



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

CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

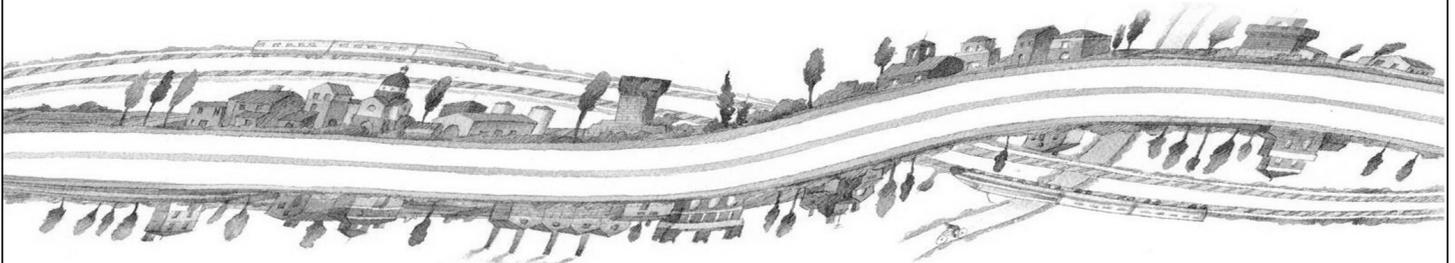
### ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)

GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA

GEOTECNICA

VIABILITA' DI COLLEGAMENTO

RELAZIONE GEOTECNICA C02 (EX MO01) INTERSEZIONE A ROTATORIA TRA VIA BOCCALETTA ED S.P.N°8 DI MIRANDOLA IN COMUNE DI CONCORDIA SULLA SECCHIA



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: _
0612	PD	0	C02	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 .....	4
<b>3. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DI LABORATORIO .....</b>	<b>6</b>
<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 di collegamento denominata "C02 (EX MO01) Intersezione a rotatoria tra Via Boccaletta ed S.P. N° 8 di Mirandola in Comune di Concordia sulla Secchia".

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;
- 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.
- "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:

- 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. 3/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_03;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 2/7 - scala 1:10.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_02.

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;
- 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.

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

---

Per la indagini geognostiche di riferimento si rimanda al documento PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_01 - Zona Omogenea 6 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 - Zona Omogenea 6 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.

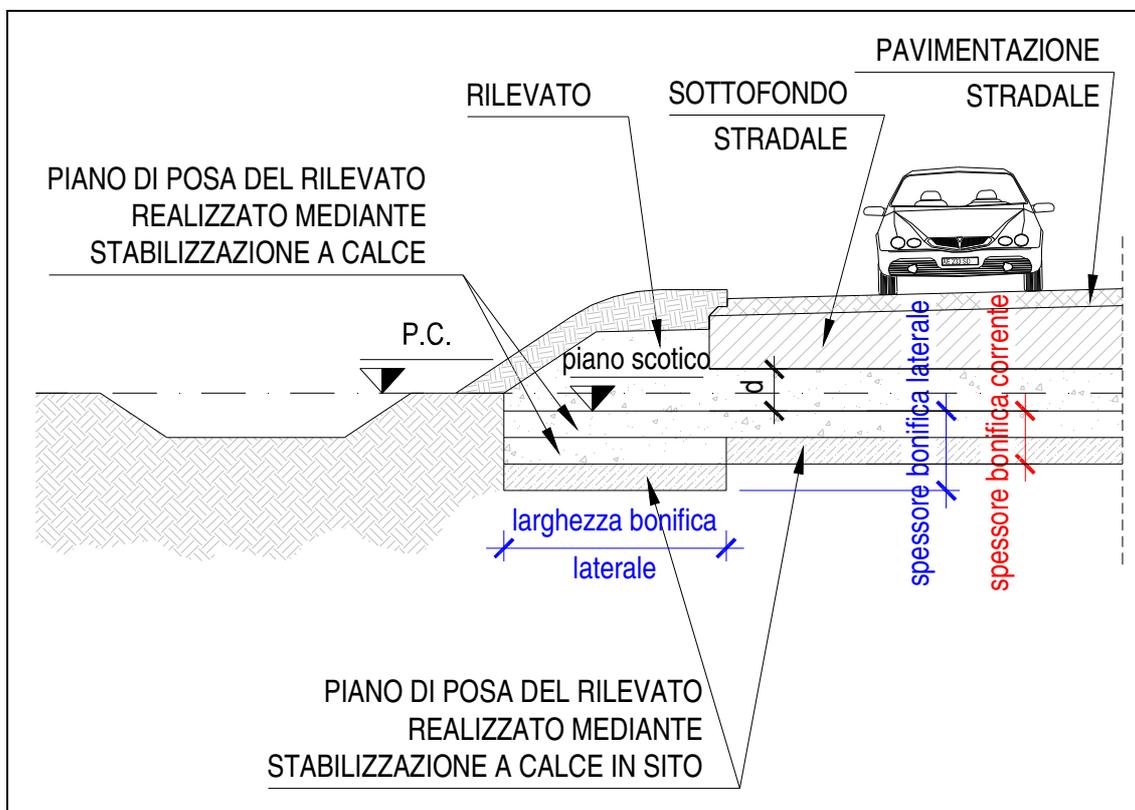


FIGURA 9-1: SCHEMA GENERALE BONIFICHE.

### 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	0.0	50.0

### 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 25 (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]
$\leq 1$	5.0

## 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

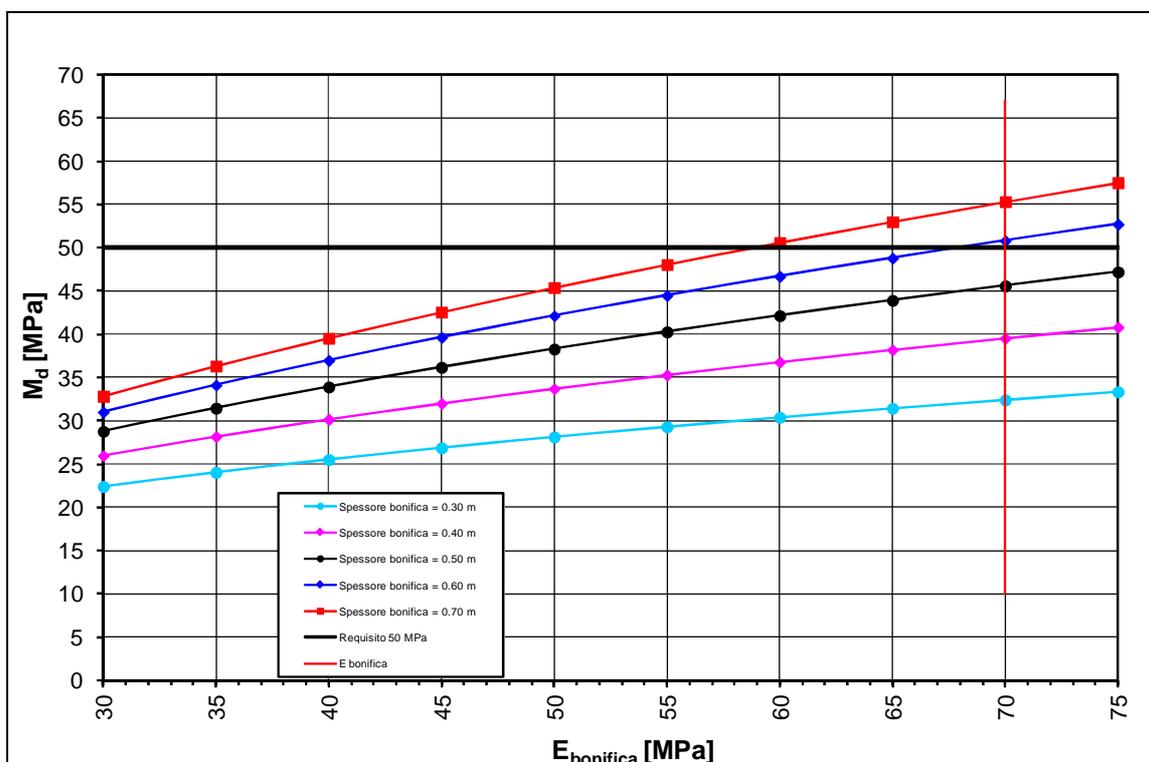


FIGURA 9-2: HRIL ≤ 1M – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.

## 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 di 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
/	/	2.5