



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

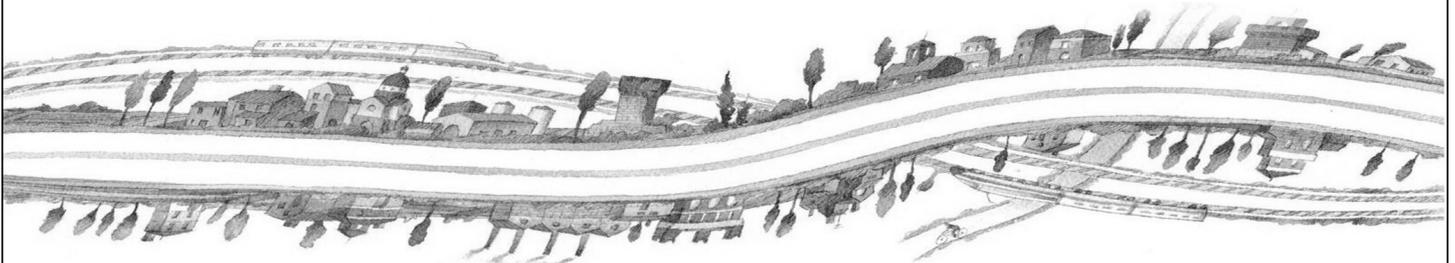
CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

**VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE  
D01 (EX 1PR) RIQUALIFICAZIONE DELLA SP N° 72 "PARMA-MEZZANI"  
GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA**

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA



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: _
4729	PD	0	D01	D0000	0	GT	RB	01	A	



## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
2.1. NORMATIVA .....	3
2.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO .....	3
2.3. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO .....	4
<b>3. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DI LABORATORIO .....</b>	<b>5</b>
3.1. INDAGINI IN SITO.....	5
3.2. PROVE DI LABORATORIO .....	6
<b>4. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA.....</b>	<b>8</b>
<b>5. DEFINIZIONE DEI LIVELLI PIEZOMETRICI .....</b>	<b>9</b>
5.1. DATI PIEZOMETRICI DISPONIBILI.....	9
5.1.1. Rete di monitoraggio della falda "ipodermica" .....	9
5.2. DEFINIZIONE DELLA FALDA DI PROGETTO.....	12
<b>6. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>14</b>
<b>7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>15</b>
7.1. PREMESSA.....	15
7.2. DESCRIZIONE DEL PROFILO E CARATTERIZZAZIONE .....	16
<b>8. TRATTAMENTO DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE.....</b>	<b>20</b>
8.1. CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEGLI SPESSORI DI BONIFICA AL DI SOTTO DEI RILEVATI.....	20
8.2. SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE .....	20
8.3. LIVELLO PRESTAZIONALE PIANO DI POSA DEI RILEVATI .....	21
8.4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI .....	21
8.5. EFFETTI DELLA VARIAZIONE DELLO SPESSORE DI BONIFICA E DEL RELATIVO MODULO ELASTICO .....	22
8.6. STUDIO DELLA STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE .....	23

## **1. PREMESSA**

---

Nell'ambito delle attività di progettazione previste per la redazione del Progetto Definitivo di Autostrada Regionale Cispadana dal casello di Reggiolo-Rolo su A22 al casello di Ferrara Sud su A13, il presente documento illustra i dati disponibili ed i criteri generali utilizzati per la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dal progetto della viabilità di adduzione D01 (ex 1PR) Riqualificazione della SP n° 72 "Parramezzani".

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;
- verifiche geotecniche.

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

---

### **2.1. NORMATIVA**

---

Le normative di riferimento sono riportate nell'elaborato:

- PD\_0\_0000\_0000\_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:

- D01 (ex 1PR) Riqualificazione della SP n° 72 "Parma-Mezzani" - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_D01\_D0001\_0\_GT\_PG\_01;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 1/1 - scala 1:10.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_01;
- Profilo geotecnico D01 (ex 1PR) Riqualificazione della SP n° 72 "Parma-Mezzani" - scala 1:5.000/1:200  
Cod. PD\_0\_D01\_D0001\_0\_GT\_FT\_01.

Ai fini del presente studio, si è fatto inoltre riferimento ai seguenti documenti, inerenti le attività propedeutiche alla progettazione:

- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 1 - Relazione illustrativa  
Cod. PD\_0\_X01\_X0000\_0\_IS\_RG\_00;
- 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;
- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 1 - Prove di laboratorio su campioni prelevati da pozzetti esplorativi  
Cod. PD\_0\_X01\_X0000\_0\_IL\_CF\_02.

### 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 campagna indagini eseguita a partire dal luglio 2011 (nel seguito definita 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. 5 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), eseguite da Geo-service srl di Casagiove (CE), spinte a profondità comprese tra 17 m e 21 m circa da piano campagna. Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche sono state effettuate prove di dissipazione sia negli orizzonti incoerenti sia coesivi;
- n. 5 pozzetti esplorativi (PZ), eseguiti da Geo-service srl di Casagiove (CE), eseguiti fino a 2,5 metri di profondità da piano campagna.  
 Durante l'esecuzione dei sondaggi sono inoltre state effettuate le seguenti attività:
  - prelievo di campioni rimaneggiati di terreno;
  - esecuzione di prove di carico su piastra.

Un riepilogo delle indagini geognostiche precedentemente descritte è riportato da Tabella 3-1 a Tabella 3-2; 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 DELLE PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1PR-CPTU1	Prova penetrometrica	1609319,150	4969308,083	29,141
1PR-CPTU2	Prova penetrometrica	1609626,755	4969599,577	29,100
1PR-CPTU3	Prova penetrometrica	1610549,951	4971660,550	26,818
1PR-CPTU4	Prova penetrometrica	1610901,168	4971975,708	25,767
1PR-CPTU5	Prova penetrometrica	1611234,986	4972426,738	25,469

**TABELLA 3-2: QUADRO RIASSUNTIVO DEI POZZETTI ESPLORATIVI ESEGUITI**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1PR-PZ1	Pozzetto esplorativo	1609400,345	4969402,870	29,734
1PR-PZ2	Pozzetto esplorativo	1609525,828	4969525,954	28,774
1PR-PZ3	Pozzetto esplorativo	1610649,098	4971852,965	26,466
1PR-PZ4	Pozzetto esplorativo	1610898,922	4971970,570	25,781
1PR-PZ5	Pozzetto esplorativo	1611234,689	4972429,292	25,474

I certificati delle indagini geognostiche in sito realizzate nella campagna indagini di Progetto Definitivo, sono riportate nei documenti inerenti le attività propedeutiche alla progettazione, ed elencati al paragrafo 2.2 del presente documento.

### 3.2. PROVE DI LABORATORIO

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).

I certificati delle prove di laboratorio sono riportati nei documenti elencati al paragrafo 2.2 del presente documento.

## 4. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA

---

Il profilo geologico-geotecnico, ottenuto dall'interpretazione delle indagini geognostiche (*"Profilo geotecnico D01 (ex 1PR) Riqualificazione della SP n° 72 "Parma-Mezzani"*) doc. PD\_0\_D01\_D0001\_0\_GT\_FT\_01). L'intera profondità indagata lungo tutta la tratta in progetto è caratterizzata dalla presenza di depositi di piana alluvionale che sono stati suddivisi nelle 6 unità stratigrafiche descritte in seguito:

- 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 ocra, 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 rinvengono 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 rinvengono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media 10÷15 MPa,  $D_r = 50\% \div 70\%$ .

## **5. DEFINIZIONE DEI LIVELLI PIEZOMETRICI**

---

### **5.1. DATI PIEZOMETRICI DISPONIBILI**

---

Nel corso della campagna indagine realizzata a supporto della progettazione Definitiva, lungo la viabilità 1PR non sono state installate verticali piezometriche, poiché l'intervento è di estensione piuttosto limitata e non vi sono opere significative.

Non sono pertanto disponibili dati recenti relativi al monitoraggio dei livelli idrici superficiali.

#### **5.1.1. Rete di monitoraggio della falda "ipodermica"**

Al fine di valutare la soggiacenza della falda da assumere in progetto, sono stati analizzati i risultati della una 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 3m, monitorati in continuo.

La distribuzione della rete di monitoraggio è molto ampia, anche se con una densità di punti piuttosto bassa e nessun punto di monitoraggio ricade nelle immediate vicinanze del tracciato 1PR, come si evince dalla planimetria generale riportata in Figura 5-1.

I primi punti che possono essere considerati di interesse per il presente studio sono quelli ubicati a sud del tracciato tra Torrile e Parma (Pozzetto denominato 04PR - Figura 5-2), nelle vicinanze dell'abitato di Gattatico (Pozzetto denominato 10RE - Figura 5-3) e Poviglio (Pozzetto denominato 02RE - Figura 5-4).

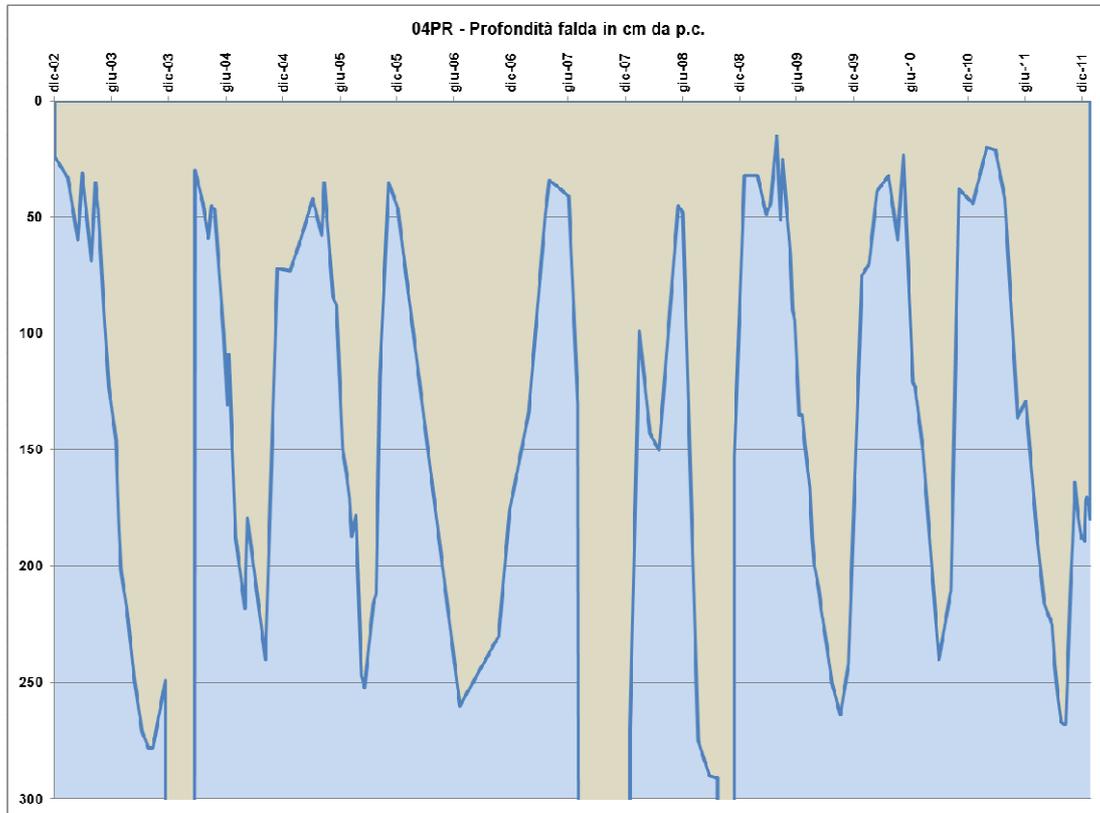


**FIGURA 5-1. UBICAZIONE PLANIMETRICA DEI POZZETTI DI MONITORAGGIO DELLA FALDA “IPODERMICA” (NON IN SCALA)**

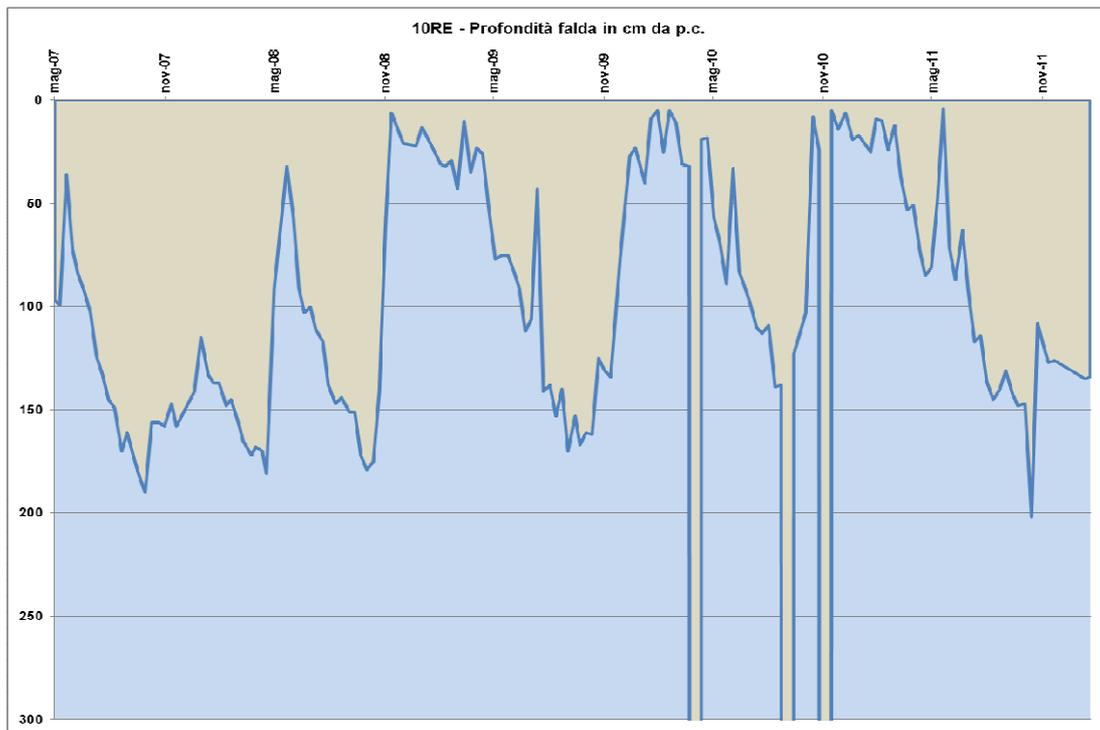
Come mostrano i grafici riportati nelle seguenti Figura 5-2, Figura 5-3 e Figura 5-4, le serie storiche dei pozzetti monitorati mostrano frequentemente, nei periodi invernali e primaverili, livelli freatici spesso prossimi al piano di campagna. Non di rado infatti si osservano livelli freatici a 0,30÷0,50 m di profondità dal piano di campagna, con quota talora anche più elevate.

I dati riportati, unitamente alle informazioni raccolte presso la popolazione locale, evidenziano che la falda freatica presenta una soggiacenza alquanto variabile, anche se generalmente entro i primi metri dal piano di campagna.

Le escursioni stagionali del livello idrico possono essere molto ampie: in particolare, durante le stagioni caratterizzate da intensi fenomeni piovosi la quota della falda può salire, in brevissimo tempo, fino a sfiorare il piano campagna.



**FIGURA 5-2. LIVELLO DI FALDA MISURATO NEL POZZETTO 04PR DAL 04-12-2002 AL 31-12-2011**



**FIGURA 5-3. LIVELLO DI FALDA MISURATO NEL POZZETTO 10RE DAL 22-05-2007 AL 10-02-2012**

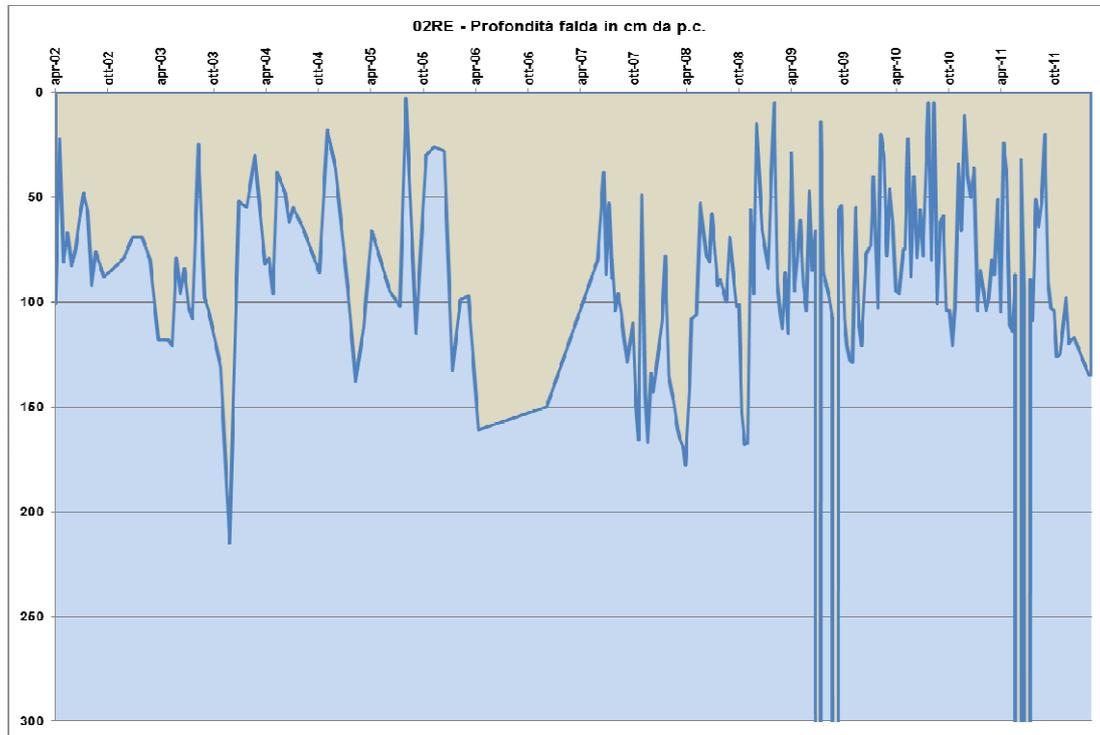


FIGURA 5-4. LIVELLO DI FALDA MISURATO NEL POZZETTO O2RE DAL 03-04-2002 AL 10-02-2011

## 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.

- **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 ai dati della rete di monitoraggio della regione Emilia Romagna della falda "ipodermica", che non di rado mostra nei periodi invernali livelli freatici a 0,30÷0,50 m di profondità dal piano di campagna, si ritiene di assumere:

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

Bisognerà porre particolare attenzione affinché eventuali strati funzionali della sovrastruttura stradale non costituiscano vie preferenziali di infiltrazione lungo lo sviluppo dei sottopassi.

- **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**

---

Per i criteri adottati nella caratterizzazione geotecnica si rimanda al medesimo capitolo dell'elaborato PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_01.

## **7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

---

### **7.1. PREMESSA**

---

Il presente capitolo riporta la caratterizzazione geotecnica delle principali unità litostratigrafiche individuate lungo il tratto stradale in esame, basata sui risultati:

- delle indagini geognostiche eseguite (capitolo 3);
- 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.

Si segnala che, in riferimento all'unità superficiale R individuata nel profilo geotecnico, ai fini delle analisi geotecniche l'unità R è stata assimilata all'unità 1.

L'analisi del profilo stratigrafico sulla base delle unità litostratigrafiche suddette ha permesso di riconoscere, per l'intero tratto in progetto, l'esistenza di caratteristiche geologico-geotecniche sostanzialmente uniformi.

## 7.2. DESCRIZIONE DEL PROFILO E CARATTERIZZAZIONE

Al di sotto di un primo strato di spessore pari a circa 15 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1) si rinvencono depositi di natura limoso-sabbiosi (unità 2) fino a circa 20 metri di profondità, con intercalate lenti di spessore metrico di sabbia limosa poco addensata (unità 3). Oltre i 20 metri sono presenti alternanze di depositi di natura argilloso-limosa (unità 1) e sabbie limose poco addensate (unità 3) o localmente 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.

Per l'unità 2 che può mostrare 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.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate desumibili dalle prove CPTU effettuate.

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

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

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

**TABELLA 7-2: COESIONE NON DRENATA [kPa]**

	Unità 1	Unità 2
$c_u$ [kPa] (*)	da 0.0 a 10.0 m: 60 ÷ 100 oltre 10.0: 40 ÷ 100	100 ÷ 120

(\*) = 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: PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE**

	Unità 1	Unità 2
$c'$ [kPa] (*)	n.d.	n.d.
$\varphi'$ [°] (*)	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la viabilità 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 7-4: ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4
$\varphi'$ [°] (*)	28 ÷ 30	30 ÷ 32	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: MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [MPa]**

	Unità 1	Unità 2
M [MPa]	7000	15000
E' [MPa]	5000	11000
E <sub>u</sub> [MPa]	n.d.	n.d.

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

**TABELLA 7-6: MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [MPa]**

	Unità 2	Unità 3	Unità 4
E' [MPa]	15000	30000	40000

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

	Unità 1	Unità 2
c <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> /s]	n.d.	n.d.

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

**TABELLA 7-8: COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]**

	Unità 1	Unità 2
c <sub>α</sub> [%]	n.d.	n.d.

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

## 8. TRATTAMENTO DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE

### 8.1. CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEGLI SPESSORI DI BONIFICA AL DI SOTTO DEI RILEVATI

Per quanto concerne i criteri per la definizione del piano di posa dei rilevati/trincee si rimanda all'elaborato PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_02 "Criteri generali verifiche geotecniche".

### 8.2. SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE

Lo schema generale delle bonifiche effettuate al piano di posa dei rilevati è riportato nella figura seguente.

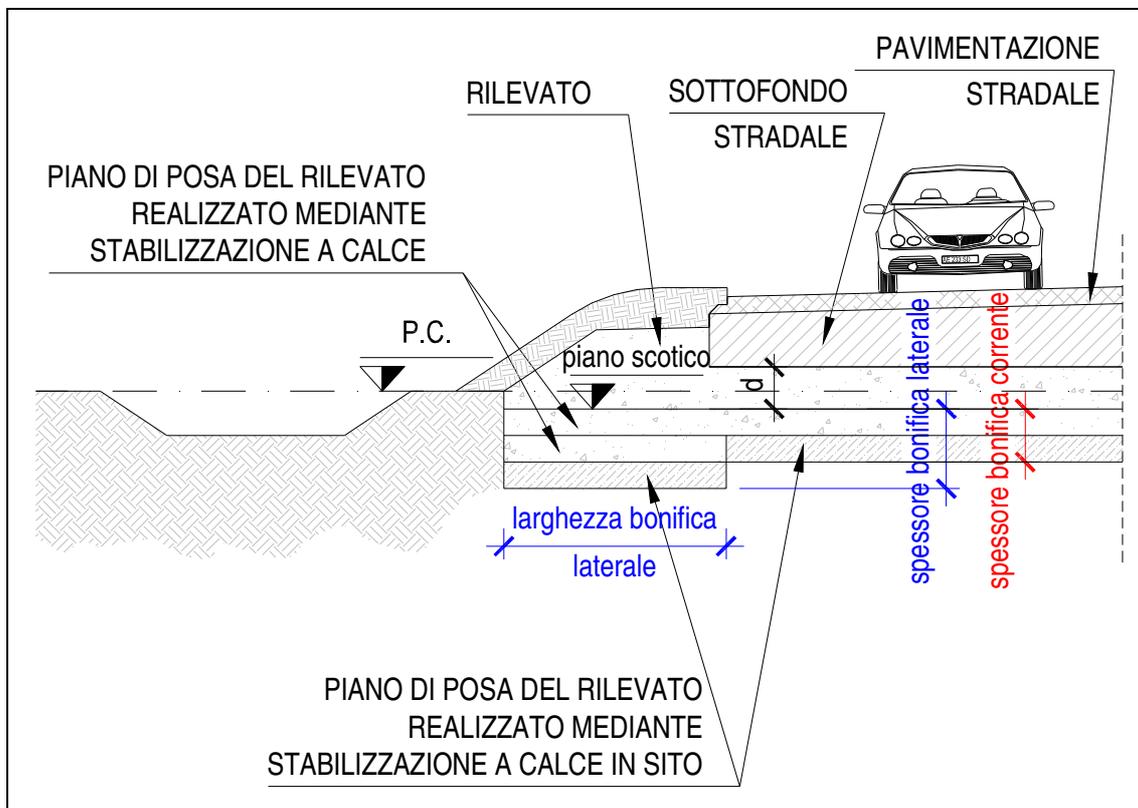


FIGURA 8-1: SCHEMA GENERALE BONIFICHE.

### 8.3. LIVELLO PRESTAZIONALE PIANO DI POSA DEI RILEVATI

Nella tabella seguente sono riportati, per il singolo tratto individuato sulla base della distanza prevalente intradosso fondazione/sottofondo stradale – piano di posa rilevato:

- le pk di inizio e fine;
- il livello prestazionale in termini di valore del modulo di deformazione su piastra  $M_d$  richiesto in funzione della distanza "d" considerata.

TABELLA 8-1: LIVELLI PRESTAZIONALI MINIMI DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE.

Tratto	pk inizio [km]	pk fine [km]	d [m]	$M_{d\text{-richiesto}}$ [MPa]
/	/	/	0.0	50

### 8.4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

Per quanto riguarda le caratteristiche del materiale utilizzato per lo strato di bonifica vengono ipotizzati valori del modulo elastico variabili nell'intervallo  $E_1 = 30.0 \div 75.0$  MPa.

Per la determinazione del modulo elastico  $E_0$  attribuito al terreno di sottofondo nelle elaborazioni numeriche atte a simulare la prova di carico su piastra all'estradosso dello strato di bonifica con il criterio di Burmister, si è fatto principalmente riferimento ai risultati delle prove di carico su piastra in termini di modulo di deformazione  $M_d$  condotte nella campagna di indagine di progetto definitivo (vedi paragrafo 3.1).

Tale modulo  $E_0 = E_{PLT}$  è ricavato sulla base del modulo di deformazione su piastra dei pozzetti di riferimento per il singolo tratto secondo quanto riportato nell'elaborato PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_02 "Criteri generali verifiche geotecniche".

Nella tabella seguente sono riportati, per il singolo tratto individuato sulla base della distanza prevalente intradosso fondazione/sottofondo stradale – piano di posa rilevato (vedi Tabella 8-1):

- il modulo elastico  $E_0 = E_{PLT}$  assunto nelle elaborazioni.

**TABELLA 8-2: TERRENO NATURALE – MODULO ELASTICO ASSUNTO NELLE ELABORAZIONI.**

Tratto	$E_{PLT} = E_0$ [MPa]
/	4.6

## 8.5. EFFETTI DELLA VARIAZIONE DELLO SPESSORE DI BONIFICA E DEL RELATIVO MODULO ELASTICO

Al variare dello spessore di bonifica "s" e del relativo modulo elastico (da 30.0 MPa a 75 MPa) sono state ricavate le curve corrispondenti al valore del modulo su piastra equivalente  $M_d$  misurato all'estradosso della bonifica, ovvero al piano di posa del rilevato, definite secondo il criterio di Burmister.

Tale range di modulo elastico della bonifica si ritiene compatibile con terreno stabilizzato a calce.

I risultati delle analisi vengono riassunti nella tabella seguente in termini di:

- spessore corrente dello strato di bonifica;

da assumere al fine di raggiungere il livello prestazionale richiesto per il piano di posa del rilevato; per ogni tratto è inoltre indicato il riferimento alla figura che mostra l'analisi condotta con il criterio di Burmister.

Viene inoltre indicato:

- lo spessore di bonifica ai lati del piano di posa del rilevato che risulta, in genere, approfondito rispetto alla bonifica corrente e la relativa larghezza (vedi schema riportato in Figura 8-1).

**TABELLA 8-3: SPESSORI DI BONIFICA LUNGO IL TRACCIATO.**

Tratto	Spessore bonifica corrente [m]	Spessore bonifica laterale [m]	Larghezza bonifica laterale [m]	Analisi di Burmister
/	0.6	0.9	2.5	Figura 8-2

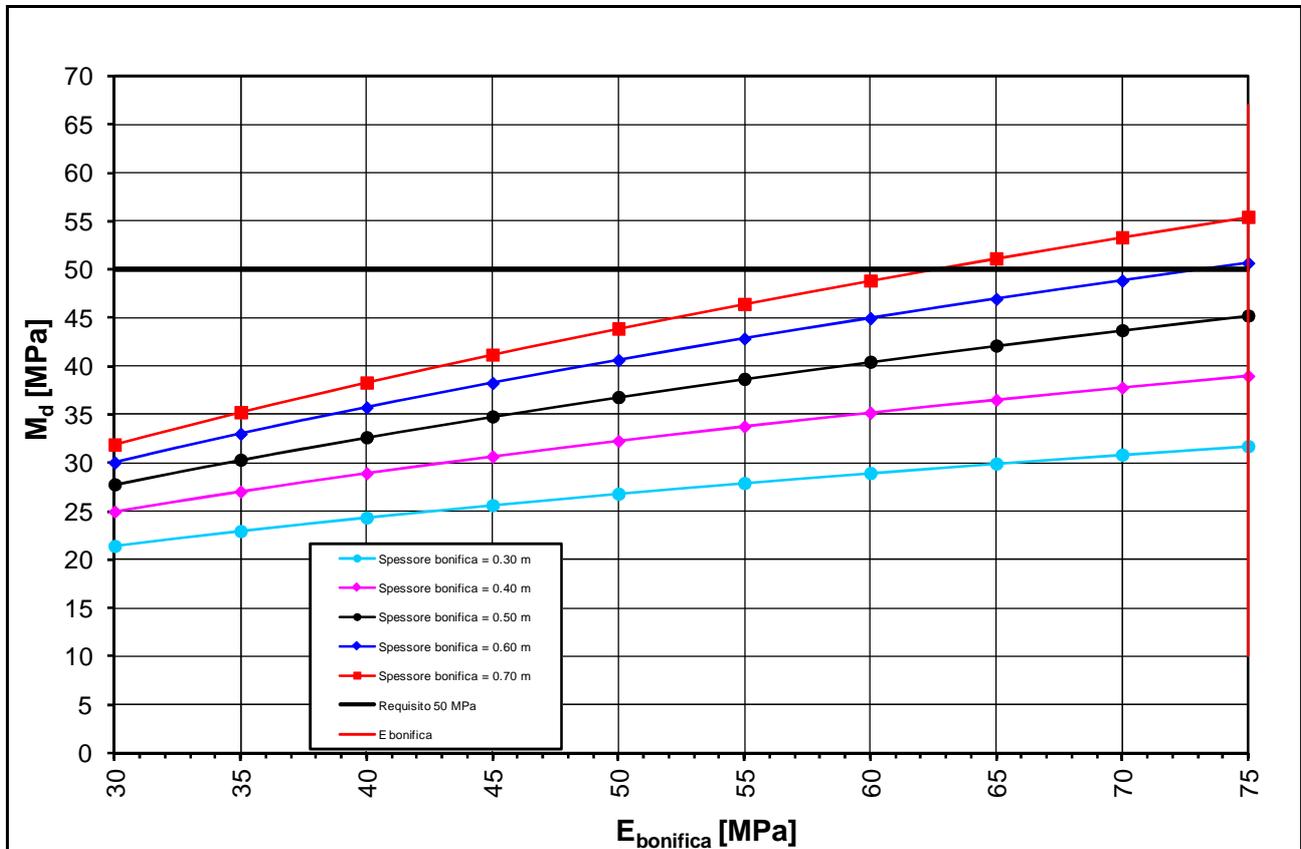


FIGURA 8-2: DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.

## 8.6. STUDIO DELLA STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE

A seguito dell'analisi dei certificati di laboratorio inerenti lo studio delle miscele terreno naturale + calce (CaO) (vedi elaborati inerenti le indagini di laboratorio riportate nel paragrafo 2.3), è stata verificata la sostanziale idoneità dei terreni presenti al piano di posa dei rilevati ad essere stabilizzati a calce.

Nella tabella seguente sono riportati:

- la percentuale di calce da adottare nelle miscele terreno naturale + calce (CaO) per la formazione del piano di posa dei rilevati/trincee (bonifiche);
- le pk di inizio e fine di riferimento per la singola percentuale di calce.

**TABELLA 8-4: INDICAZIONI IN MERITO ALLA %CaO DA ADOTTARE NELLA STABILIZZAZIONE.**

pk inizio [km]	pk fine [km]	% calce viva (CaO) per stabilizzazione
/	/	4.5

## 9. VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Tale capitolo è finalizzato alla stima dell'occorrenza dei fenomeni di liquefazione del tratto di viabilità di adduzione in oggetto; in particolare si sono utilizzati i risultati provenienti da prove penetrometriche con piezocono eseguite durante la campagna d'indagine.

La verifica a liquefazione è stata articolata nelle seguenti fasi:

- analisi dei dati di pericolosità sismica finalizzata all'individuazione dei parametri di pericolosità ( $a_g$  e  $M_w$ ) variabili a seconda della vita nominale dell'opera, della categoria di sottosuolo e del comune in cui è stata eseguita la verticale di indagine;
- verifica preliminare di suscettibilità alla liquefazione, mediante la classificazione riportata nel paragrafo 7.11.3.4.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008);
- verifiche di sicurezza, mediante metodi semplificati, atte a fornire l'andamento del coefficiente di sicurezza alla liquefazione (FL) con la profondità ed il relativo Indice del potenziale di liquefazione IL;
- individuazione delle verticali d'indagine che presentano elevato potenziale di rottura (indicativamente  $IL > 5$ ) e conseguente stima dei possibili cedimenti permanenti dei terreni granulari liquefacibili.

Le elaborazioni sono state condotte secondo quanto riportato nell'elaborato PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_02.

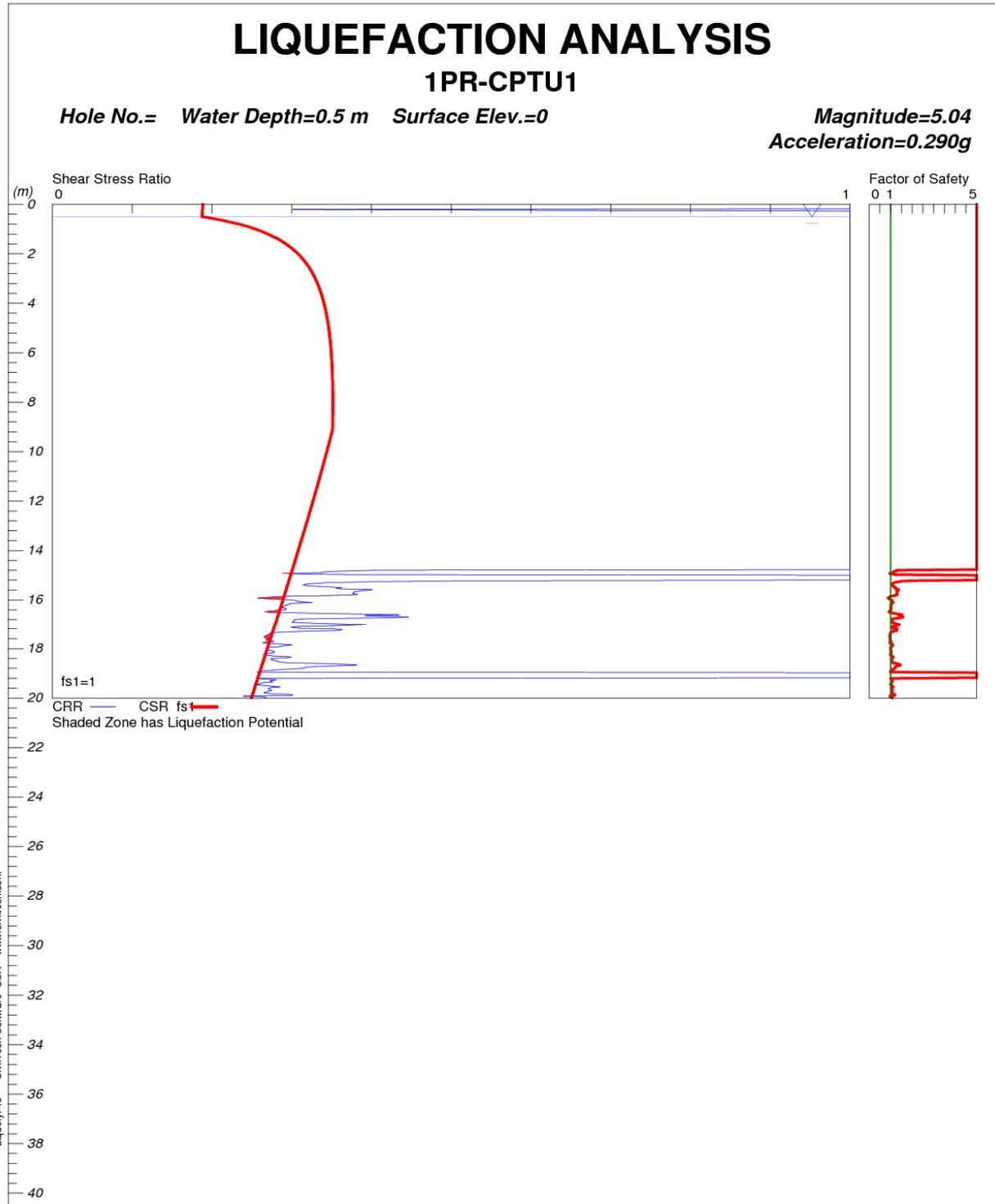
In **TABELLA 8-5** vengono riportati i parametri di pericolosità sismica adottati ed i valori dell'Indice del potenziale di liquefazione calcolato per ogni verticale di indagine.

**TABELLA 8-5: PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA E INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.**

		n° CPTU	Vita Nominale [anni]	Classe d'uso	Categoria di sottosuolo	Comune	Magnitudo	$a_{max}/g$	Falda m da p.c.	Potenziale di liquefazione (IL)
1PR	1	CPTU 1	50	III	D	Parma (PR)	5.04	0.290	0.5	0.04
		CPTU 2	50	III	D	Parma (PR)	5.04	0.290	0.5	0.01

In generale tutte le verticali presentano un valore di IL pressoché nullo; pertanto la probabilità di occorrenza del fenomeno di liquefazione è da considerarsi molto bassa.

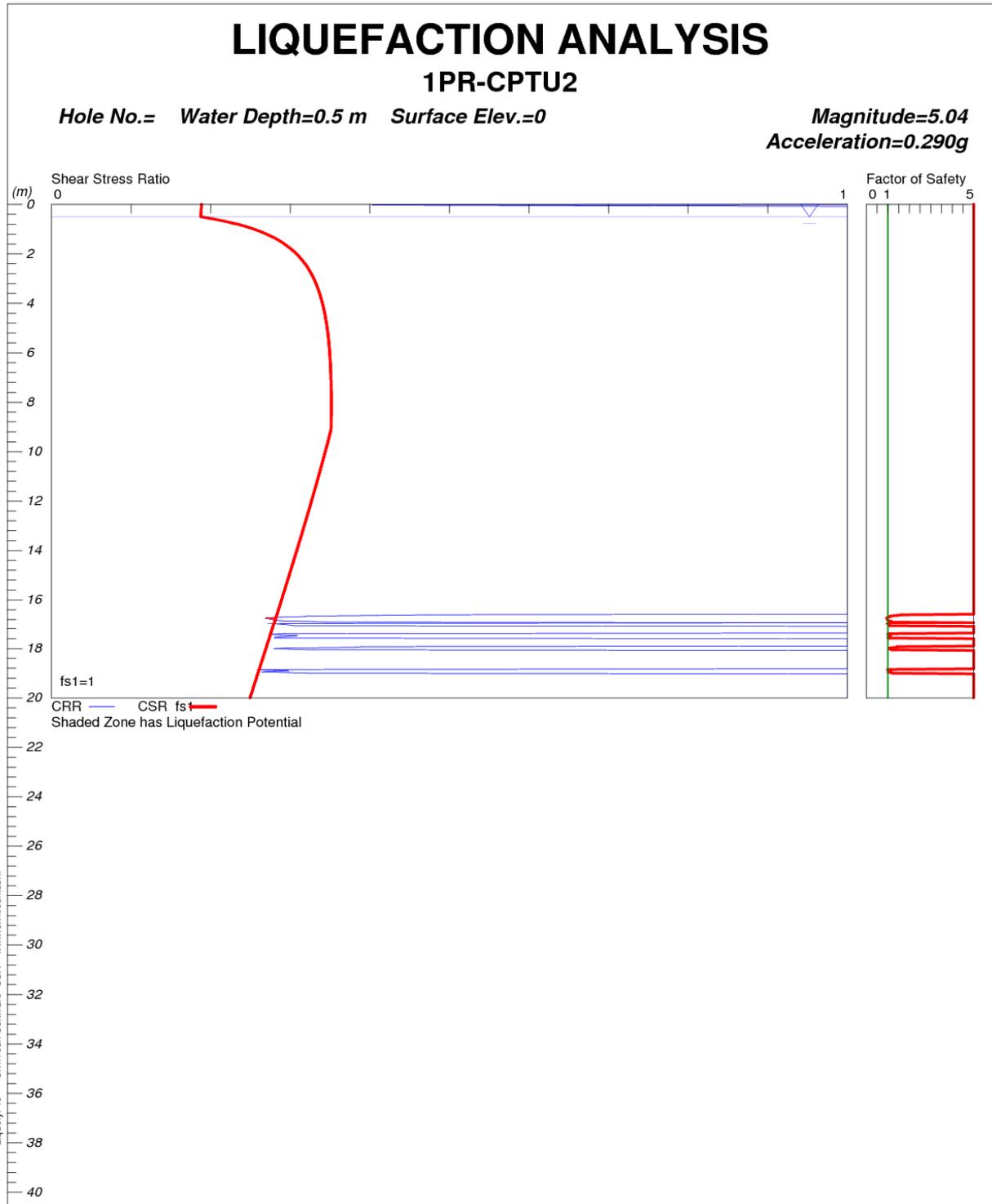
Nelle seguenti figure seguenti sono riportati gli andamenti del coefficiente di sicurezza alla liquefazione con la profondità per le varie verticali di indagine.



CivilTech Corporation Autostrada Regionale Cispadana - Viabilità di addu

Plate A-1

FIGURA 8-3: 1PR CPTU1 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE.



CivilTech Corporation Autostrada Regionale Cispadana - Viabilità di addu

Plate A-1

FIGURA 8-4: 1RE CPTU1 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE.