghiaioso-sabbiosa o acquifero tradizionale).

Tale definizione deriva non tanto da una differenziazione in termini tessiturali, in quanto a livello locale risulta difficile poter fare una distinzione tra l'alternanza di sabbie prevalenti e argille, ma nell'estendere verso sud un limite più chiaramente definibile almeno fino a sud della città di Milano.

Al di sotto si trovano depositi di ambiente continentale o di transizione appartenenti all'Unità sabbioso-argillosa (tradizionalmente definita come Litozona B sabbioso-argillosa). Tale unità si caratterizza per un'alternanza di strati sabbiosi e argillosi con una netta prevalenza di questi ultimi, il cui spessore ed estensione sono variabili in direzione W-E, e generalmente crescenti in direzione S.

### La falda freatica

La falda freatica è costituita dall'acquifero superficiale insaturo che è sostenuto, nella zona di Castiglione d'Adda, da un orizzonte argilloso impermeabile, che si trova a circa 10 - 11 metri di profondità. Le acque risultano di scadente qualità e vengono impiegate esclusivamente per usi non potabili. La falda è contenuta nei terreni prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi dell'unità precedentemente descritta.

### Gli acquiferi profondi

La ricca alternanza di livelli sabbioso-ghiaiosi porosi e permeabili, alternati a livelli argillosi impermeabili, favorisce la presenza di alcuni orizzonti acquiferi nei primi cento metri di profondità dal sottosuolo.

- Primo orizzonte (livello A): Questo orizzonte ha uno spessore complessivo da 11,00 metri e contiene la falda freatica di cui si sono descritte le caratteristiche in precedenza.
- Secondo orizzonte (livello B): Unitamente al primo orizzonte, costituisce il cosiddetto “acquifero tradizionale”, esteso in profondità fino a circa 80 – 100 metri. È isolato a tetto da un livello argilloso continuo di circa 10-15 metri di spessore mentre in profondità è costituito da sabbie con rari ciottoli di ghiaia, intercalate da strati semipermeabili sabbioso argillosi che determinano la suddivisione dell'acquifero in sottolivelli
- Terzo orizzonte (livelli C): È costituito per buona parte da banchi argillosi, intercalati a lenti sabbiose e contiene falde in pressione; all'interno di questo orizzonte, si sviluppano per un centinaio di metri i livelli C del terzo acquifero e, oltre i 200 metri di profondità, i livelli M, ormai in terreni di origine marina, ma contenenti ancora acque dolci.

### Considerazioni sulla vulnerabilità della falda freatica

Dai dati a disposizione sui terreni superficiali del comune di Castiglione d'Adda risulta che questi presentano una capacità protettiva da bassa a moderata nei confronti delle acque freatiche sotterranee, d'altra parte la situazione conferma la compromissione qualitativa di queste acque, non più utilizzabili ad uso potabile.

- **RAFFRONTO CON LO STUDIO GEOLOGICO COMUNALE DESUNTO DAL PGT**

Il presente studio comprende la verifica dei rapporti tra il progetto urbanistico architettonico, la vincolistica tecnica-ambientale e la normativa geologica del piano di governo del territorio.

Si fa presente che tutte le informazioni riportate in questo capitolo sono ricavate dal PGT del Comune di Castiglione d'Adda redatto nel 2009 dal Dott. Geologo Angelo Scotti.

- La carta della FATTIBILITA' geologica presenta la seguente dicitura:

- ***"Sottoclasse 2b"***
- *In zona limitrofa è presente la "Roggia Spagna" con relativa fascia di rispetto.*

- La carta della PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (PSL) non è presente.

- La carta di SINTESI presenta la seguente dicitura:

- *"Indice normalizzato dei valori di vulnerabilità intrinseca ottenuta con metodo SINTACS rielaborato con Surfer attribuendo i valori alle coordinate centrali delle celle:65."*

- La carta dei VINCOLI non presenta alcuna dicitura:

## R2 – Relazione Geotecnica ai sensi del DM 14/01/08 NTC

### • CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI INDAGATI

#### Schema riassuntivo dei parametri geotecnici delle prove

n° strato	Profondità (m)	Nspt	NATURA COESIVA				NATURA GRANULARE				
			Cu	Eu50	Eu25	Mo	Dr	∅	E'50	E'25	Mo
1	0.0 – 0.6	7	-	-	-	-	93.0	29.0	50.0	75.3	90.0
2	0.6 – 2.2	5	0.62	105.6	158.2	47.8	-	-	-	-	-
3	2.2 – 3.2	10	-	-	-	-	64.6	30.0	66.6	97.2	120.0
4	3.2 – 9.2	15	-	-	-	-	63.3	31.6	100.6	152.2	181.0
5	9.2 – 9.8	40	-	-	-	-	88.0	36.3	267.3	401.3	481.0

Al momento dell'indagine è stato individuato il livello della falda freatica posto a – 1.30 m da piano campagna. Questo livello, risente fortemente delle irrigazioni agricole e dei periodi di forte piovosità e potrebbe portarsi più prossimo a piano campagna.

### • CATEGORIA MEDIA SUOLO DI FONDAZIONE

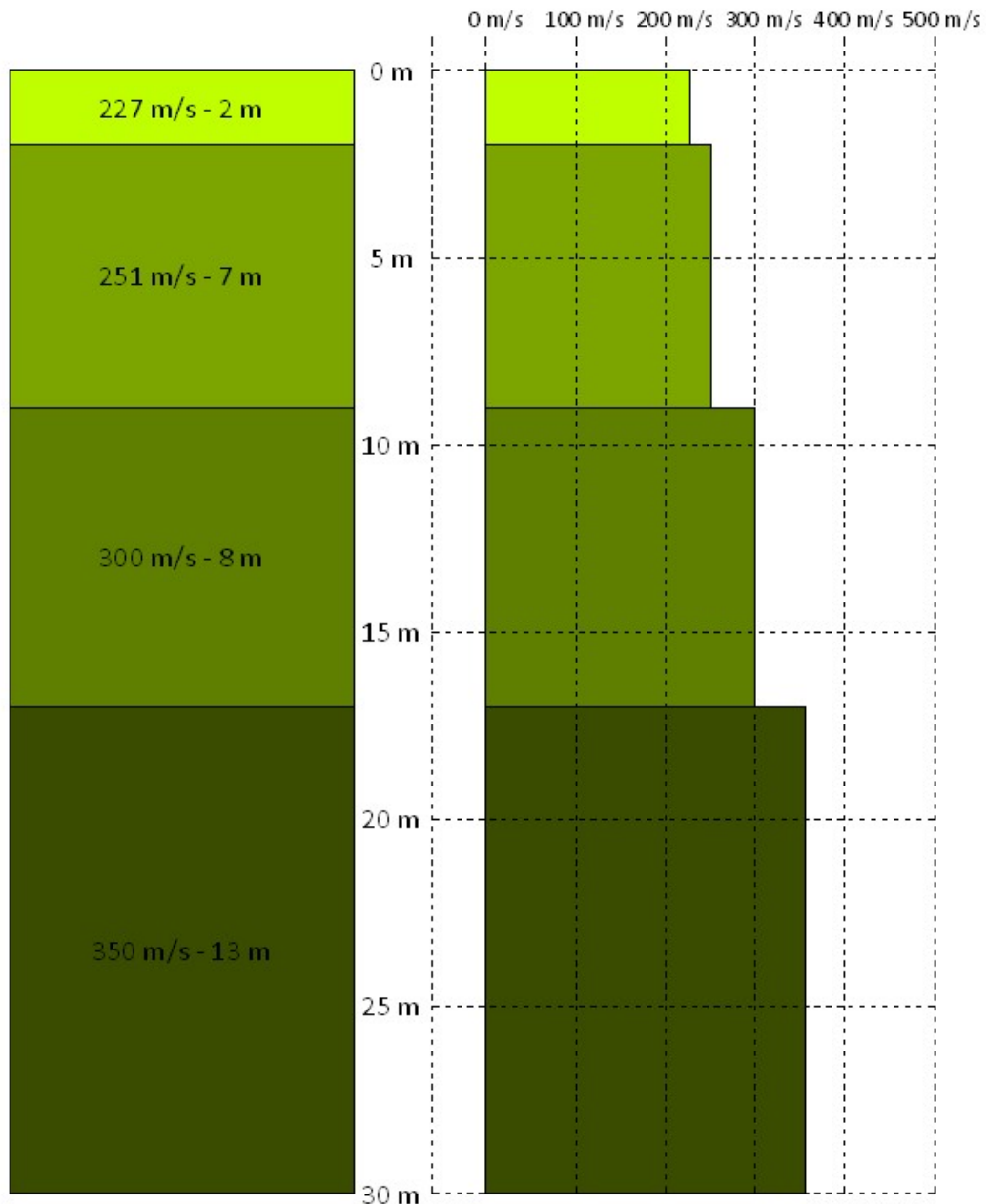
In base alle prove penetrometriche e alla indagine HVSR per la progettazione del presente lavoro si può individuare come tipologia media dei terreni per fondazioni superficiali la categoria **C**.

“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).”

### • INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI, INDAGINE GEOFISICA DI TIPO HVSR

A completamento dell'indagine e per la determinazione della classe sismica dei terreni interessati dalle fondazioni dei fabbricati, è stato riutilizzato un rilevamento sismico di tipo HVSR eseguito dalla Società Gheos S.a.s. in zona limitrofa. Il metodo HVSR (o chiamato anche metodo Nakamura) è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura dei microtremiti che il terreno produce di continuo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Nel seguito faremo riferimento al metodo HVSR passivo che consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30m di profondità.



### STIMA DELLA PORTANZA DEL TERRENO

Utilizzando i parametri geotecnici, riportati al precedente paragrafo e adottando la formula internazione di Terzaghi, utilizzabile per fondazioni superficiali a plinto o a nastro,

$$Q_{lim} = c N_c S_c + g_1 D N_q + 0,5 g_2 B N_s$$

Dove:

c= Coesione non drenata;

D= Profondità del piano di posa delle fondazioni;

B= Larghezza della fondazione

g1= Peso di volume medio del terreno sopra il piano di posa delle fondazioni

g2= Peso di volume medio del terreno sotto il piano di posa delle fondazioni

S<sub>c</sub>= Fattore di forma per fondazioni. nastriformi, 1.3 per fondazioni quadrate

S= Fattore di forma per fondazioni nastriformi, 0.8 per fondazioni quadrate

N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub> e N<sub>s</sub>= Fattori adimensionali legati rispettivamente al contributo di terreni coesivi, al terreno posto sopra al piano di posa delle fondazioni e agli strati di coesione nulla.

È possibile determinare le tensioni totali del “q ammissibile” e del “q ultimo” nelle seguenti tabelle. Consideriamo:

Ipotizzando, vista la falda freatica ad bassa profondità, di stare in condizioni sature e fondazioni di tipo platea con lato di 5.00 m.

**Prova 1**

da 0.6 a 2.2 m terreni a natura coesiva

Cu= 0.62

e

Y' = 1.25 Kg/cmq,

Profondità (m)	CARICO DEL TERRENO IN TENSIONI TOTALI "q ammissibile"	CARICO DI ROTTURA IN TENSIONI TOTALI "q ultimo"
0.8	1.40 Kg/cmq	4.20 Kg/cmq
1.0	1.40 Kg/cmq	4.22 Kg/cmq
1.2	1.41 Kg/cmq	4.23 Kg/cmq
1.4	1.42 Kg/cmq	4.26 Kg/cmq
1.6	1.42 Kg/cmq	4.27 Kg/cmq
1.8	1.43 Kg/cmq	4.29 Kg/cmq
2.0	1.43 Kg/cmq	4.30 Kg/cmq

- **STIMA DEI CEDIMENTI**

I cedimenti sono la combinazione elastica e la deformazione plastica del suolo senza modifica in volume o in contenuto di acqua. I dati necessari per la stima dei cedimenti sono legati alla geometria delle fondazioni ed ai parametri desunti dalle prove penetrometriche, inserendo i dati in un elaboratore di calcoli è possibile conoscere preventivamente l'entità dei cedimenti probabili. La verifica ha permesso di confermare i valori di portanza calcolati con la formula di Terzaghi.

## PARAMETRI DI CALCOLO ELABORATI

carico Kg/cmq	cedimento immediato (cm)	cedimento 30 anni secondario (cm)
0,50	0,595	0,890
0,60	0,780	1,167
0,70	0,958	1,433
0,80	1,132	1,693
0,90	1,303	1,949

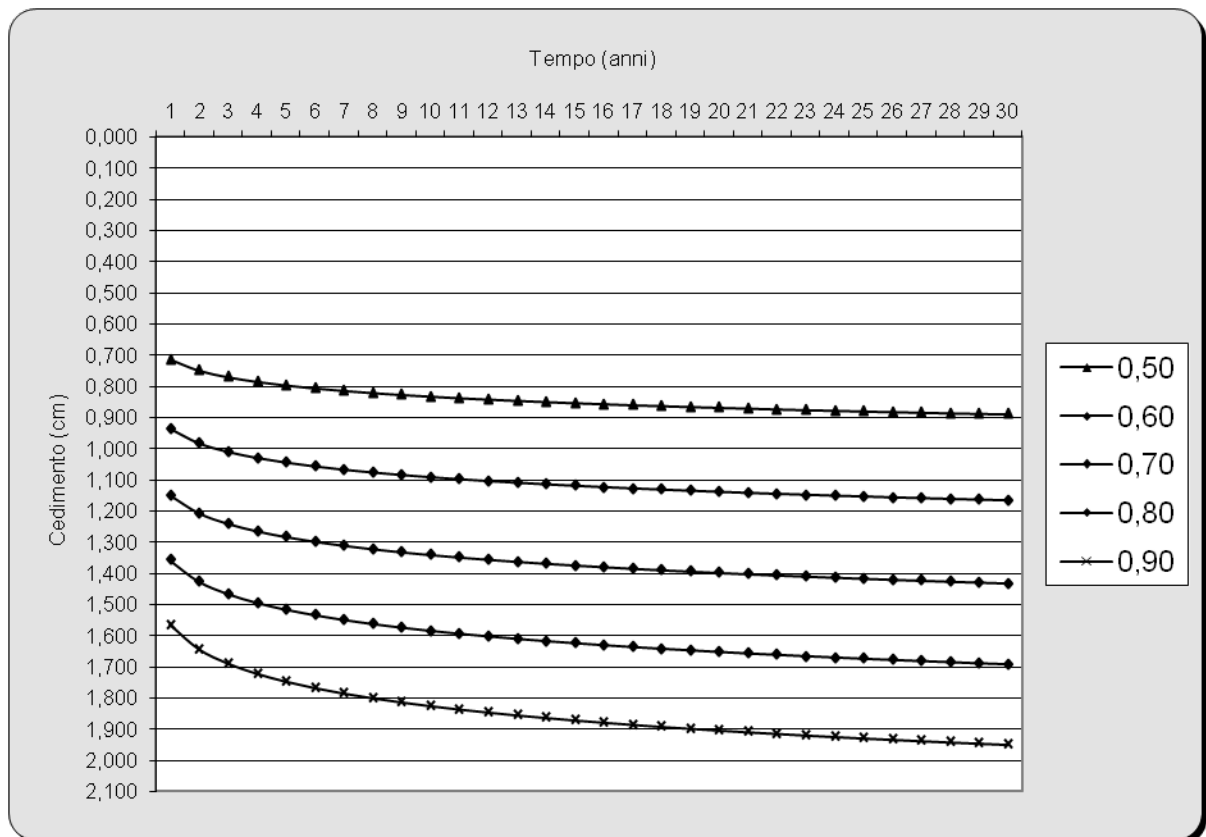
Coefficiente di sottofondo (o di Winkler)

min. = 0,69

max = 0,84

	cedimento carico	cedimento carico	cedimento carico	cedimento carico	cedimento carico
Tempo in anni	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
1	0,714	0,936	1,150	1,358	1,564
2	0,750	0,983	1,207	1,427	1,643
3	0,771	1,011	1,241	1,466	1,689
4	0,785	1,030	1,265	1,495	1,721
5	0,797	1,045	1,284	1,517	1,746
6	0,806	1,058	1,299	1,535	1,767
7	0,814	1,068	1,312	1,550	1,785
8	0,821	1,077	1,323	1,563	1,800
9	0,827	1,085	1,333	1,574	1,813
10	0,833	1,092	1,341	1,585	1,825
11	0,838	1,099	1,349	1,594	1,836
12	0,842	1,105	1,357	1,603	1,846
13	0,846	1,110	1,363	1,611	1,855
14	0,850	1,115	1,369	1,618	1,863
15	0,854	1,120	1,375	1,625	1,871
16	0,857	1,124	1,380	1,631	1,878
17	0,860	1,128	1,386	1,637	1,885
18	0,863	1,132	1,390	1,643	1,891
19	0,866	1,136	1,395	1,648	1,898
20	0,869	1,139	1,399	1,653	1,903
21	0,871	1,143	1,403	1,658	1,909

22	0,874	1,146	1,407	1,662	1,914
23	0,876	1,149	1,411	1,667	1,919
24	0,878	1,152	1,414	1,671	1,924
25	0,880	1,155	1,418	1,675	1,929
26	0,882	1,157	1,421	1,679	1,933
27	0,884	1,160	1,424	1,682	1,937
28	0,886	1,162	1,427	1,686	1,941
29	0,888	1,165	1,430	1,689	1,945
30	0,890	1,167	1,433	1,693	1,949



#### • VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Verifiche agli stati limite (d.m. 14 gennaio 2008) per fondazioni superficiali continue con profondità di posa di 0,80, 1,20, 1,60 e 2,00 da piano campagna, con geometrie delle fondamenta e angoli di attrito riportati nella tabella precedente (portanza del terreno) e condizioni sature del terreno.

Secondo quanto previsto dalla vigente normativa la verifica di stabilità globale è stata effettuata secondo l'Approccio 1 – combinazione 2 e Approccio 2 – combinazione 1.

Verifica 1

B= larghezza= 120 cm  
profondità di posa D = 80 cm

Verifica 2

B= larghezza= 120 cm  
profondità di posa D = 120 cm

Verifica 3

B= larghezza= 120 cm  
profondità di posa D = 160 cm

Verifica 4

B= larghezza= 120 cm  
profondità di posa D = 200 cm

/	Profondità (m)	Approccio 1	Approccio 2
Verifica 1	0.8	1.68 Kg/cmq	1.83 Kg/cmq
Verifica 2	1.2	1.70 Kg/cmq	1.84 Kg/cmq
Verifica 3	1.6	1.72 Kg/cmq	1.86 Kg/cmq
Verifica 4	2.0	1.73 Kg/cmq	1.87 Kg/cmq

## R3 – Relazione Geologica ai sensi della DGR IX/2616/2011

### • SISMICITÀ DI SITO

Il territorio comunale di Castiglione d'Adda risulta incluso nella zona sismica 3 con una accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni inferiore al valore di  $a_g/g < a 0,15$ .

La definizione degli spettri di risposta relativi ad uno stato limite è articolata in 3 distinte fasi, ciascuna delle quali prevede la scelta dei valori di alcuni parametri da parte del progettista. Le tre fasi vengono di seguito esplicitate.

#### Individuazione della pericolosità del sito

La pericolosità sismica di base del sito d'intervento è definita in termini sia di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido di categoria di sottosuolo A con superficie topografica orizzontale, sia in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nella vita di riferimento dell'opera VR.

In particolare, le forme spettrali sono definite per ciascuna delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR, a partire dai valori di alcuni parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$  accelerazione massima sul sito;

Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

Tc\* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri sono forniti per i 10751 nodi del reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio italiano e per 9 valori del periodo di ritorno TR. Per i punti non cadenti in corrispondenza dei nodi del reticolo, il valore dei parametri sopra indicati viene ricavato per interpolazione, utilizzando il valore ottenuto dalla media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia del reticolo di riferimento contenente il punto in esame.

Il primo passo dell'analisi è stato quindi quello di calcolare le coordinate geografiche del sito d'intervento in modo da acquisire successivamente le azioni sismiche locali (proprie del sito specifico) sulla base di un reticolo di riferimento.

I parametri sismici del sito sono ricavati dalla media ponderata dei valori noti nei 4 punti di riferimento all'intorno del sito stesso. L'analisi viene svolta con l'utilizzo del software "Spettri NTC", messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale.

Ad ogni stato limite considerato corrispondono valori differenti di tali parametri.

Per gli stati limite di tipo geotecnico (GEO), sotto l'effetto di azioni sismiche, le verifiche di sicurezza da affrontare per le costruzioni con classe d'uso II come quella in esame sono:

- Stato limite ultimo SLV con verifica della resistenza del sistema fondazione-terreno, della stabilità dei rilevati, dei muri di sostegno e dei fronti di scavo.
- Stati limite di esercizio SLD con verifica del contenimento delle deformazioni del sistema fondazione-terreno (cedimenti)

Le elaborazioni effettuate con apposito software in riferimento alle coordinate del sito d'intervento, per lo stato limite ultimo SLV forniscono i seguenti dati:

$a_g$	0.077
Fo	2.590
Tc*	0.289
TR	475

Coordinate decimali del sito: 45.224191 N, 9.690315 E

### Scelta della strategia di progettazione

In questa fase vengono definiti i parametri fondamentali di seguito indicati, sulla scorta dei coefficienti che definiscono la tipologia e la classe d'uso dell'opera in progetto.

### Vita nominale della costruzione

La vita nominale di un'opera strutturale VN è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata qua sotto:

- Tipo 1:  $VN \leq 10$  anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto  $\geq 2$  anni.
- Tipo 2:  $VN \geq 50$  anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- Tipo 3:  $VN \geq 100$  anni per grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.

Nel caso specifico --> VN= 50 anni

### Coefficiente d'uso della costruzione

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

*Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

*Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

*Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Nel caso in esame viene presa in considerazione la classe d'uso II

### Periodo di riferimento per la costruzione

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU.

$$VR = VN * CU$$

Il valore del coefficiente d'uso CU è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella seguente tabella:

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE CU	0,7	<b>1</b>	1,5	2

Se  $VR \leq 35$  anni si pone comunque  $VR = 35$  anni.

In riferimento alla costruzione in progetto, si sono attribuiti i seguenti parametri:

VN	Vita nominale	$\geq 50$
Classe d'uso		II
CU	Coefficiente d'uso	1
PVR	63% per SLD	
PVR	10% per SLV	

## Determinazione dell'azione di progetto

In questa fase di analisi viene definito il valore di progetto dell'azione sismica massima orizzontale preventivabile sul sito in esame con prefissati TR e PVR. L'azione sismica è caratterizzata da tre componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X e Y e da una verticale Z, da considerare tra loro indipendenti.

Generalmente, come nel caso in esame, per le opere ed i sistemi geotecnici la componente verticale risulta trascurabile. Le componenti possono essere descritte mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- Accelerazione massima attesa in superficie;
- Accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- Accelerogramma

Le due componenti orizzontali, ortogonali tra loro, sono caratterizzate dal medesimo spettro di risposta. Tale spettro in accelerazione è utilizzato per strutture con periodo fondamentale  $\leq 4.0$  s ed è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) moltiplicata per il valore dell'accelerazione massima orizzontale  $a_g$ , ottenuto in precedenza su sito di riferimento rigido orizzontale: sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  si differenziano al variare delle probabilità di superamento (PVR) nel periodo di riferimento TR.

## Risposta sismica locale

La risposta sismica in ambito strettamente locale viene valutata sulla base dei seguenti parametri:

- Categoria di sottosuolo (A, B, C, D, E, S1, S2);
- Amplificazione stratigrafica SS;
- Amplificazione topografica ST.

## Categoria di sottosuolo

L'area d'oggetto di intervento è caratterizzata da depositi incoerenti di origine alluvionale. Pertanto secondo i criteri elencati al punto 3.1 dell'allegato 2 dell' O.P.C.M. n° 3274 dell'17/11/2003 e nel D.M. 14/01/2008, si ritiene idoneo identificare i terreni di fondazione di una categoria di suolo assimilabile alla categoria **C**

*“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti”* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

Tale classificazione è ulteriormente confermata dall'analisi geosismica eseguita con il metodo HVSR, finalizzata alla valutazione delle onde  $V_s$  in area soggetta a definizione dell'aspetto sismico, effettuata nella stessa zona d'indagine, da cui è emerso che la velocità delle onde sismiche  $V_{s30}$  nei primi 30 metri di profondità risulta pari a 307.53 m/s.

## Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti SS e CC valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti SS e CC possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $a_g$ , FO e  $TC^*$  relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni tabulate sotto e nelle quali “g” rappresenta l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Categoria sottosuolo	SS	CC
A	1	1
B	$1 \leq 1,4 - 0,4 * Fo * a_g / g \leq 1,2$	$1,1 * (Tc^*)^{-0,2}$
<b>C</b>	<b><math>1 \leq 1,7 - 0,6 * Fo * a_g / g \leq 1,5</math></b>	<b><math>1,05 * (Tc^*)^{-0,3}</math></b>
D	$0,9 \leq 2,4 - 1,5 * Fo * a_g / g \leq 1,8$	$1,25 * (Tc^*)^{-0,5}$
E	$1 \leq 2 - 1,1 * Fo * a_g / g \leq 1,6$	$1,15 * (Tc^*)^{-0,4}$

## Amplificazione topografica

Per superfici topografiche semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera	St
<b>T1</b>	<b>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media <math>i \leq 15^\circ</math></b>	-	<b>1</b>
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	Sommità del pendio	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	Cresta del rilievo	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i < 30^\circ$	Cresta del rilievo	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità fino alla base dove ST assume valore pari a 1.

### Accelerazione massima di progetto

Avendo acquisito i parametri essenziali all'analisi della risposta sismica locale, è ora possibile definire l'accelerazione massima di progetto attesa al suolo  $A_{max}$ , valore che verrà adottato per i successivi calcoli di verifica analitica, mediante la seguente relazione:

$$A_{max} = a_g * SS * ST = [0.077 \text{ g} * 1.5 * 1] = 1.155 \text{ g}$$

### Verifica a liquefazione

Ai sensi del D.M. 14/01/2008 (NTC) ovvero della valutazione della pericolosità sismica locale sopra esplicitata, per il sito esaminato sono emerse accelerazioni superiori a 0.1g, rientrando così nei casi previsti da verifica a liquefazione.

#### • LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

La verifica deve essere eseguita per controllare se esiste la possibilità di liquefazione delle sabbie in concomitanza di un evento sismico a causa di terremoti di magnitudo 5. L'analisi del terreno sottoposto a liquefazione viene eseguita col metodo Youd & Idris 2001.

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE						
Metodo di Youd e Idris (2001)						
<b>PARAMETRI:</b>						
g	=	1.85	g/cm <sup>3</sup>			
s <sub>vo</sub>	=	0.407	kg/cm <sup>2</sup>	R= Resistenza al taglio a		
s <sub>vo'</sub>	=	0.317	kg/cm <sup>2</sup>	T= Sforzo di taglio indotto		
profondità della prova	=	220	cm			
N <sub>SPT</sub>	=	15	colpi			
profondità falda	=	130	cm			
g H <sub>2</sub> O	=	1.0	g/cm <sup>3</sup>			
Pressione neutra	=	0.1	kg/cm <sup>2</sup>			
z	=	2.2	m			
<b>FORMULE:</b>			<b>RISULTATI:</b>			
Na	=	N <sub>SPT</sub> *(1.7/(s <sub>vo</sub> +0.7))+N <sub>f</sub>		=	28.07374631 Na	
N <sub>f</sub>	=	3		=		
R	=	0,2565* [0.16*RadQNa+(0.2133*RadQNa) <sup>14</sup> ]		=	1.361012057 R	
T	=	0.65*((a <sub>max</sub> /g)*(s <sub>vo</sub> /s <sub>vo'</sub> ))*r <sub>d</sub>		=	0.123303667 T	
a <sub>max</sub> /g	=	0.15				
r <sub>d</sub>	=	0.985				
Fs=R/T	>	1.3	Sabbie sciolte	=	11.0378879	Verificato Fs
	>	1.5	Sabbie mediamente addensate			Verificato Fs

Il risultato ottenuto è 11.0378879, per sabbie sciolte (>1,3) il terreno è verificato, cioè non liquefacibile. Per sabbie mediamente addensate (>1,5) il terreno è verificato.

#### • CONCLUSIONI

Le caratteristiche meccaniche dei terreni sono discrete per l'opera in progetto, ma sufficienti a garantire la stabilità del fabbricato, se dimensionate correttamente le opere di fondazione.

#### • ACCORGIMENTI TECNICI

Gli scavi di fondazione si dovranno eseguire e ritombare il più presto possibile lasciandoli aperti lo stretto necessario.

Gli scavi di fondazione sia in sezione obbligata che di splateamento dovranno essere eseguiti con escavatore meccanico a benna rovescia dotato di lama fissa e non con denti mordenti e dovranno asportare obbligatoriamente lo strato superficiale di riporto.

Al momento dell'indagine è stato individuato il livello della falda freatica posto a - 1.30 m da piano campagna, questo livello, risente fortemente delle irrigazioni agricole e dei periodi di forte piovosità e potrebbe portarsi più prossimo a piano campagna.

Si resta a disposizione per qualsiasi chiarimento.

San Zenone al Po 31/07/2017

