



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

CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

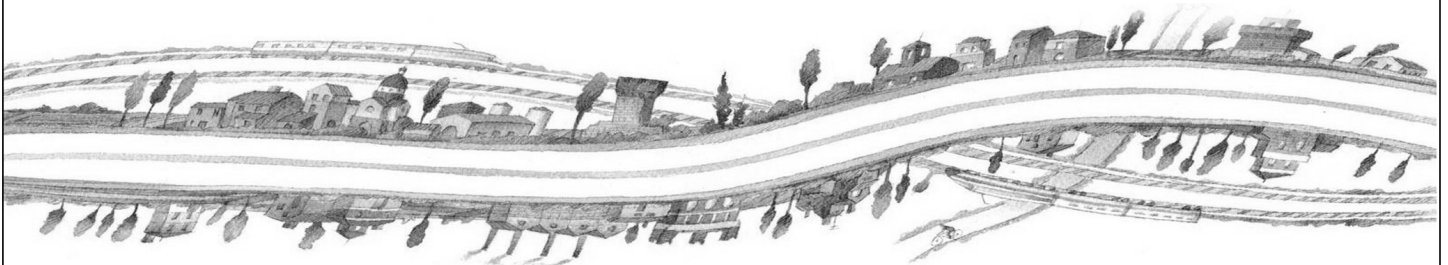
### ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)

GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA

GEOTECNICA

VIABILITA' DI COLLEGAMENTO

RELAZIONE GEOTECNICA C07 (EX M006)  
COMPLETAMENTO DELLA TANGENZIALE DI SAN FELICE SUL PANARO E CIRCONVALAZIONE DI RIVARA



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: _
0617	PD	0	C07	C0000	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. NORMATIVE .....	3
2.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO .....	3
2.3. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO .....	3
<b>3. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DI LABORATORIO</b> .....	<b>5</b>
3.1. INDAGINI IN SITO.....	5
<b>4. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA</b> .....	<b>7</b>
<b>5. DEFINIZIONE DEI LIVELLI PIEZOMETRICI</b> .....	<b>9</b>
<b>6. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>10</b>
<b>7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>11</b>
<b>8. VERIFICHE DI STABILITÀ NEI CONFRONTI DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE</b> .....	<b>12</b>
<b>9. TRATTAMENTO DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE</b> .....	<b>13</b>
9.1. CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEGLI SPESSORI DI BONIFICA AL DI SOTTO DEI RILEVATI.....	13
9.2. SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE .....	13
9.3. LIVELLO PRESTAZIONALE PIANO DI POSA DEI RILEVATI .....	14
9.4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI .....	14
9.5. EFFETTI DELLA VARIAZIONE DELLO SPESSORE DI BONIFICA E DEL RELATIVO MODULO ELASTICO .....	15
9.6. STUDIO DELLA STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE .....	16

## **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 le analisi geotecniche con riferimento alla viabilità denominata "C07 (EX MO06) completamento della Tangenziale di San Felice sul Panaro e Circonvallazione di Rivara".

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

- 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;
- verifiche di stabilità nei confronti dei fenomeni di liquefazione;
- determinazione del trattamento del piano di posa dei rilevati.

## **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.

### **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:

- Relazione geotecnica generale - Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_01
- Criteri generali per le verifiche geotecniche - PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_02.
- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 6/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_06;

- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 4/7 – scala 1:10.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_04;

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 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;
  
- 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.

### 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).

#### 3.1. INDAGINI IN SITO

Le indagini geognostiche in sito effettuate nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo per quanto riguarda la viabilità di collegamento in oggetto sono riportate nel seguito:

- n. 3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), eseguite 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. 6 pozzetti esplorativi (PZ), eseguiti da Imprefond srl di Trieste, eseguiti fino ad 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 3-2 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 DEI PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
CPTU221	Prova penetrometrica	1671060,987	4967995,459	16,600
CPTU222	Prova penetrometrica	1672031,616	4967751,455	13,990
CPTU229	Prova penetrometrica	1672502,104	4967869,591	13,959

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

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
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

Per la indagini geognostiche di riferimento si rimanda, comunque, al documento PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_01 - Zone Omogenee 12 e 13 dell'asse autostradale.



## 4. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA

---

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 rinvengono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media 8÷10 MPa,  $Dr \leq 50\%$ .

- **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,  $Dr = 50\% \div 70\%$ .

- **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 rinvengono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media  $>15$  MPa,  $Dr \geq 70\%$ .

- **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**

---

Per la definizione dei livelli piezometrici si rimanda al documento PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_01 - Zone Omogenee 12 e 13 dell'asse autostradale.

## **6. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

---

Per quanto concerne i criteri utilizzati nella caratterizzazione geotecnica si rimanda al documento PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_01.

## **7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

---

Per quanto concerne la caratterizzazione geotecnica si rimanda alla zona omogenea dell'asse autostradale corrispondente alla viabilità di collegamento oggetto del presente documento - elaborato PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_01.

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

---

Per tali verifiche si rimanda al doc. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_03 – Asse autostradale, Relazione di verifiche geotecniche.

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

### 9.1. 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".

### 9.2. SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE

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

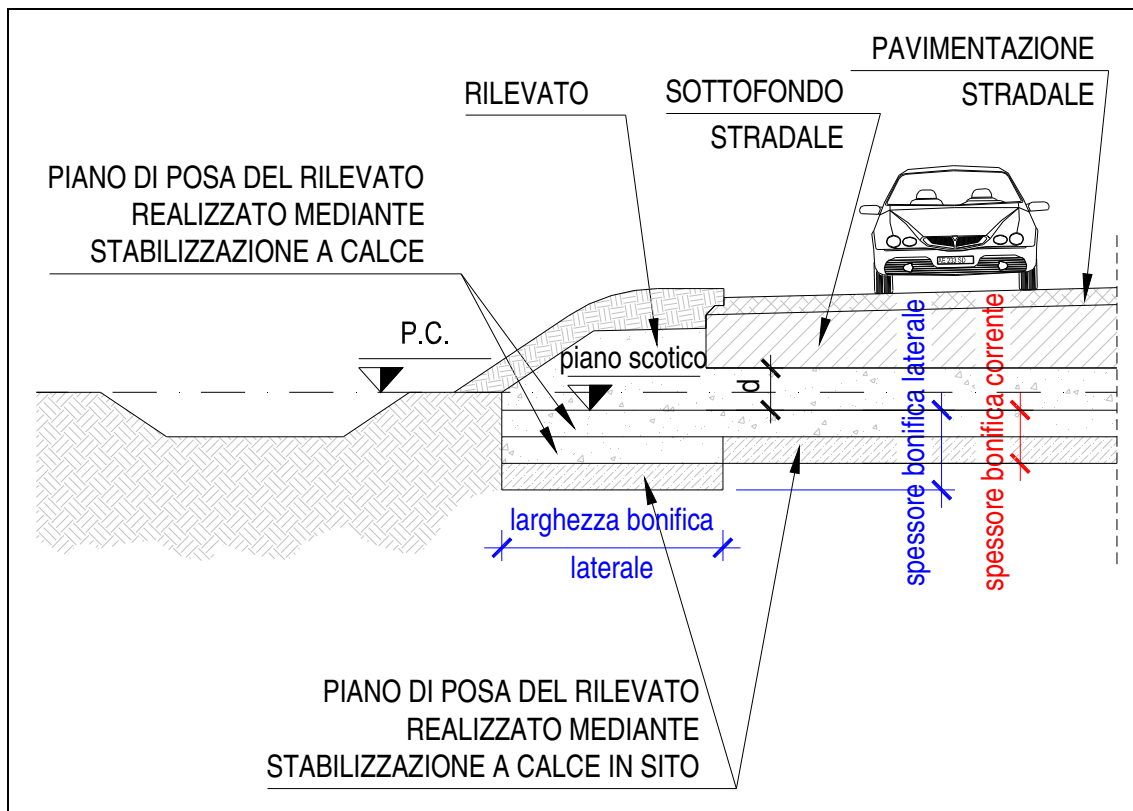


FIGURA 9-1: SCHEMA GENERALE BONIFICHE.

### 9.3. 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 altezze di rilevato 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 9-1: LIVELLI PRESTAZIONALI MINIMI DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE.

Altezza rilevato [m]	d [m]	$M_{d\text{-richiesto}}$ [MPa]
≤ 1	0.2	44

### 9.4. 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:* PZ 215 ÷ 219 (vedi elaborato PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_01 "Relazione geotecnica generale").

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 all'altezza del rilevato, il modulo elastico  $E_0 = E_{PLT}$  assunto nelle elaborazioni.

**TABELLA 9-2: TERRENO NATURALE – MODULO ELASTICO ASSUNTO NELLE ELABORAZIONI.**

Altezza rilevato [m]	$E_{PLT} = E_0$ [MPa]
$\leq 1$	4.1

## 9.5. 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 9-1).

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 9-3: SPESSORI DI BONIFICA LUNGO IL TRACCIATO.

Altezza rilevato [m]	Spessore bonifica corrente [m]	Spessore bonifica laterale [m]	Larghezza bonifica laterale [m]	Analisi di Burmister
≤ 1	0.6	0.6	0.0	Figura 9-2

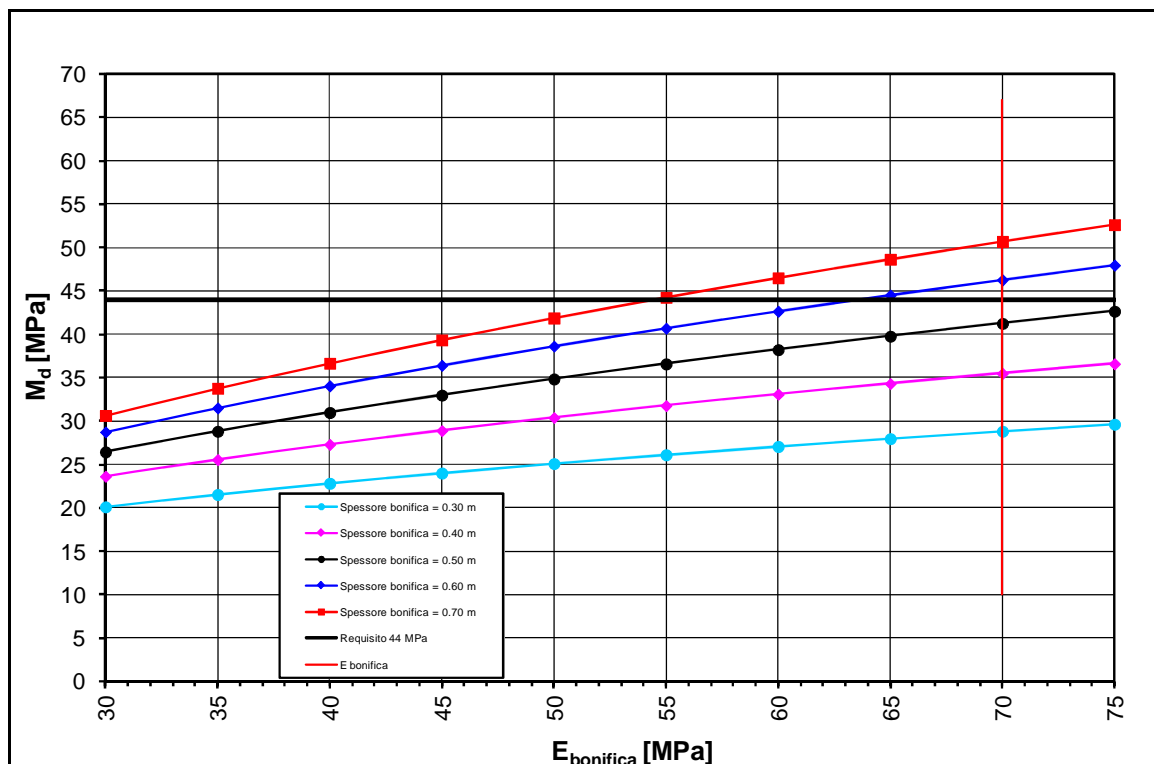


FIGURA 9-2: HRIL ≤ 1M – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.

## 9.6. 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 riportati nell'elaborato PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_01 "Relazione geotecnica generale"), 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 dei posa dei rilevati/trincee (bonifiche);
- le pk di inizio e fine di riferimento per la singola percentuale di calce.

**TABELLA 9-4: INDICAZIONI IN MERITO ALLA %CAO DA ADOTTARE NELLA STABILIZZAZIONE.**

pk inizio [km]	pk fine [km]	% calce viva (CaO) per stabilizzazione
/	/	3.0