



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

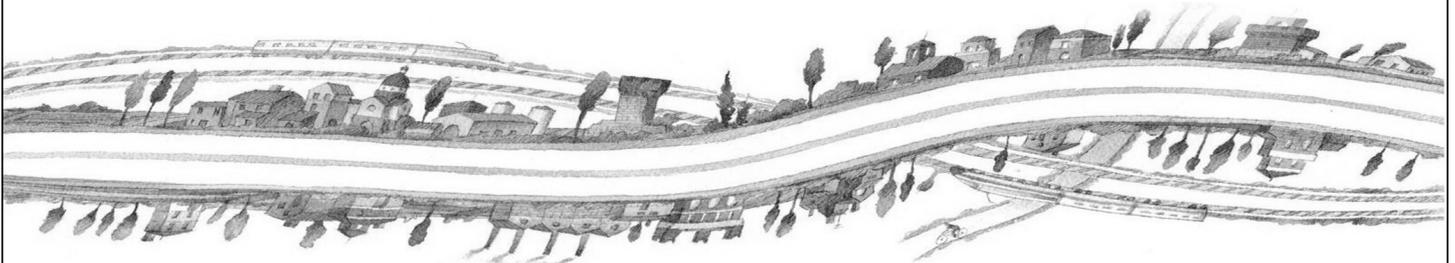
CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

**VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE  
D04-08 (EX 1FE) RACCORDO BONDENO - CENTO - AUTOSTRADA CISPADANA  
GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA**

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA D07 (EX 1FE TRATTO A1)



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: _
5253	PD	0	D07	D0000	0	GT	RB	01	A	



## INDICE

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>4</b>
2.1. NORMATIVA .....	4
2.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO .....	4
2.3. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO .....	4
<b>3. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DI LABORATORIO</b> .....	<b>6</b>
3.1. INDAGINI IN SITO.....	6
3.2. PROVE DI LABORATORIO .....	7
<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. Monitoraggio piezometrico .....	9
5.1.2. Rete di monitoraggio della falda "ipodermica" .....	9
5.2. DEFINIZIONE DELLA FALDA DI PROGETTO.....	10
<b>6. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>12</b>
<b>7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>13</b>
7.1. PREMESSA.....	13
7.2. ZONA OMOGENEA 1.....	14
<b>8. VERIFICHE DI STABILITÀ NEI CONFRONTI DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE</b> .....	<b>18</b>
<b>9. CLASSI DI ESPOSIZIONE PER OPERE DI FONDAZIONE</b> .....	<b>19</b>
<b>10. TRATTAMENTO DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE</b> .....	<b>20</b>
10.1. CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEGLI SPESSORI DI BONIFICA AL DI SOTTO DEI RILEVATI.....	20
10.2. SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE .....	20
10.3. LIVELLO PRESTAZIONALE PIANO DI POSA DEI RILEVATI .....	21
10.4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI .....	21
10.5. EFFETTI DELLA VARIAZIONE DELLO SPESSORE DI BONIFICA E DEL RELATIVO MODULO ELASTICO .....	22
10.6. STUDIO DELLA STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE .....	24



<b>11. APPENDICE 1 - GRAFICI CARATTERISTICHE FISICHE, DI DEFORMABILITÀ, DI RESISTENZA AL TAGLIO E DI CONSOLIDAZIONE.....</b>	<b>25</b>
11.1. ZONA OMOGENEA 1.....	25
11.1.1. Interpretazione prove CPTU.....	25

## **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 D07 (ex 1FE tratto A1) raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana nella tratta che si sviluppa per una lunghezza di circa 3 km a Est dell'abitato di Renazzo, comune di Cento (FE).

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\_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.

### **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:

- Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - D07 (ex 1FE tratto A1) - scala 1:5.000 - PD\_0\_D07\_D0000\_0\_GT\_PG\_01;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 3/4 – scala 1:10.000 PD\_0\_D00\_D0000\_0\_GT\_CT\_03;
- Profilo geotecnico - D07 (ex 1FE tratto A1) – scala 1:5000/1:200 PD\_0\_D07\_D0000\_0\_GT\_FT\_01;

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 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 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 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. 3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), eseguite da Imprefond srl di Trieste (TS), spinte a profondità di 20 m circa da piano campagna. Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche sono state effettuate prove di dissipazione sia negli orizzonti incoerenti sia coesivi;
- n. 3 pozzetti esplorativi (PZ), eseguiti da Imprefond srl di Trieste (TS), eseguiti fino a 2,5 metri di profondità da piano campagna.

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

- o prelievo di campioni rimaneggiati di terreno;
- o esecuzione di prove di carico su piastra.

Un riepilogo delle indagini geognostiche precedentemente descritte è riportato in Tabella 3-1 e in 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	
1FE-CPTU501	Prova penetrometrica	1682811,531	4960076,519	10,750
1FE-CPTU502	Prova penetrometrica	1682499,871	4959110,252	11,570
1FE-CPTU503	Prova penetrometrica	1682094,231	4957906,740	12,720

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

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-PZ501	Pozzetto esplorativo	1682868,154	4960153,541	10,900
1FE-PZ502	Pozzetto esplorativo	1682484,580	4959036,741	11,020
1FE-PZ503	Pozzetto esplorativo	1682123,502	4958002,259	12,450

I certificati delle indagini geognostiche in sito realizzate nella campagna indagini di Progetto Definitivo, sono riportate nei documenti inerenti le indagini elencati al paragrafo 2.3 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 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 "*Profilo geotecnico D07 (ex 1FE tratto A1)*" doc. PD\_0\_D07\_D0000\_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 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 rinvengono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media 8÷10 MPa,  $D_r \leq 50\%$ .

## 5. DEFINIZIONE DEI LIVELLI PIEZOMETRICI

### 5.1. DATI PIEZOMETRICI DISPONIBILI

#### 5.1.1. Monitoraggio piezometrico

Nel corso della campagna indagine realizzata a supporto della progettazione Definitiva, lungo la viabilità D07 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.

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

Al fine di valutare la soggiacenza della falda nell'area di interesse sono stati utilizzati i risultati di una rete di monitoraggio della falda "ipodermica", ovvero del livello freatico nei primi metri dal piano di campagna, messa a punto dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli 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 planimetria generale riportata in Figura 5-1. In corrispondenza dell'area in oggetto è presente un unico pozzetto che può essere ritenuto significativo che ha sigla 13MO.



FIGURA 5-1: UBICAZIONE PLANIMETRICA DEL POZZETTO DI MONITORAGGIO DELLA FALDA "IPODERMICA" – 13MO (NON IN SCALA)

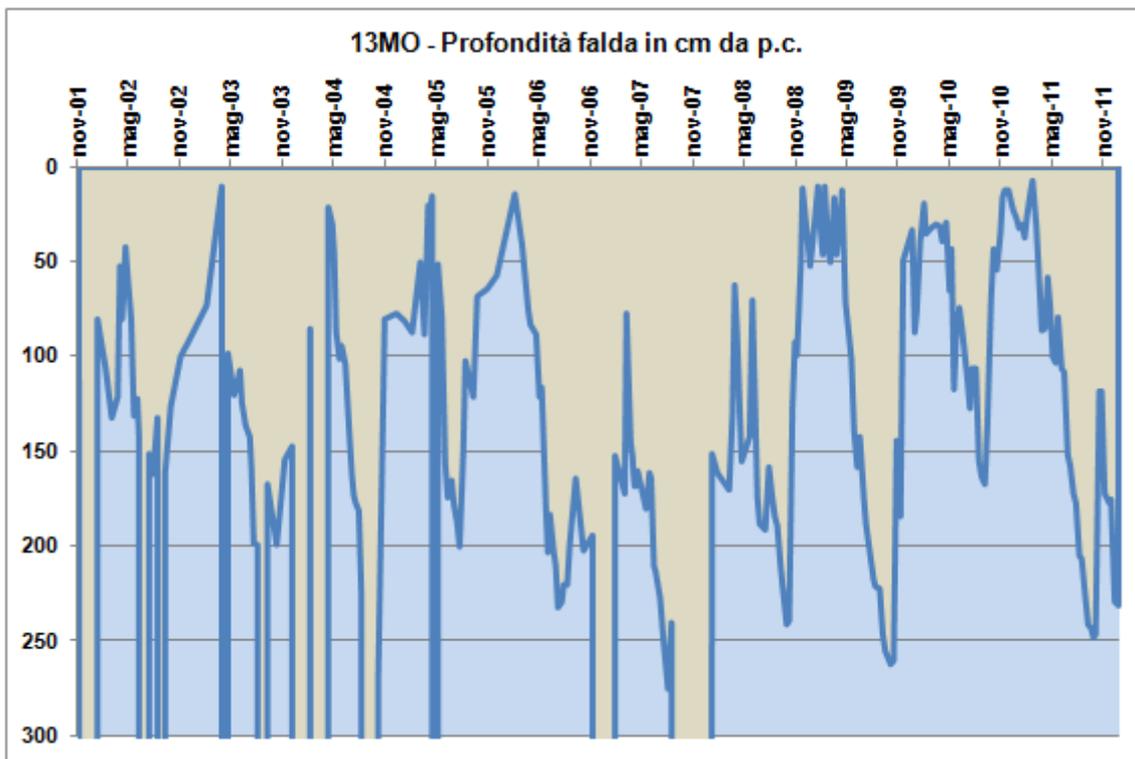


FIGURA 5-2: POZZETTO DENOMINATO 13MO

Esaminando la profondità della falda da piano campagna, registrata all'interno del pozzetto 13MO si evince che frequentemente, nei periodi invernali e primaverili, livelli freatici si attestano a quote spesso prossime al piano di campagna.

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.

## 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" 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 per le singole zone omogenee, 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;

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 evidenziato una sostanziale omogeneità dal punto di vista geologico e geotecnico. Per le analisi di carattere geotecnico il tratto in esame è stato dunque caratterizzato mediante un'unica zona omogenea.

## 7.2. ZONA OMOGENEA 1

La zona omogenea 1 si estende lungo l'intero tratto della viabilità in oggetto.

L'area è caratterizzata da un potente orizzonte superficiale di terreni di natura argilloso-limosa (unità 1) che si estende fino alle massime profondità indagate (20 m circa). Tale orizzonte è interrotto da lenti di spessore metrico di depositi limoso sabbiosi (unità 2) e sabbiosi (unità 3).

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

Nei grafici riportati in Appendice 1 (capitolo 11) 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	Unità 6
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

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

**TABELLA 7-2: Z.O.1 COESIONE NON DRENATA [kPa]**

	<b>Unità 1</b>
$c_u$ [kPa] (*)	40 ÷ 90

(\*) = 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**

	<b>Unità 1</b>
$c'$ [kPa] (*)	n.d.
$\varphi'$ [°] (*)	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 7-4: Z.O.1 ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]**

	Unità 2	Unità 3
$\varphi'$ [°] (*)	29 ÷ 32	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 7-5: Z.O.1 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]**

	Unità 1
M [kPa]	5000
E' [kPa]	3715
E <sub>u</sub> [kPa]	30000

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

	Unità 2	Unità 3
E' [kPa]	15000	25000

**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]	n.d.

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

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

	<b>Unità 1</b>
$c_\alpha$ [%]	n.d.

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

## **8. VERIFICHE DI STABILITÀ NEI CONFRONTI DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE**

---

Dal momento che le unità geotecniche presenti entro i primi 20 m di profondità risultano prevalentemente a carattere coesivo, si ritengono non significative le verifiche di stabilità nei confronti dei fenomeni di liquefazione.

## 9. CLASSI DI ESPOSIZIONE PER OPERE DI FONDAZIONE

---

A seguito dell'analisi delle indagini chimiche di laboratorio, si riportano nel seguito le criticità riscontrate in merito all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno, ai sensi della UNI EN 206-1 e della UNI 11104.

- **Classe di esposizione XA2**

Con riferimento a quanto indicato per l'asse autostradale.

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

### 10.1. 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".

### 10.2. SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE

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

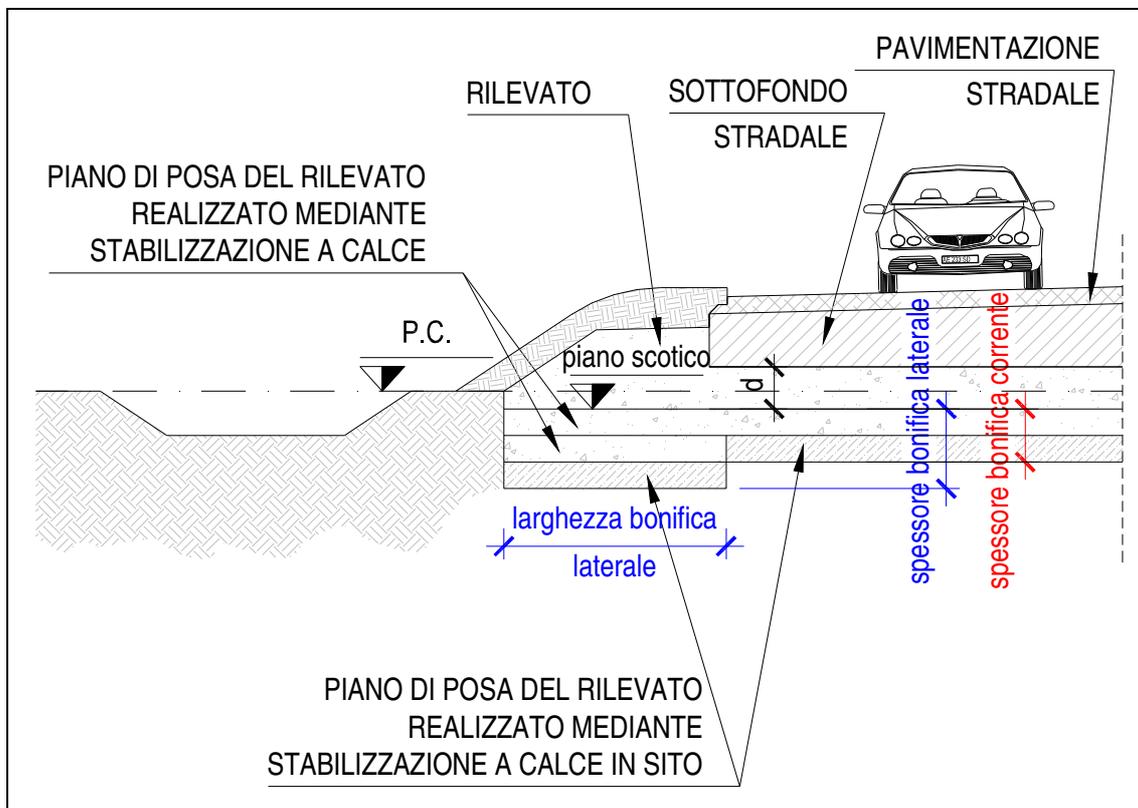


FIGURA 10-1: SCHEMA GENERALE BONIFICHE.

### 10.3. 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:

- il tratto di riferimento;
- il livello prestazionale in termini di valore del modulo di deformazione su piastra  $M_d$  richiesto in funzione della distanza "d" considerata.

TABELLA 10-1: LIVELLI PRESTAZIONALI MINIMI DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE.

Tratto	d [m]	$M_{d\text{-richiesto}}$ [MPa]
/	0.0	50.0

### 10.4. 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.

*Pozzetti esplorativi di riferimento:* 1FE-PZ501 ÷ 1FE-PZ503 (vedi paragrafo 3.1).

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 in corrispondenza della viabilità oggetto del presente documento.

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

Nella tabella seguente è riportato, in base al tratto di riferimento, il modulo elastico  $E_0 = E_{PLT}$  assunto nelle elaborazioni.

**TABELLA 10-2: TERRENO NATURALE – MODULO ELASTICO ASSUNTO NELLE ELABORAZIONI.**

Tratto	$E_{PLT} = E_0$ [MPa]
/	3.8

## 10.5. 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 10-1).

Il modulo elastico della bonifica indicato nelle analisi è quello necessario a garantire il livello prestazionale richiesto; i valori indicati si ritengono compatibili con terreno stabilizzato a calce.

TABELLA 10-3: SPESSORI DI BONIFICA LUNGO IL TRACCIATO.

Tratto	Spessore bonifica corrente [m]	Spessore bonifica laterale [m]	Larghezza bonifica laterale [m]	Analisi di Burmister
I	0.7	0.7	0.0	Figura 10-2

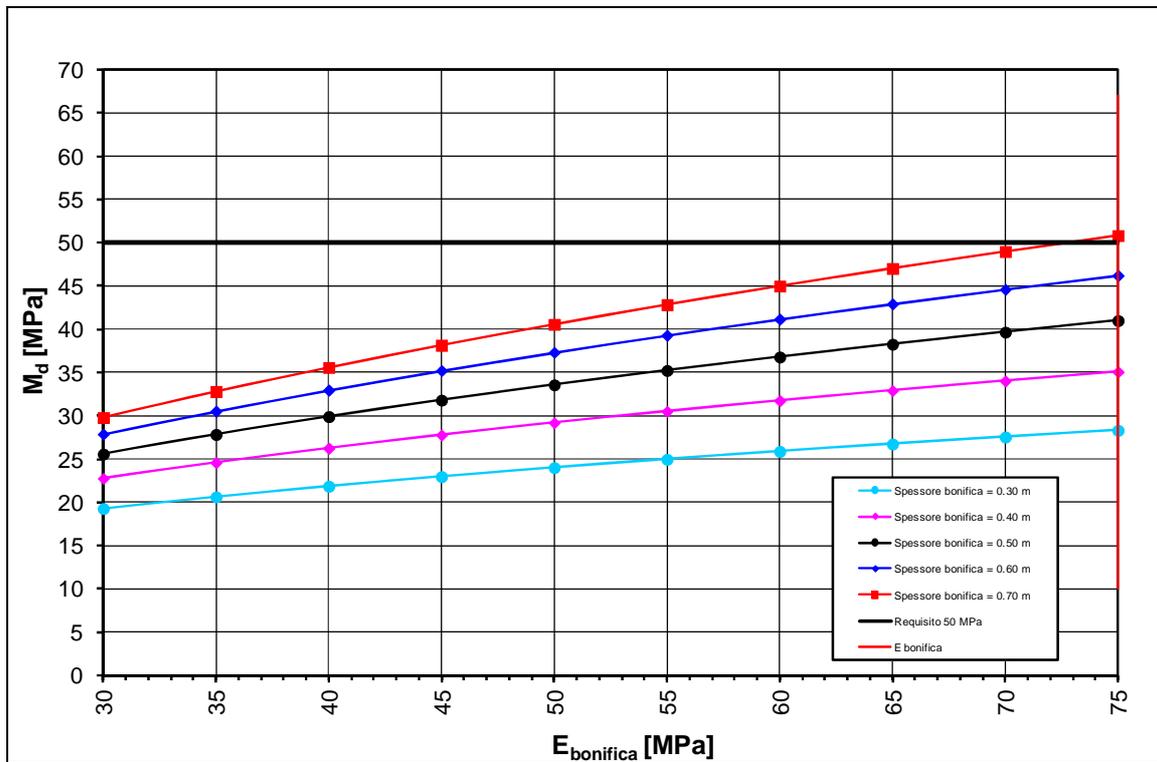


FIGURA 10-2: HRIL ≤ 1M – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.

## 10.6. 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 di riferimento inerenti le indagini di laboratorio ed il paragrafo 3.2), 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 10-4: INDICAZIONI IN MERITO ALLA %CAO DA ADOTTARE NELLA STABILIZZAZIONE.**

pk inizio [km]	pk fine [km]	% calce viva (CaO) per stabilizzazione
/	/	3.5

## 11. APPENDICE 1 - GRAFICI CARATTERISTICHE FISICHE, DI DEFORMABILITÀ, DI RESISTENZA AL TAGLIO E DI CONSOLIDAZIONE.

### 11.1. ZONA OMOGENEA 1

#### 11.1.1. Interpretazione prove CPTU

