



# AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

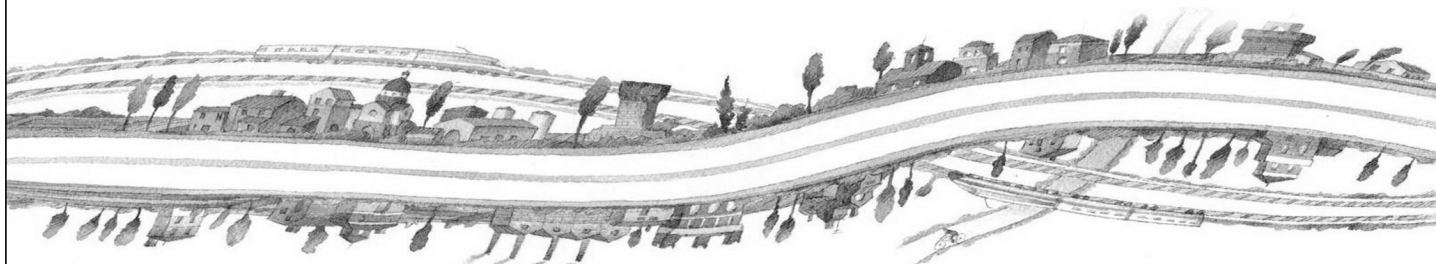
CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

**ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)**  
GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

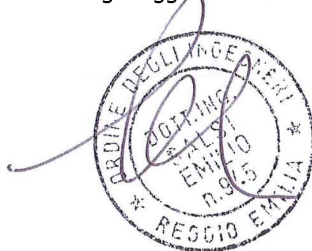


IL PROGETTISTA

Ing. Gianfranco Marchi  
Albo Ing. Ravenna n°342

RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi  
Albo Ing. Reggio Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale  
Cispadana S.p.A.  
IL PRESIDENTE  
Graziano Pattuzzi

G										
F										
E										
D										
C										
B										
A	17.04.2012	EMISSIONE				A. Boschi	G. Marchi	E. Salsi		
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE		
IDENTIFICAZIONE ELABORATO										DATA: MAGGIO 2012
NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA: _
0401	PD	0	A00	A0000	0	GT	RB	01	A	



## INDICE

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>5</b>
2.1. NORMATIVE .....	5
2.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO .....	5
2.3. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO .....	6
<b>3. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DI LABORATORIO</b> .....	<b>11</b>
3.1. INDAGINI IN SITO.....	11
3.2. PROVE DI LABORATORIO .....	30
<b>4. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA</b> .....	<b>33</b>
<b>5. DEFINIZIONE DEI LIVELLI PIEZOMETRICI</b> .....	<b>35</b>
5.1. DATI PIEZOMETRICI DISPONIBILI.....	35
5.1.1. Monitoraggio piezometrico lungo l'asse autostradale.....	35
5.1.2. Rete di monitoraggio della falda "ipodermica" .....	39
5.2. DEFINIZIONE DELLA FALDA DI PROGETTO.....	47
<b>6. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>52</b>
6.1. GENERALITÀ.....	52
6.2. INDIVIDUAZIONE LITOLOGIA DA PROVE CPTU .....	54
6.3. MATERIALI A GRANA GROSSA (PREVALENTEMENTE COSTITUITI DA SABBIE).....	56
6.3.1. Premessa .....	56
6.3.2. Stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate.....	56
6.3.2.1 <i>Tensioni geostatiche iniziali e storia tensionale</i> .....	56
6.3.2.2 <i>Pressioni interstiziali</i> .....	57
6.3.2.3 <i>Deteminazione della densità relativa <math>D_r</math></i> .....	57
6.3.3. Angolo di resistenza al taglio.....	61
6.3.3.1 <i>Angolo di resistenza al taglio da prove SPT</i> .....	61
6.3.3.2 <i>Angolo di resistenza al taglio da prove CPTU</i> .....	63
6.3.4. Caratteristiche di deformabilità .....	64
6.3.4.1 <i>Moduli elastici iniziali</i> .....	64
6.3.4.2 <i>Moduli elastici operativi</i> .....	65
6.3.5. Coefficienti di permeabilità .....	67
6.4. MATERIALI A GRANA FINE .....	68
6.4.1. Premessa .....	68
6.4.2. Classificazione .....	68
6.4.3. Stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate.....	69
6.4.3.1 <i>Tensioni geostatiche iniziali e storia tensionale</i> .....	69
6.4.3.2 <i>Pressioni interstiziali</i> .....	70

6.4.3.3	Deteminazione dell'indice dei vuoti iniziale $e_0$ .....	70
6.4.4.	Resistenza al taglio non drenata .....	70
6.4.4.1	Premessa.....	70
6.4.4.2	Valutazione di $C_u$ da prove CPTU.....	71
6.4.4.3	Valutazione di $C_u$ da prove SPT.....	71
6.4.5.	Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci.....	72
6.4.6.	Caratteristiche di deformabilità .....	72
6.4.6.1	Moduli elastici iniziali.....	72
6.4.6.2	Moduli elastici operativi in condizioni drenate .....	72
6.4.6.3	Moduli elastici operativi in condizioni non drenate .....	73
6.4.7.	Caratteristiche di consolidazione .....	74
6.4.7.1	Consolidazione primaria.....	74
6.4.7.2	Consolidazione secondaria .....	75
6.4.8.	Coefficienti di permeabilità .....	75
6.5.	STIMA DEI PARAMETRI DI DEGRADO CICLICO DEI TERRENI .....	76
6.5.1.	Degrado del modulo di taglio G e incremento delle caratteristiche di smorzamento .....	76
6.5.2.	Degrado delle caratteristiche di resistenza al taglio .....	78
6.5.2.1	Parametri drenati.....	78
6.5.2.2	Parametri non drenati.....	78
<b>7.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>81</b>
7.1.	PREMESSA.....	81
7.2.	ZONA OMOGENEA 1.....	82
7.3.	ZONA OMOGENEA 2.....	86
7.4.	ZONA OMOGENEA 3.....	90
7.5.	ZONA OMOGENEA 4.....	94
7.6.	ZONA OMOGENEA 5.....	98
7.7.	ZONA OMOGENEA 6.....	102
7.8.	ZONA OMOGENEA 7.....	106
7.9.	ZONA OMOGENEA 8.....	110
7.10.	ZONA OMOGENEA 9.....	114
7.11.	ZONA OMOGENEA 10.....	118
7.12.	ZONA OMOGENEA 11.....	122
7.13.	ZONA OMOGENEA 12.....	126
7.14.	ZONA OMOGENEA 13.....	130
7.15.	ZONA OMOGENEA 14.....	134
7.16.	ZONA OMOGENEA 15.....	138
7.17.	ZONA OMOGENEA 16.....	142
7.18.	ZONA OMOGENEA 17.....	146
7.19.	ZONA OMOGENEA 18.....	150
7.20.	ZONA OMOGENEA A .....	154

7.21. ZONA OMOGENEA B .....	158
7.22. ZONA OMOGENEA C .....	162
7.23. ZONA OMOGENEA D .....	166
7.24. ZONA OMOGENEA E .....	170
7.25. ZONA OMOGENEA F .....	174
7.26. PARAMETRI DI DEGRADO CICLICO .....	178
7.26.1. Degrado del modulo di taglio G e incremento delle caratteristiche di smorzamento .....	178
7.26.2. Degrado dei parametri di resistenza drenati .....	183

**ALLEGATO 1:** *Zone omogenee 1÷9:* Grafici caratteristiche fisiche, di deformabilità, di resistenza al taglio e di consolidazione.

**ALLEGATO 2:** *Zone omogenee 10÷16:* Grafici caratteristiche fisiche, di deformabilità, di resistenza al taglio e di consolidazione.

**ALLEGATO 3:** *Zone omogenee A÷F:* Grafici caratteristiche fisiche, di deformabilità, di resistenza al taglio e di consolidazione.

## 1. PREMESSA

---

Nell'ambito delle attività di progettazione previste per la redazione del Progetto Definitivo dell'Autostrada Regionale Cispadana dal casello di Reggiolo-Rolo su A22 al casello di Ferrara Sud su A13, il presente documento illustra i dati disponibili, i criteri generali utilizzati per la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dall'infrastruttura in progetto ed i parametri geotecnici delle diverse unità litostratigrafiche.

In particolare, nel seguito dell'elaborato verranno descritte ed approfondite le seguenti tematiche:

- normativa e documentazione di riferimento per la caratterizzazione geotecnica;
- descrizione dei dati geognostici disponibili;
- caratterizzazione stratigrafica dei terreni lungo il tracciato;
- definizione dei livelli piezometrici ai fini delle analisi geotecniche;
- descrizione dei criteri utilizzati per la caratterizzazione geotecnica;
- definizione dei parametri geotecnici per le unità geotecniche individuate, in relazione alle singole zone omogenee definite lungo il tracciato.

## **2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

---

### **2.1. NORMATIVE**

---

Le normative di riferimento sono riportate nell'elaborato:

- PD\_0\_000\_00000\_0\_GE\_KT\_01, "Elenco delle Normative di riferimento".

### **2.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO**

---

- Associazione Geotecnica Italiana (2005) "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica", Patron Editore, Bologna.
- LANCELLOTTA R. (1993) – "Geotecnica", Seconda edizione, ed. Zanichelli, Bologna.
- LUNNE T., CHRISTOFFERSEN H.P. (1985) – "Interpretation of Cone Penetrometer Data for Offshore Sands" – Norwegian Geotechnical Institute, 1985, Publication n. 156.
- LUNNE T., ROBERTSON P.K., POWELL J.J.M. (1997) – "Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice" – Blackie Academic & Profesional.
- P.K. ROBERTSON (2009) – "Interpretation of cone penetration tests - a unified approach" – Canadian Geotechnical Journal, Vol. 46, 1337-1355.
- "Soil behaviour in earthquake geotechnics"; Ishihara K.; 1996 Oxford science publications.
- "Dinamica dei terreni per le applicazioni sismiche"; Crespellani T., Facciorusso J.; 2010, Dario Flaccovio Editore.
- "Dynamic deformation characteristics of soils determined by laboratory tests", Yokota K., Imai T., Konno M., 1981; OYO Technical report.
- "The behaviour of Drammen clay under cyclic loading", Eekelen H.A.M. Van, Potts D.M., 1978
- "Post-cyclic degradation of strength and stiffness for low plasticity silt", Yasuhara K., Murakami S.M., Song B., Yokokawa S., Hyde A.F.L., 2003

## **2.3. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO**

---

Nell'ambito delle attività di progettazione, a corredo della presente relazione sono state elaborate le cartografie tematiche di seguito elencate:

- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 1/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_01;
- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 2/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_02;
- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 3/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_03;
- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 4/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_04;
- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 5/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_05;
- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 6/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_06;
- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 7/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_07;
- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 8/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_08;
- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 9/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_09;
- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 10/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_10;
- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 11/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_11;
- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 12/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_12;
- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 13/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_13;



- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 14/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_14;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 1/7 - scala 1:10.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_01;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 2/7 - scala 1:10.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_02;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 3/7 - scala 1:10.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_03;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 4/7 - scala 1:10.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_04;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 5/7 - scala 1:10.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_05;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 6/7 - scala 1:10.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_06;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 7/7 - scala 1:10.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_07;
- Asse autostradale - Profilo geotecnico - Tav. 1/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_01;
- Asse autostradale - Profilo geotecnico - Tav. 2/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_02;
- Asse autostradale - Profilo geotecnico - Tav. 3/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_03;
- Asse autostradale - Profilo geotecnico - Tav. 4/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_04;
- Asse autostradale - Profilo geotecnico - Tav. 5/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_05;
- Asse autostradale - Profilo geotecnico - Tav. 6/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_06;
- Asse autostradale - Profilo geotecnico - Tav. 7/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_07;

- Asse autostradale - Profilo geotecnico - Tav. 8/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_08;
- Asse autostradale - Profilo geotecnico - Tav. 9/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_09;
- Asse autostradale - Profilo geotecnico - Tav. 10/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_10;
- Asse autostradale - Profilo geotecnico - Tav. 11/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_11;
- Asse autostradale - Profilo geotecnico - Tav. 12/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_12;
- Asse autostradale - Profilo geotecnico - Tav. 13/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_13;
- Asse autostradale - Profilo geotecnico - Tav. 14/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_14.

Ai fini del presente studio, si è fatto inoltre riferimento ai seguenti documenti, inerenti le indagini in sito ed in laboratorio di progetto definitivo:

- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 1 - Relazione illustrativa  
Cod. PD\_0\_X01\_X0000\_0\_IS\_RG\_00;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 1 - Sondaggi geognostici  
Cod. PD\_0\_X01\_X0000\_0\_IS\_CF\_01;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 1 - Prove penetrometriche statiche CPTU  
Cod. PD\_0\_X01\_X0000\_0\_IS\_CF\_02;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 1 - Pozzetti esplorativi e prove di Carico su piastra  
Cod. PD\_0\_X01\_X0000\_0\_IS\_CF\_03;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 1 - Prove con cono sismico SCPT  
Cod. PD\_0\_X01\_X0000\_0\_IS\_CF\_04;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 1 - Prove sismiche Cross-Hole  
Cod. PD\_0\_X01\_X0000\_0\_IS\_IG\_00;

- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 2 - Relazione illustrativa  
Cod. PD\_0\_X02\_X0000\_0\_IS\_RG\_00;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 2 - Sondaggi geognostici  
Cod. PD\_0\_X02\_X0000\_0\_IS\_CF\_01;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 2 - Prove penetrometriche statiche CPTU  
Cod. PD\_0\_X02\_X0000\_0\_IS\_CF\_02;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 2 - Pozzetti esplorativi e prove di Carico su piastra  
Cod. PD\_0\_X02\_X0000\_0\_IS\_CF\_03;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 2 - Prove con cono sismico SCPT  
Cod. PD\_0\_X02\_X0000\_0\_IS\_CF\_04;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 2 - Prove sismiche Cross-Hole  
Cod. PD\_0\_X02\_X0000\_0\_IS\_IG\_00;
  
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 3 - Relazione illustrativa  
Cod. PD\_0\_X03\_X0000\_0\_IS\_RG\_00;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 3 - Sondaggi geognostici  
Cod. PD\_0\_X03\_X0000\_0\_IS\_CF\_01;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 3 - Prove penetrometriche statiche CPTU  
Cod. PD\_0\_X03\_X0000\_0\_IS\_CF\_02;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 3 - Pozzetti esplorativi e prove di Carico su piastra  
Cod. PD\_0\_X03\_X0000\_0\_IS\_CF\_03;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 3 - Prove con cono sismico SCPT  
Cod. PD\_0\_X03\_X0000\_0\_IS\_CF\_04;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 3 - Prove sismiche Cross-Hole  
Cod. PD\_0\_X03\_X0000\_0\_IS\_IG\_00;
  
- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 1 - Prove di laboratorio su campioni prelevati da sondaggi  
geognostici  
Cod. PD\_0\_X01\_X0000\_0\_IL\_CF\_01;

- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 1 - Prove di laboratorio su campioni prelevati da pozzetti esplorativi  
Cod. PD\_0\_X01\_X0000\_0\_IL\_CF\_02;
- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 1 – Analisi chimiche su campioni idrici  
Cod. PD\_0\_X01\_X0000\_0\_IL\_CF\_03;
- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 2 - Prove di laboratorio su campioni prelevati da sondaggi geognostici  
Cod. PD\_0\_X02\_X0000\_0\_IL\_CF\_01;
- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 2 - Prove di laboratorio su campioni prelevati da pozzetti esplorativi  
Cod. PD\_0\_X02\_X0000\_0\_IL\_CF\_02;
- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 2 – Analisi chimiche su campioni idrici  
Cod. PD\_0\_X02\_X0000\_0\_IL\_CF\_03;
- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 3 - Prove di laboratorio su campioni prelevati da sondaggi geognostici  
Cod. PD\_0\_X03\_X0000\_0\_IL\_CF\_01;
- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 3 - Prove di laboratorio su campioni prelevati da pozzetti esplorativi  
Cod. PD\_0\_X03\_X0000\_0\_IL\_CF\_02;
- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 3 – Analisi chimiche su campioni idrici  
Cod. PD\_0\_X03\_X0000\_0\_IL\_CF\_03.

### 3. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DI LABORATORIO

---

Le campagne di indagini geognostiche a supporto della caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalle opere in progetto derivano dalla integrazione delle indagini disponibili con una nuova campagna indagini eseguita a partire dal luglio 2011 (nel seguito definita campagna indagini di Progetto Definitivo).

Le indagini disponibili sono state desunte sia dal database geognostico del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna (disponibile on-line al sito <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia>), sia dalle indagini eseguite nella fase di Progetto Preliminare.

Di seguito si procederà a descrivere la campagna indagini di Progetto Definitivo, che ha previsto sia l'esecuzione di indagini in sito sia la realizzazione di prove di laboratorio.

#### 3.1. INDAGINI IN SITO

---

Le indagini geognostiche in sito effettuate nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo sono riportate nel seguito:

- n. 176 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo (BH), eseguiti da Geo-service srl di Casagiove (CE) e da Imprefond srl di Trieste, spinti a profondità comprese tra 30 m e 50 m da piano campagna. Durante l'esecuzione dei sondaggi sono inoltre state effettuate le seguenti attività:
  - rilievo stratigrafico;
  - rilievo speditivo della consistenza mediante prove con pocket penetrometer e scissometro sul materiale carotato;
  - rilievo del livello di falda;
  - prelievo di campioni indisturbati con campionatore a pareti sottili tipo Shelby;
  - esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT (Standard Penetration Test) con punta aperta e recupero del campione rimaneggiato;
  - installazione di piezometri a tubo aperto di tipo Norton Ø4" e di tipo Casagrande.
- n. 18 sondaggi a distruzione di nucleo con esecuzione di prove sismiche in foro di tipo cross-hole (CH), eseguiti da Geo-service srl di Casagiove (CE) e da Imprefond srl di Trieste, spinti fino a 30 m di profondità da piano campagna;
- n. 320 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), eseguite da Geo-service srl di Casagiove (CE) e da Imprefond srl di Trieste, spinte a profondità comprese tra 20 m e 40 m circa da piano campagna. Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche sono state effettuate prove di dissipazione sia negli orizzonti incoerenti sia coesivi;

- n. 23 prove con cono sismico (SCPT), eseguite da Imprefond srl di Trieste, spinte a profondità di 30 m circa da piano campagna;
- n. 148 pozzetti esplorativi (PZ), eseguiti da Geo-service srl di Casagiove (CE) e da Imprefond srl di Trieste, eseguiti fino a 2.5 metri di profondità da piano campagna.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono inoltre state effettuate le seguenti attività:

- o descrizione stratigrafica;
- o eventuale rilievo speditivo della consistenza mediante prove con pocket penetrometer e scissometro;
- o prelievo di campioni rimaneggiati di terreno;
- o esecuzione di prove di carico su piastra alle quote -0.5 m e -1.0 m da piano campagna.

Un riepilogo delle indagini geognostiche precedentemente descritte è riportato da Tabella 3-1 a Tabella 3-5; per ogni prova si riportano le coordinate del punto di indagine nel sistema Gauss-Boaga e la quota in metri rispetto al livello del mare.

**TABELLA 3-1: QUADRO RIASSUNTIVO DEI SONDAGGI STRATIGRAFICI ESEGUITI**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
BH1	Sondaggio stratigrafico	1646179,318	4975578,809	17,389
BH2	Sondaggio stratigrafico	1645933,778	4974738,989	18,226
BH3	Sondaggio stratigrafico	1646381,067	4974234,964	17,180
BH4	Sondaggio stratigrafico	1646179,573	4974727,262	17,986
BH5	Sondaggio stratigrafico	1646053,027	4974857,892	17,726
BH6	Sondaggio stratigrafico	1645850,939	4974804,603	17,587
BH7	Sondaggio stratigrafico	1646872,356	4974500,904	17,581
BH8	Sondaggio stratigrafico	1647414,751	4974722,428	17,450
BH9	Sondaggio stratigrafico	1648218,209	4975024,026	17,381
BH10	Sondaggio stratigrafico	1648667,855	4974778,958	17,957
BH11	Sondaggio stratigrafico	1648710,296	4974726,306	21,111
BH12	Sondaggio stratigrafico	1648951,338	4974831,509	18,475
BH13	Sondaggio stratigrafico	1649488,826	4974480,541	16,672
BH14	Sondaggio stratigrafico	1649555,060	4974442,128	16,661
BH15	Sondaggio stratigrafico	1650253,418	4974368,601	17,286
BH16	Sondaggio stratigrafico	1650729,881	4974359,795	16,186
BH17	Sondaggio stratigrafico	1652035,154	4974181,222	16,743
BH18	Sondaggio stratigrafico	1652810,641	4974119,917	16,475
BH19	Sondaggio stratigrafico	1652896,630	4974034,712	17,139
BH20	Sondaggio stratigrafico	1653370,720	4973848,021	18,206
BH21	Sondaggio stratigrafico	1653550,213	4973964,834	18,476

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
BH22	Sondaggio stratigrafico	1654615,290	4974068,383	18,005
BH23	Sondaggio stratigrafico	1655615,022	4974272,599	19,270
BH24	Sondaggio stratigrafico	1656073,802	4974269,150	19,770
BH25	Sondaggio stratigrafico	1656152,452	4974288,185	19,859
BH26	Sondaggio stratigrafico	1656312,115	4974266,644	20,222
BH27	Sondaggio stratigrafico	1656425,730	4974287,955	19,759
BH28	Sondaggio stratigrafico	1656625,821	4974225,317	25,608
BH29	Sondaggio stratigrafico	1656665,155	4974211,856	20,831
BH30	Sondaggio stratigrafico	1656815,145	4974289,483	20,072
BH31	Sondaggio stratigrafico	1656903,991	4974200,567	19,506
BH32	Sondaggio stratigrafico	1657343,559	4974197,656	18,179
BH33	Sondaggio stratigrafico	1657484,612	4974232,938	18,474
BH34	Sondaggio stratigrafico	1657411,476	4974267,538	18,476
BH35	Sondaggio stratigrafico	1658264,74	4974392,85	15,57
BH36	Sondaggio stratigrafico	1658179,38	4974016,31	16,21
BH37	Sondaggio stratigrafico	1658398,40	4974100,64	15,38
BH38	Sondaggio stratigrafico	1658591,994	4973971,017	16,113
BH39	Sondaggio stratigrafico	1658831,668	4973461,734	16,554
BH40	Sondaggio stratigrafico	1659027,017	4973089,406	16,722
BH41	Sondaggio stratigrafico	1659164,503	4972690,706	16,495
BH42	Sondaggio stratigrafico	1659446,473	4971986,929	16,750
BH43	Sondaggio stratigrafico	1659386,820	4971945,200	17,136
BH44	Sondaggio stratigrafico	1659349,686	4971717,381	17,048
BH45	Sondaggio stratigrafico	1659828,948	4971317,192	17,094
BH46	Sondaggio stratigrafico	1660192,648	4971085,741	16,676
BH47	Sondaggio stratigrafico	1660321,874	4971015,514	16,816
BH48	Sondaggio stratigrafico	1660592,045	4970775,019	16,325
BH49	Sondaggio stratigrafico	1661555,122	4970616,899	17,633
BH50	Sondaggio stratigrafico	1662832,220	4970465,167	19,371
BH51	Sondaggio stratigrafico	1662850,711	4970517,192	19,162
BH52	Sondaggio stratigrafico	1663280,80	4970439,36	19,24
BH53	Sondaggio stratigrafico	1663566,119	4970443,524	19,400
BH54	Sondaggio stratigrafico	1663503,343	4970418,843	19,709
BH55	Sondaggio stratigrafico	1664246,508	4970726,289	18,271
BH56	Sondaggio stratigrafico	1665004,887	4970614,632	19,085
BH57	Sondaggio stratigrafico	1666206,87	4970512,39	19,08
BH58	Sondaggio stratigrafico	1666196,15	4970559,35	18,95
BH59	Sondaggio stratigrafico	1667314,755	4970524,321	17,006

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
BH60	Sondaggio stratigrafico	1667258,285	4970440,783	17,253
BH201	Sondaggio stratigrafico	1667859,115	4970279,521	15,994
BH202	Sondaggio stratigrafico	1667993,194	4970240,970	16,174
BH203	Sondaggio stratigrafico	1669000,462	4970151,723	15,896
BH204	Sondaggio stratigrafico	1669025,528	4969888,455	16,207
BH205	Sondaggio stratigrafico	1669194,471	4970168,711	15,232
BH206	Sondaggio stratigrafico	1669809,168	4969585,268	14,828
BH207	Sondaggio stratigrafico	1670029,862	4969713,530	14,804
BH208	Sondaggio stratigrafico	1670495,233	4969486,365	15,780
BH209	Sondaggio stratigrafico	1670474,907	4969433,147	15,886
BH210	Sondaggio stratigrafico	1671827,653	4969042,548	13,590
BH211	Sondaggio stratigrafico	1671736,991	4968801,474	13,853
BH212	Sondaggio stratigrafico	1672656,365	4968262,430	12,559
BH213	Sondaggio stratigrafico	1672766,441	4968261,151	12,565
BH214	Sondaggio stratigrafico	1672896,069	4968143,940	13,009
BH215	Sondaggio stratigrafico	1672896,432	4968045,310	13,263
BH216	Sondaggio stratigrafico	1672706,571	4967972,956	13,494
BH217	Sondaggio stratigrafico	1673101,864	4967924,874	14,777
BH218	Sondaggio stratigrafico	1673168,190	4967863,900	14,981
BH219	Sondaggio stratigrafico	1673531,294	4967646,730	13,696
BH220	Sondaggio stratigrafico	1673604,637	4967631,389	13,397
BH221	Sondaggio stratigrafico	1674708,795	4966953,610	13,216
BH222	Sondaggio stratigrafico	1675400,655	4966234,552	13,217
BH223	Sondaggio stratigrafico	1675325,448	4966150,502	13,703
BH224	Sondaggio stratigrafico	1676186,909	4965349,239	13,125
BH225	Sondaggio stratigrafico	1676060,479	4965202,004	13,001
BH226	Sondaggio stratigrafico	1676875,484	4964809,460	13,328
BH227	Sondaggio stratigrafico	1676957,833	4964840,540	13,322
BH228	Sondaggio stratigrafico	1677644,151	4964598,234	14,661
BH229	Sondaggio stratigrafico	1677827,677	4964664,279	16,858
BH230	Sondaggio stratigrafico	1678596,303	4964942,080	14,332
BH233	Sondaggio stratigrafico	1680682,556	4965769,799	13,459
BH234	Sondaggio stratigrafico	1681262,654	4965529,884	12,686
BH235	Sondaggio stratigrafico	1681347,639	4965619,927	12,842
BH247	Sondaggio stratigrafico	1686017,734	4965102,941	10,664
BH248	Sondaggio stratigrafico	1686084,757	4965154,587	10,604
BH250	Sondaggio stratigrafico	1687500,796	4965038,379	10,810
BH251	Sondaggio stratigrafico	1687627,668	4964955,473	10,707



Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
BH252	Sondaggio stratigrafico	1688024,817	4964901,949	11,024
BH253	Sondaggio stratigrafico	1688094,662	4964973,500	10,997
BH254	Sondaggio stratigrafico	1688385,759	4965015,281	10,677
BH255	Sondaggio stratigrafico	1689315,865	4965016,822	11,083
BH256	Sondaggio stratigrafico	1689363,245	4965004,314	12,407
BH257	Sondaggio stratigrafico	1689542,271	4965006,538	13,274
BH258	Sondaggio stratigrafico	1689572,984	4965019,419	11,296
BH340	Sondaggio stratigrafico	1659113,992	4972873,750	16,649
BH349	Sondaggio stratigrafico	1661908,229	4970606,980	18,077
BH350	Sondaggio stratigrafico	1661824,872	4970532,785	17,957
BH352	Sondaggio stratigrafico	1663292,095	4970397,871	19,455
BH404TER	Sondaggio stratigrafico	1693291,656	4963668,315	10,792
BH405	Sondaggio stratigrafico	1692697,398	4963468,226	11,470
BH407	Sondaggio stratigrafico	1692870,317	4963192,807	11,897
BH408	Sondaggio stratigrafico	1693156,537	4963343,005	10,818
BH409	Sondaggio stratigrafico	1693203,772	4963285,624	10,704
BH410	Sondaggio stratigrafico	1692710,118	4962924,293	12,042
BH411	Sondaggio stratigrafico	1693804,459	4962969,919	10,339
BH412	Sondaggio stratigrafico	1693863,574	4962888,567	10,278
BH413	Sondaggio stratigrafico	1695088,069	4962249,472	9,920
BH414	Sondaggio stratigrafico	1695072,968	4962311,503	10,170
BH415	Sondaggio stratigrafico	1695417,905	4961897,509	9,670
BH416	Sondaggio stratigrafico	1695461,903	4961923,592	9,980
BH417	Sondaggio stratigrafico	1695682,928	4961696,218	10,140
BH418	Sondaggio stratigrafico	1695662,607	4961648,528	9,980
BH419	Sondaggio stratigrafico	1696821,804	4961170,774	10,940
BH420	Sondaggio stratigrafico	1696963,749	4961156,038	10,870
BH421	Sondaggio stratigrafico	1697822,634	4961239,606	8,580
BH422	Sondaggio stratigrafico	1697983,671	4961290,681	9,150
BH423	Sondaggio stratigrafico	1698038,104	4961309,728	9,297
BH424	Sondaggio stratigrafico	1699069,249	4961960,111	9,330
BH425	Sondaggio stratigrafico	1699775,340	4962457,696	9,380
BH426	Sondaggio stratigrafico	1700792,423	4963143,996	9,403
BH427	Sondaggio stratigrafico	1701394,070	4963234,165	9,180
BH428	Sondaggio stratigrafico	1701981,606	4963179,376	9,126
BH429	Sondaggio stratigrafico	1701862,676	4963407,770	9,910
BH430	Sondaggio stratigrafico	1701784,124	4963078,696	8,770
BH431	Sondaggio stratigrafico	1701860,955	4962871,793	9,190

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
BH432	Sondaggio stratigrafico	1701951,169	4962805,473	9,090
BH433	Sondaggio stratigrafico	1701928,852	4963318,234	9,070
BH434	Sondaggio stratigrafico	1702121,182	4963258,033	9,094
BH435	Sondaggio stratigrafico	1702629,200	4963331,014	9,100
BH436	Sondaggio stratigrafico	1702688,753	4963394,723	9,150
BH437	Sondaggio stratigrafico	1702873,590	4963274,760	9,690
BH438	Sondaggio stratigrafico	1702995,844	4963513,716	9,908
BH439	Sondaggio stratigrafico	1703409,704	4963258,032	11,630
BH440	Sondaggio stratigrafico	1703541,678	4963561,183	10,944
BH441	Sondaggio stratigrafico	1703459,086	4963491,593	11,921
BH442	Sondaggio stratigrafico	1703756,821	4963221,032	9,643
BH443	Sondaggio stratigrafico	1703850,941	4963195,793	9,200
BH444	Sondaggio stratigrafico	1703832,591	4963236,032	9,697
BH445	Sondaggio stratigrafico	1703807,678	4962790,893	10,090
BH516	Sondaggio stratigrafico	1672549,836	4968021,475	13,090
BH530	Sondaggio stratigrafico	1678657,486	4964671,155	14,616
BH531	Sondaggio stratigrafico	1679008,308	4964353,431	14,276
BH532	Sondaggio stratigrafico	1679951,434	4964230,826	12,819
BH533	Sondaggio stratigrafico	1681036,264	4964083,087	12,935
BH534	Sondaggio stratigrafico	1681474,420	4963893,057	14,836
BH535	Sondaggio stratigrafico	1682217,498	4963573,178	12,492
BH536	Sondaggio stratigrafico	1682254,390	4963530,875	12,927
BH537	Sondaggio stratigrafico	1683566,982	4963483,155	10,725
BH538	Sondaggio stratigrafico	1683717,237	4963678,944	10,282
BH539	Sondaggio stratigrafico	1683982,805	4963722,803	9,969
BH540	Sondaggio stratigrafico	1683792,355	4963977,610	10,656
BH541	Sondaggio stratigrafico	1684316,694	4963987,930	11,036
BH542	Sondaggio stratigrafico	1684851,858	4964728,299	10,433
BH601	Sondaggio stratigrafico	1690684,502	4964846,993	12,539
BH602	Sondaggio stratigrafico	1691616,607	4964046,129	11,858
BH603	Sondaggio stratigrafico	1691701,277	4964115,607	11,634
BH604	Sondaggio stratigrafico	1692132,263	4963248,275	12,539
BH605	Sondaggio stratigrafico	1692240,403	4963308,342	12,668
BH606	Sondaggio stratigrafico	1692437,520	4962948,046	12,053
BH607	Sondaggio stratigrafico	1692611,343	4963024,747	12,096
BH609	Sondaggio stratigrafico	1692199,113	4962636,938	12,315
BH610	Sondaggio stratigrafico	1693885,051	4962859,270	10,324
BH611	Sondaggio stratigrafico	1693933,461	4962781,347	10,380

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
BH637	Sondaggio stratigrafico	1702937,848	4963377,612	9,130

**TABELLA 3-2: QUADRO RIASSUNTIVO DEI CROSS-HOLE ESEGUITI**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
CH2	Cross-hole	1645936,188	4974736,277	18,250
CH12	Cross-hole	1648949,196	4974828,167	18,539
CH20	Cross-hole	1653371,940	4973852,430	18,112
CH27	Cross-hole	1656428,844	4974287,421	19,832
CH46	Cross-hole	1660192,133	4971080,770	16,764
CH54	Cross-hole	1663499,113	4970420,247	19,595
CH57	Cross-hole	1666206,860	4970512,362	19,039
CH202	Cross-hole	1667989,554	4970232,504	16,229
CH210	Cross-hole	1671823,425	4969044,400	13,610
CH219	Cross-hole	1673535,663	4967648,356	13,749
CH229	Cross-hole	1677822,691	4964664,947	16,977
CH255	Cross-hole	1689313,216	4965019,112	10,990
CH407	Cross-hole	1692873,651	4963189,110	11,888
CH417	Cross-hole	1695686,426	4961699,925	10,000
CH426	Cross-hole	1700789,792	4963141,273	9,350
CH433	Cross-hole	1701928,619	4963322,871	9,190
CH442	Cross-hole	1703754,390	4963216,947	9,772
CH606	Cross-hole	1692440,127	4962945,265	12,071

**TABELLA 3-3: QUADRO RIASSUNTIVO DELLE PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
CPTU1	Prova penetrometrica	1645839,472	4975950,915	17,065
CPTU2	Prova penetrometrica	1645954,006	4975795,457	16,786
CPTU3	Prova penetrometrica	1646223,413	4975488,763	17,726
CPTU4	Prova penetrometrica	1646242,933	4975556,153	17,286
CPTU5	Prova penetrometrica	1646143,540	4975638,488	17,072
CPTU6	Prova penetrometrica	1646103,906	4975418,727	18,071
CPTU7	Prova penetrometrica	1646170,000	4975304,181	19,818
CPTU8	Prova penetrometrica	1645811,685	4974847,162	17,529
CPTU9	Prova penetrometrica	1645848,651	4974801,345	17,568
CPTU10	Prova penetrometrica	1645846,140	4974777,299	18,032

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
CPTU11	Prova penetrometrica	1645932,620	4974745,783	18,115
CPTU12	Prova penetrometrica	1645894,232	4974898,081	18,066
CPTU13	Prova penetrometrica	1645942,156	4974827,128	17,789
CPTU14	Prova penetrometrica	1646055,454	4974871,642	17,851
CPTU15	Prova penetrometrica	1646111,260	4974810,197	17,675
CPTU16	Prova penetrometrica	1646130,938	4974744,281	17,937
CPTU17	Prova penetrometrica	1646175,880	4974718,585	18,041
CPTU18	Prova penetrometrica	1646280,263	4974421,199	17,497
CPTU19	Prova penetrometrica	1646392,782	4974155,292	17,806
CPTU20	Prova penetrometrica	1647059,214	4974685,890	17,636
CPTU21	Prova penetrometrica	1647515,389	4974776,810	17,566
CPTU22	Prova penetrometrica	1647500,216	4974933,548	17,156
CPTU23	Prova penetrometrica	1647871,132	4975002,644	17,993
CPTU24	Prova penetrometrica	1648236,813	4975018,008	17,378
CPTU25	Prova penetrometrica	1648664,511	4974780,138	17,805
CPTU26	Prova penetrometrica	1648669,603	4974820,202	17,863
CPTU27	Prova penetrometrica	1648704,539	4974720,128	21,186
CPTU28	Prova penetrometrica	1648975,785	4974845,112	18,047
CPTU29	Prova penetrometrica	1648946,953	4974803,953	18,240
CPTU30	Prova penetrometrica	1649178,347	4974679,396	17,014
CPTU31	Prova penetrometrica	1649489,541	4974478,503	16,709
CPTU32	Prova penetrometrica	1649552,122	4974436,808	16,676
CPTU33	Prova penetrometrica	1649931,962	4974308,024	16,752
CPTU34	Prova penetrometrica	1649965,081	4974455,567	16,948
CPTU35	Prova penetrometrica	1650224,985	4974272,062	17,151
CPTU36	Prova penetrometrica	1650240,388	4974321,025	17,146
CPTU37	Prova penetrometrica	1650265,948	4974414,730	17,085
CPTU38	Prova penetrometrica	1650277,695	4974463,149	16,947
CPTU39	Prova penetrometrica	1650600,765	4974397,686	16,410
CPTU39bis	Prova penetrometrica	in corrispondenza BH 16/16bis		
CPTU40	Prova penetrometrica	1650762,747	4974335,688	17,127
CPTU41	Prova penetrometrica	1651084,353	4974286,725	16,723
CPTU42	Prova penetrometrica	1651349,709	4974298,557	16,912
CPTU43	Prova penetrometrica	1651966,744	4974196,626	16,661
CPTU44	Prova penetrometrica	1652329,196	4974103,406	16,770
CPTU45	Prova penetrometrica	1652801,873	4974105,182	16,628
CPTU46	Prova penetrometrica	1652891,825	4974038,718	17,391
CPTU47	Prova penetrometrica	1652942,557	4974010,864	16,834

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
CPTU48	Prova penetrometrica	1653368,477	4973861,861	18,137
CPTU49	Prova penetrometrica	1653600,922	4973936,149	18,395
CPTU50	Prova penetrometrica	1653591,109	4973941,530	18,407
CPTU51	Prova penetrometrica	1653944,399	4974294,168	17,521
CPTU52	Prova penetrometrica	1654426,665	4974119,550	18,437
CPTU53	Prova penetrometrica	1654657,209	4974046,842	18,039
CPTU54	Prova penetrometrica	1655015,410	4974152,093	18,118
CPTU55	Prova penetrometrica	1655200,486	4974220,767	18,247
CPTU56	Prova penetrometrica	1655614,560	4974263,547	19,207
CPTU57	Prova penetrometrica	1656064,726	4974302,821	19,587
CPTU58	Prova penetrometrica	1656139,160	4974282,473	19,916
CPTU59	Prova penetrometrica	1656219,069	4974283,525	19,769
CPTU60	Prova penetrometrica	1656374,739	4974298,153	19,925
CPTU61	Prova penetrometrica	1656871,271	4974212,350	19,691
CPTU62	Prova penetrometrica	1656671,180	4974203,170	20,773
CPTU63	Prova penetrometrica	1656956,240	4974165,996	19,219
CPTU64	Prova penetrometrica	1657166,660	4974189,916	18,494
CPTU65	Prova penetrometrica	1657328,299	4974160,423	18,174
CPTU66	Prova penetrometrica	1657421,186	4974157,495	18,523
CPTU67	Prova penetrometrica	1657478,006	4974114,091	18,634
CPTU68	Prova penetrometrica	1657546,502	4974132,599	17,309
CPTU69	Prova penetrometrica	1657367,661	4974236,514	18,060
CPTU70	Prova penetrometrica	1657392,064	4974238,312	18,100
CPTU71	Prova penetrometrica	1657422,223	4974243,991	18,412
CPTU72	Prova penetrometrica	1657709,380	4974060,338	17,401
CPTU73	Prova penetrometrica	1657937,945	4974015,145	16,662
CPTU74	Prova penetrometrica	1658272,512	4973937,871	16,352
CPTU75	Prova penetrometrica	1658216,173	4974001,154	16,350
CPTU76	Prova penetrometrica	1658233,812	4974037,948	15,946
CPTU77	Prova penetrometrica	1658362,417	4973973,903	15,956
CPTU78	Prova penetrometrica	1658438,818	4973987,729	15,909
CPTU79	Prova penetrometrica	1658396,661	4974047,986	15,719
CPTU80	Prova penetrometrica	1658260,702	4974384,285	15,520
CPTU81	Prova penetrometrica	1658560,238	4973895,398	16,379
CPTU82	Prova penetrometrica	1658872,682	4973546,996	16,011
CPTU83	Prova penetrometrica	1658991,957	4973079,296	16,697
CPTU84	Prova penetrometrica	1659019,699	4973087,628	16,705
CPTU85	Prova penetrometrica	1659055,933	4973099,520	16,592

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
CPTU86	Prova penetrometrica	1659077,128	4973106,196	16,502
CPTU87	Prova penetrometrica	1659107,666	4972818,659	16,629
CPTU88	Prova penetrometrica	1659298,867	4972284,671	16,933
CPTU89	Prova penetrometrica	1659412,207	4971968,322	16,990
CPTU90	Prova penetrometrica	1659458,785	4971980,313	16,781
CPTU91	Prova penetrometrica	1659362,764	4971924,870	17,022
CPTU92	Prova penetrometrica	1659331,261	4971712,690	17,431
CPTU93	Prova penetrometrica	1659486,206	4971677,936	16,798
CPTU94	Prova penetrometrica	1659799,386	4971348,835	16,780
CPTU95	Prova penetrometrica	1659824,297	4971300,038	17,021
CPTU96	Prova penetrometrica	1660119,470	4971101,468	16,799
CPTU97	Prova penetrometrica	1660163,092	4971092,689	16,832
CPTU98	Prova penetrometrica	1660210,677	4971083,877	16,797
CPTU99	Prova penetrometrica	1660243,210	4971035,842	16,313
CPTU100	Prova penetrometrica	1660368,253	4970975,762	16,746
CPTU101	Prova penetrometrica	1660579,532	4970819,231	16,438
CPTU102	Prova penetrometrica	1660888,287	4970723,970	16,186
CPTU103	Prova penetrometrica	1661083,641	4970662,531	16,726
CPTU104	Prova penetrometrica	1661395,470	4970613,986	17,281
CPTU105	Prova penetrometrica	1661831,139	4970559,332	17,884
CPTU106	Prova penetrometrica	1662066,540	4970550,088	18,227
CPTU107	Prova penetrometrica	1662272,083	4970532,277	18,308
CPTU108	Prova penetrometrica	1662601,415	4970504,167	18,874
CPTU109	Prova penetrometrica	1662858,156	4970518,750	19,242
CPTU110	Prova penetrometrica	1662850,238	4970481,343	18,979
CPTU111	Prova penetrometrica	1663099,899	4970465,866	19,023
CPTU112	Prova penetrometrica	1663300,866	4970436,786	19,547
CPTU113	Prova penetrometrica	1663495,809	4970421,205	19,747
CPTU114	Prova penetrometrica	1663572,904	4970440,724	19,398
CPTU115	Prova penetrometrica	1663674,662	4970464,522	19,258
CPTU116	Prova penetrometrica	1663805,387	4970486,541	18,864
CPTU117	Prova penetrometrica	1664006,998	4970542,779	18,985
CPTU118	Prova penetrometrica	1664315,451	4970744,162	18,963
CPTU119	Prova penetrometrica	1664510,873	4970703,098	19,286
CPTU120	Prova penetrometrica	1664714,903	4970653,827	19,293
CPTU121	Prova penetrometrica	1664975,765	4970572,782	19,387
CPTU122	Prova penetrometrica	1665292,220	4970444,295	19,052
CPTU123	Prova penetrometrica	1665469,382	4970432,503	19,437

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
CPTU124	Prova penetrometrica	1665600,801	4970447,480	19,594
CPTU125	Prova penetrometrica	1665919,985	4970440,837	19,422
CPTU126	Prova penetrometrica	1666170,990	4970517,128	19,167
CPTU127	Prova penetrometrica	1666209,824	4970527,471	19,116
CPTU128	Prova penetrometrica	1666207,732	4970549,503	18,878
CPTU129	Prova penetrometrica	1666591,864	4970529,700	17,459
CPTU130	Prova penetrometrica	1666699,872	4970548,451	17,591
CPTU131	Prova penetrometrica	1667015,493	4970547,636	17,514
CPTU132	Prova penetrometrica	1667309,240	4970493,316	17,133
CPTU133	Prova penetrometrica	1667350,514	4970531,740	17,012
CPTU134	Prova penetrometrica	1667376,511	4970666,048	16,876
CPTU135	Prova penetrometrica	1667392,554	4970700,367	16,811
CPTU201	Prova penetrometrica	1667859,545	4970287,301	16,045
CPTU202	Prova penetrometrica	1667983,433	4970235,313	16,075
CPTU203	Prova penetrometrica	1667996,026	4970247,871	16,011
CPTU204	Prova penetrometrica	1668363,283	4970221,107	16,144
CPTU205	Prova penetrometrica	1668997,968	4970161,523	15,928
CPTU206	Prova penetrometrica	1669034,848	4969907,627	16,018
CPTU207	Prova penetrometrica	1669141,041	4970107,584	15,753
CPTU208	Prova penetrometrica	1669182,696	4970165,596	15,096
CPTU209	Prova penetrometrica	1669273,400	4969843,159	14,980
CPTU210	Prova penetrometrica	1669814,465	4969605,573	14,860
CPTU211	Prova penetrometrica	1669967,887	4969606,035	14,784
CPTU212	Prova penetrometrica	1670093,842	4969529,884	15,059
CPTU213	Prova penetrometrica	1670516,530	4969553,377	15,591
CPTU214	Prova penetrometrica	1670487,698	4969399,664	16,014
CPTU215	Prova penetrometrica	1670806,879	4969340,513	14,760
CPTU216	Prova penetrometrica	1671188,345	4969136,632	13,870
CPTU217	Prova penetrometrica	1671764,124	4968865,071	13,984
CPTU218	Prova penetrometrica	1671829,909	4969022,378	13,727
CPTU219	Prova penetrometrica	1671883,773	4968810,837	13,540
CPTU220	Prova penetrometrica	1672437,879	4968536,425	12,156
CPTU221	Prova penetrometrica	1671060,987	4967995,459	16,600
CPTU222	Prova penetrometrica	1672031,616	4967751,455	13,990
CPTU223	Prova penetrometrica	1672670,486	4968261,097	12,750
CPTU224	Prova penetrometrica	1672770,538	4968269,334	12,545
CPTU225	Prova penetrometrica	1672896,105	4968180,545	12,981
CPTU226	Prova penetrometrica	1672896,022	4968104,395	13,086

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
CPTU227	Prova penetrometrica	1672732,593	4968004,057	13,274
CPTU228	Prova penetrometrica	1672690,386	4967979,077	13,518
CPTU229	Prova penetrometrica	1672502,104	4967869,591	13,959
CPTU230	Prova penetrometrica	1673153,660	4967919,261	14,561
CPTU231	Prova penetrometrica	1673177,019	4967874,737	15,060
CPTU232	Prova penetrometrica	1673552,908	4967669,994	13,451
CPTU233	Prova penetrometrica	1673581,520	4967622,073	13,381
CPTU234	Prova penetrometrica	1674508,958	4967133,477	13,173
CPTU235	Prova penetrometrica	1674883,784	4966665,551	12,962
CPTU236	Prova penetrometrica	1675298,710	4966191,671	13,203
CPTU237	Prova penetrometrica	1675363,159	4966176,128	14,149
CPTU238	Prova penetrometrica	1676012,933	4965869,612	13,152
CPTU239	Prova penetrometrica	1675539,259	4965953,351	13,307
CPTU240	Prova penetrometrica	1675895,020	4965635,879	12,931
CPTU241	Prova penetrometrica	1676202,906	4965359,168	13,165
CPTU242	Prova penetrometrica	1676078,938	4965273,364	13,106
CPTU244	Prova penetrometrica	1676920,022	4964817,066	13,443
CPTU245	Prova penetrometrica	1676995,188	4964853,843	13,570
CPTU247	Prova penetrometrica	1677627,168	4964589,108	14,460
CPTU248	Prova penetrometrica	1677675,336	4964613,419	14,797
CPTU249	Prova penetrometrica	1677809,943	4964671,049	17,363
CPTU250	Prova penetrometrica	1677864,247	4964637,784	16,123
CPTU252	Prova penetrometrica	1678605,335	4964947,866	14,318
CPTU259	Prova penetrometrica	1680691,104	4965777,193	13,480
CPTU260	Prova penetrometrica	1680981,861	4965578,086	12,653
CPTU261	Prova penetrometrica	1681295,820	4965562,847	12,657
CPTU262	Prova penetrometrica	1681420,750	4965662,266	12,703
CPTU279	Prova penetrometrica	1686022,254	4965162,742	10,806
CPTU284	Prova penetrometrica	1686468,493	4965129,848	10,590
CPTU 280	Prova penetrometrica	1686102,117	4965152,865	10,540
CPTU285	Prova penetrometrica	1686889,907	4965014,781	10,449
CPTU286	Prova penetrometrica	1687576,915	4964992,873	10,730
CPTU287	Prova penetrometrica	1687659,568	4964930,456	10,752
CPTU288	Prova penetrometrica	1688054,681	4964950,889	11,088
CPTU289	Prova penetrometrica	1688115,860	4965008,841	11,067
CPTU 290	Prova penetrometrica	1688218,677	4964976,882	10,758
CPTU291	Prova penetrometrica	1688747,805	4965010,637	10,837
CPTU292	Prova penetrometrica	1689073,884	4964977,957	11,104



Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
CPTU 294	Prova penetrometrica	1689609,300	4965036,899	11,396
CPTU305	Prova penetrometrica	1661901,389	4970597,021	18,147
CPTU312	Prova penetrometrica	1663275,278	4970413,741	19,531
CPTU383	Prova penetrometrica	1659069,791	4972849,872	16,858
CPTU384	Prova penetrometrica	1659089,382	4972857,999	17,005
CPTU385	Prova penetrometrica	1659132,790	4972883,968	16,786
CPTU386	Prova penetrometrica	1659151,680	4972895,328	16,776
CPTU401	Prova penetrometrica	1689828,002	4964923,416	11,730
CPTU402	Prova penetrometrica	1690385,590	4965079,104	12,062
CPTU403TER	Prova penetrometrica	1693347,434	4963591,418	10,686
CPTU412	Prova penetrometrica	1692689,089	4963454,933	11,656
CPTU413	Prova penetrometrica	1692691,492	4963477,211	11,292
CPTU415	Prova penetrometrica	1693070,449	4963406,822	10,972
CPTU416	Prova penetrometrica	1693093,675	4963417,913	10,774
CPTU417	Prova penetrometrica	1693117,208	4963433,579	11,000
CPTU418	Prova penetrometrica	1693205,072	4963274,325	10,794
CPTU419	Prova penetrometrica	1693181,040	4963312,724	10,680
CPTU420	Prova penetrometrica	1693211,609	4963275,191	10,777
CPTU421	Prova penetrometrica	1692657,184	4963013,473	12,012
CPTU422	Prova penetrometrica	1692595,049	4963060,923	12,069
CPTU423	Prova penetrometrica	1693536,028	4962987,588	11,065
CPTU424	Prova penetrometrica	1693871,514	4962878,205	10,255
CPTU425	Prova penetrometrica	1693795,037	4962982,494	10,247
CPTU426	Prova penetrometrica	1693834,017	4962929,243	10,310
CPTU427	Prova penetrometrica	1694392,446	4962632,275	10,060
CPTU428	Prova penetrometrica	1694797,638	4962606,277	9,690
CPTU429	Prova penetrometrica	1695116,820	4962295,470	10,020
CPTU430	Prova penetrometrica	1695098,765	4962248,003	9,980
CPTU431	Prova penetrometrica	1695466,037	4961933,983	9,660
CPTU432	Prova penetrometrica	1695400,646	4961885,639	9,720
CPTU433	Prova penetrometrica	1695673,085	4961644,167	9,680
CPTU434	Prova penetrometrica	1695755,299	4961722,003	9,750
CPTU435	Prova penetrometrica	1695780,067	4961741,370	9,770
CPTU436	Prova penetrometrica	1695949,140	4961364,413	9,640
CPTU437	Prova penetrometrica	1696074,394	4961274,976	9,850
CPTU438	Prova penetrometrica	1696323,451	4961172,688	9,790
CPTU439	Prova penetrometrica	1696835,477	4961153,410	10,870
CPTU440	Prova penetrometrica	1696951,330	4961177,565	11,000

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
CPTU441	Prova penetrometrica	1697358,774	4961189,699	9,200
CPTU442	Prova penetrometrica	1697392,097	4961157,727	8,710
CPTU443	Prova penetrometrica	1698026,730	4961310,236	9,330
CPTU444	Prova penetrometrica	1698311,527	4961459,920	8,440
CPTU445	Prova penetrometrica	1699079,642	4961962,150	9,690
CPTU446	Prova penetrometrica	1699456,156	4962236,922	8,930
CPTU447	Prova penetrometrica	1700204,149	4962982,946	8,860
CPTU448	Prova penetrometrica	1700534,332	4963006,824	9,510
CPTU449	Prova penetrometrica	1700894,040	4963141,963	9,150
CPTU450	Prova penetrometrica	1700924,328	4963146,893	8,810
CPTU451	Prova penetrometrica	1701402,170	4963233,313	8,980
CPTU452	Prova penetrometrica	1701788,011	4963294,910	9,240
CPTU453	Prova penetrometrica	1701927,661	4963365,309	9,390
CPTU454	Prova penetrometrica	1701869,725	4963418,756	9,780
CPTU455	Prova penetrometrica	1701814,496	4963054,388	8,950
CPTU456	Prova penetrometrica	1701893,038	4962911,868	9,040
CPTU457	Prova penetrometrica	1701916,188	4963317,484	8,970
CPTU458	Prova penetrometrica	1701997,269	4963205,869	9,129
CPTU459	Prova penetrometrica	1702629,495	4963277,590	8,940
CPTU460	Prova penetrometrica	1702703,505	4963396,511	9,280
CPTU461	Prova penetrometrica	1702844,849	4963327,744	9,780
CPTU462	Prova penetrometrica	1702990,492	4963496,274	10,359
CPTU463	Prova penetrometrica	1702996,332	4963528,800	9,942
CPTU464	Prova penetrometrica	1702997,184	4963848,655	10,592
CPTU465	Prova penetrometrica	1703408,360	4963243,689	11,674
CPTU466	Prova penetrometrica	1703465,104	4963267,740	13,045
CPTU467	Prova penetrometrica	1703545,912	4963532,723	10,868
CPTU468	Prova penetrometrica	1703796,184	4963315,001	9,523
CPTU469	Prova penetrometrica	1703735,513	4963258,176	9,813
CPTU470	Prova penetrometrica	1703862,816	4963192,789	9,320
CPTU471	Prova penetrometrica	1703887,494	4963264,723	8,993
CPTU472	Prova penetrometrica	1703446,050	4962550,075	11,410
CPTU527	Prova penetrometrica	1672570,578	4968079,756	13,170
CPTU528	Prova penetrometrica	1672575,104	4968021,895	13,417
CPTU 552	Prova penetrometrica	1678990,075	4964336,090	14,605
CPTU553	Prova penetrometrica	1679111,929	4964322,282	14,027
CPTU554	Prova penetrometrica	1679472,468	4964208,395	12,870
CPTU555	Prova penetrometrica	1679908,746	4964200,666	12,674

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
CPTU556	Prova penetrometrica	1680553,895	4964303,359	12,385
CPTU558	Prova penetrometrica	1681512,748	4963875,147	14,458
CPTU559	Prova penetrometrica	1681839,782	4963740,021	14,539
CPTU561	Prova penetrometrica	1682233,090	4963542,893	12,884
CPTU562	Prova penetrometrica	1682654,512	4963435,636	11,842
CPTU563	Prova penetrometrica	1683319,127	4963362,084	12,018
CPTU564	Prova penetrometrica	1683562,837	4963496,933	10,533
CPTU565	Prova penetrometrica	1683767,935	4963762,761	10,230
CPTU567	Prova penetrometrica	1683921,794	4963763,609	9,902
CPTU568	Prova penetrometrica	1684010,373	4963704,694	10,347
CPTU569	Prova penetrometrica	1684336,183	4963975,229	10,965
CPTU570	Prova penetrometrica	1684482,983	4964430,772	10,455
CPTU571	Prova penetrometrica	1685134,495	4965082,139	10,322
CPTU603	Prova penetrometrica	1691013,801	4964730,728	12,448
CPTU604	Prova penetrometrica	1691382,390	4964457,448	17,079
CPTU605	Prova penetrometrica	1691598,885	4964032,942	11,812
CPTU606	Prova penetrometrica	1691665,505	4964095,078	11,729
CPTU607	Prova penetrometrica	1691705,177	4964122,915	11,700
CPTU608	Prova penetrometrica	1691850,318	4963759,985	11,424
CPTU609	Prova penetrometrica	1692120,998	4963240,762	12,515
CPTU610	Prova penetrometrica	1692188,086	4963261,410	12,821
CPTU611	Prova penetrometrica	1692277,315	4963332,378	12,681
CPTU612	Prova penetrometrica	1692429,739	4962960,963	12,290
CPTU613	Prova penetrometrica	1692418,014	4962974,498	12,141
CPTU614	Prova penetrometrica	1692546,153	4963103,037	12,142
CPTU615	Prova penetrometrica	1692478,774	4962906,981	12,191
CPTU616	Prova penetrometrica	1692675,915	4962959,115	12,020
CPTU617	Prova penetrometrica	1692737,593	4962903,734	11,898
CPTU618	Prova penetrometrica	1692395,811	4962776,733	12,318
CPTU619	Prova penetrometrica	1693337,187	4962822,873	11,597
CPTU620	Prova penetrometrica	1693928,410	4962771,892	10,289
CPTU622	Prova penetrometrica	1693819,457	4962949,655	10,230
CPTU661	Prova penetrometrica	1702983,375	4963370,590	9,900

**TABELLA 3-4: QUADRO RIASSUNTIVO DELLE PROVE CON CONO SISMICO ESEGUITE**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
SCPT4	Prova con cono sismico	in corrispondenza CPTU 4		

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
SCPT 33	Prova con cono sismico	in corrispondenza CPTU 33		
SCPT 39bis	Prova con cono sismico	in corrispondenza BH 16/16bis		
SCPT 45	Prova con cono sismico	in corrispondenza CPTU 45		
SCPT 63	Prova con cono sismico	in corrispondenza CPTU 63		
SCPT 76	Prova con cono sismico	in corrispondenza CPTU 76		
SCPT 211	Prova con cono sismico	1669967,887	4969606,035	14,784
SCPT 224	Prova con cono sismico	1672770,538	4968269,334	12,545
SCPT 236	Prova con cono sismico	1675298,710	4966191,671	13,203
SCPT 280	Prova con cono sismico	1686102,117	4965152,865	10,540
SCPT 290	Prova con cono sismico	1688218,677	4964976,882	10,758
SCPT 294	Prova con cono sismico	1689609,300	4965036,899	11,396
SCPT 384	Prova con cono sismico	in corrispondenza BH 41		
SCPT 429	Prova con cono sismico	1695113,048	4962284,648	10,243
SCPT 439	Prova con cono sismico	1696834,968	4961152,999	10,997
SCPT 443	Prova con cono sismico	1698022,975	4961314,886	9,271
SCPT 461	Prova con cono sismico	1702846,672	4963325,707	9,149
SCPT 552	Prova con cono sismico	1678990,075	4964336,090	14,605
SCPT 557	Prova con cono sismico	1681477,278	4963912,981	14,747
SCPT 560	Prova con cono sismico	1682208,629	4963576,375	12,692
SCPT 566	Prova con cono sismico	1683888,428	4963560,942	10,207
SCPT 605	Prova con cono sismico	1691598,885	4964032,942	11,812
SCPT 622	Prova con cono sismico	1693819,457	4962949,655	10,230

**TABELLA 3-5: QUADRO RIASSUNTIVO DEI POZZETTI ESPLORATIVI ESEGUITI**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
PZ1	Pozzetto esplorativo	1645409,998	4975562,427	17,504
PZ2	Pozzetto esplorativo	1645841,527	4975959,612	17,371
PZ3	Pozzetto esplorativo	1645957,027	4975794,107	16,771
PZ4	Pozzetto esplorativo	1646263,072	4975523,621	17,276
PZ5	Pozzetto esplorativo	1645826,127	4974788,115	17,958
PZ6	Pozzetto esplorativo	1646046,128	4974827,272	17,518
PZ7	Pozzetto esplorativo	1646293,371	4974405,092	17,716
PZ8	Pozzetto esplorativo	1646654,161	4974346,515	17,305
PZ9	Pozzetto esplorativo	1646930,255	4974556,014	17,709
PZ10	Pozzetto esplorativo	1647347,764	4974734,273	17,726
PZ11	Pozzetto esplorativo	1647520,004	4974794,354	17,698
PZ12	Pozzetto esplorativo	1648177,747	4975006,149	17,147

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
PZ13	Pozzetto esplorativo	1648653,572	4974770,265	17,831
PZ14	Pozzetto esplorativo	1649554,362	4974436,084	16,670
PZ15	Pozzetto esplorativo	1650109,299	4974411,522	17,058
PZ16	Pozzetto esplorativo	1651610,767	4974392,289	17,208
PZ17	Pozzetto esplorativo	1651987,094	4974195,953	16,743
PZ18	Pozzetto esplorativo	1652343,864	4974099,604	16,787
PZ19	Pozzetto esplorativo	1652547,245	4974142,583	16,552
PZ20	Pozzetto esplorativo	1653543,818	4973977,459	18,386
PZ21	Pozzetto esplorativo	1653610,459	4973940,986	18,219
PZ22	Pozzetto esplorativo	1654631,640	4974057,467	18,026
PZ23	Pozzetto esplorativo	1655026,965	4974149,573	18,219
PZ24	Pozzetto esplorativo	1655510,589	4974249,258	18,837
PZ25	Pozzetto esplorativo	1655608,773	4974390,676	19,033
PZ28	Pozzetto esplorativo	1655985,833	4974488,178	19,317
PZ29	Pozzetto esplorativo	1657388,316	4973851,657	19,709
PZ30	Pozzetto esplorativo	1657359,618	4974242,748	17,790
PZ31	Pozzetto esplorativo	1657590,450	4974117,847	17,463
PZ32	Pozzetto esplorativo	1657967,068	4974005,629	16,799
PZ33	Pozzetto esplorativo	1658435,469	4973990,164	15,866
PZ34	Pozzetto esplorativo	1658199,846	4974679,404	15,979
PZ35	Pozzetto esplorativo	1658469,033	4974241,331	15,438
PZ36	Pozzetto esplorativo	1658840,393	4973458,629	16,772
PZ37	Pozzetto esplorativo	1659063,336	4973256,233	16,397
PZ38	Pozzetto esplorativo	1658711,108	4973003,275	16,973
PZ39	Pozzetto esplorativo	1659166,434	4972688,088	16,713
PZ40	Pozzetto esplorativo	1659373,611	4972290,168	16,630
PZ41	Pozzetto esplorativo	1659367,546	4972002,891	16,880
PZ42	Pozzetto esplorativo	1659358,334	4971715,572	17,066
PZ43	Pozzetto esplorativo	1659815,262	4971230,354	17,084
PZ44	Pozzetto esplorativo	1660326,250	4970563,742	16,717
PZ45	Pozzetto esplorativo	1660720,486	4970754,782	16,329
PZ46	Pozzetto esplorativo	1661529,702	4970618,358	17,604
PZ47	Pozzetto esplorativo	1661206,881	4970642,203	17,166
PZ48	Pozzetto esplorativo	1661952,978	4970568,882	18,448
PZ49	Pozzetto esplorativo	1662265,679	4970535,459	18,299
PZ50	Pozzetto esplorativo	1662698,041	4970211,703	19,129
PZ51	Pozzetto esplorativo	1662645,861	4970498,183	18,819
PZ52	Pozzetto esplorativo	1663096,203	4970453,283	19,010

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. s.l.m.]
		Est	Nord	
PZ53	Pozzetto esplorativo	1663992,717	4970566,420	19,185
PZ54	Pozzetto esplorativo	1664309,215	4970732,495	18,976
PZ55	Pozzetto esplorativo	1664724,061	4970664,496	19,553
PZ56	Pozzetto esplorativo	1665006,877	4970625,469	19,112
PZ57	Pozzetto esplorativo	1663260,919	4970160,899	19,990
PZ58	Pozzetto esplorativo	1665776,309	4970475,592	16,936
PZ59	Pozzetto esplorativo	1666166,208	4970525,227	19,377
PZ60	Pozzetto esplorativo	1666638,880	4970496,262	18,035
PZ61	Pozzetto esplorativo	1667007,747	4970550,415	17,453
PZ62	Pozzetto esplorativo	1667364,791	4970457,622	16,954
PZ63	Pozzetto esplorativo	1666689,847	4970248,097	18,305
PZ64	Pozzetto esplorativo	1667392,737	4970705,125	16,840
PZ201	Pozzetto esplorativo	1668201,075	4970268,118	15,850
PZ202	Pozzetto esplorativo	1669128,165	4970023,733	15,330
PZ203	Pozzetto esplorativo	1669192,416	4970177,703	15,170
PZ204	Pozzetto esplorativo	1668894,182	4969425,798	16,710
PZ205	Pozzetto esplorativo	1669248,296	4969853,448	15,050
PZ206	Pozzetto esplorativo	1669973,045	4969600,233	14,870
PZ207	Pozzetto esplorativo	1670524,637	4969434,033	15,920
PZ208	Pozzetto esplorativo	1670214,345	4969242,885	16,690
PZ209	Pozzetto esplorativo	1671031,266	4969168,886	14,440
PZ210	Pozzetto esplorativo	1671669,061	4969103,231	13,880
PZ211	Pozzetto esplorativo	1671953,047	4969368,383	12,650
PZ212	Pozzetto esplorativo	1672061,939	4968732,939	12,810
PZ213	Pozzetto esplorativo	1672586,602	4968478,891	12,310
PZ214	Pozzetto esplorativo	1672597,416	4967573,602	15,080
PZ215	Pozzetto esplorativo	1670098,594	4968141,344	16,310
PZ216	Pozzetto esplorativo	1670448,618	4968025,573	16,300
PZ217	Pozzetto esplorativo	1671207,662	4967912,984	16,040
PZ218	Pozzetto esplorativo	1672032,902	4967736,803	13,860
PZ219	Pozzetto esplorativo	1670976,347	4967525,337	16,140
PZ220	Pozzetto esplorativo	1673085,152	4967958,704	14,170
PZ221	Pozzetto esplorativo	1673553,507	4967669,702	13,524
PZ222	Pozzetto esplorativo	1674100,283	4967429,444	13,718
PZ223	Pozzetto esplorativo	1674069,263	4967716,779	13,448
PZ224	Pozzetto esplorativo	1674589,949	4967008,664	13,227
PZ225	Pozzetto esplorativo	1674912,845	4966605,987	12,966
PZ226	Pozzetto esplorativo	1675441,474	4966130,480	13,503

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
PZ227	Pozzetto esplorativo	1676245,854	4965956,443	12,956
PZ228	Pozzetto esplorativo	1676998,737	4966193,570	13,053
PZ229	Pozzetto esplorativo	1675979,710	4965453,651	12,980
PZ230	Pozzetto esplorativo	1676202,983	4965301,653	13,187
PZ254	Pozzetto esplorativo	1686522,251	4965149,029	10,642
PZ255	Pozzetto esplorativo	1687007,650	4964994,215	10,413
PZ256	Pozzetto esplorativo	1687682,904	4964932,664	10,925
PZ257	Pozzetto esplorativo	1688356,240	4965031,513	10,354
PZ258	Pozzetto esplorativo	1688910,338	4964989,248	11,134
PZ338	Pozzetto esplorativo	1659334,495	4973105,202	16,517
PZ401	Pozzetto esplorativo	1689807,055	4964810,344	11,800
PZ402	Pozzetto esplorativo	1690586,933	4965096,786	12,230
PZ414	Pozzetto esplorativo	1694416,680	4962657,249	10,080
PZ415	Pozzetto esplorativo	1694383,804	4962629,425	10,070
PZ416	Pozzetto esplorativo	1695080,191	4962320,996	10,010
PZ417	Pozzetto esplorativo	1694853,700	4962014,604	10,240
PZ418	Pozzetto esplorativo	1695369,431	4962013,704	10,200
PZ419	Pozzetto esplorativo	1695818,335	4961489,234	9,670
PZ420	Pozzetto esplorativo	1696211,343	4961206,777	9,680
PZ421	Pozzetto esplorativo	1696968,696	4961174,747	10,720
PZ422	Pozzetto esplorativo	1696911,726	4960627,876	10,070
PZ424	Pozzetto esplorativo	1697680,107	4961212,874	8,800
PZ425	Pozzetto esplorativo	1698303,200	4961458,903	8,650
PZ426	Pozzetto esplorativo	1699067,640	4961968,037	9,630
PZ427	Pozzetto esplorativo	1699418,667	4962210,890	8,850
PZ428	Pozzetto esplorativo	1699928,026	4962570,289	9,030
PZ429	Pozzetto esplorativo	1700444,129	4963014,315	8,810
PZ430	Pozzetto esplorativo	1701310,002	4963192,883	9,210
PZ431	Pozzetto esplorativo	1701417,011	4963266,375	8,910
PZ432	Pozzetto esplorativo	1701841,762	4963035,746	9,190
PZ433	Pozzetto esplorativo	1702013,206	4963644,750	9,590
PZ534	Pozzetto esplorativo	1678695,246	4964581,548	14,526
PZ535	Pozzetto esplorativo	1679168,752	4964240,311	13,433
PZ536	Pozzetto esplorativo	1679898,329	4964245,234	12,905
PZ537	Pozzetto esplorativo	1680441,639	4964290,626	12,406
PZ538	Pozzetto esplorativo	1680994,186	4964085,158	12,809
PZ539	Pozzetto esplorativo	1681721,940	4963815,680	14,348
PZ540	Pozzetto esplorativo	1682280,630	4963522,611	12,960

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
PZ541	Pozzetto esplorativo	1683471,329	4963549,796	11,271
PZ542	Pozzetto esplorativo	1683845,751	4963903,634	10,334
PZ543	Pozzetto esplorativo	1684443,159	4964363,129	10,478
PZ544	Pozzetto esplorativo	1684814,016	4964823,145	10,464
PZ545	Pozzetto esplorativo	1685270,967	4965121,629	10,393
PZ603	Pozzetto esplorativo	1690988,788	4964812,870	12,578
PZ604	Pozzetto esplorativo	1691378,767	4964468,612	13,041
PZ605	Pozzetto esplorativo	1691202,289	4963934,860	12,771
PZ606	Pozzetto esplorativo	1691762,998	4964260,598	11,939
PZ607	Pozzetto esplorativo	1691756,322	4963874,103	11,546
PZ608	Pozzetto esplorativo	1691914,845	4963677,825	11,339
PZ609	Pozzetto esplorativo	1692551,034	4963091,487	12,158
PZ610	Pozzetto esplorativo	1692073,071	4962430,895	12,890
PZ611	Pozzetto esplorativo	1692180,793	4962643,827	12,316
PZ612	Pozzetto esplorativo	1693070,030	4962958,591	11,718
PZ613	Pozzetto esplorativo	1693553,038	4962961,886	10,888
PZ634	Pozzetto esplorativo	1703140,704	4962695,084	11,100
PZ635	Pozzetto esplorativo	1703035,342	4963949,370	10,864
PZ636	Pozzetto esplorativo	1703719,729	4962441,537	10,930

I certificati delle indagini geognostiche in sito realizzate nella campagna indagini di Progetto Definitivo, sono riportati nei documenti inerenti le attività propedeutiche alla progettazione, ed elencati al paragrafo 2.3 del presente documento.

### 3.2. PROVE DI LABORATORIO

Al fine di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni, i campioni indisturbati prelevati durante la campagna indagini di Progetto Definitivo, sono stati sottoposti a prove di laboratorio; in particolare:

- Prove di classificazione
  - apertura del campione con descrizione;
  - classificazione secondo UNI EN ISO 14688;
  - analisi granulometrica secondo ASTM D422 per setacciatura e per sedimentazione;
  - determinazione del contenuto naturale d'acqua;



- determinazione dei limiti di Atterberg;
- determinazione del peso di volume allo stato naturale;
- determinazione del peso specifico dei grani.
- Prove meccaniche
  - prova triassiale non consolidata non drenata (U.U.);
  - prova triassiale consolidata e non drenata con misura delle pressioni interstiziali (C.I.U.);
  - prova di taglio diretto (T.D.);
  - prova di compressione non confinata (ELL);
  - prova di compressibilità edometrica con diagramma deformazione/tempo e determinazione dei coefficienti  $M$ ,  $C_v$ ,  $C_\alpha$  e  $k$ ;
  - prova triassiale ciclica per la determinazione dei parametri ciclici (TXC-Property) e prova triassiale con applicazione monotona del carico (TXM);
  - prova di taglio torsionale ciclico (TTC);
  - prova di colonna risonante (RC).

Sui campioni rimaneggiati prelevati durante la campagna indagini di Progetto Definitivo, sono inoltre state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- Prove di classificazione
  - apertura del campione con descrizione;
  - classificazione secondo UNI EN ISO 14688;
  - analisi granulometrica secondo ASTM D422 per setacciatura e per sedimentazione;
  - determinazione del contenuto naturale d'acqua;
  - determinazione dei limiti di Atterberg;
  - determinazione del peso di volume allo stato naturale;
  - determinazione del peso specifico dei grani.

Inoltre, i campioni rimaneggiati prelevati durante l'esecuzione dei pozzetti esplorativi realizzati nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo, sono stati sottoposti a prove di laboratorio, sia sul terreno naturale sia sui campioni di terreno miscelati con calce; in particolare:

- Prove su terreno naturale
  - apertura del campione con descrizione;
  - classificazione secondo UNI EN ISO 14688;
  - analisi granulometrica secondo ASTM D422 per setacciatura e per sedimentazione;
  - determinazione del contenuto naturale d'acqua;
  - determinazione dei limiti di Atterberg;
  - determinazione del contenuto di sostanza organica;
  - determinazione del contenuto di solfati e nitrati;
  - determinazione del consumo iniziale di calce (CIC).
- Prove su terreno naturale miscelato con calce (secondo tre valori di percentuale di calce)
  - determinazione dei limiti di Atterberg;
  - prova di costipamento Proctor "AASHTO Modificata";
  - definizione dell'indice di portanza immediato (IPI);
  - prova CBR post-saturazione.

Le prove di laboratorio sono state effettuate dalla TecnoLab di Ortona (CH) per quanto riguarda i lotti 1 e 3, e dalla Elletipi srl di Ferrara per il lotto 2.

I certificati delle prove di laboratorio utilizzate per lo studio geologico-geotecnico dell'area, sono riportate nei documenti elencati al paragrafo 2.3 del presente documento.

## 4. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA

Il profilo geologico-geotecnico, ottenuto dall'interpretazione delle indagini geognostiche, è riportato negli elaborati progettuali "Asse autostradale – Profilo geotecnico" (doc. da PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_01 a PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_FT\_13).

L'intera profondità indagata lungo tutta la tratta autostradale è caratterizzata dalla presenza di depositi di piana alluvionale che sono stati suddivisi nelle 6 unità stratigrafiche descritte in seguito:

- **Rilevati antropici**
- **Unità R**

Terreno vegetale e/o suoli agrari, sovraconsolidati per essiccamento. Localmente terreni di riporto.

- **Unità 1**

Argille, argille limose e debolmente limose o sabbiose, limi, limi argillosi e debolmente argillosi o sabbiosi, di colore nocciola, marrone, grigio e nerastro. Localmente sono presenti striature rossastre e ocre, venature nerastre per presenza di frustoli carboniosi e resti torbosi, e concrezioni calcaree millimetriche (calcinelli). L'unità si presenta da moderatamente consistente a consistente. I primi metri dal piano campagna appaiono talvolta sovraconsolidati per essiccamento. Resistenza alla punta media 1÷3 MPa.

- **Unità 2**

Limi sabbiosi e sabbie limose, talora debolmente argillose di colore nocciola, marrone e grigio. Resistenza alla punta media 3÷8 MPa.

- **Unità 3**

Sabbie fini, talora debolmente limose di colore nocciola, marrone e grigio, da poco a mediamente addensate. Intercalate all'unità 3 si rinvencono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media 8÷10 MPa,  $D_r \leq 50\%$ .

- **Unità 4**

Sabbie medie, talora debolmente limose di colore nocciola, marrone e grigio. Localmente sono presenti livelli di sabbie più grossolane. Si presentano da mediamente addensate ad addensate. Intercalate all'unità 4 si rinvencono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media 10÷15 MPa,  $D_r = 50\% \div 70\%$ .

- **Unità 5**

Sabbie medie, talora debolmente limose, di colore nocciola, marrone e grigio. Localmente sono presenti livelli di sabbie più grossolane talora ghiaiose. Le sabbie presentano generalmente un buon grado di

addensamento. Intercalate all'unità 5 si rinvencono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media  $>15$  MPa,  $D_r \geq 70\%$ .

- **Unità 6**

Argille poco consistenti, di colore grigio scuro e nero con abbondante presenza di frustoli carboniosi e livelli organici indecomposti. Localmente si rinvencono livelli di torba di spessore decimetrico.

## 5. DEFINIZIONE DEI LIVELLI PIEZOMETRICI

### 5.1. DATI PIEZOMETRICI DISPONIBILI

#### 5.1.1. Monitoraggio piezometrico lungo l'asse autostradale

Nel corso della campagna indagini eseguita a supporto delle attività di progettazione, numerosi fori di sondaggio stratigrafico sono stati attrezzati mediante l'installazione di verticali piezometriche, sia di tipo Norton (ovvero a tubo aperto), sia con celle di Casagrande.

Contestualmente alle attività di indagine, è stata eseguita una campagna di monitoraggio piezometrico della strumentazione installata, che ha previsto una serie di letture protrattesi fino a marzo 2012.

Nella successiva Tabella 5-1 si riporta il quadro completo della strumentazione installata e delle letture disponibili, mentre per l'ubicazione in pianta delle verticali piezometriche si rimanda alle cartografie idrogeologiche di progetto ed alla Tabella 3-1 inerente l'ubicazione dei sondaggi.

TABELLA 5-1: QUADRO RIASSUNTIVO DEI PIEZOMETRI INSTALLATI E DELLE LETTURE DEI LIVELLI DI FALDA DISPONIBILI.

Sigla	PIEZ. TIPO	CARATTERISTICHE PIEZOMETRO	Letture livello falda in m da piano campagna									
			Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	
BH1	Casagrande	Cella posta a 19,5 m	2,45	2,41	2,35	2,39	2,57	2,55	3,25	-	3,27	
BH3	Casagrande	Cella posta a 20 m	2,29	2,26	2,34	2,39	2,36	2,34	-	-	-	
BH4	Tubo aperto	Tubo cieco 3 metri, tubo finestrato 3 metri	1,98	1,96	1,98	2,00	1,98	1,97	2,91	-	2,94	
BH5	Casagrande	Cella posta a 20 m	-	2,77	2,98	3,04	2,96	2,99	3,60	-	3,72	
BH6	Tubo aperto	Tubo cieco 5 metri, tubo finestrato 15 metri	2,41	2,37	2,33	2,52	2,59	2,61	3,43	-	3,54	
BH7	Tubo aperto	Tubo cieco 3 metri, tubo finestrato 3 metri	2,84	3,02	3,18	3,61	4,03	4,05	3,56	-	3,37	
BH8	Casagrande	Cella posta a 20 m	2,26	2,39	2,59	2,69	2,35	2,36	3,26	-	3,66	
BH9	Casagrande	Cella posta a 10,71 m	1,86	2,17	2,58	3,08	2,87	2,86	3,12	-	3,37	
BH10	Tubo aperto	Tubo cieco 2 metri, tubo finestrato 8 metri	3,03	2,95	3,07	3,34	3,05	3,08	4,15	-	4,16	
BH11	Casagrande	Cella posta a 19,15 m	6,55	6,65	6,88	7,50	7,07	7,04	7,48	-	7,13	
BH13	Tubo aperto	Tubo cieco 3 metri, tubo finestrato 3 metri	1,59	1,77	1,88	2,04	1,91	2,01	1,86	-	1,85	
BH14	Casagrande	Cella posta a 23,87 m	1,81	1,93	1,89	2,15	2,25	2,21	2,94	-	3,07	
BH15	Tubo aperto	Tubo cieco 4 metri, tubo finestrato 4 metri	2,45	2,60	2,72	2,92	3,08	3,06	2,69	-	2,48	
BH16	Casagrande	Cella posta a 25 m	1,56	1,65	1,80	2,28	2,41	2,44	2,65	-	2,64	
BH17	Tubo aperto	Tubo cieco 5 metri, tubo finestrato 15 metri	2,37	2,50	2,95	2,98	2,95	2,89	3,13	-	3,17	
BH18	Tubo aperto	Tubo cieco 3 metri, tubo finestrato 3 metri	2,37	2,69	2,63	2,91	3,13	3,16	2,97	-	2,99	

BH19	Casagrande	Cella posta a 20 m	3,61	3,70	3,81	4,13	3,80	3,75	3,59	-	3,43
BH21	Casagrande	Cella posta a 20 m	-	5,33	5,23	4,80	4,20	4,23	4,90	-	3,71
BH22	Tubo aperto	Tubo cieco 2 metri, tubo finestrato 6 metri	-	3,27	3,21	3,46	3,67	3,64	3,43	-	3,39
BH23	Casagrande	Cella posta a 25,12 m	4,07	4,54	4,76	5,53	5,64	5,60	5,89	-	6,18
BH24	Tubo aperto	Tubo cieco 4 metri, tubo finestrato 4 metri	-	3,09	3,28	3,51	3,43	3,40	4,38	4,78	4,64
BH25	Casagrande	Cella posta a 24,73 m	-	5,58	5,37	5,91	6,04	6,00	6,62	-	6,94
BH26	Tubo aperto	Tubo cieco 10 metri, tubo finestrato 10 metri	-	5,02	4,82	5,28	5,57	5,50	5,69	-	5,90
BH30	Casagrande	Cella posta a 24,83 m	-	7,00	6,74	6,57	6,66	6,99	7,08	-	6,95
BH31	Casagrande	Cella posta a 9,31 m	-		4,77	4,84	4,75	4,91	5,04	-	5,29
BH32	Casagrande	Cella posta a 6,70 m	-	2,61	3,03	3,17	3,49	3,73	3,40	-	3,59
BH34	Casagrande	Cella posta a 20 m	-	5,45	5,29	5,56	5,34	5,29	5,52	-	5,38
BH35	Casagrande	Cella posta a 20,19 m	-	-	-	-	-	2,86	-	-	-
BH37	Casagrande	Cella posta a 20,40 m	-	-	-	-	-	2,73	-	-	-
BH39	Casagrande	Cella posta a 14,50 m	-	-	3,29	3,72	3,67	3,86	3,85	-	3,79
BH40	Tubo aperto	Tubo cieco 3 metri, tubo finestrato 3 metri	-	3,50	3,63	3,99	3,73	3,48	3,65	-	3,69
BH41	Casagrande	Cella posta a 19,70 m	-	-	3,26	3,57	3,49	3,51	3,64	-	3,49
BH42	Casagrande	Cella posta a 14,37 m	-	-	3,67	3,92	3,87	3,97	3,77	-	3,67
BH44	Tubo aperto	Tubo cieco 3 metri, tubo finestrato 3 metri	-	-	3,80	3,87	3,72	3,71	3,79	-	3,81
BH45	Casagrande	Cella posta a 14,30 m	-	-	3,83	4,01	3,76	3,86	3,94	-	3,90
BH47	Casagrande	Cella posta a 5,10 m	-	-	4,92	5,09	5,19	4,25	3,46	-	2,72
BH48	Casagrande	Cella posta a 10,62 m	-	-	3,27	3,46	3,52	3,50	3,28	-	3,25
BH49	Casagrande	Cella posta a 10,50 m	-	-	4,79	4,90	4,99	4,90	4,74	-	4,76
BH50	Casagrande	Cella posta a 10,50 m	-	-	-	6,34	6,27	6,12	-	-	-
BH52	Casagrande	Cella posta a 35,00 m	-	-	-	-	-	6,58	-	-	-
BH53	Tubo aperto	Tubo cieco 3 metri, tubo finestrato 3 metri	-	-	-	-	1,82	2,92	1,89	-	1,24
BH55	Casagrande	Cella posta a 6,40 m	-	-	5,93	6,10	6,04	5,91	-	-	n.m.
BH56	Tubo aperto	Tubo cieco 9 metri, tubo finestrato 21 metri	-	-	8,18	8,35	8,53	7,94	7,87	-	7,24
BH58	Casagrande	Cella posta a 8,45 m	-	-	-	-	6,70	6,51	-	-	-
BH59	Casagrande	Cella posta a 19,28 m	-	-	6,23	6,53	6,44	6,51	6,19	-	6,04
BH201	Tubo aperto	Tubo cieco 6 metri, tubo finestrato 3 metri	-	2,83	2,42	2,62	1,90	-	2,65	-	2,57
BH203	Tubo aperto	Tubo cieco 8 metri, tubo finestrato 4 metri	-	3,98	5,40	5,47	5,48	-	3,39	-	3,38
BH204	Casagrande	Cella posta a 6 m	-	7,33	4,67	4,95	4,92	-	4,91	-	4,99
BH205	Casagrande	Cella posta a 15 m	-	5,01	1,76	2,37	3,00	-	3,06	-	2,84
BH206	Casagrande	Cella posta a 6 m	-	-	1,92	2,24	2,79	-	2,81	-	2,57
BH207	Tubo aperto	Tubo cieco 12 metri, tubo finestrato 3 metri	-	-	4,80	4,87	4,73	-	4,39	-	4,40
BH208	Casagrande	Cella posta a 20 m	-	4,70	5,85	5,95	5,85	-	5,78	-	5,80
BH209	Casagrande	Cella posta a 7,5 m	-	4,70	4,62	4,69	4,61	-	4,53	-	4,55
BH211	Tubo aperto	Tubo cieco 9 metri, tubo finestrato 2 metri	-	-	4,24	4,35	4,27	-	4,16	1,90	2,25

BH212	Casagrande	Cella posta a 15 m	-	-	3,40	3,41	3,29	-	3,18	-	3,19
BH213	Casagrande	Cella posta a 35 m	-	-	3,57	3,50	3,33	-	4,28	-	4,93
BH214	Tubo aperto	Tubo cieco 3 metri, tubo finestrato 3 metri	-	-	3,94	3,97	3,83	-	3,62	-	3,38
BH215	Casagrande	Cella posta a 20 m	-	4,20	4,32	4,22	4,08	-	3,94	-	-
BH216	Casagrande	Cella posta a 10 m	-	-	4,28	3,95	3,94	-	-	-	3,95
BH217	Casagrande	Cella posta a 15 m	-	-	4,64	4,62	4,74	-	4,67	-	4,68
BH218	Tubo aperto	Tubo cieco 8 metri, tubo finestrato 4 metri	-	-	3,51	3,46	3,91	-	-	-	3,55
BH220	Tubo aperto	Tubo cieco 8 metri, tubo finestrato 2 metri	-	-	2,56	2,75	2,71	-	2,41	-	2,39
BH221	Casagrande	Cella posta a 39 m	-	-	5,23	5,11	4,88	-	4,61	-	4,53
BH222	Tubo aperto	Tubo cieco 2 metri, tubo finestrato 4 metri	-	-	1,20	1,21	2,10	-	-	1,87	1,65
BH223	Casagrande	Cella posta a 22 m	-	-	3,93	2,67	3,27	-	3,59	-	3,39
BH224	Tubo aperto	Tubo cieco 25 metri, tubo finestrato 15 metri	-	-	2,35	3,13	3,06	-	3,67	-	3,52
BH225	Casagrande	Cella posta a 15 m	-	-	2,04	2,17	2,06	-	-	-	1,76
BH226	Casagrande	Cella posta a 27 m	-	-	2,81	2,77	2,69	-	-	-	2,78
BH227	Casagrande	Cella posta a 15 m	-	-	2,51	2,57	2,46	-	-	-	1,77
BH228	Tubo aperto	Tubo cieco 15 metri, tubo finestrato 5 metri	-	-	3,86	3,93	3,91	-	-	3,83	3,88
BH230	Casagrande	Cella posta a 10 m	-	-	3,61	3,71	3,69	-	-	-	-
BH233	Tubo aperto	Tubo cieco 10 metri, tubo finestrato 5 metri	-	-	3,04	3,02	2,95	-	-	-	-
BH234	Casagrande	Cella posta a 30 m	-	-	2,84	2,52	2,53	-	-	-	-
BH235	Casagrande	Cella posta a 5 m	-	-	0,43	2,29	2,66	-	-	-	-
BH247	Tubo aperto	Tubo cieco 10 metri, tubo finestrato 15 metri	-	-	-	-	-	-	-	3,99	3,52
BH248	Casagrande	Cella posta a 10 m	-	-	1,39	1,44	1,43	-	-	-	-
BH250	Casagrande	Cella posta a 25 m	-	-	2,78	2,72	2,69	-	-	-	-
BH251	Casagrande	Cella posta a 7,5 m	-	-	2,28	2,04	2,01	-	-	-	-
BH252	Casagrande	Cella posta a 10 m	-	-	0,58	1,73	3,40	-	-	-	-
BH253	Casagrande	Cella posta a 35 m	-	-	-	3,15	1,00	-	-	-	-
BH254	Tubo aperto	Tubo cieco 4 metri, tubo finestrato 13 metri	-	-	-	-	-	-	-	2,72	2,75
BH349	Tubo aperto	Tubo cieco 5 metri, tubo finestrato 15 metri	-	-	-	5,33	5,27	5,13	5,15	-	5,24
BH350	Casagrande	Cella posta a 11,90 m	-	-	-	5,14	5,01	4,80	4,87	-	4,93
BH405	Casagrande	Cella posta a 18 m	-	-	-	3,60	4,04	3,77	-	-	4,23
BH408	Casagrande	Cella posta a 40 m	-	-	-	6,15	4,99	5,77	-	-	4,23
BH409	Tubo aperto	Tubo cieco 5 metri, tubo finestrato 7 metri	-	-	-	2,85	2,75	1,73	-	-	2,65
BH410	Casagrande	Cella posta a 20 m	-	-	-	4,57	3,78	3,94	-	-	3,83
BH411	Casagrande	Cella posta a 26 m	-	-	-	3,20	3,09	3,31	3,15	-	3,20
BH412	Tubo aperto	Tubo cieco 5 metri, tubo finestrato 20 metri	-	-	-	2,34	2,10	2,19	2,10	-	2,23
BH413	Casagrande	Cella posta a 12,5 m	-	-	-	2,11	1,97	2,14	2,13	-	2,24
BH414	Casagrande	Cella posta a 28 m	-	-	-	3,42	3,34	3,55	3,36	-	3,17
BH415	Casagrande	Cella posta a 7,5 m	-	-	-	2,37	1,58	1,80	1,81	-	1,98

BH416	Casagrande	Cella posta a 20 m	-	-	-	3,08	2,96	3,18	3,13	-	4,67
BH418	Casagrande	Cella posta a 27 m	-	-	-	3,07	3,03	3,12	3,10	-	3,15
BH419	Tubo aperto	Tubo cieco 5 metri, tubo finestrato 5 metri	-	-	-	3,38	3,17	3,38	3,36	-	3,33
BH420	Casagrande	Cella posta a 25 m	-	-	-	4,08	3,74	4,04	3,81	-	3,72
BH421	Casagrande	Cella posta a 7,5 m	-	-	-	3,15	3,00	3,15	3,06	-	3,02
BH422	Casagrande	Cella posta a 25 m	-	-	-	2,99	2,93	3,07	4,06	-	3,76
BH423	Casagrande	Cella posta a 18 m	-	-	-	2,78	2,60	2,73	2,79	-	2,70
BH424	Casagrande	Cella posta a 9 m	-	-	-	2,46	2,40	2,43	3,03	-	2,84
BH425	Tubo aperto	Tubo cieco 7 metri, tubo finestrato 12 metri	-	-	-	2,88	2,90	3,08	2,96	2,87	2,90
BH427	Casagrande	Cella posta a 15 m	-	-	-	1,97	1,93	2,08	2,08	-	-
BH428	Tubo aperto	Tubo cieco 4 metri, tubo finestrato 6 metri	-	-	-	-	1,92	1,85	2,14	-	2,17
BH429	Casagrande	Cella posta a 10 m	-	-	-	2,61	2,57	2,71	4,30	-	4,27
BH430	Casagrande	Cella posta a 40 m	-	-	-	3,30	3,32	3,33	3,45	-	3,52
BH431	Casagrande	Cella posta a 36 m	-	-	-	3,02	3,67	3,87	-	3,42	3,48
BH432	Casagrande	Cella posta a 15 m	-	-	-	1,76	1,20	1,61	-	-	1,25
BH434	Casagrande	Cella posta a 18 m	-	-	-	1,80	1,46	1,71	-	-	-
BH435	Tubo aperto	Tubo cieco 5 metri, tubo finestrato 15 metri	-	-	-	0,00	1,70	1,83	1,78	-	1,79
BH436	Casagrande	Cella posta a 10 m	-	-	-	1,41	1,46	1,52	1,53	-	1,57
BH437	Casagrande	Cella posta a 7,5 m	-	-	-	6,15	2,42	2,48	2,43	-	2,24
BH438	Casagrande	Cella posta a 15 m	-	-	-	2,56	3,05	3,11	3,33	-	3,36
BH439	Casagrande	Cella posta a 35 m	-	-	-	3,65	6,38	6,47	6,39	-	6,40
BH440	Tubo aperto	Tubo cieco 3 metri, tubo finestrato 7 metri	-	-	-	2,89	2,75	2,87	2,63	-	2,53
BH441	Casagrande	Cella posta a 20 m	-	-	-	4,40	5,07	5,64	5,21	-	5,27
BH443	Casagrande	Cella posta a 15 m	-	-	-	2,40	2,55	2,55	2,92	-	2,96
BH444	Casagrande	Cella posta a 5 m	-	-	-	1,61	2,02	1,25	2,21	-	1,55
BH445	Casagrande	Cella posta a 10 m	-	-	-	2,73	2,65	2,79	2,83	-	3,10
BH601	Tubo aperto	Tubo cieco 5 metri, tubo finestrato 20 metri	-	-	-	3,73	4,78	5,08	4,98	-	4,93
BH602	Tubo aperto	Tubo cieco 3 metri, tubo finestrato 5 metri	-	-	-	3,06	3,02	3,12	-	-	-
BH603	Casagrande	Cella posta a 25 m	-	-	-	-	-	4,23	-	-	-
BH604	Casagrande	Cella posta a 18 m	-	-	-	-	3,58	3,82	-	-	3,64
BH605	Tubo aperto	Tubo cieco 4 metri, tubo finestrato 10 metri	-	-	-	4,02	4,18	4,34	-	-	4,33
BH607	Casagrande	Cella posta a 40 m	-	-	-	3,34	4,23	4,22	-	-	4,24
BH609	Casagrande	Cella posta a 20 m	-	-	-	-	4,00	4,16	-	-	4,13
BH610	Casagrande	Cella posta a 26 m	-	-	-	3,18	3,09	3,21	3,10	-	3,10
BH611	Tubo aperto	Tubo cieco 5 metri, tubo finestrato 20 metri	-	-	-	2,27	2,50	2,49	2,66	-	2,41
BH404ter	Casagrande	Cella posta a 40 m	-	-	-	3,76	3,59	3,83	3,77	-	3,81
BH534	Tubo aperto	Tubo cieco 5 metri, tubo finestrato 5 metri	-	-	-	-	-	-	-	4,44	4,62



Come si può osservare dai dati in Tabella 5-1, i livelli piezometrici misurati appaiono piuttosto depressi rispetto al piano di campagna e lontani dai valori che di norma attesi nel periodo invernale per questa porzione di territorio.

I dati storici e le esperienze pregresse, unitamente alle informazioni raccolte presso la popolazione locale, hanno evidenziato che le falde presentano una soggiacenza piuttosto variabile durante l'anno, collocandosi a quote molto prossime dal piano campagna nei periodi caratterizzati da apporti meteorici intensi e soprattutto nel periodo invernale/primaverile.

È evidente quindi che i livelli di soggiacenza eccezionalmente bassi misurati nel corso della campagna di rilievi e monitoraggio effettuata risultano affetti da una anomalia conseguente al prolungato periodo siccitoso estivo ed alla quasi totale assenza di apporti meteorici, protrattasi fino a tutto marzo 2012.

### 5.1.2. Rete di monitoraggio della falda "ipodermica"

Data la scarsa attendibilità del monitoraggio piezometrico per le ragioni sopra citate, al fine di valutare la soggiacenza della falda da assumere in progetto, sono stati analizzati i risultati della rete di monitoraggio della falda "ipodermica", ovvero del livello freatico nei primi metri dal piano di campagna, messa a punto dal Servizio Sviluppo Sistema Agroalimentare della Regione Emilia Romagna (disponibile al sito <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/>).

Tale rete di monitoraggio è costituita da una serie di pozzetti di profondità pari a 3 m, monitorati in continuo. La distribuzione della rete di monitoraggio è molto ampia, anche se con una densità di punti piuttosto bassa, come si evince dalla sottostante Figura 5-1.

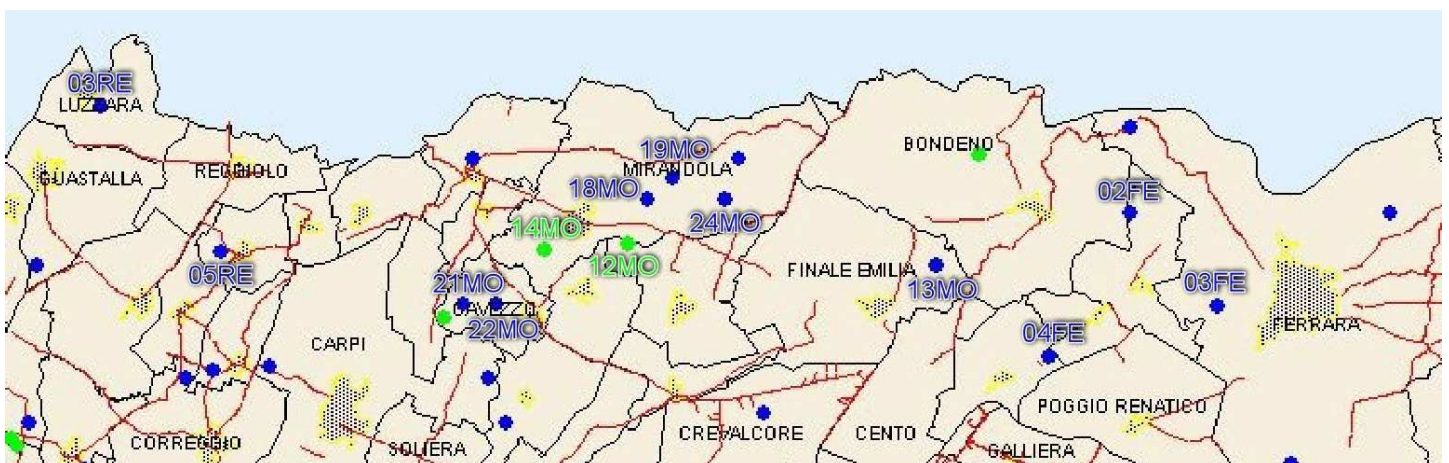
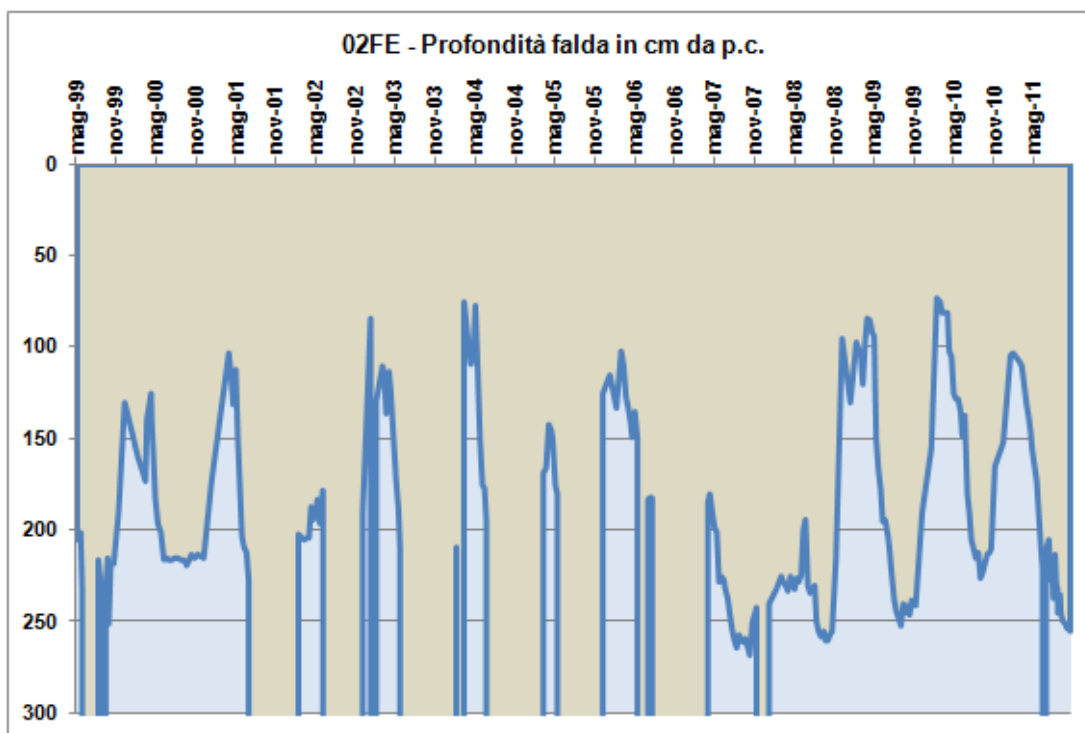


FIGURA 5-1: DISTRIBUZIONE DELLA RETE DI MONITORAGGIO DELLA FALDA IPODERMICA.

Tuttavia, può essere utile confrontare i dati forniti dalla rete di monitoraggio con le risultanze del monitoraggio piezometrico attualmente in essere sulla strumentazione installata lungo il tracciato autostradale, soprattutto al fine di meglio inquadrare i livelli piezometrici eccezionalmente bassi che stiamo registrando in questi ultimi mesi come conseguenza di un lungo periodo caratterizzato dalla quasi totale assenza di apporti meteorici.

In particolare, come mostrano i grafici di seguito riportati (Figura 5-2÷Figura 5-11), se è vero che negli ultimi mesi anche la rete di monitoraggio misura valori di soggiacenza a quote di 2÷3 m di profondità dal piano campagna, occorre d'altra parte notare che le serie storiche dei pozzetti monitorati mostrano frequentemente nei periodi invernali e primaverili livelli freatici ben più alti e spesso prossimi al piano di campagna. Non di rado infatti si osservano livelli freatici a 0,30÷0,50 m di profondità dal piano di campagna, con quota talora anche più elevate.

Per questa ragione si ritiene che dai livelli piezometrici misurati nella strumentazione installata lungo l'infrastruttura in progetto non si possa, allo stato attuale, estrapolare un livello di falda di progetto "ragionevole", in quanto le misurazioni ad oggi eseguite hanno registrato una condizione anomala rispetto agli andamenti medi passati.



**FIGURA 5-2: SERIE STORICA RELATIVA AL MONITORAGGIO DELLA FALDA IPODERMICA NELLA STAZIONE 02FE.**

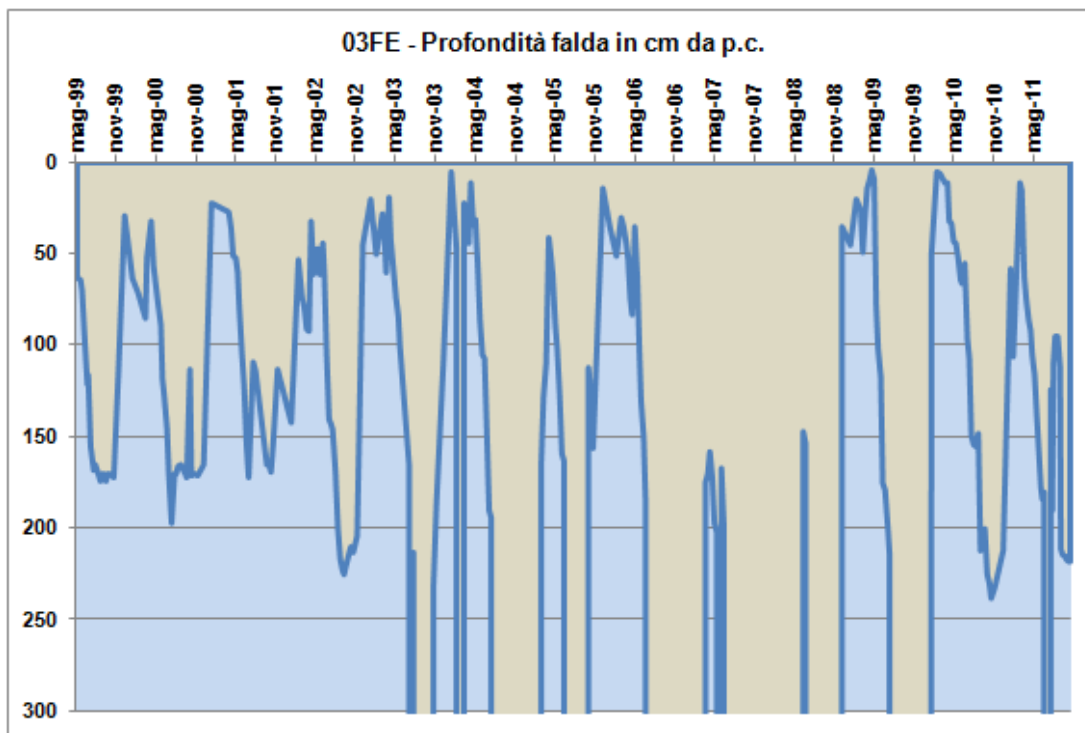


FIGURA 5-3: SERIE STORICA RELATIVA AL MONITORAGGIO DELLA FALDA IPODERMICA NELLA STAZIONE 03FE.

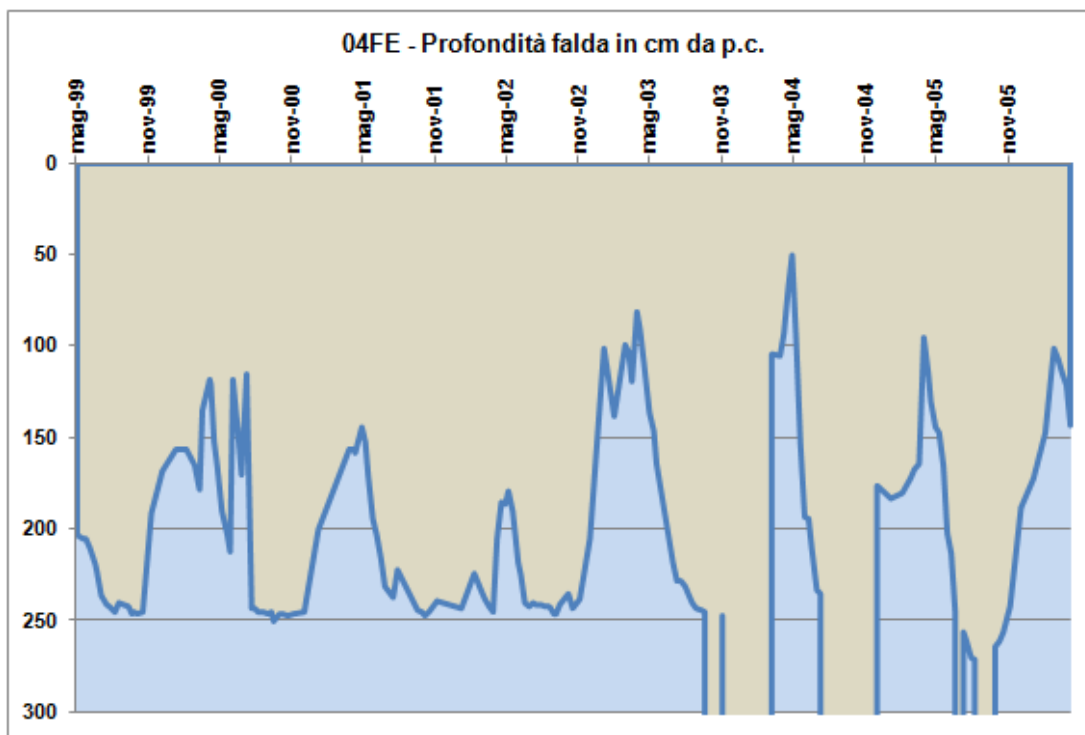


FIGURA 5-4: SERIE STORICA RELATIVA AL MONITORAGGIO DELLA FALDA IPODERMICA NELLA STAZIONE 04FE.

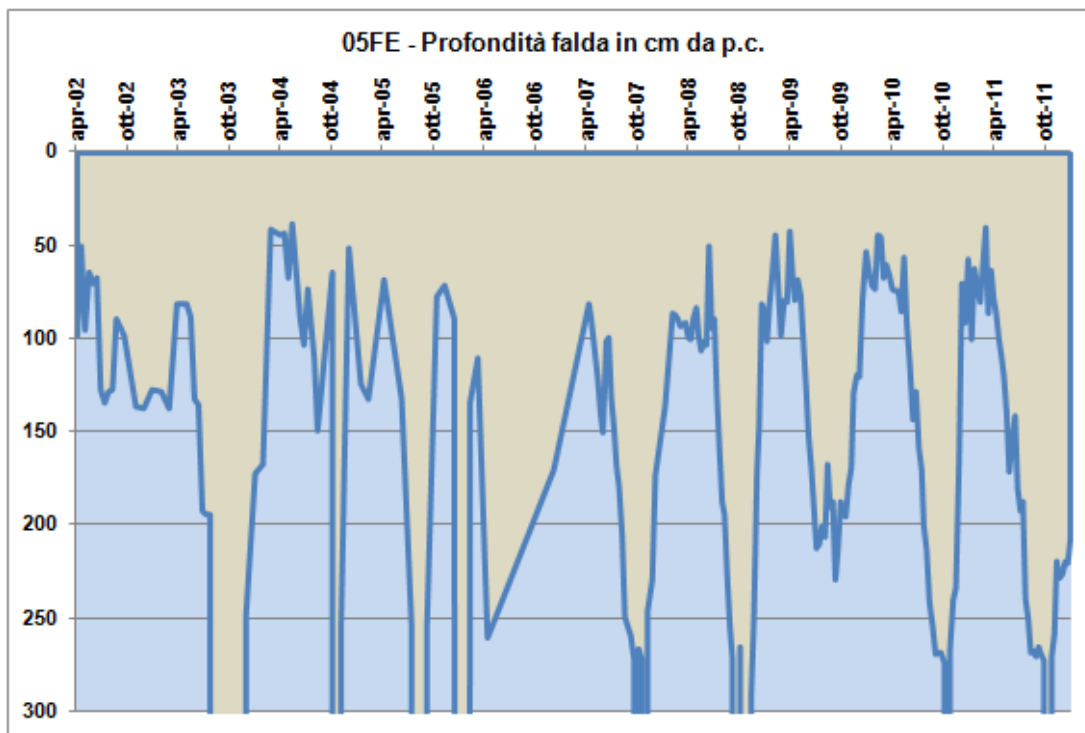


FIGURA 5-5: SERIE STORICA RELATIVA AL MONITORAGGIO DELLA FALDA IPODERMICA NELLA STAZIONE 05FE.

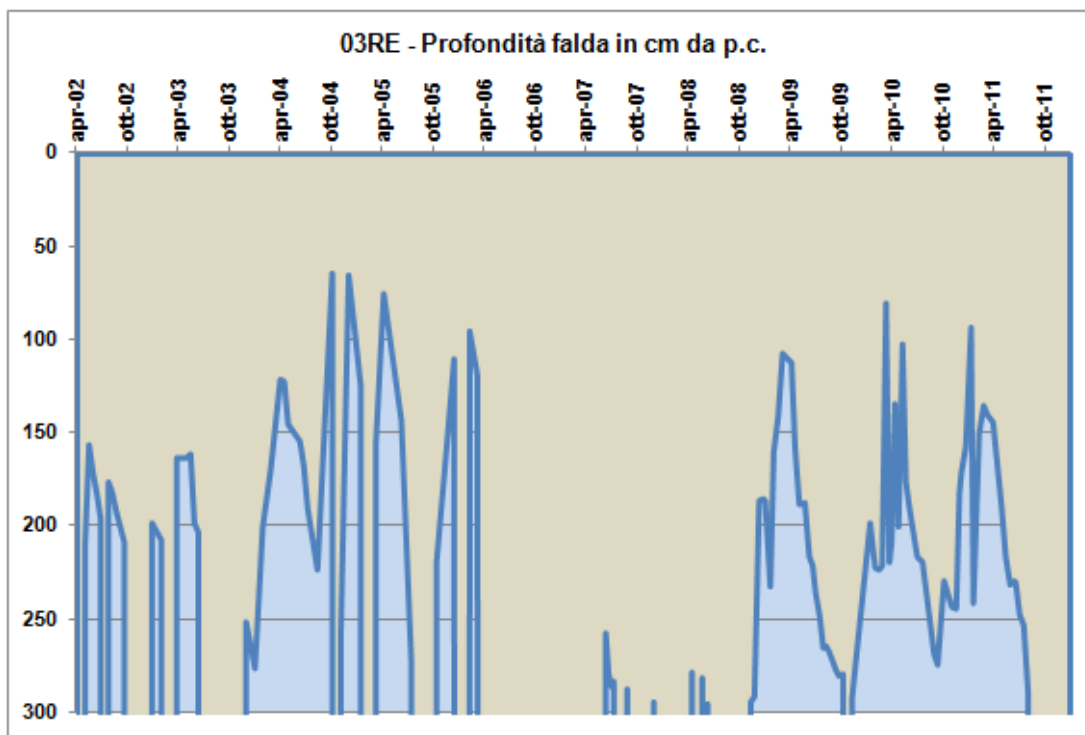


FIGURA 5-6: SERIE STORICA RELATIVA AL MONITORAGGIO DELLA FALDA IPODERMICA NELLA STAZIONE 03RE.

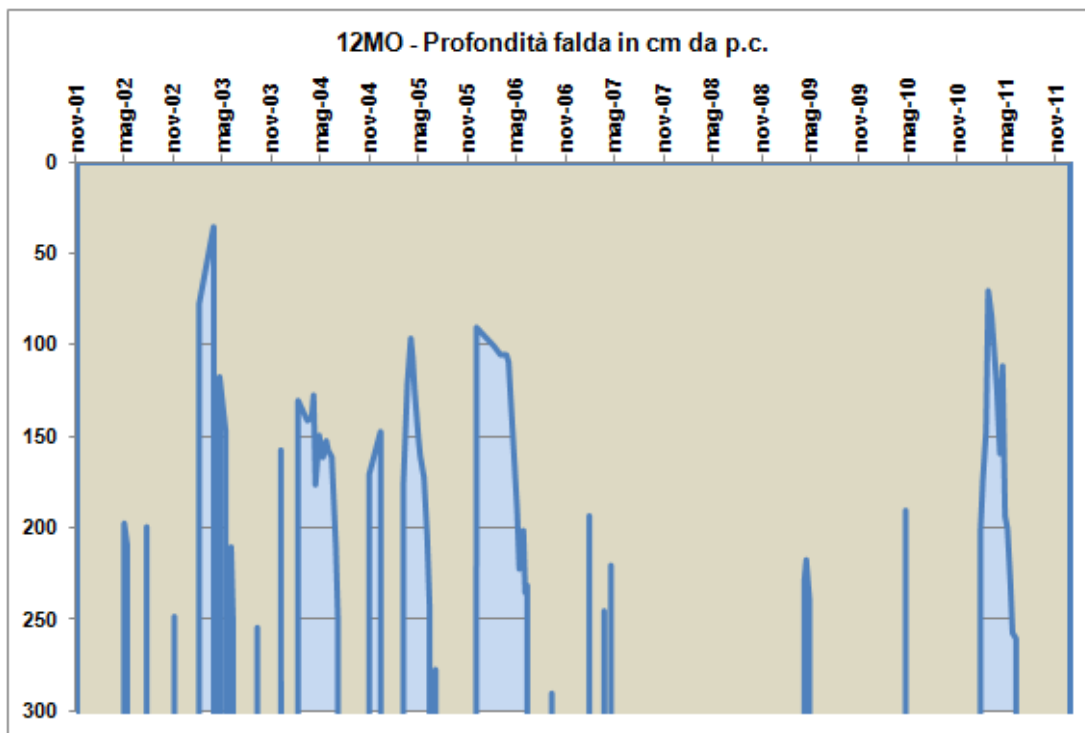


FIGURA 5-7: SERIE STORICA RELATIVA AL MONITORAGGIO DELLA FALDA IPODERMICA NELLA STAZIONE 12MO.

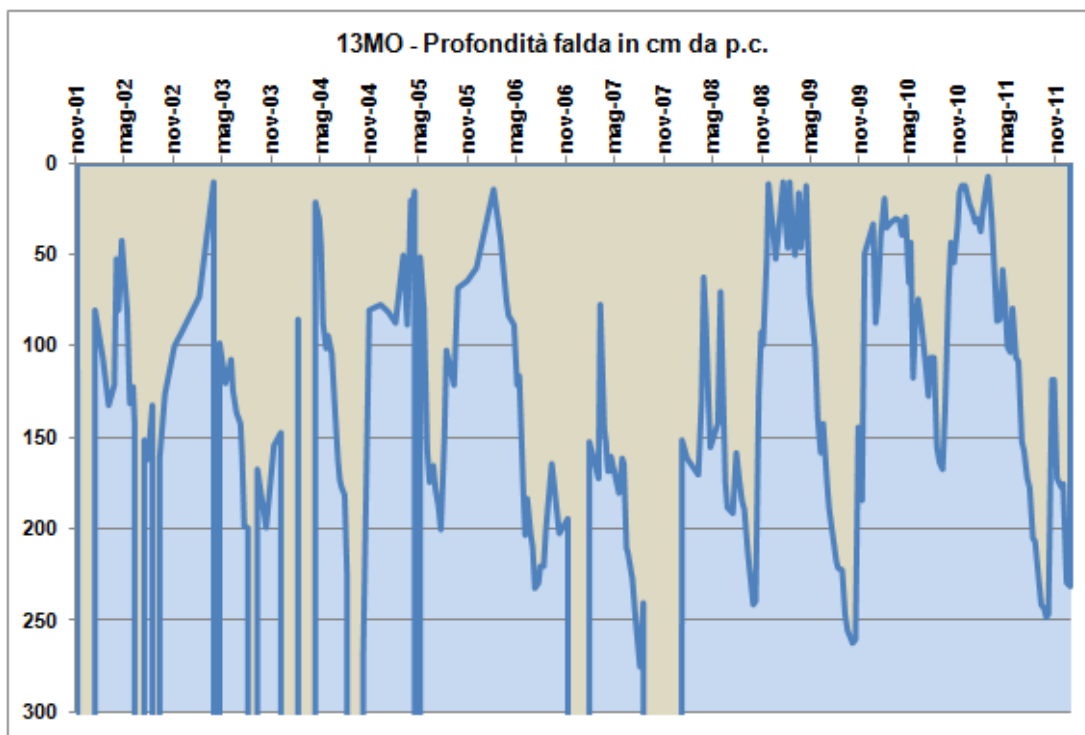


FIGURA 5-8: SERIE STORICA RELATIVA AL MONITORAGGIO DELLA FALDA IPODERMICA NELLA STAZIONE 13MO.

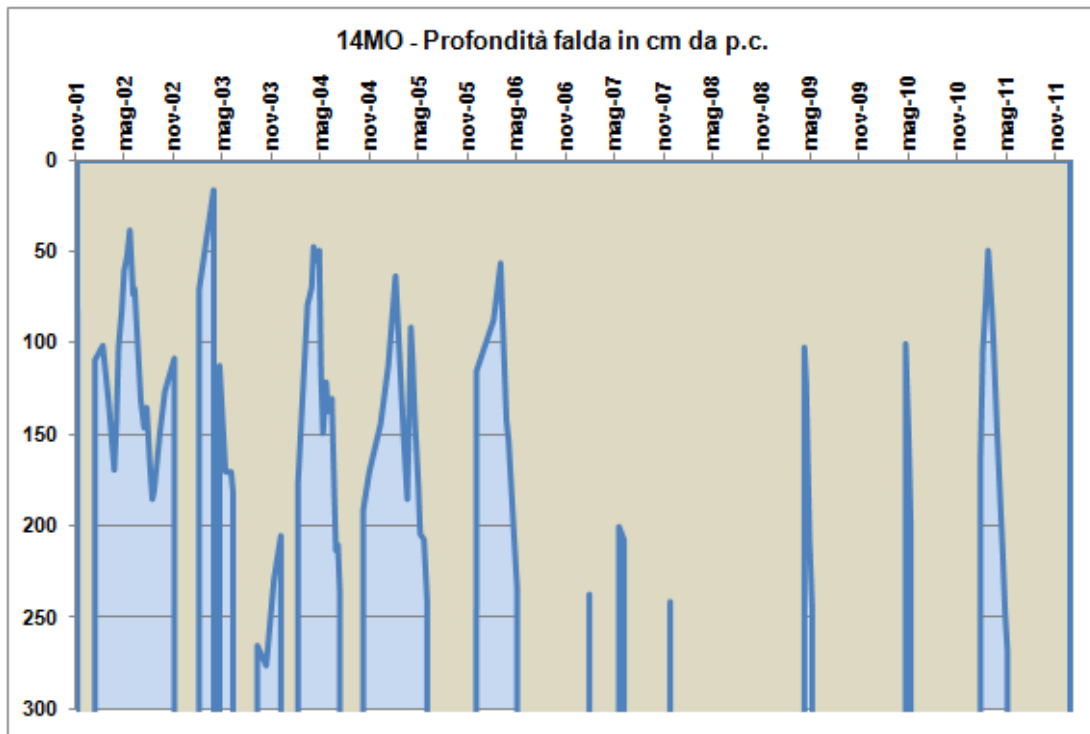


FIGURA 5-9: SERIE STORICA RELATIVA AL MONITORAGGIO DELLA FALDA IPODERMICA NELLA STAZIONE 14MO.

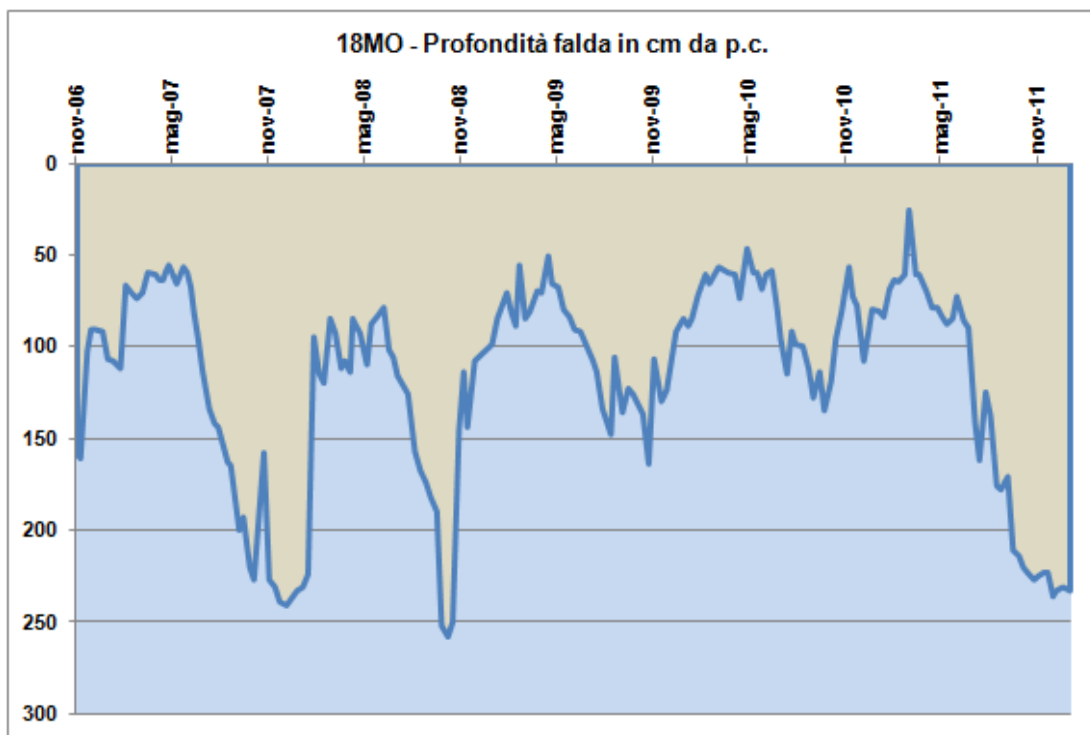


FIGURA 5-10: SERIE STORICA RELATIVA AL MONITORAGGIO DELLA FALDA IPODERMICA NELLA STAZIONE 18MO.

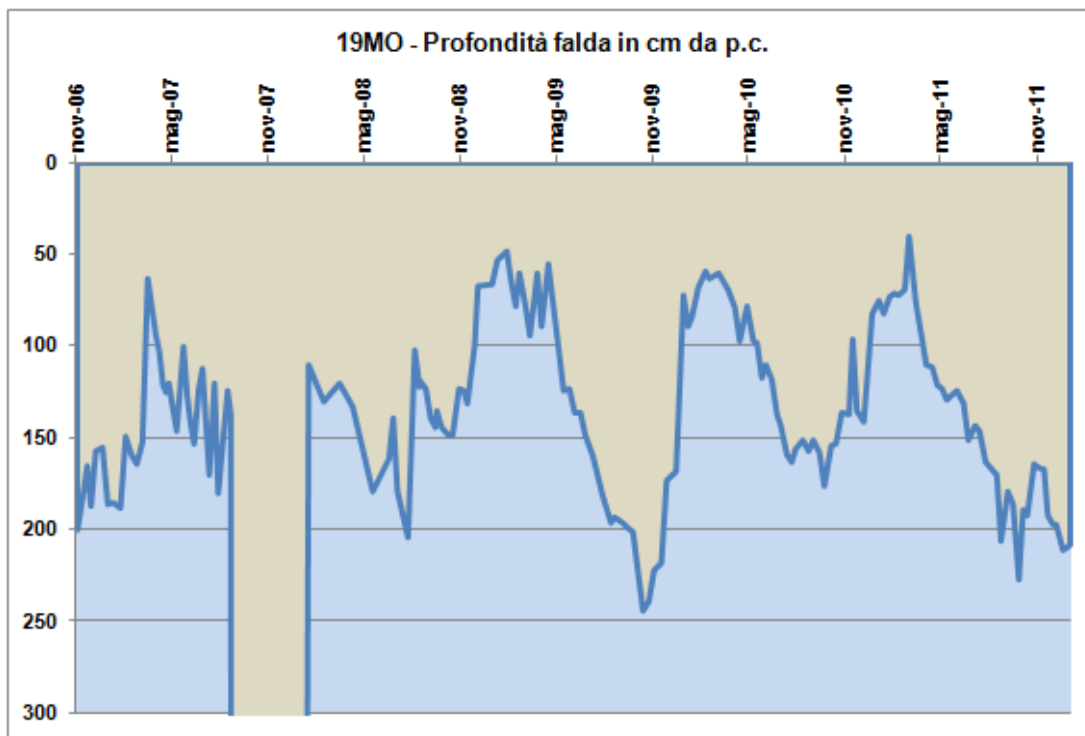


FIGURA 5-11: SERIE STORICA RELATIVA AL MONITORAGGIO DELLA FALDA IPODERMICA NELLA STAZIONE 19MO.

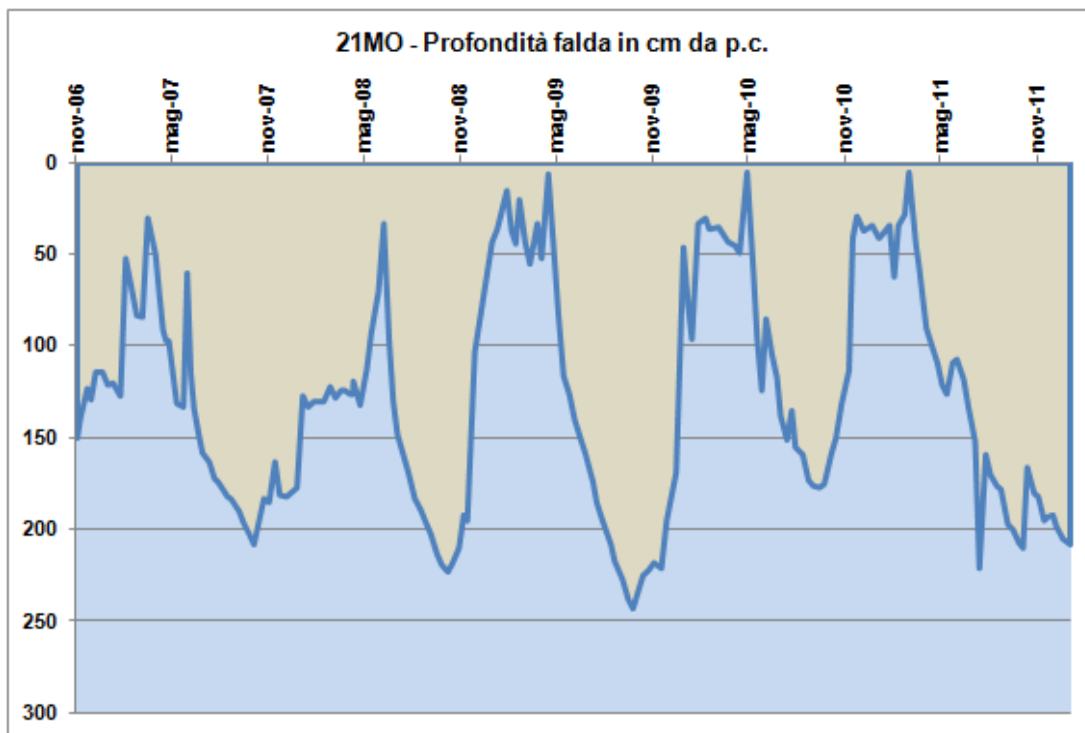


FIGURA 5-12: SERIE STORICA RELATIVA AL MONITORAGGIO DELLA FALDA IPODERMICA NELLA STAZIONE 21MO.

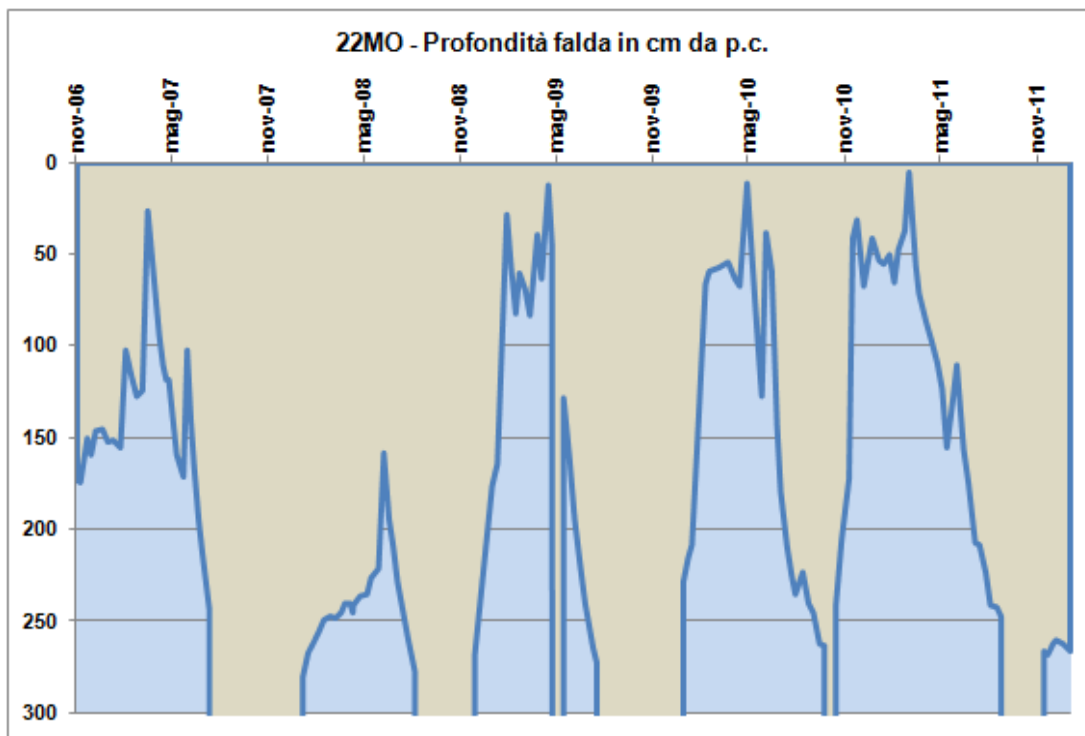


FIGURA 5-13: SERIE STORICA RELATIVA AL MONITORAGGIO DELLA FALDA IPODERMICA NELLA STAZIONE 22MO.

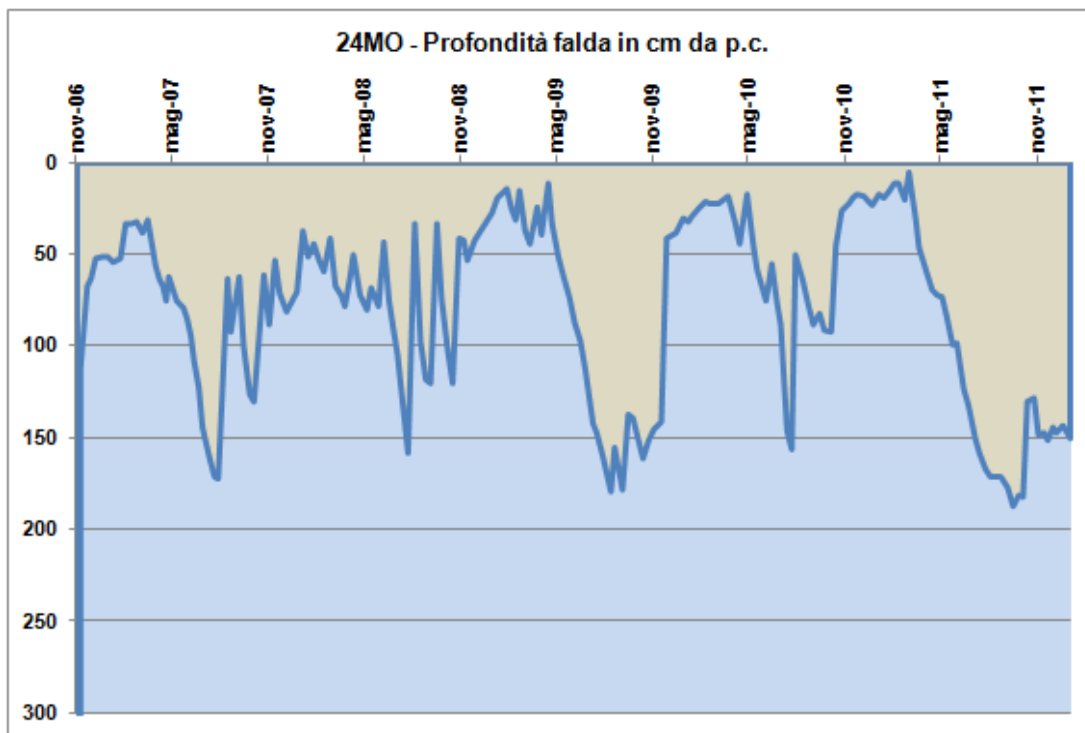


FIGURA 5-14: SERIE STORICA RELATIVA AL MONITORAGGIO DELLA FALDA IPODERMICA NELLA STAZIONE 24MO.



## 5.2. DEFINIZIONE DELLA FALDA DI PROGETTO

---

Di seguito sono definiti i livelli piezometrici assunti per la progettazione e le verifiche geotecniche, illustrando inoltre i criteri che ne hanno portato alla definizione.

- **Verifiche geotecniche: cedimenti, stabilità globale dei rilevati, liquefazione, capacità portante di pali/diaframmi fuori alveo**

Tali verifiche si ritengono influenzate prevalentemente dalla falda profonda; come emerso dalle risultanze del monitoraggio piezometrico in essere sulla strumentazione installata lungo il tracciato autostradale, i livelli di soggiacenza misurati nel corso della campagna di rilievi e monitoraggio effettuata risultano affetti da un lungo periodo caratterizzato dalla quasi totale assenza di apporti meteorici, perdurato da luglio 2011 a tutto marzo 2012.

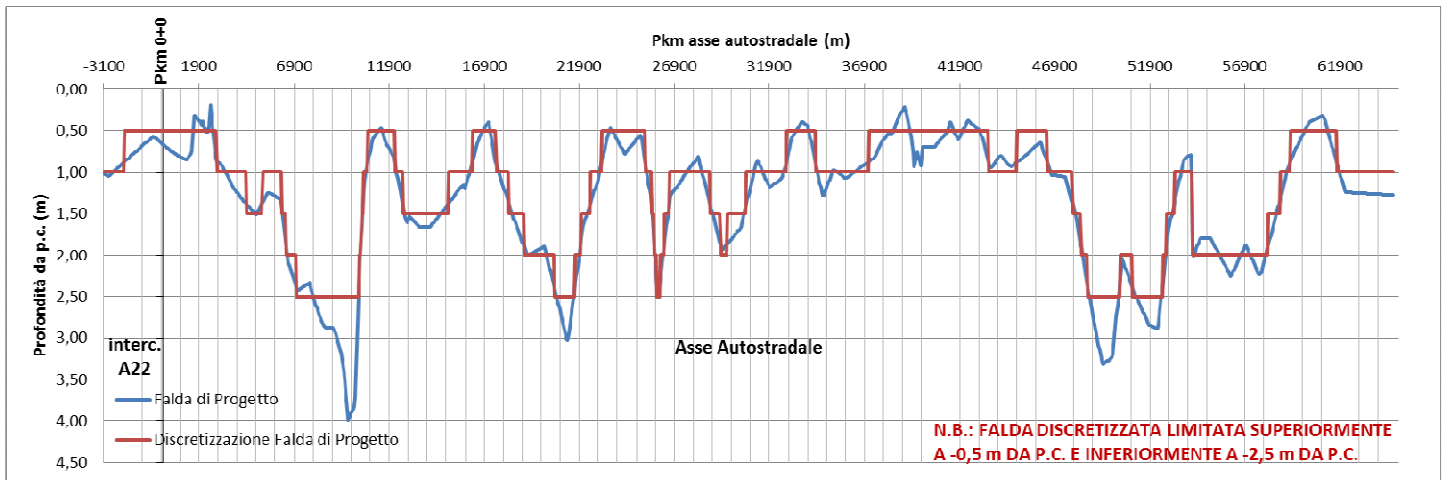
In sostanza, i livelli piezometrici misurati non possono essere considerati significativamente rappresentativi di una plausibile falda di progetto.

Preso atto di tale situazione eccezionale, al fine di determinare la possibile falda di progetto si è innanzitutto confrontato l'andamento della falda misurata nelle attività di monitoraggio con la falda misurata lungo il tracciato a settembre 2006 nell'ambito del Progetto Preliminare, benché anche questa falda sia stata misurata al termine del periodo estivo e quindi non propriamente significativa ai fini dei livelli piezometrici massimi attesi.

Già dal confronto grafico di questi due dati (riportati graficamente nelle tavole relative al profilo geotecnico dell'asse autostradale) è emerso che, se nella porzione più orientale del tracciato le falde risultavano grossomodo sovrapponibili, nei primi 40 km circa di tracciato la falda misurata nel Preliminare mostra quote assolute mediamente di 1,5÷2,5 m superiori alla falda misurata in ambito di Definitivo, con tratti dove la differenza arriva anche a 3÷4 m. Tale confronto rafforza la convinzione che quanto attualmente misurato nell'ambito del monitoraggio di Progetto Definitivo rappresenta una condizione eccezionale ed anomala.

A partire dalla falda indicata in sede di preliminare, e tenuto conto che questa rappresentava una condizione di minimo poiché relativa alle letture effettuate a fine estate, è stata ipotizzata una "Falda di Progetto" più alta di 1,5 m rispetto a quella del preliminare, limitando l'*offset* a qualche decina di centimetri dal piano di campagna.

A partire da questa Falda di Progetto, rappresentata dalla linea azzurra nel sottostante grafico, è stata eseguita una ulteriore discretizzazione della falda (linea rossa) al fine di individuare tratti omogenei caratterizzati da eguali valori di soggiacenza, limitando la falda tra 0,5÷2,5 m di profondità dal piano di campagna, come meglio si può osservare nel grafico sottostante.



**FIGURA 5-15: DISCRETIZZAZIONE DELLA FALDA DI PROGETTO LUNGO L'ASSE AUTOSTRADALE.**

In sostanza, ai fini della definizione della falda di progetto, per le verifiche geotecniche sopra citate, si posso assumere i seguenti valori:

**TABELLA 5-2: DISCRETIZZAZIONE DELLA FALDA DI PROGETTO LUNGO L'ASSE AUTOSTRADALE.**

DA pk [m]	A pk [m]	Falda progetto m da p.c.
-3+100	-2+050	1,00
-2+050	0+000,00	0,50
0+000,00	2+850,00	0,50
2+850,00	4+400,00	1,00
4+400,00	5+250,00	1,50
5+250,00	6+250,00	1,00
6+250,00	6+500,00	1,50
6+500,00	7+050,00	2,00
7+050,00	10+350,00	2,50
10+350,00	10+450,00	2,00
10+450,00	10+550,00	1,50
10+550,00	10+800,00	1,00
10+800,00	12+250,00	0,50
12+250,00	12+650,00	1,00
12+650,00	15+050,00	1,50
15+050,00	16+300,00	1,00
16+300,00	17+550,00	0,50
17+550,00	18+200,00	1,00
18+200,00	19+000,00	1,50
19+000,00	20+600,00	2,00
20+600,00	21+700,00	2,50
21+700,00	22+000,00	2,00
22+000,00	22+500,00	1,50

DA pk [m]	A pk [m]	Falda progetto m da p.c.
22+500,00	23+100,00	1,00
23+100,00	25+400,00	0,50
25+400,00	25+700,00	1,00
25+700,00	25+850,00	1,50
25+850,00	26+000,00	2,00
26+000,00	26+150,00	2,50
26+150,00	26+400,00	2,00
26+400,00	26+650,00	1,50
26+650,00	28+800,00	1,00
28+800,00	29+350,00	1,50
29+350,00	29+700,00	2,00
29+700,00	30+700,00	1,50
30+700,00	32+800,00	1,00
32+800,00	34+350,00	0,50
34+350,00	37+150,00	1,00
37+150,00	43+450,00	0,50
43+450,00	44+950,00	1,00
44+950,00	46+500,00	0,50
46+500,00	47+850,00	1,00
47+850,00	48+300,00	1,50
48+300,00	48+650,00	2,00
48+650,00	50+350,00	2,50
50+350,00	51+000,00	2,00
51+000,00	52+600,00	2,50
52+600,00	52+800,00	2,00
52+800,00	53+200,00	1,50
53+200,00	54+150,00	1,00
54+150,00	58+150,00	2,00
58+150,00	58+750,00	1,50
58+750,00	59+300,00	1,00
59+300,00	61+750,00	0,50
61+750,00	63+250,00	1,00

- **Verifiche geotecniche: capacità portante di pali/diaframmi in alveo**

*Falda di progetto = 0.0 m da piano campagna.*

Tale livello di falda, leggermente superiore a quello indicato in Tabella 5-2, non determina comunque variazioni significative in termini di portanza delle fondazioni profonde per cui, in generale, il calcolo delle capacità portanti ha fatto riferimento a quanto riportato nella tabella suddetta.

- **Progettazione e verifiche relative a tombini, scatolari stradali, trincee e muri di sostegno, edifici, basamenti, vasche di trattamento acque**

Dato il limitato approfondimento di tali opere, si ritiene opportuno considerare la falda superficiale, ovvero in linea generale il livello piezometrico massimo proprio delle unità geotecniche superficiali.

Con riferimento alla rete di monitoraggio della regione Emilia Romagna della falda "ipodermica", ovvero del livello freatico nei primi metri dal piano di campagna, si nota che nei periodi invernali e primaverili i livelli freatici risultano spesso prossimi al piano di campagna, senza particolari differenze fra le diverse zone di territorio indagate.

Non di rado infatti si osservano livelli freatici a 0,30-0,50 m di profondità dal piano di campagna, con quota talora anche più elevate.

Si ritiene pertanto di assumere:

*Falda di progetto = **0.5 m** da piano campagna.*

- **Opere provvisionali, scarpate provvisionali, problematiche di cantiere**

Alla luce di quanto indicato nel punto precedente, si può assumere:

*Falda di cantiere = 1.5 m da piano campagna.*

- **Progettazione rete di smaltimento acque superficiali**

Si ritiene di definire la seguente falda idraulica.

*Falda idraulica = 1.0 m da piano campagna.*

## 6. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

---

### 6.1. GENERALITÀ

---

La caratterizzazione geotecnica dei depositi di origine alluvionale presenti lungo il tracciato autostradale in progetto, si basa sulle prove geotecniche in sito e di laboratorio (capitolo 3) desunte dal database geognostico del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna e condotte nella campagna indagine di preliminare ed in quella di progetto definitivo; in sintesi:

- sondaggi geotecnic con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;
- prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT;
- prove geofisiche “cross-hole” in foro di sondaggio, per la determinazione delle velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$ ;
- prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), con misura della resistenza di punta  $q_c$ , dell'attrito laterale  $f_s$  e della pressione interstiziale  $U$ ;
- prove con cono sismico (SCPT), eseguite in corrispondenza di alcune verticali penetrometriche, per la determinazione delle velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ .
- pozzetti stratigrafici con prelievo di campioni rimaneggiati ed esecuzione di prove di carico su piastra PLT;
- prove di laboratorio geotecnico di classificazione, di resistenza e di deformabilità, statiche e dinamiche, sui campioni indisturbati e rimaneggiati prelevati nei fori di sondaggio e nei pozzetti.

Dal punto di vista della caratterizzazione geotecnica i depositi sono stati suddivisi nelle unità litostratigrafiche indicate nel capitolo 4, ovvero sinteticamente:

- unità 1: argille, argille limose e limi argillosi;
- unità 2: limi sabbiosi e sabbie limose, talora debolmente argillose;
- unità 3: sabbie fini, debolmente limosa, da poco a mediamente addensate;
- unità 4: sabbie medie, talora debolmente limose, da mediamente addensate ad addensate;
- unità 5: sabbie medie, talora debolmente limose, con un buon grado di addensamento;
- unità 6: argille poco consistenti, con abbondante presenza di frustoli carboniosi e livelli organici indecomposti.

I criteri adottati per l'interpretazione delle risultanze in sito e di laboratorio sono illustrati nei due paragrafi seguenti; in particolare:

- nel paragrafo 6.3 sono riportati i criteri adottati per i materiali a grana grossa (sabbie) – unità 2 (se considerata a comportamento prevalentemente incoerente), 3, 4 e 5;
- nel paragrafo 6.4 sono indicati i criteri utilizzati per i materiali a grana fine (limi ed argille) – unità 1, 2 (se considerata a comportamento prevalentemente coesivo) e 6;
- nel paragrafo 6.5 sono indicati i criteri utilizzati per la stima dei parametri di degrado ciclico dei terreni investigati.

L'individuazione del tipo di terreno, e quindi la scelta del metodo di interpretazione, verrà fatta principalmente sulla base:

- della descrizione stratigrafica dei sondaggi;
- delle prove di classificazione sui campioni rimaneggiati ed indisturbati;
- dell'interpretazione delle prove penetrometriche statiche CPTU.

## 6.2. INDIVIDUAZIONE LITOLOGIA DA PROVE CPTU

Tipicamente per determinare la stratigrafia si legano i parametri ottenuti con la punta penetrometrica (resistenza alla punta  $q_c$ , attrito laterale  $f_s$ , sovrappressione neutra  $u_2$ ) alle varie tipologie di terreno.

Di recente da Robertson (2009) è stato proposto un miglioramento alle più usuali carte di classificazione, dove si utilizza la carta di classificazione normalizzata di Robertson (1990), in cui sull'asse delle ascisse si riportano i valori del Rapporto di Frizione normalizzato  $F_r$ , mentre sull'asse dell'ordinate sono presenti i valori della Resistenza alla punta normalizzata  $Q_{tn}$  (Figura 6-6-1):

$$F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{v0}} \cdot 100 \qquad Q_{tn} = \left( \frac{q_t - \sigma_{v0}}{p_a} \right) \cdot \left( \frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

dove:

$\left( \frac{q_t - \sigma_{v0}}{p_a} \right)$  resistenza alla punta adimensionalizzata;

$\left( \frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$  fattore di tensione normalizzato;

$p_a$  pressione atmosferica (nelle stesse unità di misura di  $q_t$ ,  $\sigma_{v0}$  e  $\sigma'_{v0}$ );

$n$  esponente di tensione che varia a seconda della tipologia di terreno ( $n \leq 1$ ).

Attraverso studi sulla meccanica dello stato critico, Been & Jefferies (2006) ricavarono la seguente espressione per la determinazione dell'esponente di tensione:

$$n = 0.381 \cdot I_c + 0.05 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} - 0.15 \quad \text{con} \quad n \leq 1.0$$

dove:

$I_c$  è l'indice di comportamento del terreno proposto da Robertson & Wride (1998) ed utilizzato per rappresentare le zone in cui viene suddivisa la carta di classificazione (Figura 6-6-1 e Tabella 6-1):

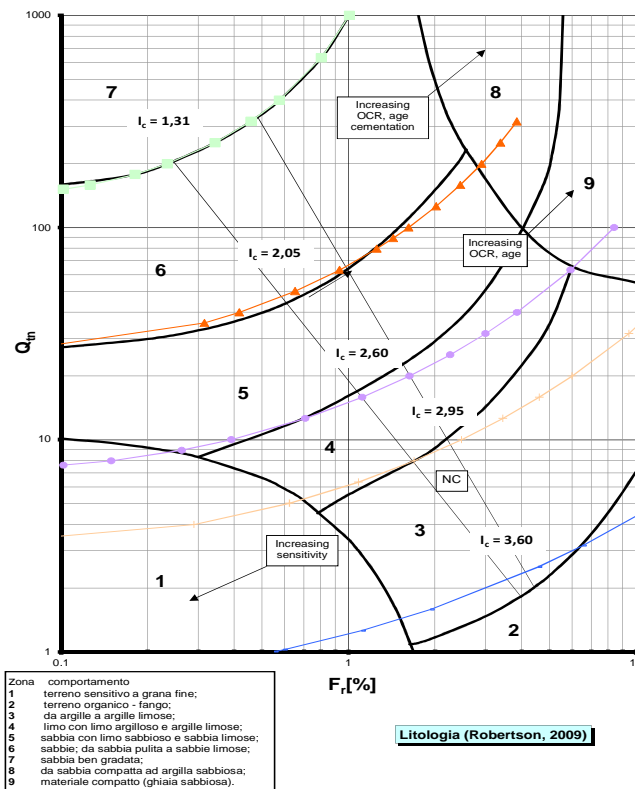
$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log(Q_{tn}))^2 + (\log(F_r) + 1.22)^2}$$

Il metodo di classificazione risulta di tipo iterativo.



**TABELLA 6-1: CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO SECONDO L'INDICE DEL COMPORTAMENTO DEL TERRENO,  $I_c$ .**

$I_c < 1.31$	<b>Zona 7:</b> Sabbia ben gradata
$1.31 \leq I_c < 2.05$	<b>Zona 6:</b> Sabbie; da sabbia pulita a sabbie limose
$2.05 \leq I_c < 2.60$	<b>Zona 5:</b> Sabbia con limo sabbioso e sabbie limose
$2.60 \leq I_c < 2.95$	<b>Zona 4:</b> Limo con limo argilloso e argille limose
$2.95 \leq I_c < 3.60$	<b>Zona 3:</b> Da argille ad argille limose
$I_c \geq 3.60$	<b>Zona 2:</b> Terreno organico



**FIGURA 6-6-1: CARTA DI CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI NORMALIZZATA (ROBERTSON, 2009).**

## **6.3. MATERIALI A GRANA GROSSA (PREVALENTEMENTE COSTITUITI DA SABBIE)**

---

### **6.3.1. Premessa**

In conseguenza del fatto che nei terreni a grana grossa risulta difficile prelevare campioni indisturbati, la caratterizzazione geotecnica di tali terreni è affidata principalmente all'interpretazione delle prove in sito e delle prove di laboratorio di classificazione effettuate su campioni rimaneggiati.

L'interpretazione delle prove in situ è finalizzata a determinare principalmente le seguenti caratteristiche:

- stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- parametri di resistenza al taglio;
- parametri di deformabilità;
- coefficienti di permeabilità.

### **6.3.2. Stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate**

Lo stato attuale delle unità litostratigrafiche è definito in termini di:

- tensioni geostatiche iniziali e storia tensionale;
- pressioni interstiziali;
- densità relativa  $D_r$ .

#### **6.3.2.1 Tensioni geostatiche iniziali e storia tensionale**

Indicazioni sulle tensioni geostatiche e sulla storia tensionale possono essere ricavate dagli studi di carattere geologico; è possibile pertanto ipotizzare che i materiali appartenenti alle unità 2 (comportamento prevalentemente incoerente), 3, 4 e 5 non siano mai stati soggetti a pressioni litostatiche maggiori di quelle attualmente presenti; tali depositi verranno pertanto considerati come normalconsolidati.

Si segnala che una leggera sovraconsolidazione potrebbe essere presente a seguito delle variazioni stagionali di umidità e, di conseguenza, ai fenomeni di essiccamento (suzione) nei materiali a granulometria più fine.

Alla luce di quanto sopra, le unità 2 (comportamento prevalentemente incoerente), 3, 4 e 5 vengono assunte normalconsolidate e, di conseguenza, il coefficiente di spinta a riposo pari a  $k_0 = (1 - \sin \phi)$ .

### 6.3.2.2 Pressioni interstiziali

Le pressioni interstiziali vengono ricavate sulla base dei risultati della strumentazione (piezometri) messa in opera, nonché delle risultanze degli studi di carattere idrogeologico.

### 6.3.2.3 Deteminazione della densità relativa $D_r$

La densità relativa ( $D_r$ ) viene ricavata dall'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT e delle prove penetrometriche CPTU.

#### 6.3.2.3.1 Unità prevalentemente sabbiose – Densità relativa $D_r$ da prove SPT

I valori di densità relativa  $D_r$  sono determinati, in funzione del valore  $N_{spt}$  e del tipo di terreno, in accordo a Skempton (1986) nella forma:

$$D_r = \left| \frac{(N1)_{60}}{a + b \cdot \sigma'_{v0}} \right|^{0.5}$$

in cui:

- $(N1)_{60}$  = valore di  $N_{spt}$  (numero di colpi per 30 cm di penetrazione) normalizzato rispetto ad una pressione di riferimento ( $1 \text{ kg/cm}^2$ ), per una energia trasferita alle aste pari al 60% di quella teorica; tale valore può essere considerato coincidente al risultato della prova in quanto in Italia l'energia trasferita alle aste è indicativamente pari al 60%;
- $\sigma'_{v0}$  = pressione verticale efficace in  $\text{kg/cm}^2$ ;
- a, b = costanti adimensionali dipendenti dalle caratteristiche granulometriche dei materiali e riportate nella Tabella 6-2.

TABELLA 6-2: COSTANTI EMPIRICHE "A" E "B" (SKEMPTON, 1986) E RIFERIMENTO ALLE CURVE DI SCHMERTMANN (1977).

Tipo di terreno	a	b	Tipo di terreno secondo Schmertmann (vedi paragrafo 6.3.2.3 e Figura 6-3)
Sabbie fini NC	27.5	27.5	3 e 4
Sabbie grosse NC	43.3	21.7	1 e 2
Sabbie grosse OC	27.5÷43.3	$(21.7 \div 27.5) \cdot \frac{[1 + 2 \cdot k_0(OC)]}{[1 + 2 \cdot k_0(NC)]}$ ove $k_0(OC) = k_0(NC) \cdot \sqrt{OCR}$	1

La suddivisione tra sabbie fini e sabbie grosse è fatta con riferimento:

- alle analisi granulometriche dei campioni prelevati in corrispondenza o nelle vicinanze della prova, se disponibili;
- alla descrizione del sondaggio.

Per il tratto autostradale in esame, l'interpretazione delle prove nelle unità prevalentemente sabbiose è stata effettuata secondo la seguente metodologia:

- se il singolo valore di  $N_{spt}$  è relativo ad un materiale caratterizzato da contenuto di fine inferiore al 50% (sabbia e limo, sabbia con limo, sabbia limosa o debolmente limosa), ad ogni valore  $N_{SPT}$  è stato attribuito un tipo di materiale tra quelli riportati in Tabella 6-2 sulla base delle analisi granulometriche disponibile e della descrizione del campione;
- se il singolo valore di  $N_{spt}$  è relativo ad un materiale caratterizzato da contenuto di fine superiore al 50% (limo e sabbia, limo con sabbia, limo sabbioso), le prove  $N_{SPT}$  sono state interpretate con la correlazione empirica di Skempton suddetta per le sabbie fini solo nel caso in cui i materiali sottoposti a prova risultino sopra falda, ovvero rispondano alla penetrazione del campionatore in condizioni drenate.

#### 6.3.2.3.2 Unità prevalentemente costituite da ghiaia e sabbia – Densità relativa $D_r$ da prove SPT

Nelle sabbie e ghiaie la determinazione della densità relativa  $D_r$  risulta meno agevole che per le sabbie a causa dei seguenti aspetti:

- il campionatore standard a punta aperta deve essere spesso sostituito con quello a punta conica al fine di consentire l'esecuzione della prova; in linea di principio non è detto che i risultati ottenibili con il campionatore standard a punta aperta in termini di numero di colpi/30 cm risultino uguali a quelli

conseguiti con la punta conica e quindi possano essere interpretati direttamente con le correlazioni empiriche di letteratura sviluppate per la prova SPT con campionatore standard a punta aperta; in questa sede l'interpretazione delle prove SPT con la punta conica è stata fatta ipotizzando che complessivamente sussista una buona corrispondenza tra i risultati delle prove a punta chiusa e quelli delle prove con campionatore standard;

- la presenza della ghiaia spesso determina il raggiungimento di condizioni di rifiuto "fittizie", ovvero non diretta conseguenza di un elevato grado di addensamento, bensì da condizioni locali (disposizione delle particelle di dimensioni maggiori,...).

L'interpretazione delle prove è stata effettuata secondo la seguente metodologia.

- Se il singolo valore di  $N_{spt}$  è relativo ad un materiale caratterizzato da contenuto di fine inferiore al 50% (sabbie e ghiaie limose)  $\Rightarrow$  la determinazione della densità relativa viene effettuata secondo il metodo proposto da Cubrinowski & Ishihara (1999) per materiali normalmente consolidati caratterizzati da un coefficiente di spinta a riposo  $k_0$  dell'ordine di  $0.4 \div 0.5$ , ovvero adottando la seguente espressione:

$$D_r = \left[ \frac{(N_{SPT})_{78\%} \cdot \left(0.23 + \frac{0.06}{D_{50}}\right)^{1.7}}{9} \cdot \left(\frac{98}{\sigma'_{v0}}\right) \right]^{0.5}$$

in cui:

- $(N1)_{78}$  = valore di  $N_{spt}$  (numero di colpi per 30 cm di penetrazione) associabile ad una energia trasferita alle aste pari al 78% di quella teorica; tale valore si ottiene tramite la seguente espressione
- $(N_{SPT})_{78\%} = (N_{SPT})_{60\%} \cdot \frac{60}{78}$
- $\sigma'_{v0}$  = pressione verticale efficace in kPa
- $D_{50}$  = diametro delle particelle corrispondente ad un passante pari al 50% espresso in mm.

Il metodo proposto da Cubrinowski & Ishihara richiede la conoscenza del parametro  $D_{50}$ , non sempre determinato o stimabile.

In mancanza di tale dato, la determinazione della densità relativa è stata effettuata mediante la correlazione di Skempton (1986) per le sabbie grosse (vedi paragrafo 6.3.2.3.1).

- Se il singolo valore di  $N_{spt}$  è relativo ad un materiale caratterizzato da contenuto di fine superiore al 50% (limi sabbiosi con ghiaia)  $\Rightarrow$  la determinazione della densità relativa è stata effettuata mediante

la correlazione di Skempton (1986) per le sabbie fini (vedi paragrafo 6.3.2.3.1) solo nel caso in cui i materiali sottoposti a prova risultano sopra falda, ovvero rispondono alla penetrazione del campionatore in condizioni drenate.

Nel caso di raggiungimento delle condizioni di rifiuto durante l'esecuzione della prova, la determinazione della densità relativa è stata effettuata facendo riferimento ad un valore  $N_{SPT}$  come riportato nel seguito:

- condizioni di rifiuto raggiunte nel primo o secondo tratto della prova (entrambi di lunghezza teorica 15 cm):

$$N_{SPT} = 100;$$

- condizioni di rifiuto raggiunte nel terzo tratto della prova (di lunghezza teorica 15 cm):

$$N_{SPT} = N_2 + \frac{50}{a} \cdot 15 \leq 100;$$

in cui:

- $a$  = affondamento misurato (in centimetri) per un numero di colpi pari a 50;
- $N_2$  = numero di colpi misurato per l'affondamento del secondo tratto di lunghezza pari a 15 cm.

#### 6.3.2.3.3 Unità prevalentemente sabbiose – Densità relativa $D_r$ da prove CPTU

I valori di densità relativa  $D_r$  da prove con piezocono sono stati determinati attraverso la resistenza alla punta  $q_c$  secondo la correlazione proposta da Jamiolkowski et al. (1985), mostrata in Figura 6-6-2:

$$D_r = -98 + 66 \cdot \log\left(\frac{q_c}{\sigma'_{v0}{}^{0.5}}\right)$$

dove:

$q_c$  è la resistenza alla punta del piezocono;

$\sigma'_{v0}$  è la tensione verticale efficace.

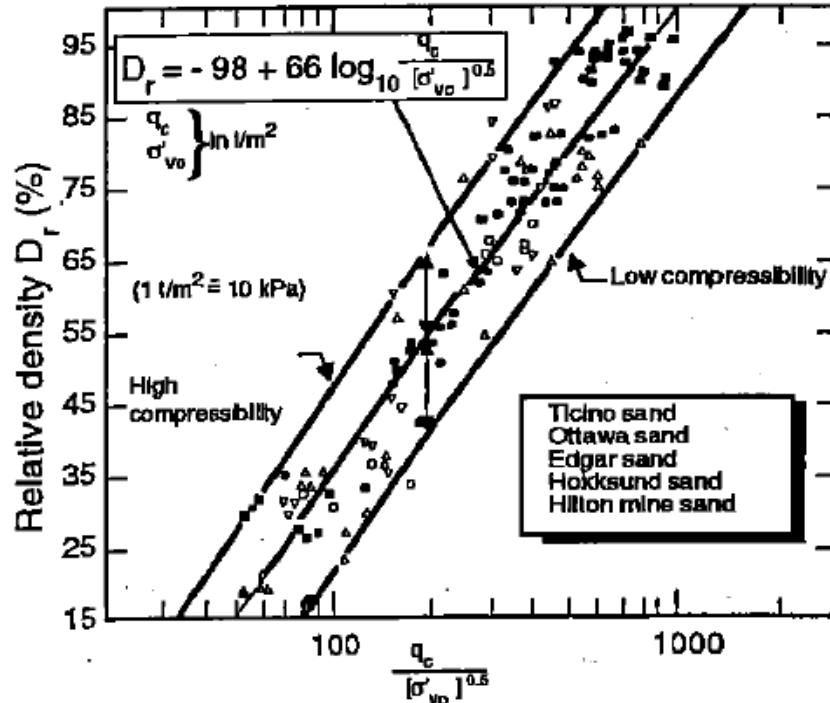


FIGURA 6-6-2: VALUTAZIONE DELLA DENSITÀ RELATIVA  $D_r$ , JAMIOLKOWSKI ET AL. (1985).

### 6.3.3. Angolo di resistenza al taglio

#### 6.3.3.1 Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

Il valore dell'angolo di attrito di picco è determinato in funzione del tipo di terreno (vedi Tabella 6-2) e della densità relativa secondo il grafico di Schmertmann (1977) riportato nella figura seguente.

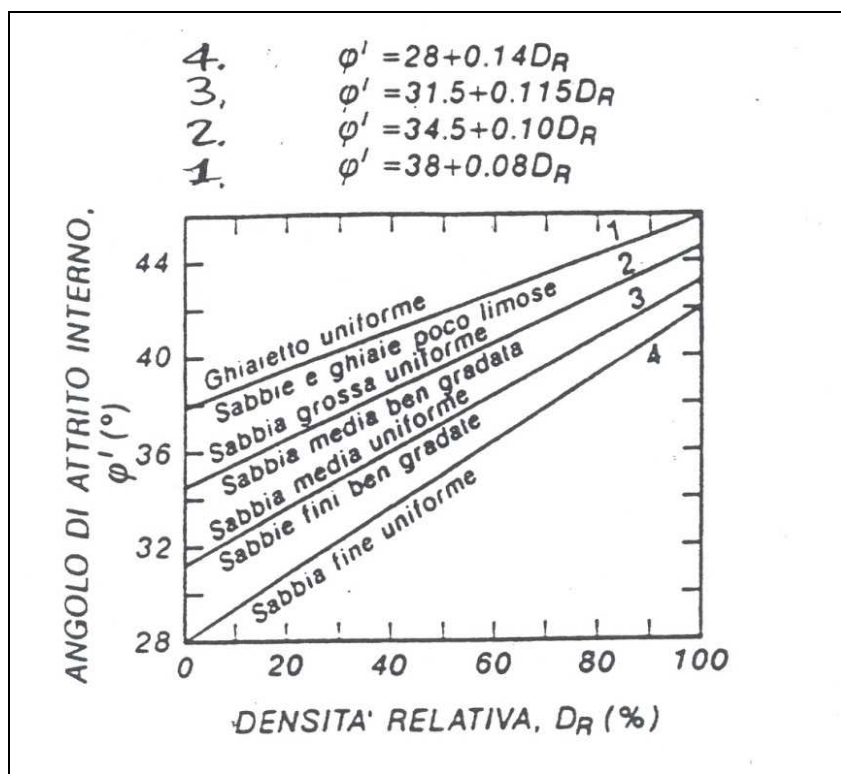


FIGURA 6-3: RELAZIONE FRA ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE ( $\phi'$ ) E DENSITÀ RELATIVA ( $D_R$ ) PER DIVERSE GRANULOMETRIE (SCHMERTMANN, 1977)

La differenza fra angolo di attrito di picco ( $\phi'$ ) ed angolo di attrito a volume costante ( $\phi'_{cv}$ ) è stata determinata in funzione della densità relativa in accordo al metodo proposto da Bolton (1986), illustrato nella Figura 6-4.

In tale figura sono riportate le curve relative alle condizioni di rottura tipo prova triassiale di compressione e prova triassiale in estensione o deformazione piana.

La determinazione della dilatanza avviene con riferimento alla curva in asse al fuso identificato dalle curve suddette, approssimata dalla seguente equazione:

$$\phi' - \phi'_{cv} = 0.04 \cdot D_r \cdot (1 + 0.02 \cdot D_r)$$

ottenuta impostando le seguenti condizioni al contorno:

- $D_r = 50\% \Rightarrow \phi' - \phi'_{cv} = 4;$
- $D_r = 100\% \Rightarrow \phi' - \phi'_{cv} = 12.$



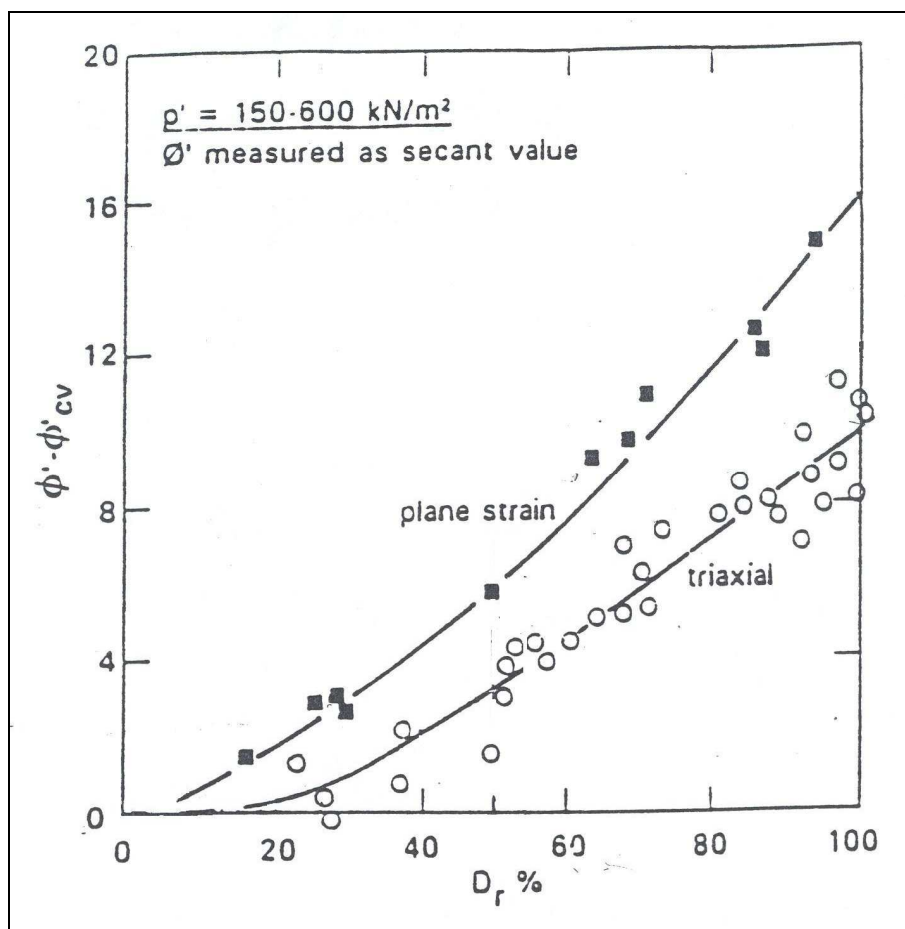


FIGURA 6-4: VARIAZIONE DI  $\phi' - \phi'_{cv}$  CON LA DENSITÀ RELATIVA  $D_r$  (BOLTON, 1986).

### 6.3.3.2 Angolo di resistenza al taglio da prove CPTU

I valori di angolo di resistenza al taglio efficace  $\phi'$  da prove con piezocono sono stati determinati attraverso la resistenza alla punta  $q_c$  secondo la correlazione proposta da Dorgunoglu & Mitchell (1975):

$$\phi' = 14.4 + 4.8 \cdot \ln(q_c) - 4.5 \cdot \ln(\sigma'_{v0})$$

dove:

$q_c$  è la resistenza alla punta del piezocono in  $\text{kg/cm}^2$ ;

$\sigma'_{v0}$  è la tensione verticale efficace in  $\text{kg/cm}^2$ .

### 6.3.4. Caratteristiche di deformabilità

#### 6.3.4.1 Moduli elastici iniziali

Il modulo di taglio ( $G_{01}$ ) e quello di Young ( $E_{01}$ ) iniziali, corrispondenti alle pressioni efficaci geostatiche medie  $p'_o$  ed associabili a piccole deformazioni, possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  utilizzando le seguenti equazioni (risultati in kPa):

$$G_{01} = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot V_s^2$$

$$E_{01} = G_{01} \cdot 2 \cdot (1 + \nu)$$

in cui:

- $\gamma_t$  = peso di volume naturale del terreno in  $\text{kN/m}^3$ ;
- $\nu$  = rapporto di Poisson del terreno;
- $V_s$  = velocità delle onde di taglio in m/s.

La velocità  $V_s$  delle onde di taglio può essere ricavata direttamente dai risultati delle prove geofisiche in foro di sondaggio (CH) o SCPT.

Il modulo iniziale  $G_0$  può inoltre essere determinato:

- direttamente da prove di laboratorio (prova di taglio torsionale ciclico o prova di colonna risonante);
- indirettamente a partire dai valori di  $V_s$  mediante la correlazione precedentemente riportata.

I moduli iniziali di taglio ( $G_0$ ) e di Young ( $E_0$ ) iniziali corrispondenti ad una generica pressione efficace media  $p'$ , possono essere ricavati dalle seguenti espressioni (risultati in kPa):

- $G_0 = G_{01} \cdot \sqrt{\frac{p'}{p'_o}}$
- $E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu)$

#### 6.3.4.2 Moduli elastici operativi

##### 6.3.4.2.1 Generalità

Il comportamento dei terreni risulta non lineare; nelle elaborazioni possono però anche essere assunti comportamenti lineari.

- **Metodi di calcolo non lineari.**

Nel caso di ricorso a metodi di calcolo non lineari, i dati di ingresso per le analisi sono i seguenti:

- i moduli elastici iniziali descritti nel paragrafo 6.3.4.1;
- le curve di degrado del modulo in funzione del livello di deformazione o di spostamento indotto, determinato sulla base delle prove dinamiche e cicliche di laboratorio (vedi paragrafo 6.5).

- **Metodi di calcolo lineari.**

Nel caso di ricorso a metodi di calcolo lineari, basati sulla teoria dell'elasticità, i moduli di deformabilità "operativi" da associare ad uno specifico problema, vengono a dipendere dalle effettive deformazioni indotte e/o dal grado di mobilitazione della resistenza al taglio.

In generale possono essere fatte le seguenti assunzioni:

- opere di sostegno tipo paratie (tirantate e non): il modulo di Young "operativo"  $E_{op1}$  è pari a  $1/3 \div 1/5$  di quello iniziale;
- nel calcolo dei cedimenti delle fondazioni il modulo di Young "operativo"  $E_{op1}$  è pari a  $1/5$  di quello iniziale; tale valore corrisponde per fondazioni superficiali a un rapporto tra carico trasmesso al terreno e carico ultimo  $q/q_{ult} = 0.45$ ;
- nel calcolo dei cedimenti dei rilevati il modulo di Young "operativo"  $E_{op2}$  è pari a  $1/10$  di quello iniziale o pari a quello desumibile dalle correlazioni empiriche, sulla base dell'interpretazione delle prove SPT e CPT (vedi paragrafi seguenti).

##### 6.3.4.2.2 Moduli elastici "operativi" da prove SPT in materiali granulari

Una stima dei moduli elastici "operativi" per l'analisi dei cedimenti dei rilevati può essere fatta utilizzando ad esempio la correlazione empirica proposta da Jamiolkowski et al. (1988) per terreni normalconsolidati:

$$E'_{25} = (10.5 - 3.5) \cdot D_r \cdot N_{spt}$$

dove:

- $E'_{25}$  = modulo di Young secante cui corrisponde un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25% espresso in  $\text{kg/cm}^2$ ;
- $D_r$  = densità relativa espressa come numero decimale;
- $N_{\text{spt}}$  = numero di colpi risultante dalla prova SPT.

#### 6.3.4.2.3 Moduli elastici “operativi” da prove CPT in sabbia

Il modulo confinato  $M_0$  da prove penetrometriche viene ricavato in accordo a quanto riportato nella tabella seguente (Lunne T, Christoffersen H.P., 1985) per sabbie normalconsolidate.:

**TABELLA 6-3: CORRELAZIONE FRA RESISTENZA DI PUNTA  $q_c$  E MODULO CONFINATO  $M_0$**

Sabbie normal consolidate: $M_0$		
Fonte	Formule	Terreni
(Lunne, Robertson and Powell, 1997)	$M_0 = 4 \cdot q_c \quad (q_c < 10 \text{ MPa})$ $M_0 = 2 \cdot q_c + 20 \quad (10 < q_c < 50 \text{ MPa})$ $M_0 = 4 \cdot q_c \quad (q_c > 50 \text{ MPa})$	Sabbie NC

Il modulo di Young secante  $E'_s$  viene ricavato in funzione di  $q_c$ , resistenza della punta penetrometrica secondo la formulazione proposta da Bellotti et al. (1989):

$$E'_s = \alpha \cdot q_c$$

dove:

$\alpha$  coefficiente in funzione della densità relativa del terreno, della storia tensionale, della cementazione, della forma dei grani e della mineralogia.

I valori di  $\alpha$  sono riportati in Tabella 6-4.

**TABELLA 6-4: CORRELAZIONE FRA RESISTENZA DI PUNTA  $Q_c$  E MODULO DI YOUNG  $E's$**

2 ÷ 4	Per sabbie di recente deposizione, normalconsolidate
4 ÷ 6	Per sabbie soggette a fenomeni di aging, normalconsolidate
6 ÷ 20	Per sabbie sovraconsolidata

Nella caratterizzazione geotecnica è stato considerato il coefficiente  $\alpha$  pari a 3.5.

### 6.3.5. Coefficienti di permeabilità

I coefficienti di permeabilità  $k$  sono stati ricavati dalle prove CPTU sulla base della correlazione proposta da Robertson (2010), funzione di  $I_c$ , indice di comportamento del terreno:

$$k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c} \text{ per } 1.00 \leq I_c < 3.27;$$

$$k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c} \text{ per } 3.27 \leq I_c < 4.00.$$

Ad integrazione dei dati risultanti dalle prove in sito, e per analisi critica degli stessi, è possibile far riferimento anche ai valori di permeabilità indicati nella seguente tabella sulla base della descrizione dell'unità litostratigrafica considerata.

**TABELLA 6-5: COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ IN BASE ALLA DESCRIZIONE LITOLOGICA.**

<b>k [m/s]</b>	<b>Tipo di terreno</b>
$> 10^{-2}$	Ghiaia pulita
$10^{-2} \div 10^{-5}$	Sabbia pulita, sabbia e ghiaia
$10^{-4} \div 10^{-6}$	Sabbie molto fine
$10^{-6} \div 10^{-8}$	Limo
$< 10^{-9}$	Argilla

## **6.4. MATERIALI A GRANA FINE**

### **6.4.1. Premessa**

La caratterizzazione geotecnica dei terreni a grana fine, ovvero appartenenti alla unità 1, 2 (comportamento prevalentemente coesivo) e 6, è affidata sia all'interpretazione delle prove di laboratorio sia all'interpretazione delle prove in sito.

Scopo delle indagini è:

- la classificazione dei materiali;
- la determinazione delle seguenti caratteristiche:
  - stato tensionale attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
  - parametri di resistenza al taglio;
  - parametri di deformabilità;
  - caratteristiche di consolidazione;
  - coefficienti di permeabilità.

### **6.4.2. Classificazione**

La classificazione dei terreni a grana fine, e pertanto a prevalente comportamento coesivo, verrà effettuata in primo luogo facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio in termini di:

- analisi granulometrica;
- limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico);
- pesi di volume naturale;
- umidità naturale;
- indice dei vuoti iniziale.

I primi due fattori consentono la classificazione del materiale secondo i riferimenti bibliografici correnti, come ad esempio la UNI EN ISO 14688.

### 6.4.3. Stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate

Lo stato attuale delle unità litostratigrafiche (unità 1, 2 se a comportamento prevalentemente coesivo e 6) è definito in termini di:

- tensioni geostatiche iniziali e storia tensionale;
- pressioni interstiziali;
- indice dei vuoti iniziale  $e_o$ .

#### 6.4.3.1 Tensioni geostatiche iniziali e storia tensionale

La valutazione dello stato tensionale iniziale verrà fatta sulla base:

- di quanto desumibile dagli studi di carattere geologico;
- dell'interpretazione delle prove di laboratorio (di classificazione ed edometriche).
- **Materiali sovraconsolidati.**

Lo stato tensionale in sito sarà stimato sulla base dei risultati in termini di grado di sovraconsolidazione meccanico ( $OCR = \sigma'_{vmax} / \sigma'_{vo}$ ).

Il coefficiente di spinta del terreno a riposo  $k_o$  sarà pertanto stimato sulla base della seguente espressione:

$$k_o = (1 - \sin \phi') \cdot \sqrt{OCR}$$

in cui:

- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale efficace geostatica;
- $\sigma'_{vmax}$  = tensione verticale efficace massima subita dal deposito;
- $\phi'$  = angolo di attrito.

Il grado di sovraconsolidazione è desumibile:

- dalle prove edometriche: con la costruzione di Casagrande è possibile stimare la pressione di preconsolidazione;
- dal confronto fra la coesione non drenata del terreno e quello del terreno normalconsolidato, ad esempio secondo la seguente espressione (Ladd & Foot, 1974; Ladd et al. 1977):

$$\text{OCR}^{0.85} = \frac{\frac{C_u}{\sigma'_{v0}}}{\left(\frac{C_u}{\sigma'_{v0}}\right)_{\text{NC}}}$$

con:

$$\left(\frac{C_u}{\sigma'_{v0}}\right)_{\text{NC}} = 0.225 \quad \text{secondo Ladd et al. 1977}$$

dove:

- $C_u$  = coesione non drenata

- **Materiali normalconsolidati.**

Il coefficiente di spinta del terreno a riposo  $k_0$ , in questo caso, sarà pertanto stimato sulla base della seguente espressione:

$$k_0 = (1 - \text{sen}\phi')$$

#### 6.4.3.2 Pressioni interstiziali

Le pressioni interstiziali vengono ricavate sulla base dei risultati della strumentazione (piezometri) messa in opera, nonché delle risultanze degli studi di carattere idrogeologico.

#### 6.4.3.3 Deteminazione dell'indice dei vuoti iniziale $e_0$

L'indice dei vuoti in sito ( $e_0$ ) è fornito dalle prove edometriche di laboratorio.

### 6.4.4. Resistenza al taglio non drenata

#### 6.4.4.1 Premessa

La resistenza al taglio non drenata  $C_u$  dei terreni limoso-argillosi saturi verrà valutata facendo riferimento:

- ai risultati delle prove di laboratorio triassiali non consolidate non drenate (TX-UU) e di compressione monoassiale (ELL);
- all'interpretazione delle prove penetrometriche statiche CPTU e dinamiche SPT;
- all'interpretazione delle prove con pocket penetrometer e Torvane sulle carote estratte dai sondaggi;



- all'interpretazione delle prove con pocket penetrometer e Torvane sui campioni di laboratorio.

#### 6.4.4.2 Valutazione di $C_u$ da prove CPTU

La determinazione di  $C_u$  da prove penetrometriche statiche può essere effettuata attraverso la seguente relazione empirica (Lunne T., Kleven A., 1981):

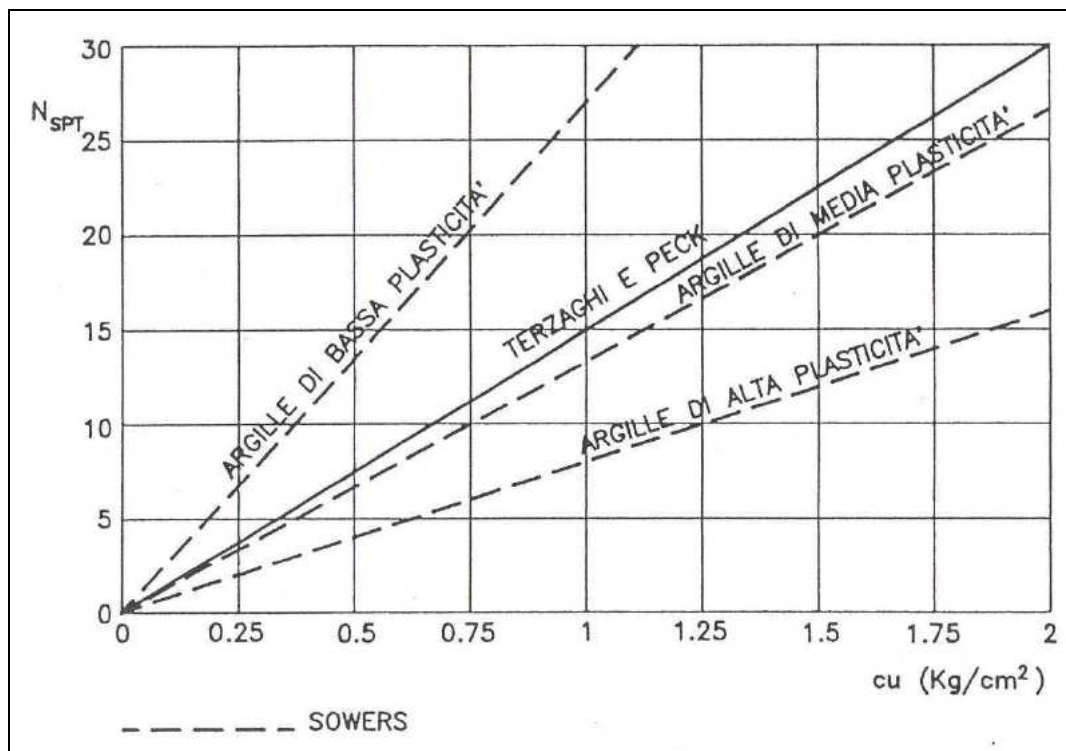
$$q_c = N_k \cdot C_u + \sigma_{v0}$$

nella quale per il fattore  $N_k$  si assumono valori compresi fra 11 e 19, con valore medio 15.

Nel caso in esame verrà assunto  $N_k = 15$ .

#### 6.4.4.3 Valutazione di $C_u$ da prove SPT

Nel caso dei terreni limoso-argillosi saturi, la resistenza al taglio non drenata verrà stimata sulla base di correlazioni empiriche tipo quelle riportate in Figura 6-5.



**FIGURA 6-5: CORRELAZIONE  $N_{SPT} - C_u$  (NAVFAC, 1971)**

Nello specifico, verrà adottata la correlazione di Terzaghi e Peck (coesione non drenata in kPa):

$$C_u = 6.75 \cdot N_{SPT}$$

#### **6.4.5. Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci**

I parametri di resistenza in termini di sforzi efficaci verranno determinati sulla base dei risultati delle prove di laboratorio di taglio diretto (TD) e triassiali consolidate non drenate con misura delle pressioni interstiziali (TX-CIU).

#### **6.4.6. Caratteristiche di deformabilità**

##### *6.4.6.1 Moduli elastici iniziali*

Vedi paragrafo 6.3.4.1.

##### *6.4.6.2 Moduli elastici operativi in condizioni drenate*

Il comportamento dei terreni risulta non lineare; nelle elaborazioni possono però anche essere assunti comportamenti lineari.

- **Metodi di calcolo non lineari.**

Nel caso di ricorso a metodi di calcolo non lineari, i dati di ingresso per le analisi sono i seguenti:

- i moduli elastici iniziali descritti nel paragrafo 6.4.6.1;
- le curve di degrado del modulo in funzione del livello di deformazione o di spostamento indotto, determinato sulla base delle prove dinamiche e cicliche di laboratorio (vedi paragrafo 6.5).

- **Metodi di calcolo lineari.**

Il modulo elastico operativo è ricavato dall'interpretazione delle prove CPTU e dalle prove edometriche di laboratorio.

##### **6.4.6.2.1 Moduli elastici "operativi" da prove CPT in terreni a grana fine**

Il modulo confinato  $M_0$  da prove penetrometriche viene ricavato in accordo a quanto riportato nell'EC7-3 e risulta pari a:

$$M = 5 q_c$$

### 6.4.6.3 Moduli elastici operativi in condizioni non drenate

Il modulo di Young non drenato  $E_u$  è stato ricavato in funzione della coesione non drenata e del grado di sovraconsolidazione (Duncan & Buchignani, 1976) secondo il grafico riportato nella figura seguente.

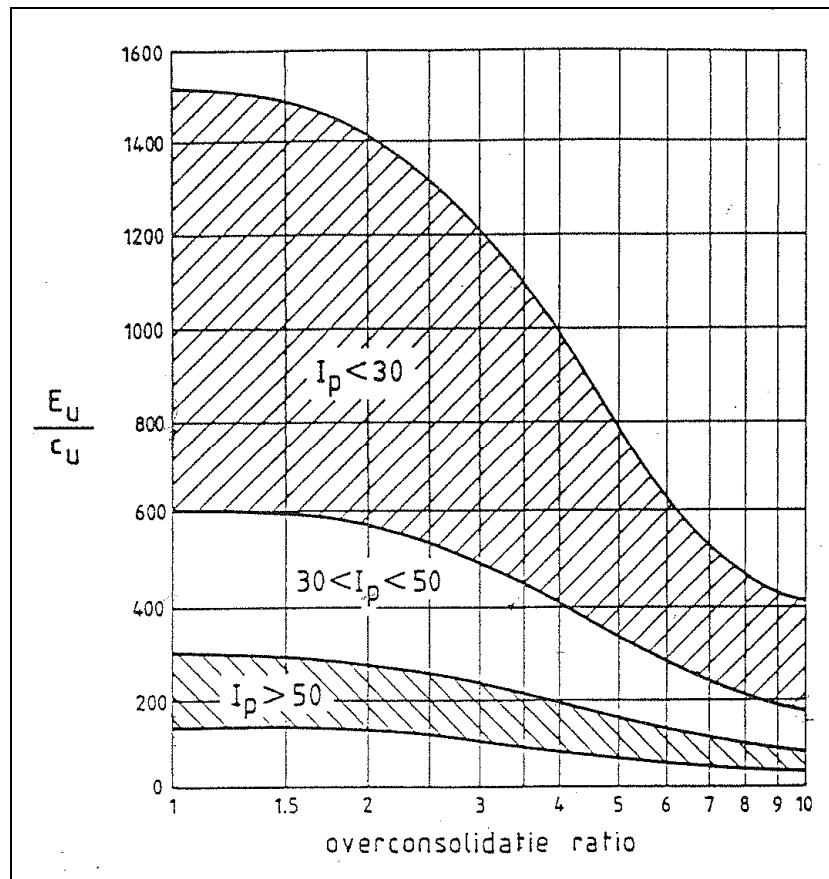
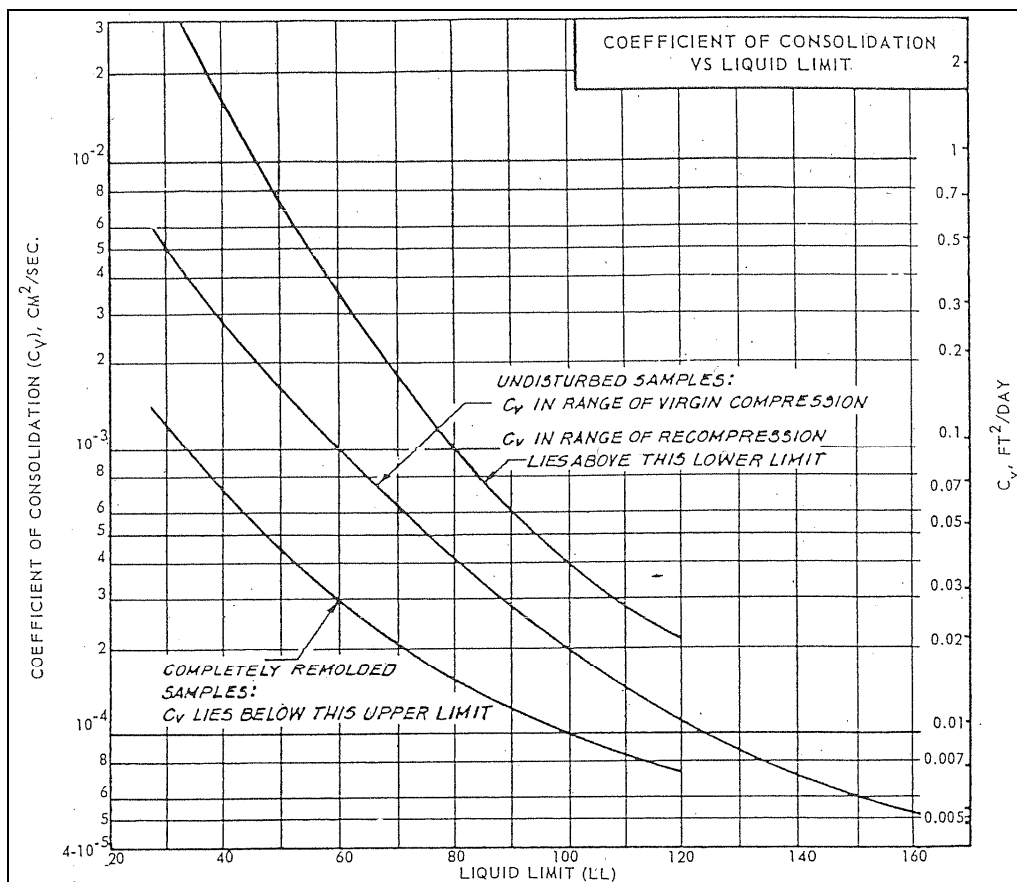


FIGURA 6-6: CORRELAZIONE FRA MODULO DI YOUNG NON DRENATO,  $C_u$  E OCR.

## 6.4.7. Caratteristiche di consolidazione

### 6.4.7.1 Consolidazione primaria

Le caratteristiche di consolidazione primaria per le unità coesive sono state determinate sulla base delle indagini di laboratorio disponibili e del grafico riportato nella figura seguente; tale grafico correla il limite liquido con il coefficiente di consolidazione verticale.



**FIGURA 6-7: - GRAFICO DI CORRELAZIONE LIMITE LIQUIDO- $C_v$  (NAVFAC DESIGN MANUAL 7.1, 1982).**

In mancanza di tali dati il coefficiente di consolidazione primaria è stato determinato in funzione del modulo edometrico e della permeabilità.

### 6.4.7.2 Consolidazione secondaria

Le caratteristiche di consolidazione secondaria per le unità coesive sono state determinate sulla base delle indagini di laboratorio disponibili e del grafico riportato nella figura seguente; tale grafico correla il contenuto naturale d'acqua con il coefficiente di consolidazione secondaria  $C_{\alpha}$ .

Quest'ultimo valore viene poi trasformato per mezzo dell'indice dei vuoti nel coefficiente  $C_{\alpha\varepsilon}$  adottato per le valutazioni del cedimento secondario.

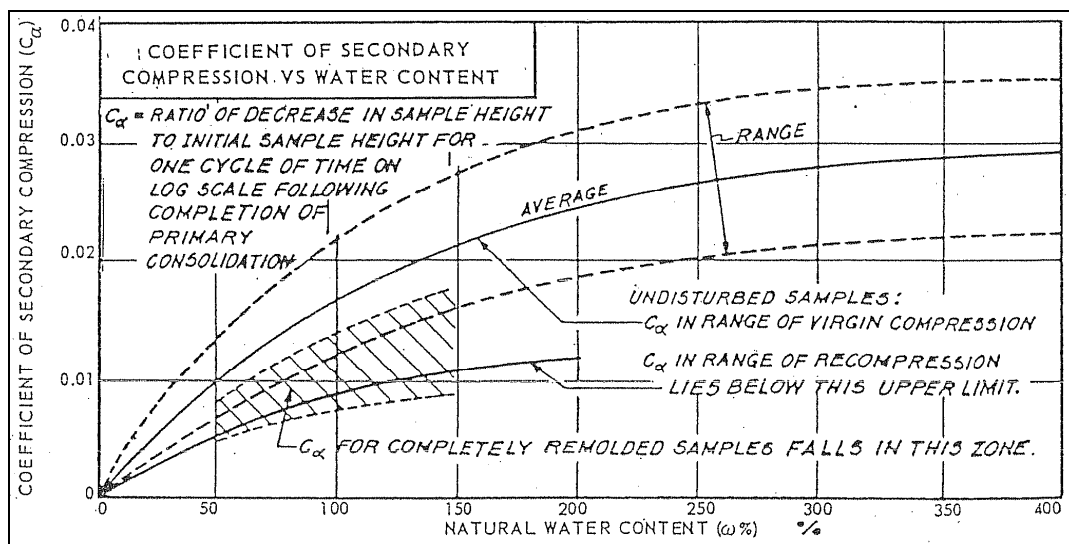


FIGURA 6-8: GRAFICO DI CORRELAZIONE CONTENUTO NATURALE D'ACQUA- $C_{\alpha}$  (NAVFAC DESIGN MANUAL 7.1, 1982).

### 6.4.8. Coefficienti di permeabilità

I coefficienti di permeabilità  $k$  sono determinabili con riferimento ai risultati :

- delle prove edometriche di laboratorio, in corrispondenza di pressioni verticali efficaci pari a quella geostatica, ovvero in corrispondenza di indici dei vuoti pari a quelli iniziali  $e_0$ ;
- delle prove di dissipazione delle CPTU seconda la carta proposta da Parez & Fauriel (1988), funzione del  $t_{50}$ , tempo corrispondente al 50% della dissipazione della pressione dei pori in eccesso:

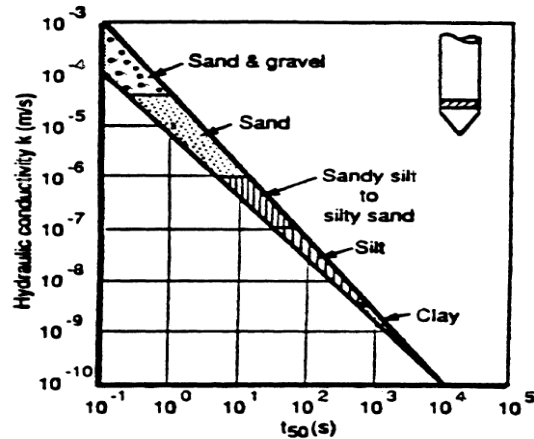


FIGURA 6-9: CORRELAZIONE COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ –  $T_{50}$ , PAREZ & FAURIEL (1988).

- dalle prove CPTU mediante le correlazioni di Robertson (2010): vedi Par. 6.3.5.

Ad integrazione dei dati risultanti dalle prove in sito, e per analisi critica degli stessi, è possibile far riferimento anche ai valori di permeabilità indicati in Tabella 6-5 sulla base della descrizione dell'unità litostratigrafica considerata.

## 6.5. STIMA DEI PARAMETRI DI DEGRADO CICLICO DEI TERRENI

### 6.5.1. Degrado del modulo di taglio $G$ e incremento delle caratteristiche di smorzamento

Come precedentemente illustrato, la campagna di caratterizzazione è stata composta anche da prove di laboratorio mirate alla stima dei parametri di degrado ciclico dei terreni investigati.

In particolare sono state eseguite:

- 11 prove di Colonna Risonante (RC);
- 18 prove di Taglio Torsionale Ciclico (TTC);
- 29 prove Triassiali Cicliche (TXC-Property).

I dati riguardanti il rapporto tra i moduli  $G/G_0$  e lo smorzamento  $D$ , provenienti da tali prove sono stati quindi suddivisi in base all'unità e riportati in un medesimo grafico.

Per le unità litostratigrafiche di cui si disponeva di dati, è stato implementato un modello iperbolico modificato nella forma proposta da Yokota et al, 1981 e riportata di seguito:

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \alpha \gamma^\beta}$$

in cui:

- $\gamma$  = deformazione di taglio (%)
- $\alpha$  e  $\beta$  = sono costanti del materiale (-)

Mentre, per quanto riguarda la legge di variazione di D, gli stessi autori di cui sopra, propongono la seguente relazione esponenziale:

$$D = D_{\max} \cdot e^{-\lambda \frac{G}{G_0}}$$

in cui:

- $D_{\max}$  = valore dello smorzamento massimo (%)
- $\lambda$  = parametro di adattamento (-)

I parametri  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $D_{\max}$  e  $\lambda$  sopra illustrati sono stati determinati tramite regressione lineare bilogarithmica.

Infine, attraverso tali modelli, per ogni unità sono state definite le soglie di deformazione lineare e volumetrica; la soglia lineare è stata posta pari alla deformazione corrispondente ad un rapporto  $G/G_0$  di 0.99 e la soglia volumetrica per cui si sviluppano 1-5% di rapporto di sovrappressioni interstiziali e assumibile pari alla deformazione corrispondente ad un rapporto  $G/G_0$  di 0.75 secondo quanto riportato da Ishihara.

## **6.5.2. Degrado delle caratteristiche di resistenza al taglio**

### **6.5.2.1 Parametri drenati**

Per quanto concerne il degrado delle caratteristiche di resistenza dei terreni, è stato scelto di condurre test di rottura monotona sui campioni al termine delle prove Triassiali Cicliche. I dati ottenuti dalle prove monotone statiche ordinarie verranno quindi confrontati con quelli ottenuti dalle prove monotone postcicliche.

### **6.5.2.2 Parametri non drenati**

Come messo in luce da una vasta sperimentazione condotta a scala mondiale, i comportamenti post-ciclici dei terreni a grana fine sono essenzialmente legati al grado di sovraconsolidazione OCR. Benché tale fattore sia da combinare anche con molti altri fattori (ad esempio l'indice di plasticità) tuttavia, per capire il tipo di problemi che si possono porre dopo l'applicazione dei carichi ciclici, può essere utile esaminare separatamente il caso dei terreni argillosi normalconsolidati e sovraconsolidati.

#### **6.5.2.2.1 Terreni argillosi normalconsolidati**

La degradazione della resistenza ciclica nei terreni normalmente consolidati è dovuta essenzialmente all'incremento e all'accumulo di sovrappressioni interstiziali positive. Ma anche il comportamento post-ciclico è profondamente marcato dall'insorgenza delle sovrappressioni interstiziali.

L'esperienza mostra che, se il terreno non perviene a rottura durante l'applicazione dei carichi ciclici, la resistenza post-ciclica può risultare aumentata o ridotta rispetto a quella statica precedente l'applicazione dei carichi ciclici in relazione al valore della sovrappressione  $\Delta u$  raggiunta al termine dell'applicazione dei carichi ciclici e al fatto che il drenaggio sia temporaneamente consentito o impedito prima di procedere alla determinazione della resistenza non drenata post-ciclica. Se, infatti, il drenaggio è impedito, la resistenza non drenata post-ciclica è minore di quella statica. Per questo motivo, in occasione di terremoti forti di lunga durata per un pendio argilloso normalconsolidato, le condizioni più gravose possono essere quelle post-sismiche.

Secondo Van Eekelen e Potts (1978), la perdita di resistenza post-ciclica  $C_{uc}$  può essere stimata con la relazione:



$$\frac{C_{uc}}{C_u} = \left(1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}\right)^{k/\lambda}$$

in cui:

$C_u$	= coesione non drenata statica	(KPa)
$k = C_s/2.3$	= indice di rigonfiamento nella scala dei logaritmi naturali	(-)
$\lambda = C_c/2.3$	= indice di ricomprensione nella scala dei logaritmi naturali	(-)

Si noti inoltre che  $\sigma'_0 = \sigma'_{v0} \cdot \frac{(1+2k_0)}{3}$ , dove  $\sigma'_{v0}$  è la pressione verticale efficace e  $k_0$  il coefficiente di spinta a riposo.

Se nella fase intermedia tra l'interruzione dei carichi ciclici e l'applicazione del carico monotono, il drenaggio è temporaneamente consentito, la resistenza non drenata è invece maggiore.

#### 6.5.2.2 Terreni argillosi sovraconsolidati

Il comportamento delle argille sovraconsolidate è notevolmente più complesso e incerto di quello delle argille normalmente consolidate. Secondo l'opinione corrente le argille sovraconsolidate sono meno sensibili dei terreni normalconsolidati all'azione dei carichi ciclici.

In realtà, questo è vero soprattutto per quanto riguarda la resistenza ciclica ed è meno vero per la rigidità.

Infatti, nei terreni argillosi sovraconsolidati l'applicazione di carichi ciclici ad elevati livelli deformativi, in genere, produce inizialmente sovrappressioni interstiziali negative che, solo in un secondo tempo, con il progredire del numero di cicli, tendono a diminuire fino a diventare positive. Nei terreni fortemente sovraconsolidati possono anche rimanere sempre negative.

Secondo Yasuhara et al. (2003) una stima della resistenza post-ciclica può essere ottenuta con la seguente espressione:

$$(C_{uc})_{OC} = (C_u)_{OC} \cdot \left[ \frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right]^{\frac{\Lambda_0}{1 - C_s/C_c}}$$

in cui:

$(C_u)_{OC}$  = resistenza statica non drenata dell'argilla normalconsolidata (KPa)

$\frac{\Delta u}{\sigma'_0}$  = rapporto di pressione interstiziale al termine dell'applicazione dei carichi ciclici (-)

$\Lambda_0$  = costante del materiale (in assenza di precise determinazioni assumibile pari a 0.7) (-)

$C_s$  e  $C_c$  = rispettivamente indice i rigonfiamento e indice di compressione (-)

La costante  $\Lambda_0$  può essere determinata attraverso la relazione:

$$\Lambda_0 = \frac{\log \left[ \frac{\left( \frac{C_u}{\sigma'_0} \right)_{OC}}{\left( \frac{C_u}{\sigma'_0} \right)_{NC}} \right]}{OCR}$$

in cui:

$\left( \frac{C_u}{\sigma'_0} \right)_{OC}$  e  $\left( \frac{C_u}{\sigma'_0} \right)_{NC}$  = resistenza al taglio statica normalizzata rispettivamente del materiale sovraconsolidato e normalconsolidato (-)

Si noti inoltre che  $\sigma'_0 = \sigma'_{v0} \cdot \frac{(1+2k_0)}{3}$ , dove  $\sigma'_{v0}$  è la pressione verticale efficace e  $k_0$  il coefficiente di spinta a riposo.

## 7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

---

### 7.1. PREMESSA

---

Il presente capitolo riporta la caratterizzazione geotecnica delle principali unità litostratigrafiche individuate lungo il tratto autostradale in esame per le singole zone omogenee, basata sui risultati:

- o delle indagini geognostiche eseguite (capitolo 3);
- o dell'interpretazione delle indagini secondo i criteri descritti nel capitolo 6.

L'interpretazione delle indagini ha consentito di raggruppare i materiali incontrati nelle unità litostratigrafiche illustrate al capitolo 4, ovvero:

- unità 1: argille, argille limose e limi argillosi;
- unità 2: limi sabbiosi e sabbie limose, talora debolmente argillose;
- unità 3: sabbie fini, debolmente limosa, da poco a mediamente addensate;
- unità 4: sabbie medie, talora debolmente limose, da mediamente addensate ad addensate;
- unità 5: sabbie medie, talora debolmente limose, con un buon grado di addensamento;
- unità 6: argille poco consistenti, con abbondante presenza di frustoli carboniosi e livelli organici indecomposti.

Si segnala che, in riferimento all'unità superficiale R individuata nei profili geotecnici, ai fini delle analisi geotecniche l'unità R è stata assimilata all'unità 1.

L'analisi dei profili stratigrafici sulla base delle unità litostratigrafiche suddette ha permesso la suddivisione dell'intero tratto autostradale in 24 zone omogenee, che presentano al loro interno caratteristiche geologico-geotecniche sostanzialmente uniformi.

## **7.2. ZONA OMOGENEA 1**

---

La zona omogenea 1 si sviluppa nel tratto di interconnessione tra l'autostrada Cispadana e l'autostrada A22 del Brennero, tra le pk 0+000 e pk 1+500 dell'interconnessione con riferimento al progetto preliminare, ovvero tra le pk -1+600÷-3+100 secondo lo zero dell'asse autostradale procedendo in direzione dell'A22.

Al di sotto di un primo strato di spessore pari a circa 5÷8 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1) si rinviene un orizzonte di depositi limoso-sabbiosi di potenza variabile da 1 a 5 m, sovrastanti un potente banco sabbioso a continuità chilometrica, che si estende oltre le massime profondità indagate (50 metri). Tali depositi, suddivisi nelle unità geotecniche 3, 4 e 5, presentano un grado di addensamento crescente con la profondità, variando da un grado di addensamento inizialmente modesto (unità 3), per poi passare attorno ai 15 m di profondità ad un addensamento medio (unità 4), ed infine elevato oltre i 20÷23 m di profondità dal piano di campagna (unità 5).

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 1 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-1: Z.O.1 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.8	19.0	n.d.	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-2: Z.O.1 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1
$c_u$ [kPa] (*)	40 ÷ 70

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-3: Z.O.1 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1
$c'$ [kPa] (*)	4 ÷ 6
$\varphi'$ [°] (*)	24 ÷ 26

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-4: Z.O.1 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
c' [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
φ' [°] (*)	29 ÷ 31	30 ÷ 32	32 ÷ 34	32 ÷ 34

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-5: Z.O.1 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1
M [kPa]	4000
E' [kPa]	2970
E <sub>u</sub> [kPa]	25000

**TABELLA 7-6: Z.O.1 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
E' [kPa]	15000	22000	30000	60000

**TABELLA 7-7: Z.O.1 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	<b>Unità 1</b>
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$1.5 \cdot 10^{-7}$

**TABELLA 7-8: Z.O.1 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	<b>Unità 1</b>
$c_{oe}$ [%]	0.2

### **7.3. ZONA OMOGENEA 2**

---

La zona omogenea 2 si sviluppa nel tratto di interconnessione tra l'autostrada Cispadana e l'autostrada A22 del Brennero, tra le pk 1+500 e pk 3+100 dell'interconnessione con riferimento al progetto preliminare, ovvero tra le pk -0+000÷-1+600 secondo lo zero dell'asse autostradale procedendo in direzione dell'A22.

L'assetto litologico dell'area è caratterizzato da un orizzonte superficiale di terreni argilloso-limosi (unità 1) che si estendono mediamente fino alle profondità di 8÷12 m dal piano di campagna; localmente, all'interno dell'orizzonte argilloso si rinvengono limitate intercalazioni di terreni a granulometria limoso-sabbiosa, di modesta estensione laterale.

Al di sotto della copertura argillosa si rinvengono, fino alla massima profondità indagata (50 metri), depositi sabbiosi prevalentemente con un grado di addensamento da medio ad elevato (unità 4 e 5) e caratterizzati da una estesa continuità laterale. Lo stato di addensamento delle sabbie aumenta con la profondità.

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 1 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.



**TABELLA 7-9: Z.O.2 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.8	19.0	n.d.	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-10: Z.O.2 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 4.0 m: 40 ÷ 60 oltre 4.0 m: (5•z) ÷ (5•z + 30)

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-11: Z.O.2 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1
$c'$ [kPa] (*)	0 ÷ 4
$\varphi'$ [°] (*)	18 ÷ 22

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-12: Z.O.2 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	31 ÷ 32	31 ÷ 33	31 ÷ 35	31 ÷ 35

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-13: Z.O.2 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1
M [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 4000 oltre 5.0 m: 2570 + 286 z
E' [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 2970 oltre 5.0 m: 1910 + 212·z
E <sub>u</sub> [kPa]	da 0.0 a 4.0 m: 17500 oltre 4.0 m: 60000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-14: Z.O.2 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
E' [kPa]	25000	16000	30000	55000

**TABELLA 7-15: Z.O.2 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	Unità 1
c <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> /s]	1.5 · 10 <sup>-7</sup>

**TABELLA 7-16: Z.O.2 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1
c <sub>oe</sub> [%]	0.2

## 7.4. ZONA OMOGENEA 3

La zona omogenea 3 si sviluppa dalla pk 0+000 fino alla pk 2+050 circa in corrispondenza del Cavo Parmigiana Moglia.

Al di sotto di un primo strato di spessore pari a circa 5 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1) si rinvengono, fino alla massima profondità indagata (50 metri), depositi sabbiosi prevalentemente con un grado di addensamento da medio ad elevato (unità 4 e 5) e caratterizzati da una buona continuità laterale. All'interno di tali depositi, sono presenti lenti di modesto spessore e aventi scarsa continuità laterale di terreni prevalentemente limoso-sabbiosi (unità 2).

La porzione superiore del deposito sabbioso, a partire dalla pk 0+750 circa, è caratterizzata dalla presenza di sabbie a minor grado di addensamento (unità 3), per uno spessore di circa 5 metri.

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 1 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-17: Z.O.3 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	19.0	18.5	18.5	19.0	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-18: Z.O.3 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1
$c_u$ [kPa] (*)	40 ÷ 80

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-19: Z.O.3 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1
$c'$ [kPa] (*)	3 ÷ 7
$\varphi'$ [°] (*)	24 ÷ 26

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

TABELLA 7-20: Z.O.3 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	29 ÷ 31	30 ÷ 34	31 ÷ 35	31 ÷ 37

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

TABELLA 7-21: Z.O.3 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]

	Unità 1
M [kPa]	6000
$E'$ [kPa]	4440
$E_u$ [kPa]	30000

TABELLA 7-22: Z.O.3 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$E'$ [kPa]	6700	20000	a 10 m: 25000 a 25 m: 40000	a 20 m: 35000 a 40 m: 50000

TABELLA 7-23: Z.O.3 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]

	Unità 1
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$2.3 \cdot 10^{-7}$

**TABELLA 7-24: Z.O.3 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	<b>Unità 1</b>
$C_{\alpha z}$ [%]	0.2

## 7.5. ZONA OMOGENEA 4

La zona omogenea 4 si sviluppa dalla pk 2+050 fino alla pk 4+570 circa.

Al di sotto di un primo strato di spessore pari a circa 10-15 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1) si rinvengono, fino alla massima profondità indagata (50 metri), depositi sabbiosi prevalentemente con un grado di addensamento da medio ad elevato (unità 4 e 5) e caratterizzati da una buona continuità laterale. All'interno di tali depositi, in corrispondenza della progressiva 4+100, è presente in profondità un livello di 5 metri circa di spessore e limitata continuità laterale di terreni prevalentemente argilloso-limosi (unità 1).

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 1 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-25: Z.O.4 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.8	18.5	18.5	n.d.	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.



**TABELLA 7-26: Z.O.4 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 2.5 m: 30 ÷ 70 da 2.5 a 8.0 m: 25 ÷ 65 da 8.0 a 10.0 m: 60 ÷ 120	$(4.14 \cdot z) \div (4.62 \cdot z)$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-27: Z.O.4 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c'$ [kPa] (*)	2 ÷ 4	n.d.
$\varphi'$ [°] (*)	24 ÷ 26	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-28: Z.O.4 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	29 ÷ 31	32 ÷ 33	32 ÷ 35	32 ÷ 35

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-29: Z.O.4 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1	Unità 6
M [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 5000 oltre 5.0 m: 3500 + 300·z	2800
E' [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 3715 oltre 5.0 m: 2600 + 223·z	2080
E <sub>u</sub> [kPa]	13750 + 1045·z	876 z

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-30: Z.O.4 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
E' [kPa]	8000	25000	20000 + 1000·z	z ≤ 37.0 m: 28300 + 1670·z z > 37.0 m: 80000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-31: Z.O.4 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	<b>Unità 1</b>	<b>Unità 6</b>
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$1.5 \cdot 10^{-7}$	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-32: Z.O.4 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	<b>Unità 1</b>	<b>Unità 6</b>
$c_{\alpha E}$ [%]	0.15	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

## 7.6. ZONA OMOGENEA 5

La zona omogenea 5 si sviluppa dalla pk 4+570 fino alla pk 6+500 circa, poco oltre il Cavo Acque Basse modenesi.

Al di sotto di un primo strato di spessore pari a circa 5-10 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1), la cui continuità è sovente interrotta da livelli di spessore metrico di limi sabbiosi (unità 2) e sabbie limose poco addensate (unità 3), si rinvengono, fino alla massima profondità indagata (50 metri), depositi sabbiosi prevalentemente con un grado di addensamento da medio ad elevato (unità 4 e 5) e caratterizzati da una buona continuità laterale. Tale deposito è interrotto, tra 30 e 45 metri circa di profondità, dalla presenza di un importante orizzonte argilloso-limoso (unità 1), variamente intercalato da lenti di spessore da decimetrico a metrico di limi sabbiosi (unità 2) e argille poco consistenti (unità 6).

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 1 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-33: Z.O.5 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.8	18.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-34: Z.O.5 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 6.0 m: 30 ÷ 70 da 30.0 a 37.0 m: 60 ÷ 100 da 37.0 a 40.0 m: 140 ÷ 150	a 35 m: 55 ÷ 65

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-35: Z.O.5 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c'$ [kPa] (*)	2 ÷ 4	n.d.
$\varphi'$ [°] (*)	24 ÷ 26	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-36: Z.O.5 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	30 ÷ 32	30 ÷ 32	31 ÷ 35	31 ÷ 35

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-37: Z.O.5 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1	Unità 6
$M$ [kPa]	da 0.0 a 6.0 m: 5000 da 33.0 a 37.0 m: 10000 da 37.0 a 40.0 m: 18000	a 35 m: 8500
$E'$ [kPa]	da 0.0 a 6.0 m: 3715 da 33.0 a 37.0 m: 7430 da 37.0 a 40.0 m: 13370	a 35 m: 6315
$E_u$ [kPa]	da 0.0 a 6.0 m: 25000 da 33.0 a 40.0 m: 32000	a 35 m: 18000

**TABELLA 7-38: Z.O.5 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$E'$ [kPa]	17000	$1429 \cdot z + 13571$	45000	60000

Nota:  $z$  = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-39: Z.O.5 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [ $m^2/s$ ]**

	Unità 1	Unità 6
$c_v$ [ $m^2/s$ ]	da 0.0 a 6.0 m: $3 \cdot 10^{-7}$ da 33.0 a 40.0 m: $5 \cdot 10^{-7}$	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-40: Z.O.1 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1	Unità 6
$c_{\alpha E}$ [%]	0.2	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

## 7.7. ZONA OMOGENEA 6

La zona omogenea 6 si sviluppa dalla pk 6+500 fino alla pk 12+700 circa.

Al di sotto di un primo strato di spessore pari a circa 10-15 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1) si rinvengono alternanze di spessore metrico di limi sabbiosi (unità 2) e sabbie da poco addensate ad addensate (unità 3 e 4).

Oltre i 15-20 metri di profondità e fino alla massima profondità indagata (50 metri), sono presenti depositi sabbiosi con un buon grado di addensamento (unità 5) e caratterizzati da una buona continuità laterale.

Localmente, in corrispondenza del Fiume Secchia, il primo sottosuolo è caratterizzato da uno spessore di 5-10 metri di limi sabbiosi (unità 2).

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 1 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-41: Z.O.6 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.7	18.5	18.5	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.



**TABELLA 7-42: Z.O.6 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1	Unità 2
$c_u$ [kPa] (*)	$z \leq 8.0 \text{ m: } 25 \div 75$ $z > 8.0 \text{ m: } (25 + 1.9 \cdot z) \div (68 + 3.4 \cdot z)$	50 ÷ 70

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-43: Z.O.6 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1	Unità 2
$c'$ [kPa] (*)	4 ÷ 6	0
$\varphi'$ [°] (*)	24 ÷ 26	25 ÷ 27

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-44: Z.O.6 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	30 ÷ 32	31 ÷ 33	30 ÷ 34

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-45: Z.O.6 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1	Unità 2
M [kPa]	$z \leq 8.0 \text{ m}: 5000$ $z > 8.0 \text{ m}: 715 \cdot z - 715$	$z \leq 10.0 \text{ m}: 7500$ $z > 10.0 \text{ m}: 800 \cdot z - 500$
$E'$ [kPa]	$z \leq 8.0 \text{ m}: 3715$ $z > 8.0 \text{ m}: 531 \cdot z - 531$	$z \leq 10.0 \text{ m}: 5570$ $z > 10.0 \text{ m}: 594 \cdot z - 371$
$E_u$ [kPa]	$z \leq 8.0 \text{ m}: 35000$ $z > 8.0 \text{ m}: 1990 \cdot z + 34875$	45000

**TABELLA 7-46: Z.O.6 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$E'$ [kPa]	15000	30000	60000

**TABELLA 7-47: Z.O.6 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	Unità 1	Unità 2
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$2 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$

**TABELLA 7-48: Z.O.6 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1	Unità 2
$c_{\alpha\epsilon}$ [%]	0.2	0.2

## **7.8. ZONA OMOGENEA 7**

---

La zona omogenea 7 si sviluppa dalla pk 12+700 fino alla pk 16+900 circa.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di un primo strato di spessore pari a circa 5 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1) al di sotto del quale si rinviene un livello di spessore metrico di limi sabbiosi (unità 2) avente buona continuità laterale.

Oltre i 6-7 metri di profondità e fino alla massima profondità indagata (50 metri), sono presenti depositi sabbiosi con un buon grado di addensamento (unità 5) e caratterizzati da una buona continuità laterale; tali depositi sono variamente intercalati da lenti di spessore da decimetrico a metrico e limitata continuità laterale di sabbie mediamente addensate (unità 4), limi sabbiosi (unità 2) e argille-limose (unità 1).

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 1 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-49: Z.O.7 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.8	19.5	n.d.	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-50: Z.O.7 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1
$c_u$ [kPa] (*)	40 ÷ 80

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-51: Z.O.7 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1
$c'$ [kPa] (*)	4 ÷ 6
$\varphi'$ [°] (*)	22 ÷ 25

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-52: Z.O.7 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	29 ÷ 32	32 ÷ 34	31 ÷ 33	30 ÷ 33

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-53: Z.O.7 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1
M [kPa]	$z \leq 10.0$ m: 6000 $z > 10.0$ m: 8000
$E'$ [kPa]	$z \leq 10.0$ m: 4450 $z > 10.0$ m: 5940
$E_u$ [kPa]	18000

**TABELLA 7-54: Z.O.7 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$E'$ [kPa]	10000	15000	$7140 + 2143 \cdot z$	$z \leq 30.0$ m: $30000 + 1667 \cdot z$ $z > 30.0$ m: 60000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-55: Z.O.7 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [ $m^2/s$ ]**

	<b>Unità 1</b>
$c_v [m^2/s]$	$1.5 \cdot 10^{-7}$

**TABELLA 7-56: Z.O.7 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	<b>Unità 1</b>
$c_{\alpha\epsilon} [%]$	0.2

## 7.9. ZONA OMOGENEA 8

La zona omogenea 8 si sviluppa dalla pk 16+900 fino alla pk 18+700 circa, in prossimità del Canale Cavezzo.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di un primo strato di spessore pari a circa 8 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1) al di sotto del quale si rinviene un livello di spessore pari a 2-5 metri caratterizzato da variazioni laterali di limi sabbiosi (unità 2) e sabbie limose poco addensate (unità 3).

Oltre i 10-15 metri di profondità e fino alla massima profondità indagata (50 metri), sono presenti depositi sabbiosi con un buon grado di addensamento (unità 5) e caratterizzati da una buona continuità laterale; tali depositi sono interrotti, tra le profondità di 17 e 27 metri circa, da un livello decametrico di argille limose (unità 1) avente buona continuità laterale.

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 1 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-57: Z.O.8 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.6	18.5	n.d.	n.d.	19.5

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.



**TABELLA 7-58: Z.O.8 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

Unità 1	
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 5.0 m: 50 ÷ 70 da 5.0 a 11.0 m: $(35 + 3.3 \cdot z) \div (51 + 3.3 \cdot z)$ oltre 11.0 m: 70 ÷ 90

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-59: Z.O.8 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

Unità 1	
$c'$ [kPa] (*)	4 ÷ 6
$\varphi'$ [°] (*)	22 ÷ 24

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-60: Z.O.8 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	30 ÷ 32	30 ÷ 32	32 ÷ 34	31 ÷ 34

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-61: Z.O.8 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1
M [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 5000 da 5.0 a 11.0 m: $3222 + 388.9 \cdot z$ oltre 11.0 m: 10000
$E'$ [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 3715 da 5.0 a 11.0 m: $2394 + 289 \cdot z$ oltre 11.0 m: 7430
$E_u$ [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 33000 da 5.0 a 11.0 m: $23832 + 1832 \cdot z$ oltre 11.0 m: 40000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-62: Z.O.8 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$E'$ [kPa]	15000	25000	35000	da 9.0 a 20.0 m: $33364 + 1818.2 \cdot z$ da 20.0 a 35.0 m: $4333 \cdot z - 61667$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-63: Z.O.8 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	Unità 1
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	da 0.0 a 11.0 m: $3.3 \cdot 10^{-7}$ da 11.0 a 30.0 m: $3.0 \cdot 10^{-7}$

**TABELLA 7-64: Z.O.8 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1
$c_{\alpha z}$ [%]	0.2

## 7.10. ZONA OMOGENEA 9

La zona omogenea 9 si sviluppa dalla pk 18+700 fino alla pk 20+800 circa.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di un primo strato di spessore pari a circa 10 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1) al di sotto del quale si rinviene un livello di spessore pari a circa 5 metri caratterizzato da variazioni laterali di limi sabbiosi (unità 2), sabbie limose poco addensate (unità 3) e sabbie mediamente addensate (unità 4).

Oltre i 15 metri di profondità e fino alla massima profondità indagata (50 metri), sono presenti depositi sabbiosi con un buon grado di addensamento (unità 5) fittamente intercalati da lenti di spessore metrico e limitata continuità laterale di argille limose (unità 1 e 6), limi sabbiosi (unità 2) e sabbie mediamente addensate (unità 4).

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 1 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-65: Z.O.9 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.7	18.8	n.d.	19.0	19.5	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-66: Z.O.9 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 5.0 m: 40 ÷ 60 da 5.0 a 10.0 m: $(5 + 6 \cdot z) \div (35 + 6 \cdot z)$ oltre 25.0 m: 90 ÷ 110	da 8.0 a 10.0 m: 10 ÷ 20 da 23.0 a 25.0 m: 55 ÷ 65

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-67: Z.O.9 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c'$ [kPa] (*)	4 ÷ 6	n.d.
$\varphi'$ [°] (*)	22 ÷ 24	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-68: Z.O.9 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
c' [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
φ' [°] (*)	30 ÷ 32	30 ÷ 32	31 ÷ 33	30 ÷ 34

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-69: Z.O.9 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1	Unità 6
M [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 4500 da 5.0 m a 11.0 m: 1000 + 700·z oltre 25.0 m: 12000	da 8.0 a 10.0 m: 2000 da 23.0 a 25.0 m: 7500
E' [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 3345 da 5.0 m a 11.0 m: 743 + 520·z oltre 25.0 m: 8915	da 8.0 a 10.0 m: 1485 da 23.0 a 25.0 m: 5570
E <sub>u</sub> [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 25000 da 5.0 m a 11.0 m: 12000 + 3600·z oltre 25.0 m: 48000	da 8.0 a 10.0 m: 15000 da 23.0 a 25.0 m: 30000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-70: Z.O.9 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
E' [kPa]	10000	25000	35000	z ≤ 30.0 m: 10000 + 2000 z z > 30.0 m: 70000

**TABELLA 7-71: Z.O.9 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	Unità 1	Unità 6
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$6 \cdot 10^{-7}$	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-72: Z.O.9 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1	Unità 6
$c_{\alpha E}$ [%]	0.2	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

## **7.11. ZONA OMOGENEA 10**

---

La zona omogenea 10 si sviluppa dalla pk 20+800 fino alla pk 22+650 circa, in prossimità del cavalcavia di via Bignardi.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di un primo strato di spessore pari a circa 10 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1) al di sotto del quale si rinviene un livello di spessore pari a circa 5 metri caratterizzato da variazioni laterali di limi sabbiosi (unità 2), sabbie limose poco addensate (unità 3) e sabbie mediamente addensate (unità 4).

Oltre i 15 metri di profondità e fino alla massima profondità indagata (40 metri), sono presenti depositi sabbiosi con un buon grado di addensamento (unità 5) e caratterizzati da una buona continuità laterale; tali depositi sono interrotti, tra le profondità di 20 e 35 metri circa, da un livello decametrico di argille limose (unità 1) avente buona continuità laterale.

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 2 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.



**TABELLA 7-73: Z.O.10 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.8	18.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-74: Z.O.10 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 9.0 m: 40 ÷ 80 da 9.0 a 14.0 m: (6·z-4) ÷ (6·z+16) oltre 20.0 m: 65 ÷ 100	oltre 25.0 m: 50 ÷ 70

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-75: Z.O.10 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c'$ [kPa] (*)	4 ÷ 6	n.d.
$\phi'$ [°] (*)	20 ÷ 22	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-76: Z.O.10 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	31 ÷ 33	31 ÷ 33	31 ÷ 33	31 ÷ 34

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-77: Z.O.10 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1	Unità 6
M [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 4500 da 5.0 a 14.0 m: $389 \cdot z + 2056$ da 19.0 a 25.0 m: 10500 oltre 25.0 m: 9500	$z > 25.0$ m: 7500
$E'$ [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 3344 da 5.0 a 14.0 m: $289 \cdot z + 1528$ da 19.0 a 25.0 m: 7802 oltre 25.0 m: 7059	$z > 25.0$ m: 5573
$E_u$ [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 20000 da 5.0 a 14.0 m: 24000 oltre 19.0 m: 45000	$z > 25.0$ m: 24000

Nota:  $z$  = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-78: Z.O.10 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
E' [kPa]	z ≤ 5.0 m: 10000 z > 5.0 m: 15000	25000	40000	da 0.0 a 20.0 m: 55000 da 20.0 a 25.0 m: 2000•z + 15000 oltre 25.0 m: 65000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-79: Z.O.10 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	Unità 1	Unità 6
c <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> /s]	4•10 <sup>-7</sup>	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-80: Z.O.10 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1	Unità 6
c <sub>œ</sub> [%]	0.2	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

## 7.12. ZONA OMOGENEA 11

---

La zona omogenea 11 si sviluppa dalla pk 22+650 fino alla pk 23+550 circa, in prossimità della linea ferroviaria Verona-Bologna.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di un primo strato di spessore pari a circa 15 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1) al di sotto del quale si rinviene un livello di spessore metrico e buona continuità laterale di sabbie mediamente addensate (unità 4).

Tra i 15 metri ed i 40 metri circa di profondità sono presenti depositi sabbiosi con un buon grado di addensamento (unità 5), localmente intercalati da lenti discontinue e di spessore modesto di argille limose (unità 1) e limi sabbiosi (unità 2). Oltre i 40 metri di profondità e fino alla massima profondità indagata (50 metri), sono presenti depositi sabbiosi mediamente addensati (unità 4).

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 2 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-81: Z.O.11 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	19.5	19.0	19.0	19.5	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-82: Z.O.1 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 3.0 m: 60 ÷ 70 da 3.0 a 5.0 m: 50 ÷ 60 oltre 5.0 m: $(51.7 + 1.7 \cdot z) \div (50 + 4.0 \cdot z)$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-83: Z.O.11 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1
$c'$ [kPa] (*)	3 ÷ 6
$\phi'$ [°] (*)	23 ÷ 25

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-84: Z.O.11 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	29 ÷ 31	33 ÷ 35	32 ÷ 34	31 ÷ 33

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-85: Z.O.11 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1
M [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 5000 da 5.0 a 12.0 m: $850 \cdot z - 286$ oltre 12.0 m: $444 \cdot z + 2667$
$E'$ [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 3715 da 5.0 a 12.0 m: $631 \cdot z - 212.5$ oltre 12.0 m: $330 \cdot z + 1981$
$E_u$ [kPa]	da 0.0 a 3.0 m: 35750 da 3.0 a 5.0 m: 30250 oltre 5.0 m: $1562 \cdot z + 27940$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-86: Z.O.11 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$E'$ [kPa]	$1175 \cdot z + 4828$	15000	30000	60000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-87: Z.O.11 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	<b>Unità 1</b>
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$1.3 \cdot 10^{-7}$

**TABELLA 7-88: Z.O.11 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	<b>Unità 1</b>
$c_{oe}$ [%]	0.2

### **7.13. ZONA OMOGENEA 12**

---

La zona omogenea 12 si sviluppa dalla pk 23+550 fino alla pk 27+400 circa, in prossimità del cavalcavia sulla SP n.9 Imperiale.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di un primo strato di spessore pari a circa 10 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1), intercalati da livelli di spessore metrico e limitata continuità laterale di limi sabbiosi (unità 2) e sabbie limose poco addensate (unità 3).

Oltre i 10 metri di profondità e fino alla massima profondità indagata (50 metri), sono presenti depositi sabbiosi con un buon grado di addensamento (unità 5) intercalati da livelli di spessore metrico e limitata continuità laterale di argille limose (unità 1), limi sabbiosi (unità 2) e sabbie da poco a mediamente addensate (unità 3 e 4); tali depositi sono interrotti, tra le profondità di 25 e 30 metri circa, da un livello, di spessore compreso tra 2 e 5 metri, di argille limose (unità 1) avente buona continuità laterale.

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 2 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.



**TABELLA 7-89: Z.O.12 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	19.2	19.6	19.5	19.5	20.0	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-90: Z.O.12 COESIONE NON DRENATA [kPa]**

	Unità 1	Unità 6
$c_u$ [kPa]	$z \leq 10.0 \text{ m: } 40 \div 90$ $z > 10.0 \text{ m: } (28 + 1.8 \cdot z) \div (60 + 1.4 \cdot z)$	$1.87 \cdot z \div 2.13 \cdot z$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-91: Z.O.12 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE**

	Unità 1	Unità 6
$c'$ [kPa]	3 ÷ 6	n.d.
$\varphi'$ [°]	23 ÷ 25	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;

- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-92: Z.O.12 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	29 ÷ 31	32 ÷ 34	31 ÷ 35	31 ÷ 35

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-93: Z.O.12 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1	Unità 6
M [kPa]	$4700 + 193 \cdot z$	6000
$E'$ [kPa]	$3501 + 143 \cdot z$	4460
$E_u$ [kPa]	$z \leq 10.0 \text{ m: } 32500$ $z > 10.0 \text{ m: } 42000 + 750 \cdot z$	15000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-94: Z.O.12 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$E'$ [kPa]	$7000 + 575 \cdot z$	$13460 + 770 \cdot z$	40000	60000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-95: Z.O.12 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	<b>Unità 1</b>	<b>Unità 6</b>
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$1.5 \cdot 10^{-7}$	$1.8 \cdot 10^{-7}$

**TABELLA 7-96: Z.O.12 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	<b>Unità 1</b>	<b>Unità 6</b>
$c_{\alpha\epsilon}$ [%]	0.2	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

## 7.14. ZONA OMOGENEA 13

---

La zona omogenea 13 si sviluppa dalla pk 27+400 fino alla pk 29+300 circa, in prossimità del canale diversivo Burana III.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di un primo strato di spessore pari a circa 10 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1), al di sotto del quale si rinviene uno spessore di 10 metri caratterizzato da fitte alternanze di lenti di spessore metrico e limitata continuità laterale di terreni argilloso-limosi (unità 1), limoso-sabbiosi (unità 2) e sabbie da poco a mediamente addensate (unità 3 e 4).

Oltre i 20 metri di profondità e fino alla massima profondità indagata (50 metri), sono presenti depositi sabbiosi con un buon grado di addensamento (unità 5) intercalati da livelli di spessore metrico e limitata continuità laterale di argille limose (unità 1), limi sabbiosi (unità 2) e sabbie da poco a mediamente addensate (unità 3 e 4).

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 2 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-97: Z.O.13 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	19.1	19.4	18.8	19.8	20.0

**TABELLA 7-98: Z.O.13 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1
$c_u$ [kPa] (*)	$z \leq 12.0$ m: $(45 + 2.5 \cdot z) \div (60 + 5.0 \cdot z)$ $z > 12.0$ m: $70 \div 110$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-99: Z.O.13 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1
$c'$ [kPa] (*)	3 ÷ 6
$\phi'$ [°] (*)	23 ÷ 25

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-100: Z.O.13 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	31 ÷ 33	32 ÷ 34	31 ÷ 35	32 ÷ 34

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-101: Z.O.13 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1
M [kPa]	da 0.0 a 12.0 m: $600 \cdot z + 3800$ da 12.0 a 15.0 m: 8000 oltre 15.0 m: $200 \cdot z + 5000$
$E'$ [kPa]	da 0.0 a 12.0 m: $446 \cdot z + 2823$ da 12.0 a 15.0 m: 5944 oltre 15.0 m: $149 \cdot z + 3715$
$E_u$ [kPa]	da 0.0 a 12.0 m: $1575 \cdot z + 15225$ oltre 12.0 m: 49500

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-102: Z.O.13 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$E'$ [kPa]	$1118 \cdot z + 3750$	25000	40000	50000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-103: Z.O.13 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	<b>Unità 1</b>
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	3·10 <sup>-7</sup>

**TABELLA 7-104: Z.O.13 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	<b>Unità 1</b>
$c_{\alpha\epsilon}$ [%]	0.2

## 7.15. ZONA OMOGENEA 14

La zona omogenea 14 si sviluppa dalla pk 29+300 fino alla pk 32+325 circa, in prossimità del cavo Vallicella.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza, fino alla massima profondità indagata (50 metri), di terreni argilloso-limosi (unità 1); localmente sono presenti di lenti di spessore metrico e limitata continuità laterale di terreni limoso-sabbiosi (unità 2) e sabbie da poco a mediamente addensate (unità 3 e 4).

Nella parte centrale della zona omogenea, è presente un potente banco di sabbie limose poco addensate (unità 3) tra i 25 ed i 40 metri di profondità; tale spessore mostra comunque una limitata continuità laterale.

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 2 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-105: Z.O.14 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	19.5	19.3	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.



**TABELLA 7-106: Z.O.14 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

Unità 1	
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 12.0 m: $(20 + 5.8 \cdot z) \div (50 + 7.5 \cdot z)$ da 12.0 a 25.0 m: $(22 + 2.3 \cdot z) \div (52 + 2.3 \cdot z)$ oltre 25.0 m: $70 \div 110$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-107: Z.O.14 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

Unità 1	
$c'$ [kPa] (*)	3 ÷ 6
$\varphi'$ [°] (*)	21 ÷ 23

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

TABELLA 7-108: Z.O.14 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]

	Unità 2	Unità 3	Unità 4
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	29 ÷ 31	31 ÷ 33	32 ÷ 34

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

TABELLA 7-109: Z.O.14 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]

	Unità 1
M [kPa]	da 0.0 a 12.0 m: $667 \cdot z + 3000$ da 12.0 a 25.0 m: $461 \cdot z + 1461$ da 25.0 a 40.0 m: 11000 oltre 40.0 m: $247.4 \cdot z + 134.2$
$E'$ [kPa]	da 0.0 a 12.0 m: $495 \cdot z + 2230$ da 12.0 a 25.0 m: $342 \cdot z + 1085$ da 25.0 a 40.0 m: 8173 oltre 40.0 m: $183.8 \cdot z + 99.7$
$E_u$ [kPa]	da 0.0 a 12.0 m: $2680 \cdot z + 14000$ da 12.0 a 25.0 m: $1610 \cdot z + 25900$ oltre 25.0 m: 63000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

TABELLA 7-110: Z.O.14 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]

	Unità 2	Unità 3	Unità 4
$E'$ [kPa]	$1088 \cdot z + 2389$	$1000 \cdot z + 8000$	40000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-111: Z.O.14 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	<b>Unità 1</b>
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$2 \cdot 10^{-7}$

**TABELLA 7-112: Z.O.14 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	<b>Unità 1</b>
$c_{\alpha\epsilon}$ [%]	0.2

## 7.16. ZONA OMOGENEA 15

La zona omogenea 15 si sviluppa dalla pk 32+325 fino alla pk 33+910 circa.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza, fino alla massima profondità indagata (40 metri), di terreni argilloso-limosi (unità 1).

Si riscontrano rare lenti di spessore metrico o decimetrico con limitata continuità laterale di terreni limoso-sabbiosi (unità 2) e sabbie poco addensate (unità 3).

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 2 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-113: Z.O.15 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20.0	20.0	18.5	18.8

**TABELLA 7-114: Z.O.15 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

Unità 1	
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 5.0 m: $50 \div 65$ da 5.0 a 14.0 m: $(5.6 \cdot z + 12.2) \div (6.1 \cdot z + 34.4)$ da 14.0 a 20.0 m: $55 \div 90$ oltre 20.0 m: $(3.5 \cdot z - 20) \div (3.0 \cdot z + 10)$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-115: Z.O.15 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

Unità 1	
$c'$ [kPa] (*)	3 ÷ 6
$\phi'$ [°] (*)	23 ÷ 25

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-116: Z.O.15 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	30 ÷ 32	30 ÷ 31	32 ÷ 34

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-117: Z.O.15 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1
$M$ [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 4500 da 5.0 a 14.0 m: $611 \cdot z + 1444$ da 14.0 a 20.0 m: 8000 oltre 20.0 m: $250 \cdot z + 3000$
$E'$ [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 3344 da 5.0 a 14.0 m: $454 \cdot z + 1073$ da 14.0 a 20.0 m: 5944 oltre 20.0 m: $186 \cdot z + 2229$
$E_u$ [kPa]	da 0.0 a 5.0 m: 29000 da 5.0 a 14.0 m: $3190 \cdot z + 13255$ da 14.0 a 20.0 m: 69350 oltre 20.0 m: $2475 \cdot z - 4500$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-118: Z.O.15 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4
$E'$ [kPa]	10000	25000	40000

**TABELLA 7-119: Z.O.15 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	<b>Unità 1</b>
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$1.7 \cdot 10^{-7}$

**TABELLA 7-120: Z.O.15 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	<b>Unità 1</b>
$c_{\alpha\epsilon}$ [%]	0.3

## 7.17. ZONA OMOGENEA 16

La zona omogenea 16 si sviluppa dalla pk 33+910 fino alla pk 35+200 circa, in prossimità del Fiume Panaro.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza, fino alla massima profondità indagata (50 metri), di terreni argilloso-limosi (unità 1); localmente sono presenti di lenti di spessore metrico e limitata continuità laterale di terreni limoso-sabbiosi (unità 2) e sabbie mediamente addensate (unità 4).

In prossimità del Fiume Panaro è presente, tra le profondità di 30 e 40 metri, una lente di argille poco consistenti (unità 6); tale spessore mostra comunque una limitata continuità laterale.

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 2 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

TABELLA 7-121: Z.O.16 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	19.0	18.8	20.5	20.0	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.



**TABELLA 7-122: Z.O.16 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 3.5 m: 40 ÷ 70 da 3.5 a 15.0 m: $(17.8 + 3.5 \cdot z) \div (34.8 + 4.4 \cdot z)$ oltre 15.0 m: 60 ÷ 110	$(1.9 \cdot z) \div (2.1 \cdot z)$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-123: Z.O.16 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c'$ [kPa] (*)	3 ÷ 6	n.d.
$\varphi'$ [°] (*)	23 ÷ 25	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-124: Z.O.16 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	28 ÷ 30	32 ÷ 34	31 ÷ 35

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-125: Z.O.16 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1	Unità 6
M [kPa]	da 0.0 a 3.5 m: 4500 da 3.5 a 15.0 m: $522 \cdot z + 2174$ da 15.0 a 30.0 m: $333 \cdot z + 2000$ da 30.0 a 42.0 m: 12000 oltre 42.0 m: $335 \cdot z + 124$	$227 \cdot z + 2045$
$E'$ [kPa]	da 0.0 a 3.5 m: 3300 da 3.5 a 15.0 m: $386 \cdot z + 1609$ da 15.0 a 30.0 m: $246 \cdot z + 1480$ da 30.0 a 42.0 m: 8880 oltre 42.0 m: $249 \cdot z + 92$	$168 \cdot z + 1513$
$E_u$ [kPa]	da 0.0 a 3.5 m: 27500 da 3.5 a 15.0 m: $2730 \cdot z + 18200$ oltre 15.0 m: 68000	15000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-126: Z.O.16 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4
$E'$ [kPa]	$320 \cdot z + 12000$	25000	40000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-127: Z.O.16 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	Unità 1	Unità 6
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$1.5 \cdot 10^{-7}$	$1.5 \cdot 10^{-7}$

**TABELLA 7-128: Z.O.16 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1	Unità 6
$c_{\alpha\epsilon}$ [%]	da 0.0 a 4.0 m: 0.2 da 4.0 a 15.0 m: 0.1 da 15.0 a 40.0 m: 0.2 oltre 40.0 m: 0.3	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

## 7.18. ZONA OMOGENEA 17

La zona omogenea 17 si sviluppa dalla pk 35+200 fino alla pk 38+550 circa.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza, fino alla massima profondità indagata (50 metri), di terreni argilloso-limosi (unità 1); localmente sono presenti di lenti di spessore metrico e limitata continuità laterale di terreni limoso-sabbiosi (unità 2) e sabbie da poco addensate (unità 3) a mediamente addensate (unità 4).

Sono inoltre presenti isolate lenti di argille poco consistenti (unità 6), talora connotate da diffusa presenza di sostanza organica, di spessore variabile e generalmente compreso tra 0,5÷3,0 metri; le ricostruzioni stratigrafiche mostrano comunque una limitata continuità laterale di tali lenti.

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 2 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-129: Z.O.17 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.5	19.3	n.d.	n.d.	n.d.	14.8

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-130: Z.O.17 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 6.0 m: $30 \div 60$ da 6.0 a 15.0 m: $(10.0 + 4.0 \cdot z) \div (50.0 + 4.0 \cdot z)$ oltre 15.0 m: $(20.0 + 2.4 \cdot z) \div (60.0 + 2.4 \cdot z)$	$(1.25 \cdot z + 20) \div (1.25 \cdot z + 40)$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-131: Z.O.17 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c'$ [kPa] (*)	n.d.	n.d.
$\varphi'$ [°] (*)	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-132: Z.O.17 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	29 ÷ 31	31 ÷ 33	32 ÷ 35	33 ÷ 35

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-133: Z.O.17 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1	Unità 6
$M$ [kPa]	da 0.0 a 6.0 m: 4500 da 6.0 a 15.0 m: $660 \cdot z$ oltre 15.0: $275 \cdot z + 3000$	$250 \cdot z$
$E'$ [kPa]	da 0.0 a 6.0 m: 3330 da 6.0 a 15.0 m: $490 \cdot z$ oltre 15.0: $205 \cdot z + 1419$	$185 \cdot z$
$E_u$ [kPa]	da 0.0 a 6.0 m: 34785 da 6.0 a 15.0 m: $3260 \cdot z + 24450$ oltre 15.0: $1992 \cdot z + 33200$	$750 \cdot z + 18000$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-134: Z.O.17 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$E'$ [kPa]	$600 \cdot z + 5000$	25000	42000	52500

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-135: Z.O.17 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	Unità 1	Unità 6
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$1.4 \cdot 10^{-7}$	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-136: Z.O.17 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1	Unità 6
$c_{\alpha E}$ [%]	0.26	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

## **7.19. ZONA OMOGENEA 18**

---

La zona omogenea 18 si sviluppa dalla pk 38+550 fino alla pk 43+850 circa.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza diffusa, fino alla massima profondità indagata (50 metri), di terreni argilloso-limosi (unità 1).

L'intero tratto in esame è caratterizzato però anche dalla presenza di un orizzonte di terreni incoerenti a partire da circa -15,0÷-18,0 di profondità e rinvenibili fino a circa -25,0÷-30,0 metri dal piano di campagna. Si tratta in prevalenza di sabbie da poco addensate (unità 3) a mediamente addensate (unità 4), con locali intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose ( unità 2) e sabbie addensate (unità 5).

Tra le pk 40+800÷41+800 si segnala la presenza di un orizzonte di argille poco consistenti e con presenza di sostanza organica di spessore rilevante a profondità relativamente modeste. In particolare, tale orizzonte, che presenta spessore variabile da un paio di metri fino a circa -5,0 metri, si rinviene mediamente a partire dai -3,0÷-5,0 metri di profondità dal piano di campagna sino agli -8,0÷-9,0 metri di profondità.

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 2 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.



**TABELLA 7-137: Z.O.18 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.5	19.0	n.d.	n.d.	14.1

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-138: Z.O.18 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 6.0 m: 30 ÷ 50 da 6.0 a 15.0 m: (3.5·z) ÷ (60.0 + 3.5·z) oltre 15.0 m: 60 ÷ 100	(1.75·z+5) ÷ (1.75·z+15)

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-139: Z.O.18 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c'$ [kPa] (*)	2 ÷ 5	n.d.
$\varphi'$ [°] (*)	21 ÷ 23	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-140: Z.O.18 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	29 ÷ 31	31 ÷ 34	32 ÷ 35

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-141: Z.O.18 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1	Unità 6
$M$ [kPa]	da 0.0 a 9.0 m: 3500 da 9.0 a 17.0 m: $500 \cdot z + 6000$ oltre 17.0: $200 \cdot z + 8000$	$200 \cdot z + 1000$
$E'$ [kPa]	da 0.0 a 9.0 m: 2600 da 9.0 a 17.0 m: $370 \cdot z + 4450$ oltre 17.0: $150 \cdot z + 5950$	$148 \cdot z + 743$
$E_u$ [kPa]	da 0.0 a 9.0 m: 32000 da 9.0 a 17.0 m: $2800 \cdot z + 24000$ oltre 17.0: 66400	15000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-142: Z.O.18 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4
$E'$ [kPa]	$625 \cdot z + 5000$	25000	40000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-143: Z.O.18 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	Unità 1	Unità 6
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$1.35 \cdot 10^{-7}$	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-144: Z.O.18 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1	Unità 6
$c_{\alpha\epsilon}$ [%]	0.28	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

## **7.20. ZONA OMOGENEA A**

---

La zona omogenea A si sviluppa dalla pk 43+850 fino alla pk 53+200 circa.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza, fino alla massima profondità indagata (50 metri), di terreni argilloso-limosi (unità 1); localmente sono presenti di lenti di spessore metrico e limitata continuità laterale di terreni limoso-sabbiosi (unità 2), sabbie da poco a ben addensate (unità 3, 4 e 5) e argille poco consistenti (unità 6).

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 3 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Per l'unità 2 in zona omogenea A i risultati di indagine mostrano un comportamento complessivo dell'unità intermedio fra un terreno incoerente ed un terreno coesivo; nel seguito, pertanto, vengono riportati i risultati relativi ad entrambi tali comportamenti.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

TABELLA 7-145: Z.O.A PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.6	19.0	19.5	20.5	n.d.	15.5

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

TABELLA 7-146: Z.O.A PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c_u$ [kPa] (*)	$z \leq 15.0 \text{ m: } 40 \div 70$ $z > 15.0 \text{ m: } (32 + 1.2 \cdot z) \div (72 + 1.2 \cdot z)$	$z \leq 10.0 \text{ m: } 40 \div 70$ $z > 10.0 \text{ m: } (20 + 2 \cdot z) \div (50 + 2 \cdot z)$	$(3.3 + 1.7 \cdot z) \div$ $(2.5 + 2.1 \cdot z)$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

TABELLA 7-147: Z.O.A PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c'$ [kPa] (*)	2 ÷ 4	0	0
$\varphi'$ [°] (*)	22 ÷ 23	29 ÷ 32	16 ÷ 20

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

TABELLA 7-148: Z.O.A PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
c' [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
φ' [°] (*)	29 ÷ 32	31 ÷ 35	30 ÷ 33	32 ÷ 34

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

TABELLA 7-149: Z.O.A MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
M [kPa]	da 0.0 a 9.0 m: $214 \cdot z + 4571$ da 9.0 a 15.0 m: 5000 da 15.0 a 21.0 m: 8500 da 21.0 a 25.0 m: $125 \cdot z + 5879$ da 25.0 a 35.0 m: 11000 oltre 35.0 m: $200 \cdot z + 4000$	$256 \cdot z + 4760$	$z \leq 15.0$ m: 4000 $z > 15.0$ m: $267 \cdot z + 333$
E' [kPa]	da 0.0 a 9.0 m: $159 \cdot z + 3396$ da 9.0 a 15.0 m: 3715 da 15.0 a 21.0 m: 6316 da 21.0 a 25.0 m: $93 \cdot z + 4368$ da 25.0 a 35.0 m: 8173 oltre 35.0 m: $149 \cdot z + 2970$	$189 \cdot z + 3522$	$z \leq 15.0$ m: 2972 $z > 15.0$ m: $197 \cdot z + 246$
E <sub>u</sub> [kPa]	$z \leq 15.0$ m: 30250 $z > 15.0$ m: $31200 + 720 \cdot z$	$z \leq 10.0$ m: 38500 $z > 10.0$ m: $35000 + 2000 \cdot z$	$1890 + 743 \cdot z$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-150: Z.O.A MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
E' [kPa]	3000 + 550·z	z ≤ 15.0 m: 15000 z > 15.0 m: 25000	30000	50000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-151: Z.O.A COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
c <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> /s]	2.2·10 <sup>-7</sup>	2.2·10 <sup>-5</sup>	1.2·10 <sup>-7</sup>

**TABELLA 7-152: Z.O.A COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
c <sub>αε</sub> [%]	da 0.0 a 13.0 m: 0.2 da 13.0 a 14.0 m: 0.1 oltre 14.0 m: 0.2	0.2	0.3

## 7.21. ZONA OMOGENEA B

La zona omogenea B si sviluppa dalla pk 53+200 fino alla pk 54+130 circa.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di un primo strato di spessore pari a circa 10 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1), al di sotto del quale si rinviene uno spessore di circa 5 metri di argille poco consistenti (unità 6).

Oltre i 15 metri di profondità e fino alla massima profondità indagata (30 metri), sono presenti depositi argilloso-limosi (unità 1) intercalati da livelli di spessore metrico e limitata continuità laterale di limi sabbiosi (unità 2); nella porzione terminale della zona omogenea è presente una lente di argille poco consistenti (unità 6) tra 18 e 30 metri di profondità circa.

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 3 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate; dato che in tale zona omogenea sono presenti solo prove penetrometriche, per la caratterizzazione della stessa si è fatto riferimento anche alle risultanze delle zone omogenee adiacenti.

Per l'unità 2, visto che in zona omogenea A i risultati di indagine mostrano un comportamento complessivo dell'unità intermedio fra un terreno incoerente ed un terreno coesivo, nel seguito vengono riportati i risultati relativi ad entrambi tali comportamenti.

**TABELLA 7-153: Z.O.B PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.6	19.0	15.5

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.



**TABELLA 7-154: Z.O.B PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 10.0 m: 50 ÷ 70 da 10.0 a 16.0 m: 40 ÷ 60 da 16.0 a 20.0 m: 90 ÷ 110 oltre 20.0 m: 60 ÷ 80	$z \leq 10.0$ m: 40 ÷ 70 $z > 10.0$ m: $(20 + 2 \cdot z) \div (50 + 2 \cdot z)$	$(3.3 + 1.7 \cdot z) \div (2.5 + 2.1 \cdot z)$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-155: Z.O.B PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c'$ [kPa] (*)	2 ÷ 4	0	0
$\varphi'$ [°] (*)	22 ÷ 23	29 ÷ 32	16 ÷ 20

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-156: Z.O.B PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2
$c' [kPa] (*)$	0.0
$\varphi' [°] (*)$	29 ÷ 32

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-157: Z.O.B MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
M [kPa]	$z \leq 15.0 \text{ m: } 5000$ $z > 15.0 \text{ m: } 200 \cdot z + 4000$	$256 \cdot z + 4760$	$267 \cdot z + 333$
E' [kPa]	$z \leq 15.0 \text{ m: } 3715$ $z > 15.0 \text{ m: } 148 \cdot z + 2960$	$189 \cdot z + 3522$	$197 \cdot z + 246$
E <sub>u</sub> [kPa]	$z \leq 15.0 \text{ m: } 30250$ $z > 15.0 \text{ m: } 31200 + 720 \cdot z$	$z \leq 10.0 \text{ m: } 38500$ $z > 10.0 \text{ m: } 35000 + 2000 \cdot z$	$1890 + 743 \cdot z$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-158: Z.O.B MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2
E' [kPa]	$3000 + 550 \cdot z$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-159: Z.O.B COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$2.2 \cdot 10^{-7}$	$2.2 \cdot 10^{-5}$	$1.2 \cdot 10^{-7}$

**TABELLA 7-160: Z.O.B COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$C_{\alpha\epsilon}$ [%]	0.2	0.2	0.35

## **7.22. ZONA OMOGENEA C**

---

La zona omogenea C si sviluppa dalla pk 54+130 fino alla pk 56+850 circa.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza, fino alla massima profondità indagata (50 metri), di terreni argilloso-limosi (unità 1); localmente sono presenti di lenti di spessore metrico e limitata continuità laterale di terreni limoso-sabbiosi (unità 2), sabbie da poco a ben addensate (unità 3, 4 e 5) e argille poco consistenti (unità 6).

Alla profondità di 25 metri è presente una lente di spessore variabile tra 2 e 5 metri, ed avente buona continuità laterale, di terreni limoso-sabbiosi (unità 2) e sabbie da poco a ben addensate (unità 3, 4 e 5).

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 3 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Per l'unità 2 in zona omogenea C i risultati di indagine mostrano un comportamento complessivo dell'unità intermedio fra un terreno incoerente ed un terreno coesivo; nel seguito, pertanto, vengono riportati i risultati relativi ad entrambi tali comportamenti.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-161: Z.O.C PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.8	19.2	n.d.	n.d.	n.d.	16.3

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-162: Z.O.C PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c_u$ [kPa] (*)	$(30 + 1.3 \cdot z) \div (60 + 1.3 \cdot z)$	$(30 + 1.3 \cdot z) \div (70 + 1.3 \cdot z)$	$(1.8 \cdot z) \div (2.3 \cdot z)$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-163: Z.O.C PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c'$ [kPa] (*)	4 ÷ 6	0	0
$\varphi'$ [°] (*)	21 ÷ 23	29 ÷ 31	12 ÷ 14

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

**TABELLA 7-164: Z.O.C PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	29 ÷ 31	32 ÷ 33	32 ÷ 34	32 ÷ 34

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-165: Z.O.C MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
M [kPa]	$200 \cdot z + 4000$	$300 \cdot z + 4000$	$200 \cdot z + 2000$
$E'$ [kPa]	$148 \cdot z + 2960$	$222 \cdot z + 2960$	$148 \cdot z + 1480$
$E_u$ [kPa]	$z \leq 15.0$ m: $687 \cdot z + 24750$ $z > 15.0$ m: $750 \cdot z + 27000$	$1250 \cdot z + 50000$	$1012 \cdot z$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-166: Z.O.C MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$E'$ [kPa]	$781 \cdot z + 3750$	$1133 \cdot z + 8667$	45000	60000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-167: Z.O.C COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$3.4 \cdot 10^{-7}$	$5.2 \cdot 10^{-6}$	$1.4 \cdot 10^{-7}$

**TABELLA 7-168: Z.O.C COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c_{\alpha\epsilon}$ [%]	0.2	0.1	0.4

## 7.23. ZONA OMOGENEA D

La zona omogenea D si sviluppa dalla pk 56+850 fino alla pk 58+500 circa, in prossimità dello scolo Aldrovandi.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza, fino alla massima profondità indagata (40 metri), di terreni argilloso-limosi (unità 1), con la presenza principalmente di lenti di spessore metrico e limitata continuità laterale di terreni limoso-sabbiosi (unità 2) e sabbie mediamente addensate (unità 3).

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 3 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-169: Z.O.D PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.7	19.0	n.d.	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.



**TABELLA 7-170: Z.O.D PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 7.0 m: $30 \div 60$ da 7.0 a 30.0 m: $(1.3 \cdot z + 31) \div (1.7 \cdot z + 68)$ oltre 25.0 m: $70 \div 100$	$(2.2 \cdot z + 24) \div (5.0 \cdot z + 45)$	$1.8 \cdot z \div 2.3 \cdot z$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-171: Z.O.D PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c'$ [kPa] (*)	2 ÷ 6	n.d.	n.d.
$\varphi'$ [°] (*)	24 ÷ 25	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

TABELLA 7-172: Z.O.D PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]

	Unità 3	Unità 4
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	32 ÷ 33	32 ÷ 34

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

TABELLA 7-173: Z.O.D MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
M [kPa]	da 0.0 a 7.0 m: 4000 da 7.0 a 10.0 m: 5500 da 10.0 a 15.0 m: 6500 da 15.0 a 20.0 m: 9500 da 20.0 a 30.0 m: $303 \cdot z + 2860$ oltre 30.0 m: 11000	$470 \cdot z + 2235$	$200 \cdot z + 2000$
$E'$ [kPa]	da 0.0 a 7.0 m: 2960 da 7.0 a 10.0 m: 4087 da 10.0 a 15.0 m: 4830 da 15.0 a 20.0 m: 7059 da 20.0 a 30.0 m: $225 \cdot z + 2124$ oltre 30.0 m: 8140	$348 \cdot z + 1654$	$148 \cdot z + 1480$
$E_u$ [kPa]	da 0.0 a 7.0 m: 31500 da 7.0 a 20.0 m: $1050 \cdot z + 34510$ da 20.0 a 30.0 m: $1140 \cdot z + 36970$ oltre 30.0 m: 63750	$3610 \cdot z + 34700$	$1012 \cdot z$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-174: Z.O.D MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 3	Unità 4
E' [kPa]	1133·z + 8667	45000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-175: Z.O.D COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
c <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> /s]	6.1·10 <sup>-7</sup>	5.2·10 <sup>-6</sup>	1.4·10 <sup>-7</sup>

**TABELLA 7-176: Z.O.1 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
c <sub>ce</sub> [%]	0.2	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

## 7.24. ZONA OMOGENEA E

La zona omogenea E si sviluppa dalla pk 58+500 fino alla pk 60+200 circa.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di un primo strato di spessore pari a circa 5 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1), al di sotto del quale si rinvengono uno spessore di circa 7-10 metri caratterizzato da alternanze di lenti di spessore metrico e limitata continuità laterale di terreni limoso-sabbiosi (unità 2) e sabbie da poco a mediamente addensate (unità 3 e 4).

Oltre i 15 metri di profondità e fino alla massima profondità indagata (50 metri), sono presenti depositi argilloso-limosi (unità 1) intercalati da livelli di spessore metrico e limitata continuità laterale di limi sabbiosi (unità 2), sabbie poco addensate (unità 3) e argille poco consistenti (unità 6).

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 3 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

**TABELLA 7-177: Z.O.E PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.8	19.5	19.0	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

**TABELLA 7-178: Z.O.E PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 7.0 m: 25 ÷ 60 da 12.0 a 20.0 m: $(3.8 \cdot z - 5) \div (4.4 \cdot z - 2.5)$ oltre 20.0 m: $(2.5 \cdot z) \div (2.5 \cdot z + 15)$	$(1.9 \cdot z) \div (2.1 \cdot z)$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-179: Z.O.E PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1	Unità 6
$c'$ [kPa] (*)	4 ÷ 6	n.d.
$\varphi'$ [°] (*)	21 ÷ 22	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-180: Z.O.E PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	29 ÷ 31	31 ÷ 34	32 ÷ 35

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-181: Z.O.E MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1	Unità 6
M [kPa]	da 0.0 a 7.0 m: 4000 da 12.0 a 20.0 m: $687 \cdot z - 3750$ oltre 20.0 m: $300 \cdot z + 1000$	$300 \cdot z - 1000$
$E'$ [kPa]	da 0.0 a 7.0 m: 2972 da 12.0 a 20.0 m: $510 \cdot z - 2786$ oltre 20.0 m: $223 \cdot z + 743$	$223 \cdot z - 743$
$E_u$ [kPa]	da 0.0 a 7.0 m: 24000 da 12.0 a 20.0 m: $2888 \cdot z - 3150$ oltre 20.0 m: $1500 \cdot z + 3000$	24750

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-182: Z.O.E MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4
$E'$ [kPa]	$z \leq 3.0$ m: 5000 $z > 3.0$ m: $1563 \cdot z + 313$	$1100 \cdot z + 5000$	35000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-183: Z.O.E COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	<b>Unità 1</b>	<b>Unità 6</b>
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$1.4 \cdot 10^{-7}$	$1.4 \cdot 10^{-7}$

**TABELLA 7-184: Z.O.E COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	<b>Unità 1</b>	<b>Unità 6</b>
$c_{\alpha\epsilon}$ [%]	0.2	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

## 7.25. ZONA OMOGENEA F

La zona omogenea F si sviluppa dalla pk 60+200 fino al termine del tracciato.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza, fino alla massima profondità indagata (50 metri), di terreni argilloso-limosi (unità 1), con la presenza di lenti di spessore metrico e limitata continuità laterale di terreni limoso-sabbiosi (unità 2), sabbie da poco a ben addensate (unità 3, 4 e 5) e argille poco consistenti (unità 6).

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Allegato 3 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Per l'unità 2 in zona omogenea F i risultati di indagine mostrano un comportamento complessivo dell'unità intermedio fra un terreno incoerente ed un terreno coesivo; nel seguito, pertanto, vengono riportati i risultati relativi ad entrambi tali comportamenti.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

TABELLA 7-185: Z.O.F PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m<sup>3</sup>]

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.5	18.8	19.0	n.d.	n.d.	16.0

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.



**TABELLA 7-186: Z.O.F PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI NON DRENATE**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 3.0 m: $45 \div 70$ da 3.0 a 10.0 m: $(19 + 2.1 \cdot z) \div (39 + 2.1 \cdot z)$ da 10.0 a 16.0 m: $45 \div 65$ oltre 16.0 m: $(33 + 1 \cdot z) \div 105$	$z \leq 22.0$ m: $(24 + 2.0 \cdot z) \div (60 + 1.8 \cdot z)$ $z > 22.0$ m: $65 \div 100$	$(1.9 \cdot z) \div (2.1 \cdot z)$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

**TABELLA 7-187: Z.O.F PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE IN CONDIZIONI DRENATE**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c'$ [kPa] (*)	$3 \div 7$	0	0
$\varphi'$ [°] (*)	$23 \div 25$	$28 \div 29$	$13 \div 15$

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

TABELLA 7-188: Z.O.F PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
$c'$ [kPa] (*)	0.0	0.0	0.0	0.0
$\varphi'$ [°] (*)	28 ÷ 30	30 ÷ 33	30 ÷ 33	31 ÷ 34

(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

TABELLA 7-189: Z.O.F MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
M [kPa]	da 0.0 a 3.0 m: 4500 da 3.0 a 7.0 m: 3500 da 7.0 a 10.0 m: 5000 da 10.0 a 16.0 m: $250 \cdot z + 2500$ da 16.0 a 22.0 m: 9000 da 22.0 a 35.0 m: $269 \cdot z + 2577$ oltre 35.0 m: $80 \cdot z + 9200$	$z \leq 22.0$ m: $421 \cdot z + 737$ $z > 22.0$ m: $150 \cdot z + 7000$	$229 \cdot z + 857$
$E'$ [kPa]	da 0.0 a 3.0 m: 3344 da 3.0 a 7.0 m: 2601 da 7.0 a 10.0 m: 3715 da 10.0 a 16.0 m: $186 \cdot z + 1858$ da 16.0 a 22.0 m: 6687 da 22.0 a 35.0 m: $200 \cdot z + 1915$ oltre 35.0 m: $59 \cdot z + 6836$	$z \leq 22.0$ m: $313 \cdot z + 548$ $z > 22.0$ m: $112 \cdot z + 5201$	$170 \cdot z + 637$
$E_u$ [kPa]	da 0.0 a 3.0 m: 31900 da 3.0 a 10.0 m: $1178 \cdot z + 15714$ da 10.0 a 16.0 m: 31350 da 16.0 a 22.0 m: $350 \cdot z + 48300$ da 22.0 a 35.0 m: $458 \cdot z + 57931$ oltre 35.0 m: 75000	$z \leq 22.0$ m: $1800 \cdot z + 21600$ $z > 22.0$ m: 74000	$999 \cdot z$

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-190: Z.O.F MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
E' [kPa]	$270 \cdot z + 6189$	$z \leq 25.0 \text{ m: } 833 \cdot z + 9167$ $z > 25.0 \text{ m: } 30000$	35000	50000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

**TABELLA 7-191: Z.O.F COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m<sup>2</sup>/s]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$1.5 \cdot 10^{-7}$	$3.5 \cdot 10^{-7}$	$1.8 \cdot 10^{-7}$

**TABELLA 7-192: Z.O.F COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1	Unità 2	Unità 6
$c_{\alpha\epsilon}$ [%]	0.2	0.2	0.4

## 7.26. PARAMETRI DI DEGRADO CICLICO

### 7.26.1. Degrado del modulo di taglio G e incremento delle caratteristiche di smorzamento

In Tabella 7-193 si riportano i valori dei parametri del modello di degrado ciclico delle unità di cui si disponevano di dati,  $R^2$  rappresenta il quadrato del coefficiente di correlazione della regressione lineare bilogarithmica. Nei grafici a seguire si riportano i risultati sperimentali riguardanti il degrado ciclico dei diversi materiali, sovrapposti al modello interpolante.

TABELLA 7-193: PARAMETRI DEL MODELLO DI DEGRADO CICLICO INTERPOLANTE (MODELLO IPERBOLICO MODIFICATO DI YOKOTA)

	Parametri di Yokota						$\gamma_i$ [%]	$\gamma_v$ [%]
	$\alpha$	$\beta$	$R^2$	$\lambda$	$D_{max}$	$R^2$		
<i>Unità 1</i>	18.17	0.97	0.804	-2.170	0.256	0.850	0.000440	0.016210
<i>Unità 2</i>	25.39	0.90	0.818	-2.184	0.245	0.844	0.000165	0.008074
<i>Unità 3</i>	17.73	0.85	0.950	-2.221	0.359	0.928	0.000158	0.009507
<i>Unità 4</i>	13.57	0.67	0.965	-3.166	0.321	0.845	0.000021	0.003917
<i>Unità 6</i>	14.88	0.88	0.781	-1.882	0.241	0.859	0.000250	0.013360

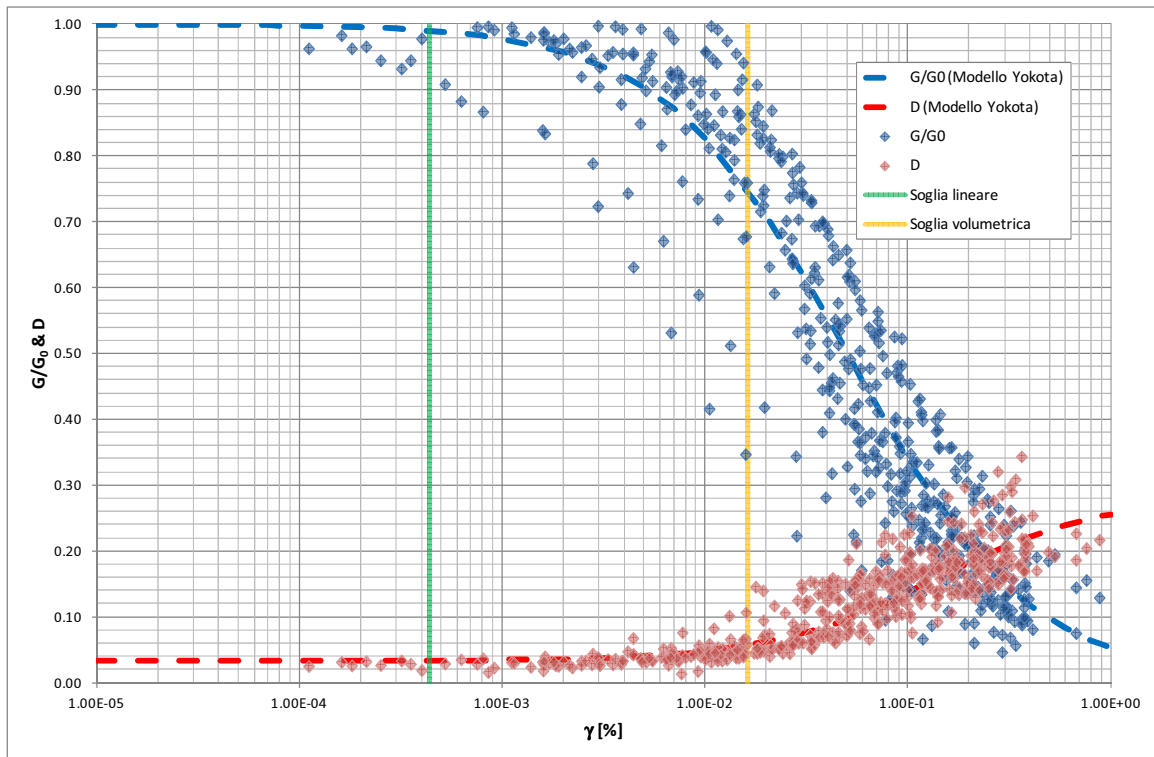


FIGURA 7-1: GRAFICO DI DEGRADO CICLICO - UNITÀ 1

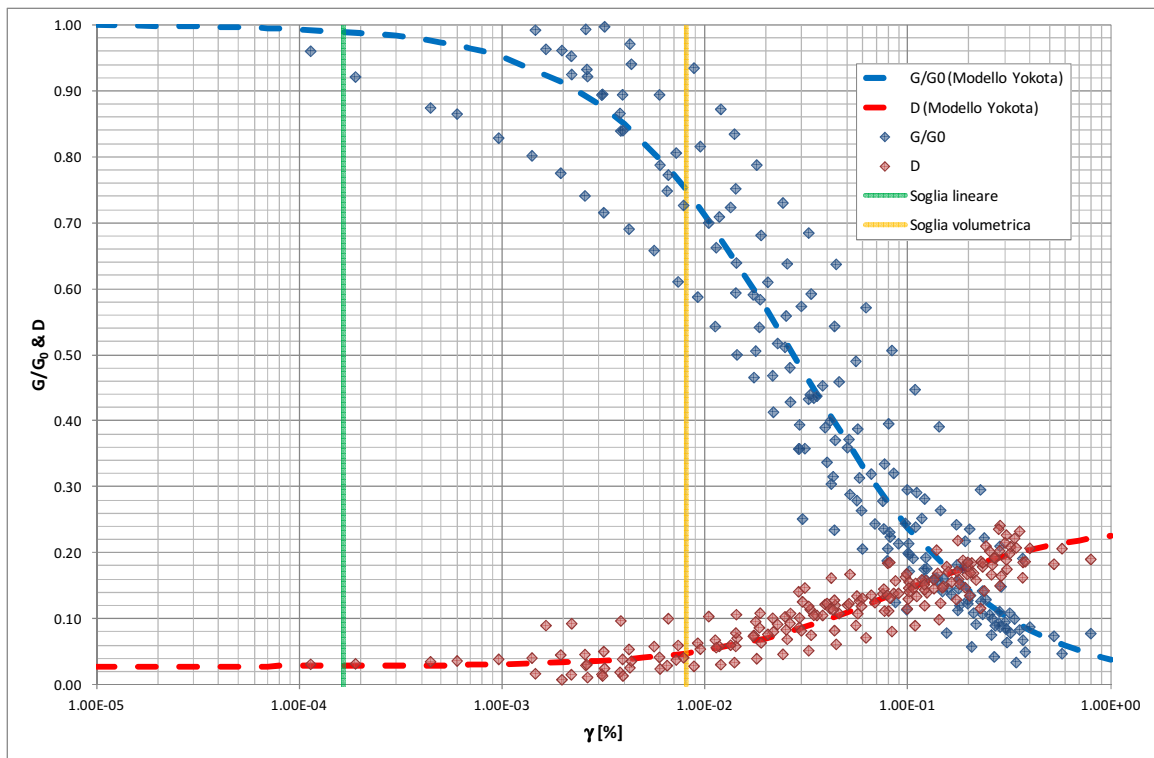


FIGURA 7-2: GRAFICO DI DEGRADO CICLICO - UNITÀ 2

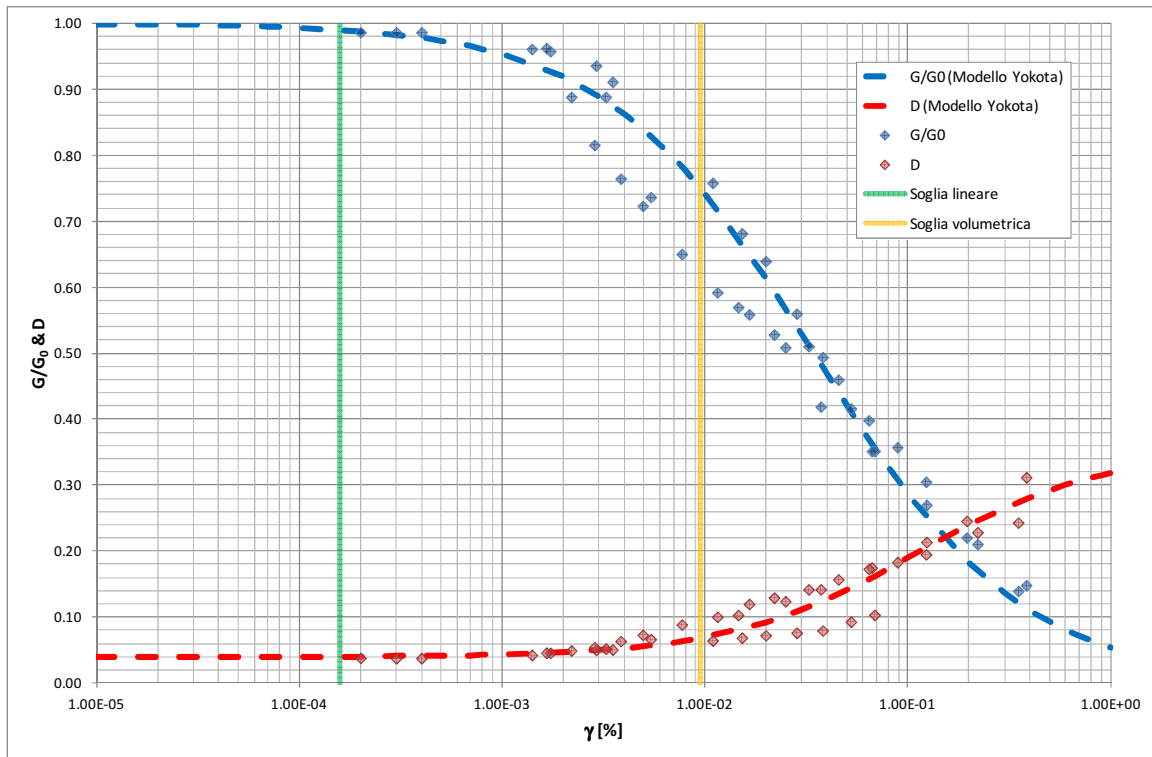


FIGURA 7-3: GRAFICO DI DEGRADO CICLICO - UNITÀ 3

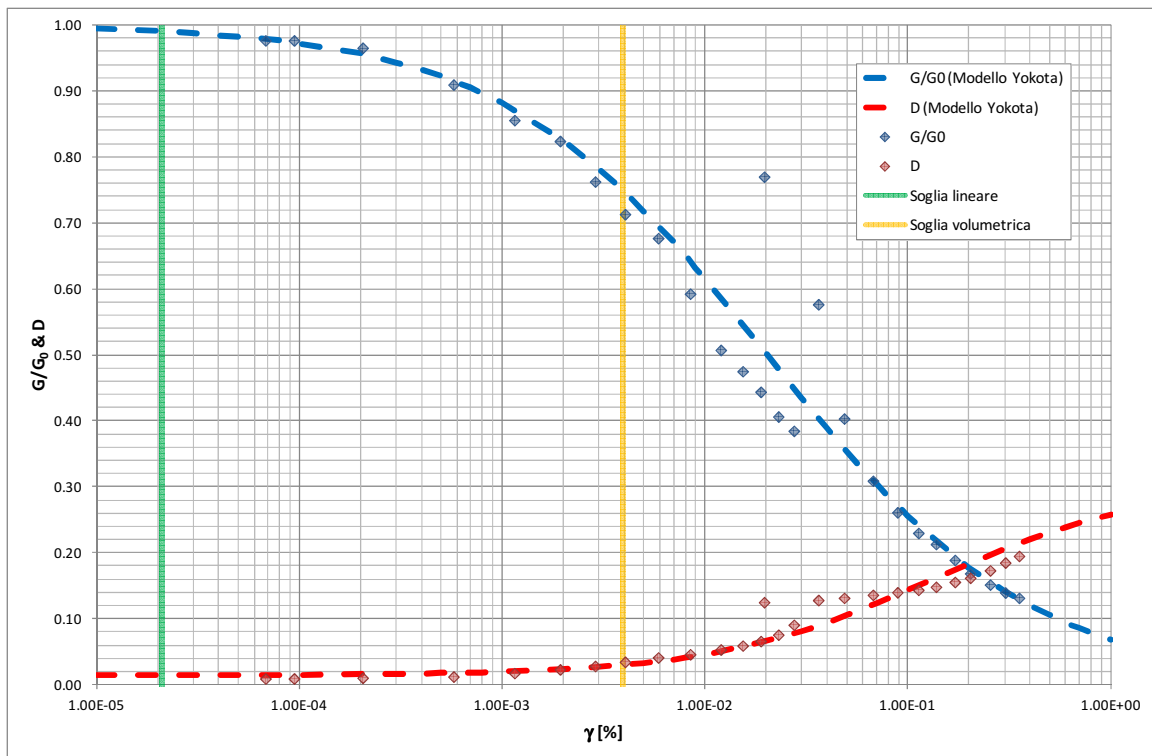
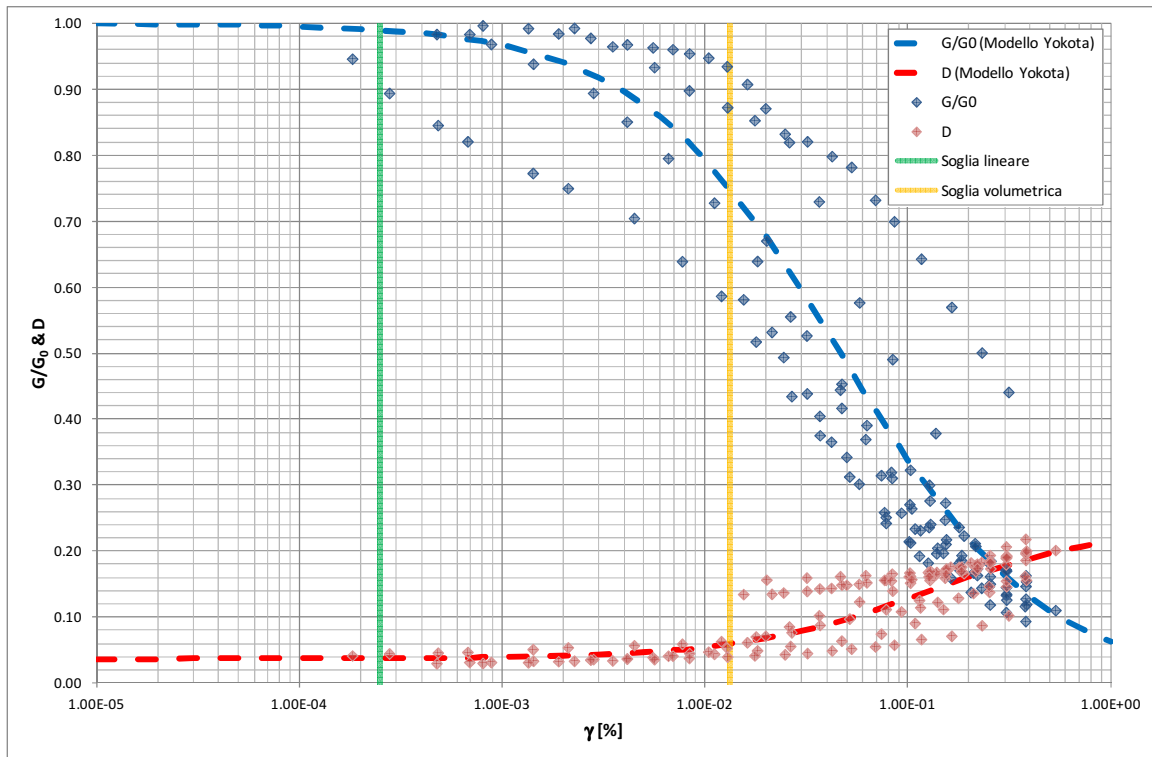


FIGURA 7-4: GRAFICO DI DEGRADO CICLICO - UNITÀ 4



**FIGURA 7-5: GRAFICO DI DEGRADO CICLICO - UNITÀ 6**

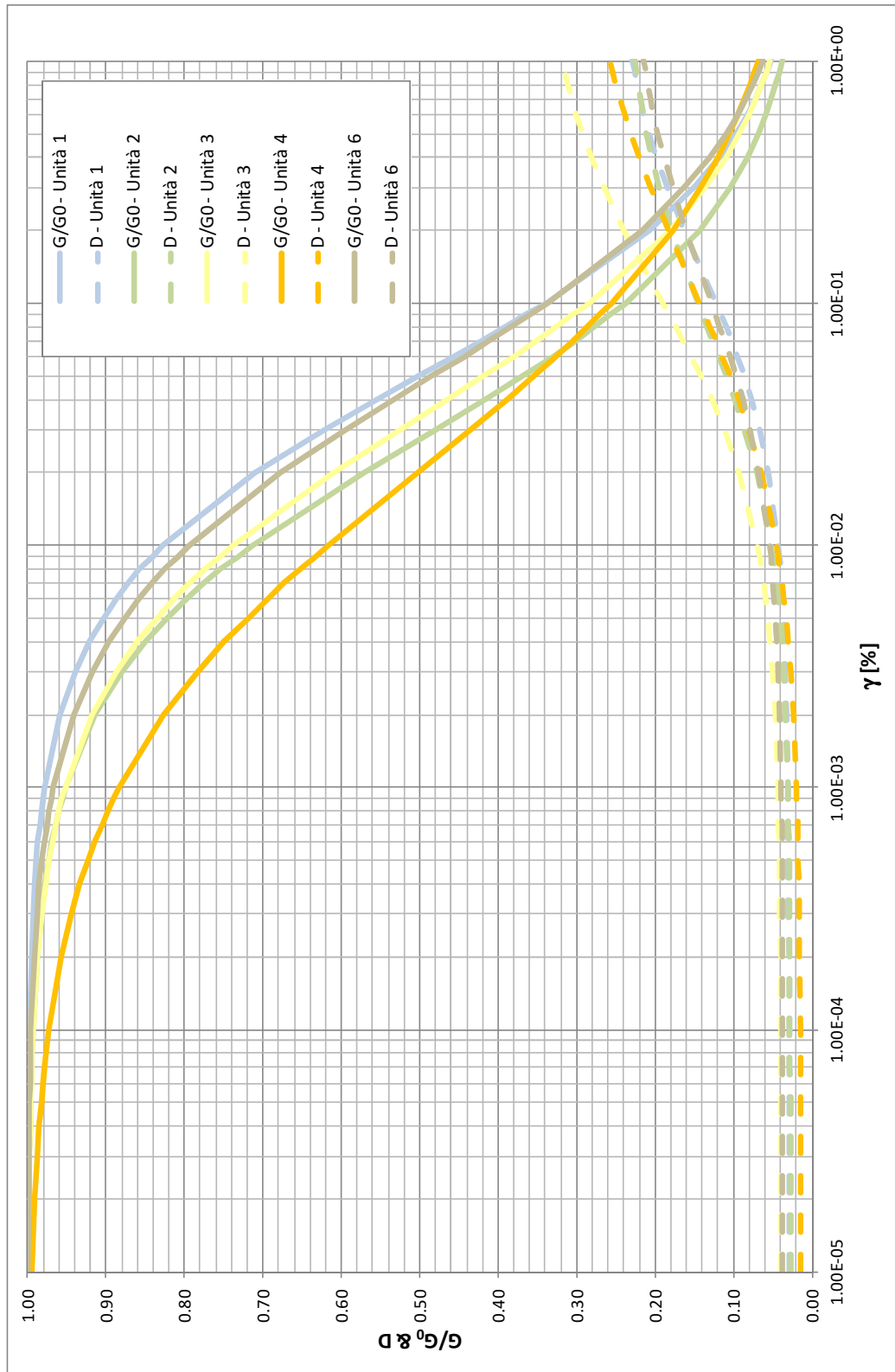


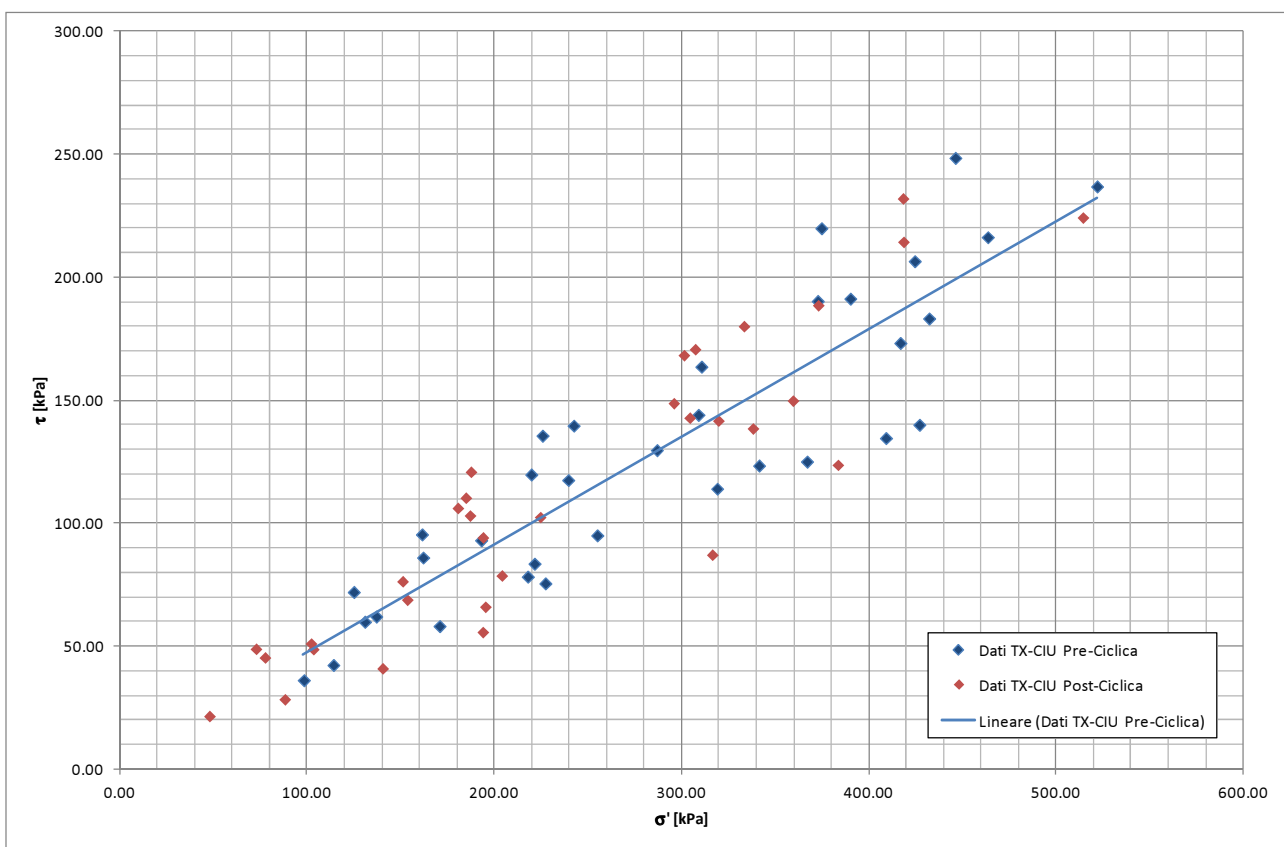
FIGURA 7-6: GRAFICO RIASSUNTIVO DELLE ELABORAZIONI EFFETTUATE



### 7.26.2. Degrado dei parametri di resistenza drenati

Di seguito si riportano i grafici di confronto tra le caratteristiche di resistenza in condizioni drenate in per test eseguiti staticamente su provini ordinari e su provini preventivamente sottoposti a cicli di carico.

Dai risultati di seguito riportati è possibile affermare che non vi sono significativi fenomeni di degrado dei parametri di resistenza drenati, gli effetti più marcati si evidenziano esclusivamente nell'Unità 6.



**FIGURA 7-7: DIAGRAMMA  $\sigma'$ - $\tau$  PRE- E POST-CICLICO - UNITÀ 1**

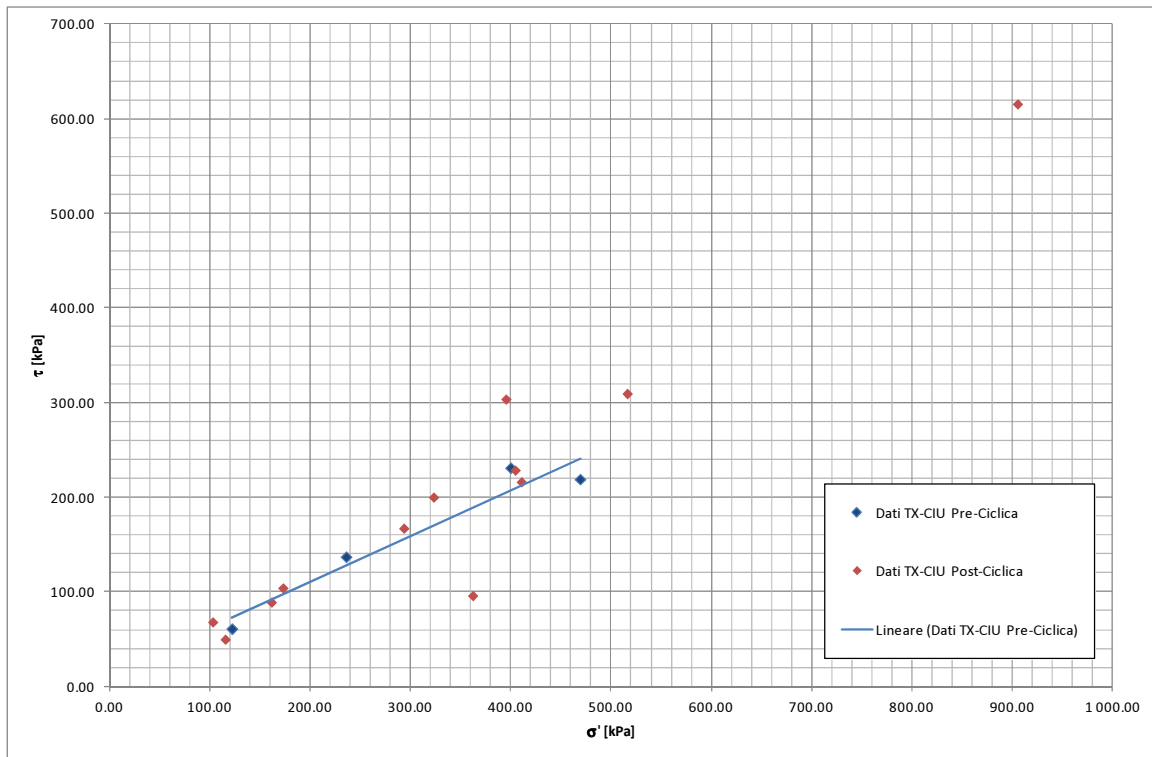


FIGURA 7-8: DIAGRAMMA  $\sigma'$ - $\tau$  PRE- E POST-CICLICO - UNITÀ 2

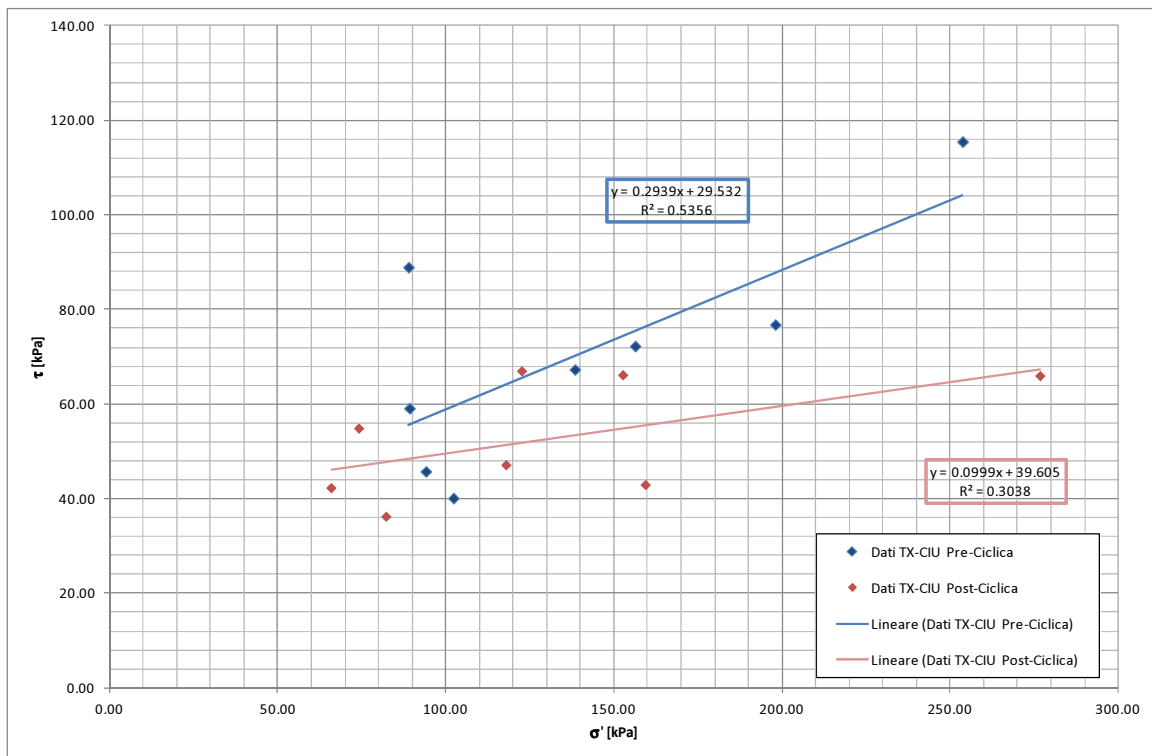


FIGURA 7-9: DIAGRAMMA  $\sigma'$ - $\tau$  PRE- E POST-CICLICO - UNITÀ 6