





## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
2.1. NORMATIVE .....	4
2.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO .....	4
2.3. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO .....	5
<b>3. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DI LABORATORIO .....</b>	<b>7</b>
<b>4. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA.....</b>	<b>8</b>
<b>5. DEFINIZIONE DEI LIVELLI PIEZOMETRICI.....</b>	<b>10</b>
<b>6. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>11</b>
<b>7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>12</b>
<b>8. VERIFICHE DI STABILITÀ DEI RILEVATI.....</b>	<b>13</b>
8.1. VERIFICHE DI STABILITÀ DEL CORPO RILEVATO.....	14
8.1.1. $H_{ril}$ 6.00 m.....	15
8.1.2. $H_{ril}$ 12.80 m.....	17
8.2. VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE DEI RILEVATI.....	19
8.2.1. $H_{ril} = 6.00$ m.....	19
8.2.2. $H_{ril} = 8.00$ m.....	21
8.2.3. $H_{ril} = 10.00$ m.....	22
8.2.4. $H_{ril} = 12.80$ m.....	24
<b>9. STIMA DEI CEDIMENTI E LORO EVOLUZIONE NEL TEMPO .....</b>	<b>27</b>
<b>10. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO PER I RILEVATI IN CORRISPONDENZA DELLE SPALLE DELLE OPERE D'ARTE .....</b>	<b>28</b>
<b>11. VERIFICHE DI STABILITÀ NEI CONFRONTI DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>29</b>
<b>12. CLASSI DI ESPOSIZIONE PER OPERE DI FONDAZIONE .....</b>	<b>30</b>
<b>13. TRATTAMENTO DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI .....</b>	<b>31</b>
13.1. CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEGLI SPESSORI DI BONIFICA AL DI SOTTO DEI RILEVATI.....	31
13.2. SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE .....	31
13.3. LIVELLO PRESTAZIONALE PIANO DI POSA DEI RILEVATI .....	32
13.4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI .....	33



13.5. EFFETTI DELLA VARIAZIONE DELLO SPESSORE DI BONIFICA E DEL RELATIVO MODULO ELASTICO .....	34
13.6. STUDIO DELLA STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE .....	38

## **1. PREMESSA**

---

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

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 di stabilità dei rilevati;
- valutazione dei cedimenti dei rilevati;
- 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. 14/14 - scala 1:5.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_PG\_14;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 7/7 - scala 1:10.000  
Cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_07;
- Interconnessione A13 – Profilo geotecnico – scala 1:5000  
Cod. PD\_0\_I021\_I0000\_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**

---

Per la indagini geognostiche di riferimento si rimanda alla zona omogenea F riportata nel documento PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_01.

## 4. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA

Il profilo geologico-geotecnico, ottenuto dall'interpretazione delle indagini geognostiche, è riportato negli elaborati progettuali "*Interconnessione A13 – Profilo geotecnico*" (doc PD\_0\_I02\_I0000\_0\_GT\_FT\_01); profilo ortogonale al suddetto è quello relativo all'asse autostradale con riferimento alla zona omogenea F.

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

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

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

- **Unità 1**

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

- **Unità 2**

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

- **Unità 3**

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

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

- **Unità 6**

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

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

Per la definizione dei livelli piezometrici si rimanda al documento PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_01.

## **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 la caratterizzazione geotecnica si rimanda alla zona omogenea F del documento PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_01.

## 8. VERIFICHE DI STABILITÀ DEI RILEVATI

Nel presente capitolo saranno riportate separatamente:

- le analisi relative alla stabilità delle scarpate dei rilevati;
- le analisi relative alla stabilità globale dei rilevati.

Per quanto concerne i criteri adottati per tali verifiche e le condizioni di analisi si rimanda all'elaborato PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_02 "Criteri generali verifiche geotecniche".

Le verifiche sono state condotte con riferimento alla stratigrafia riportata nella seguente tabella.

**TABELLA 8-1: STRATIGRAFIA E PARAMETRI DI PROGETTO.**

Z <sub>min</sub> [m da p.c.]	Z <sub>max</sub> [m da p.c.]	Unità	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	Parametri di resistenza al taglio caratteristici				Parametri di resistenza al taglio di progetto			
				c' <sub>k</sub> [kPa]	Φ' <sub>k</sub> [°]	c <sub>uk-in</sub> [kPa]	c <sub>uk-fin</sub> [kPa]	c' <sub>d</sub> [kPa]	Φ' <sub>d</sub> [°]	c <sub>ud-in</sub> [kPa]	c <sub>ud-fin</sub> [kPa]
0.00	3.00	1	18.5	5.0	24	57	-	4	19.61	41	-
3.00	5.00	1	18.5	5.0	24	40	40	4	19.61	29	29
5.00	10.00	1	18.5	5.0	24	40	60	4	19.61	29	43
10.00	14.00	1	18.5	5.0	24	55	-	4	19.61	39	-
14.00	15.00	6	16.0	0.0	14	30	-	0	11.28	21	-
15.00	16.00	1	18.5	5.0	24	55	-	4	19.61	39	-
16.00	20.00	1	18.5	5.0	24	77	79	4	19.61	55	56
20.00	22.00	2	18.8	0.0	29	-	-	0	23.91	-	-
22.00	30.00	1	18.5	5.0	24	80	84	4	19.61	57	60

Con riferimento a quanto indicato nel cap. 5 del documento PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_01, nelle elaborazioni è stato assunto il livello di falda pari a 0.50 m da p.c.

Per completezza in aggiunta a tali parametri si riportano nella seguente tabella i parametri geotecnici caratteristici adottati per il materiale da rilevato ipotizzato in materiale stabilizzato a calce e per il terreno vegetale adottato per il rivestimento delle scarpate.

**TABELLA 8-2: PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO MATERIALE DA RILEVATO E TERRENO VEGETALE.**

Unità	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Parametri di resistenza al taglio caratteristici			Parametri di resistenza al taglio di progetto		
		$c'_k$ [kPa]	$\phi'_k$ [°]	$c_{uk}$ [kPa]	$c'_d$ [kPa]	$\phi'_d$ [°]	$c_{ud}$ [kPa]
Materiale da rilevato	19.5	15	28	200.00	12	23.04	142.90
Terreno vegetale	18.5	5	24	-	4	19.61	

Con riferimento ai seguenti parametri per la determinazione di  $a_g$ :

- Vita nominale  $V_N$ : 100 anni;
- Classe d'uso: IV;
- Coefficiente d'uso  $C_U$ : 2.0;
- Periodo di riferimento  $V_R$ : 200 anni.

si riassumono nella seguente tabella, per ciascuna zona omogenea, i valori dei coefficienti sismici adottati nelle verifiche di stabilità ottenuti a partire dai massimi valori di  $a_g$  in corrispondenza dei comuni interessati dalla specifica zona omogenea.

**TABELLA 8-3: COEFFICIENTI SISMICI ADOTTATI PER LE VERIFICHE DI STABILITÀ DEI RILEVATI.**

Interconnessione	Comune	Categoria sottosuolo	$a_g$	$S_s$	$S_T$	$a_{max}$	$\beta_s$	$k_h$	$k_v$
A13	<i>Poggio Renatico</i>	D	0.266	1.417	1.000	0.377	0.28	0.10547	±0.05274
	<i>Ferrara</i>		0.239	1.509	2.335	0.361	0.28		

## 8.1. VERIFICHE DI STABILITÀ DEL CORPO RILEVATO

Ai fini delle verifiche di stabilità del corpo rilevato sono state assunte le seguenti ipotesi:

- rilevati di altezza  $H_{ril} \leq 6.00$  m: pendenza delle scarpate pari a 4/7;
- rilevati di altezza  $6.00$  m  $< H_{ril} \leq 12.80$  m:
  - pendenza delle scarpate pari a 4/7;
  - larghezza banca pari a 2.00 m a 6.00 m dalla sommità del rilevato;

In Tabella 8-4 si riportano i valori dei coefficienti di sicurezza FS ottenuti per le altezze di rilevato analizzate. Nei paragrafi seguenti si riportano nel dettaglio le verifiche condotte.

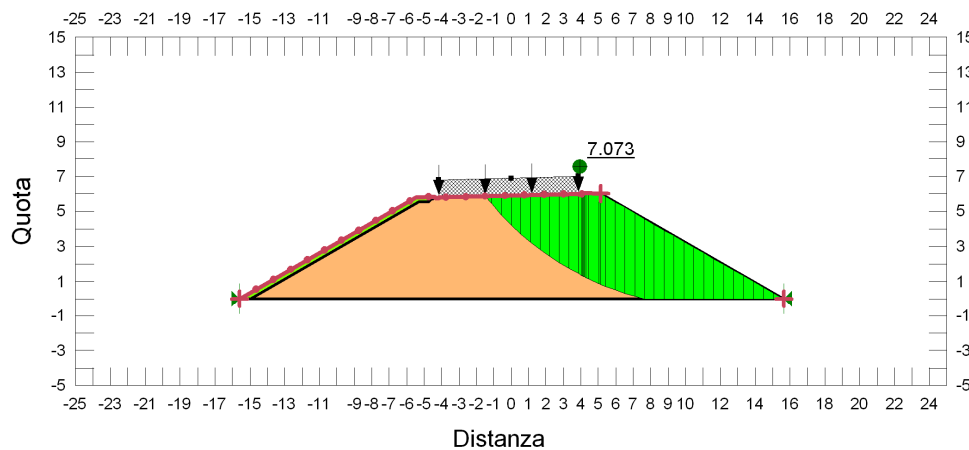


**TABELLA 8-4: RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ DEL CORPO RILEVATO.**

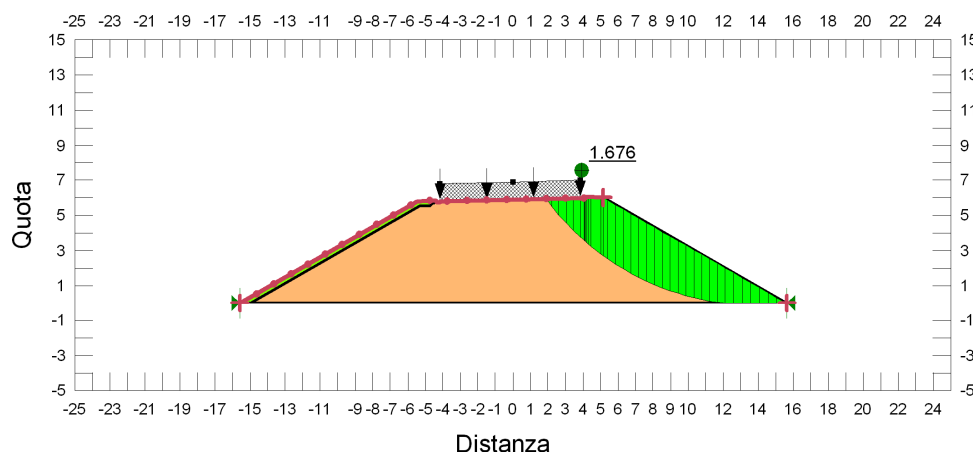
VERIFICHE	FS ( $\gamma_R \geq 1.1$ )			
ALTEZZA RILEVATI	Cond. STATICA NON DRENATA	Cond. STATICA DRENATA	Cond. SISMA +	Cond. SISMA -
H=6.00 m	7.073	1.676	6.615	7.155
H=12.80 m	3.998	1.430	3.243	3.509

### 8.1.1. H<sub>ril</sub> 6.00 m

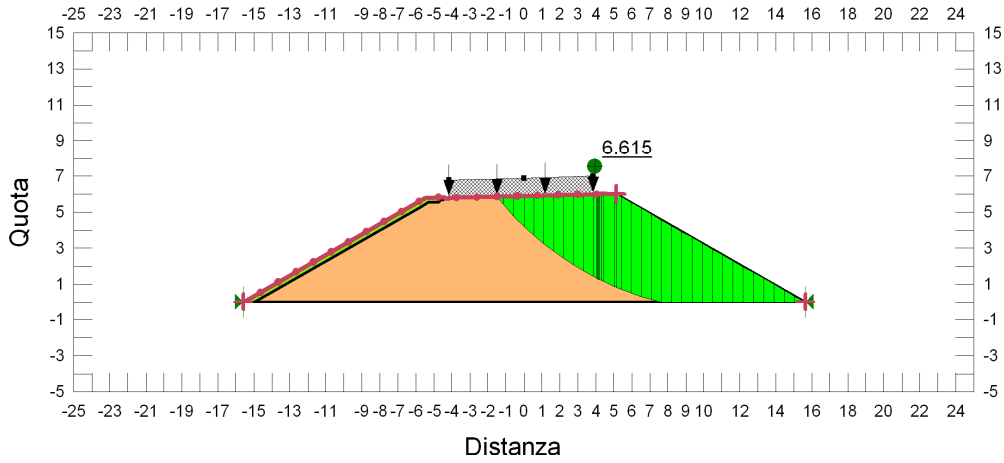
Nelle figure seguenti si riportano i risultati ottenuti per il rilevato di altezza 6.00 m per le diverse condizioni di calcolo.



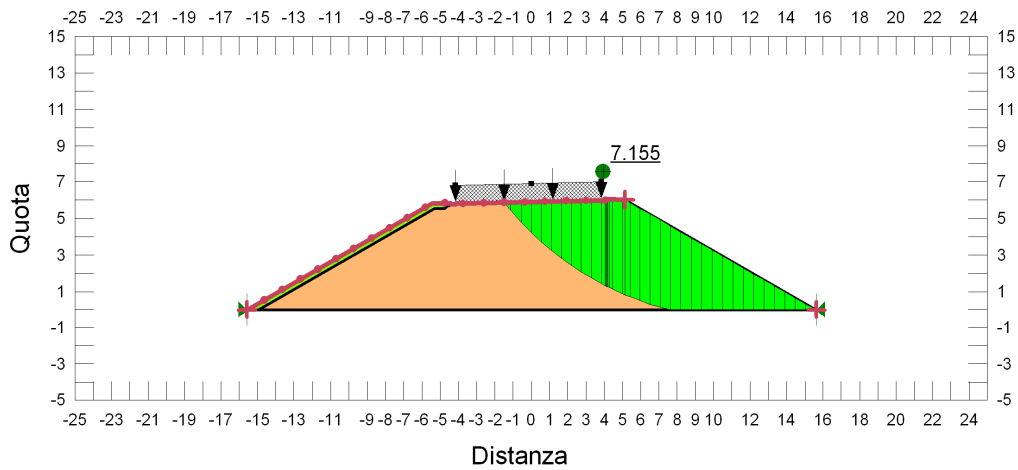
**FIGURA 8-1: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=6.00 m - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.**



**FIGURA 8-2: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=6.00 m - CONDIZIONE STATICA DRENATA.**



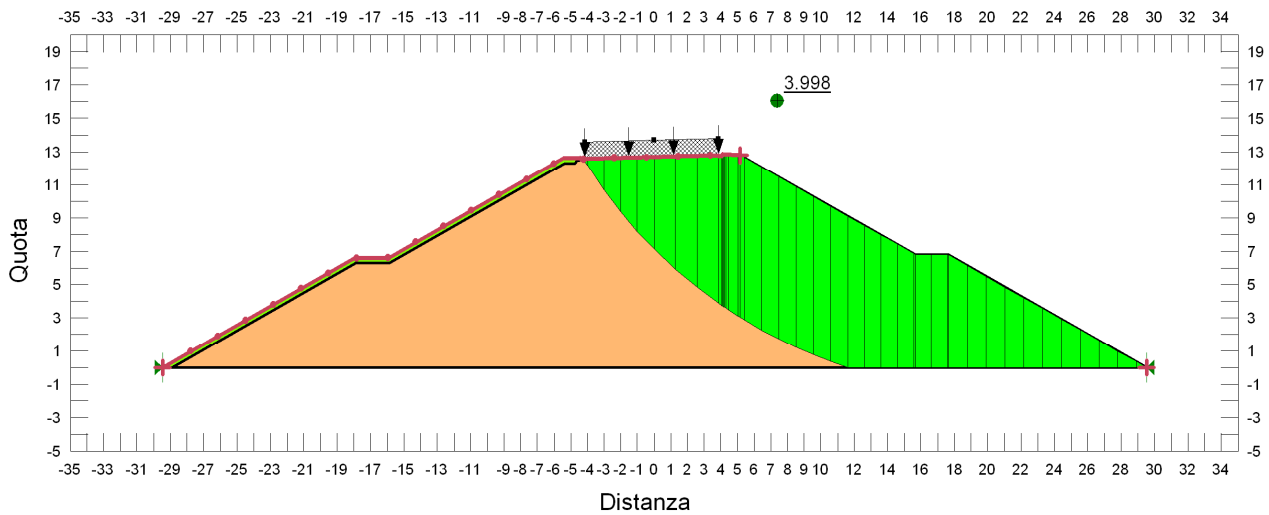
**FIGURA 8-3: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE SISMA+.**



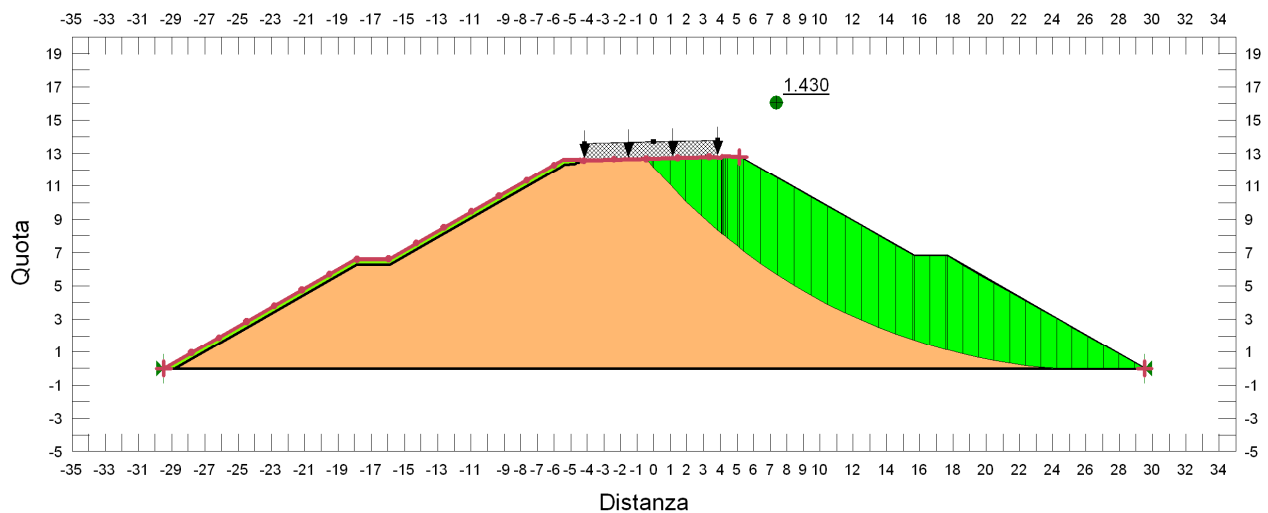
**FIGURA 8-4: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE SISMA-.**

## 8.1.2. H<sub>ril</sub> 12.80 m

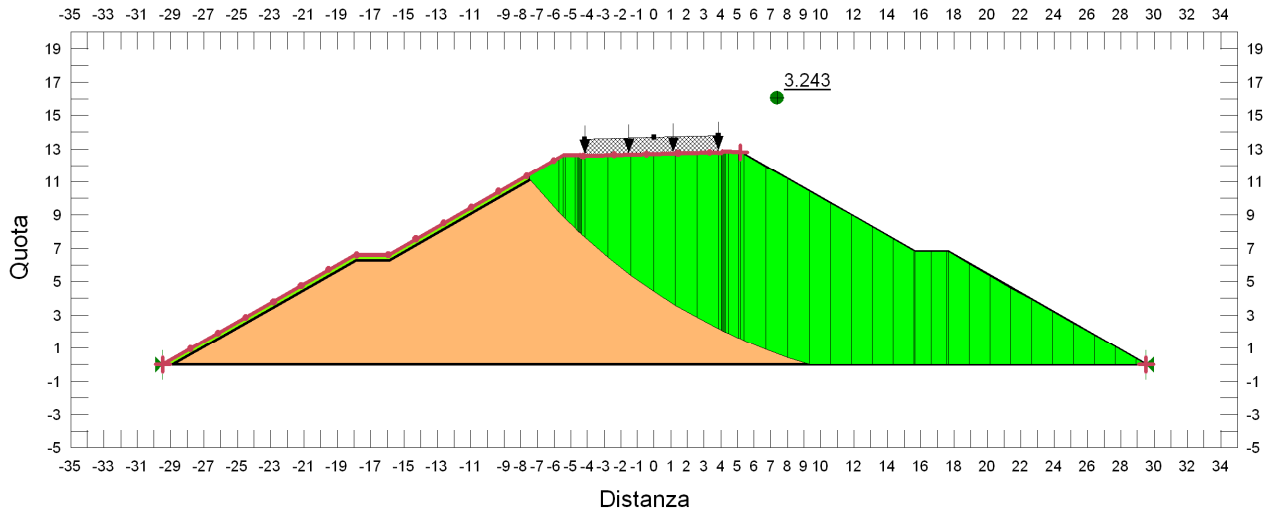
Nelle figure seguenti si riportano i risultati ottenuti per il rilevato di altezza 12.80 m per le diverse condizioni di calcolo.



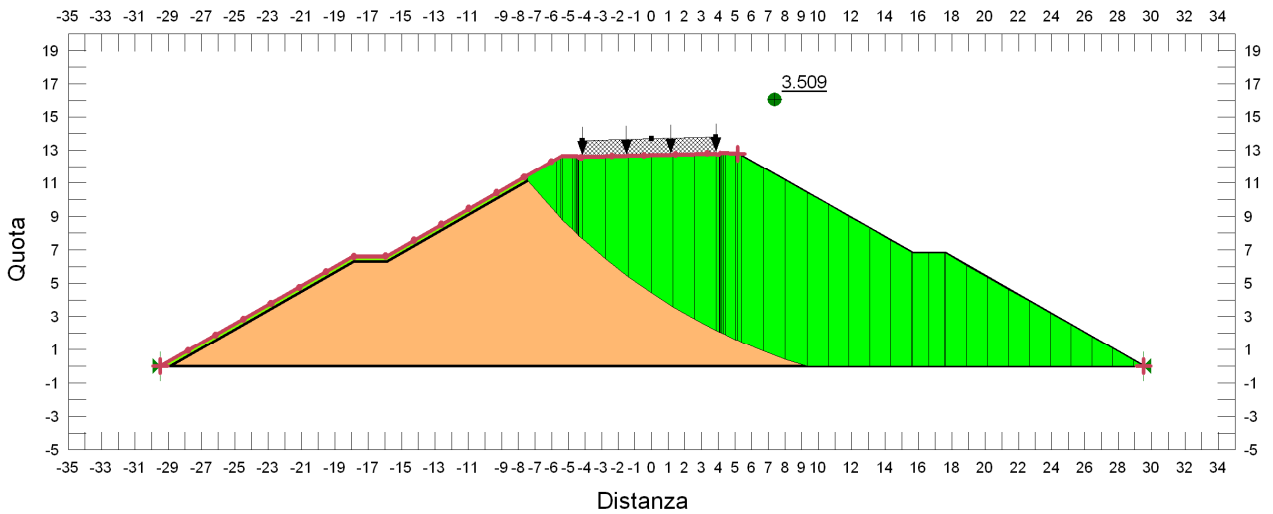
**FIGURA 8-5: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=12.80 M - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.**



**FIGURA 8-6: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=12.80 M - CONDIZIONE STATICA DRENATA.**



**FIGURA 8-7: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=12.80 M - CONDIZIONE SISMA+.**



**FIGURA 8-8: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=12.80 M - CONDIZIONE SISMA-.**

## 8.2. VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE DEI RILEVATI

Sulla base delle altezze massime di rilevato individuate su tutti i rami di svincolo è stata analizzata la stabilità globale; in questo caso, le superfici di scorrimento interessano anche gli strati di terreno al di sotto del rilevato e consentono di definire la necessità di elementi di rinforzo alla base o all'interno del corpo rilevato. Nella seguente tabella si riassumono le altezze analizzate.

**TABELLA 8-5: ALTEZZE DI RILEVATO ANALIZZATE NELLE VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE.**

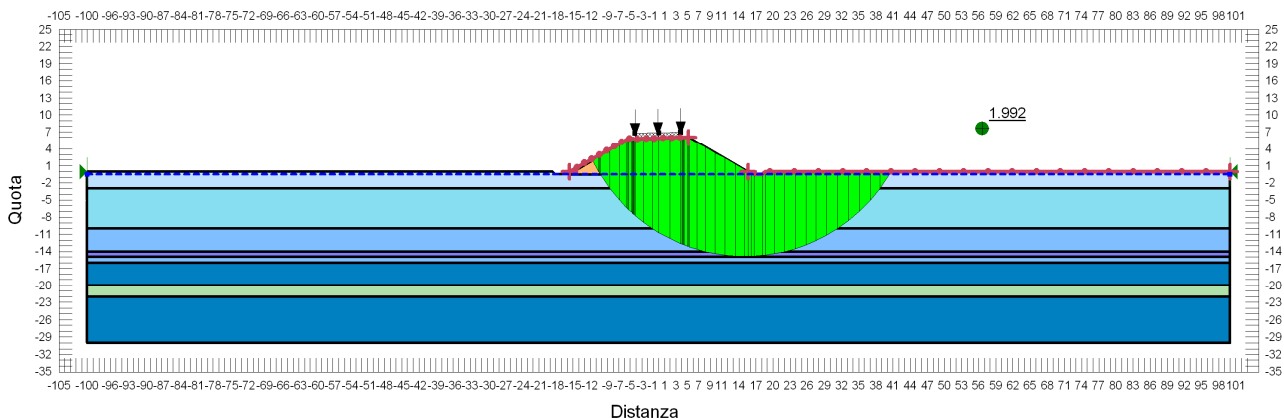
$H_{ril}$ [m]	Nota
6.00	Massima altezza di rilevato senza banca intermedia
8.00	Massima altezza di rilevato con banca intermedia e senza geogriglia di rinforzo
10.00	Altezza intermedia di rilevato con banca e geogriglia di rinforzo
12.80	Massima altezza di rilevato con banca intermedia e geogriglie di rinforzo

### 8.2.1. $H_{ril} = 6.00$ m

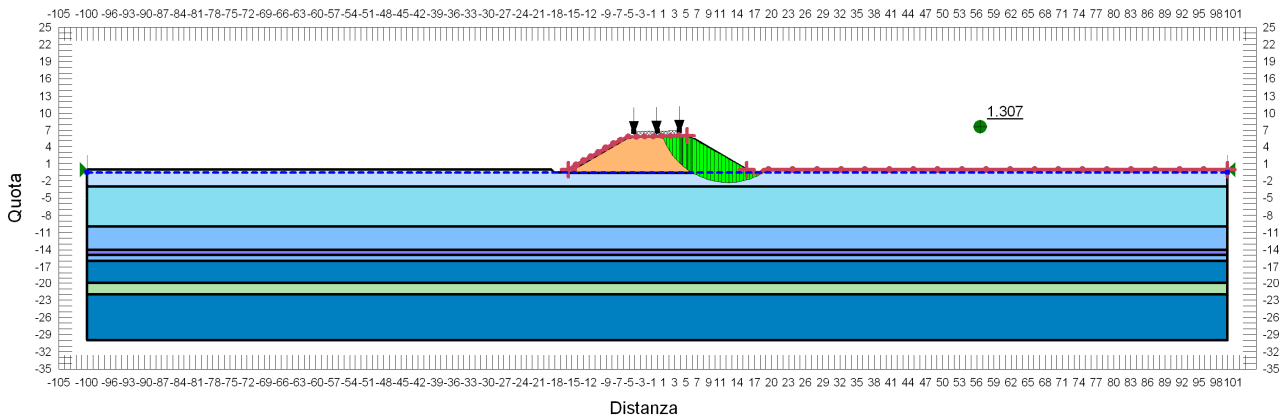
Si riportano nella tabella e nelle immagini seguenti i risultati ottenuti per le diverse condizioni di calcolo per rilevati di altezza 6.00 m.

**TABELLA 8-6: RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE  $H_{RIL} = 6.00$  M.**

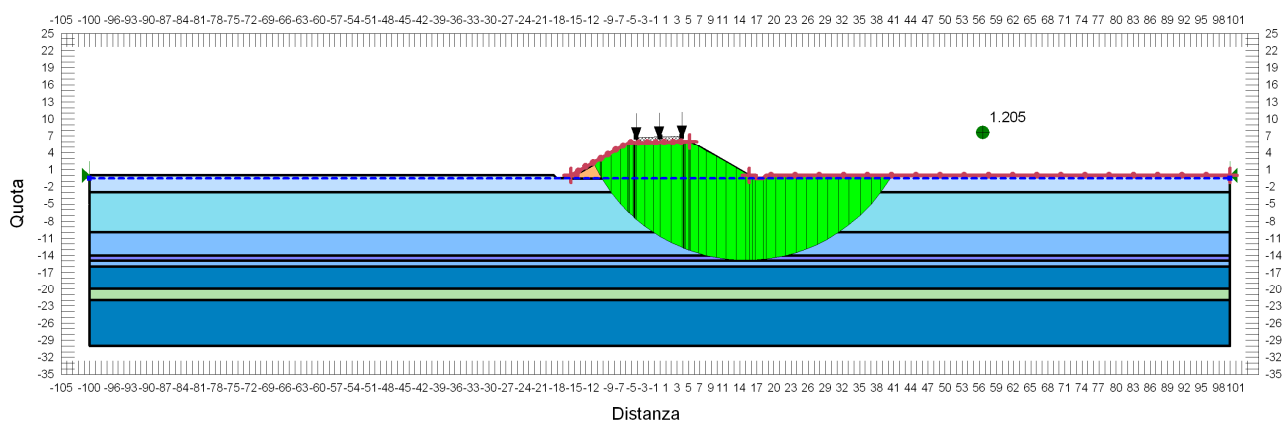
VERIFICHE	FS ( $\gamma_R \geq 1.1$ )			
	Cond. STATICA NON DRENATA	Cond. STATICA DRENATA	Cond. SISMA +	Cond. SISMA -
H=6.00 m	1.992	1.307	1.205	1.280



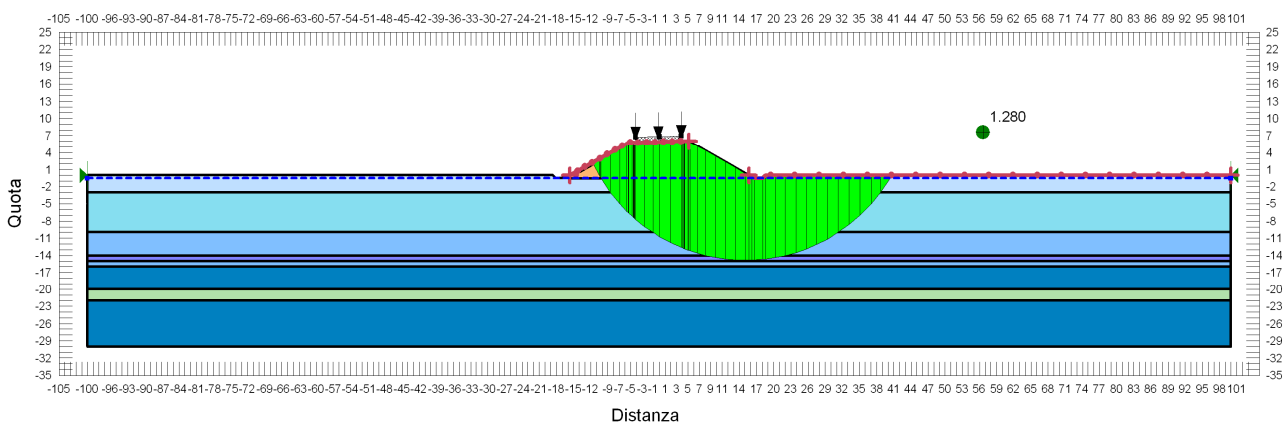
**FIGURA 8-9: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.**



**FIGURA 8-10: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE STATICA DRENATA.**



**FIGURA 8-11: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE SISMA+.**



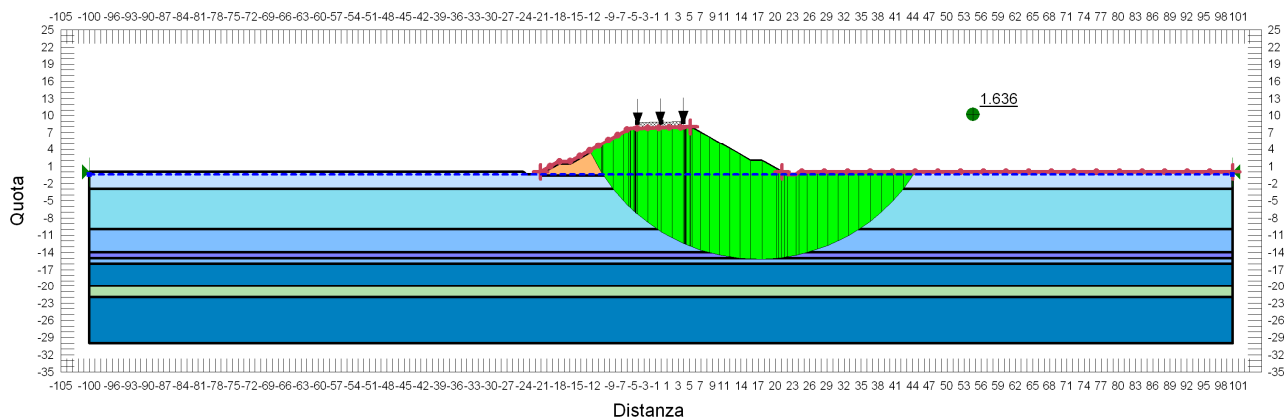
**FIGURA 8-12: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE SISMA-.**

## 8.2.2. $H_{ril} = 8.00 \text{ m}$

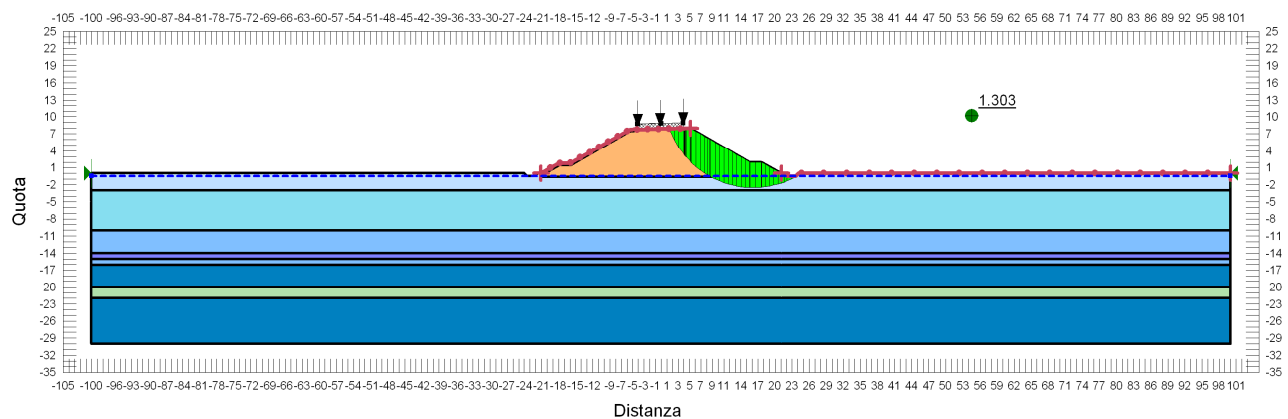
Si riportano nella tabella e nelle immagini seguenti i risultati ottenuti per le diverse condizioni di calcolo per rilevati di altezza 8.00 m.

**TABELLA 8-7: RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE  $H_{RIL} = 8.00 \text{ M}$ .**

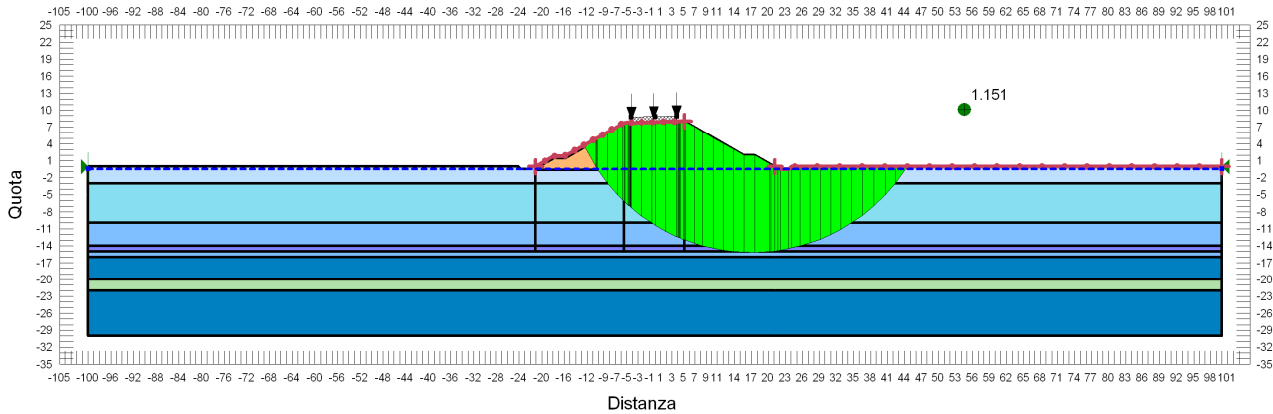
VERIFICHE	FS ( $\gamma_R \geq 1.1$ )			
ALTEZZA RILEVATI	Cond. STATICA NON DRENATA	Cond. STATICA DRENATA	Cond. SISMA +	Cond. SISMA -
H=8.00 m	1.636	1.303	1.151	1.230



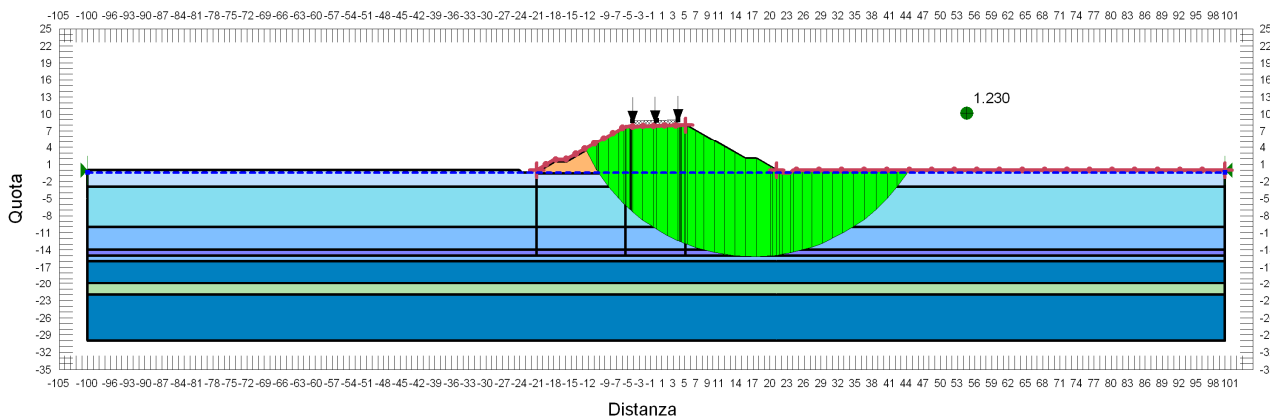
**FIGURA 8-13: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=8.00 M - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.**



**FIGURA 8-14: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=8.00 M - CONDIZIONE STATICA DRENATA.**



**FIGURA 8-15: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=8.00 M - CONDIZIONE SISMA+.**



**FIGURA 8-16: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=8.00 M - CONDIZIONE SISMA-.**

### 8.2.3. H<sub>ril</sub> = 10.00 m

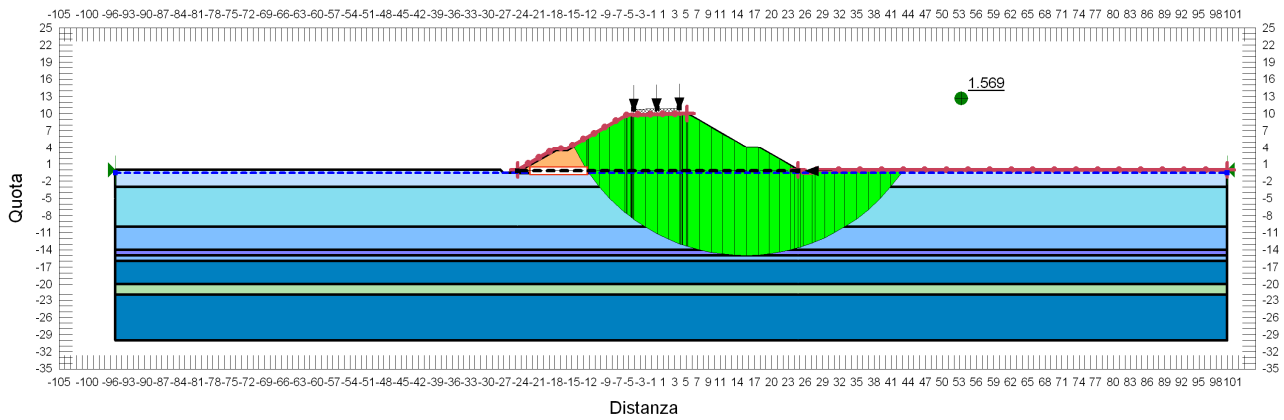
Per i rilevati di altezza superiore a 8.00 m sono state introdotte alla base del rilevato geogriglie di rinforzo. Per rilevati aventi altezza compresa tra 8.00 m e 10.00 m tali geogriglie devono avere resistenza ultima a trazione pari a 500 kN in corrispondenza di un allungamento  $\epsilon=10\%$ .

Si riportano nella tabella e nelle immagini seguenti i risultati ottenuti per le diverse condizioni di calcolo per rilevati di altezza 10.00 m.

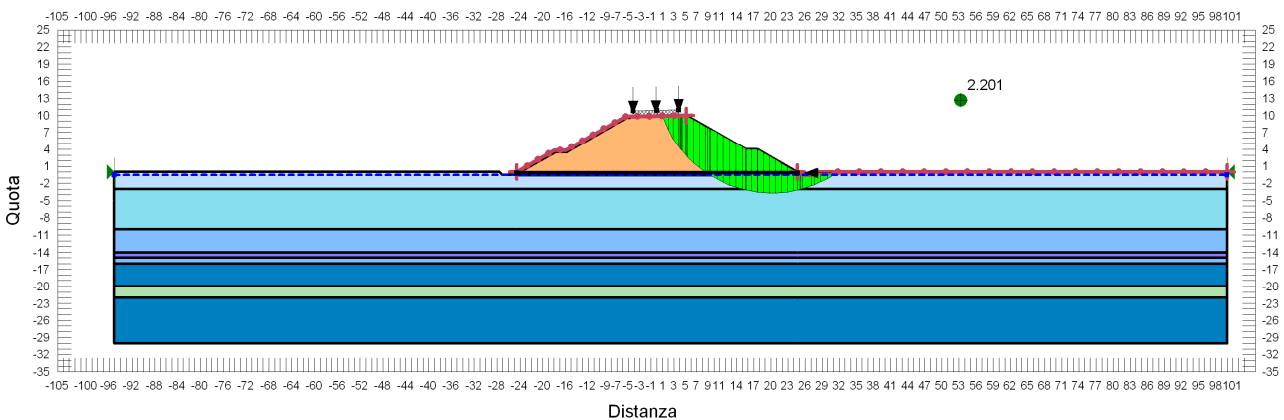
**TABELLA 8-8: RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE H<sub>RIL</sub> = 10.00 M.**

VERIFICHE	FS ( $\gamma_R \geq 1.1$ )			
	Cond. STATICA NON DRENATA	Cond. STATICA DRENATA	Cond. SISMA +	Cond. SISMA -
H=10.00 m	1.569	2.201	1.154	1.254

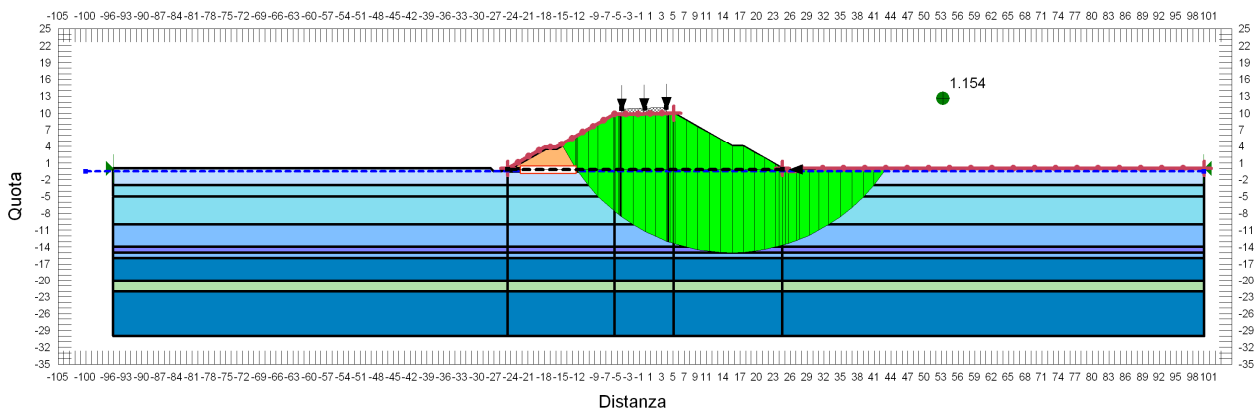




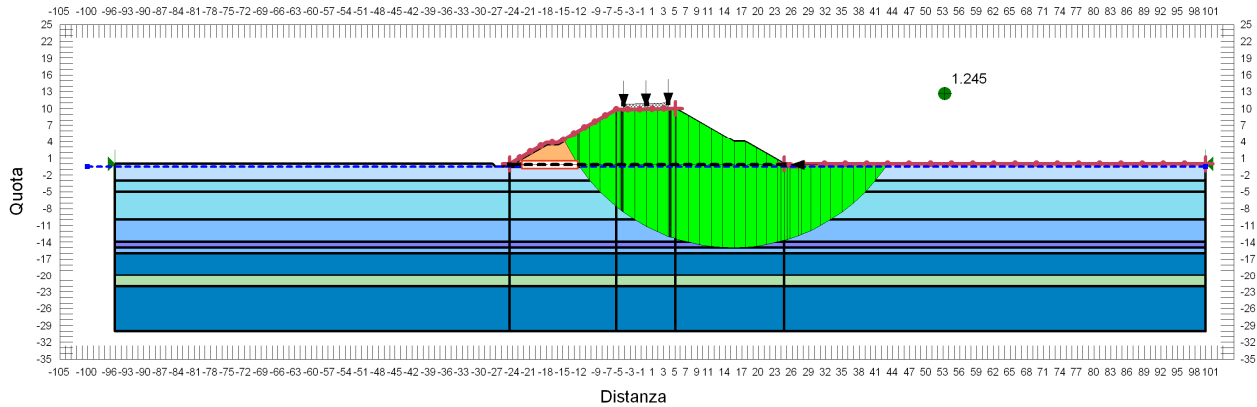
**FIGURA 8-17: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.**



**FIGURA 8-18: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE STATICA DRENATA.**



**FIGURA 8-19: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE SISMA+.**



**FIGURA 8-20: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE SISMA-.**

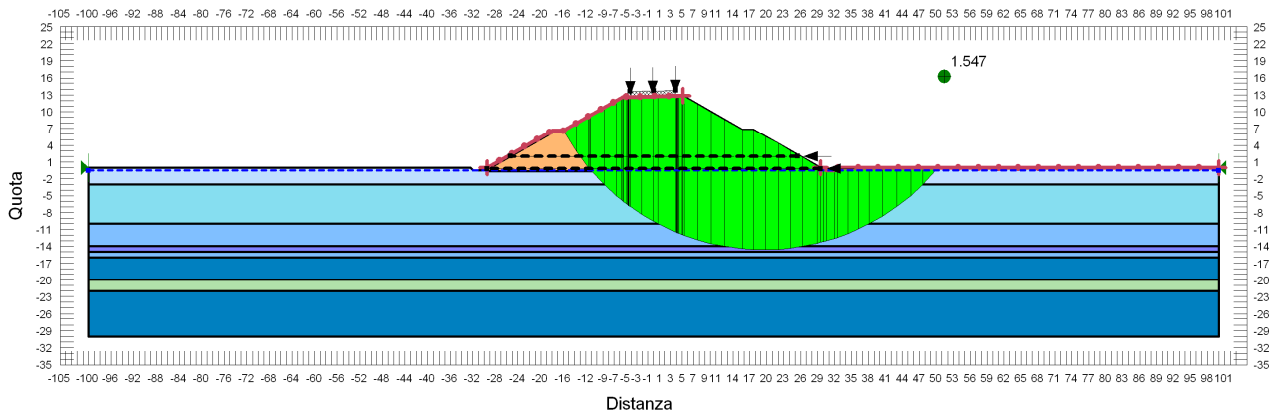
#### 8.2.4. H<sub>ril</sub> = 12.80 m

Per i rilevati di altezza superiore a 8.00 m sono state introdotte alla base del rilevato geogriglie di rinforzo. Per altezze di rilevato superiori a 10.00 m è stato introdotto un secondo strato di geogriglie di rinforzo all'interno del corpo rilevato a distanza di 2.00 m da p.c.. Per rilevati di altezza compresa tra 10.00 m e 12.80 m tali geogriglie presentano resistenza ultima a trazione pari a 900 kN e 300 kN, in corrispondenza di un allungamento  $\epsilon=10\%$ , rispettivamente alla base del rilevato e a 2.00 m sopra al p.c..

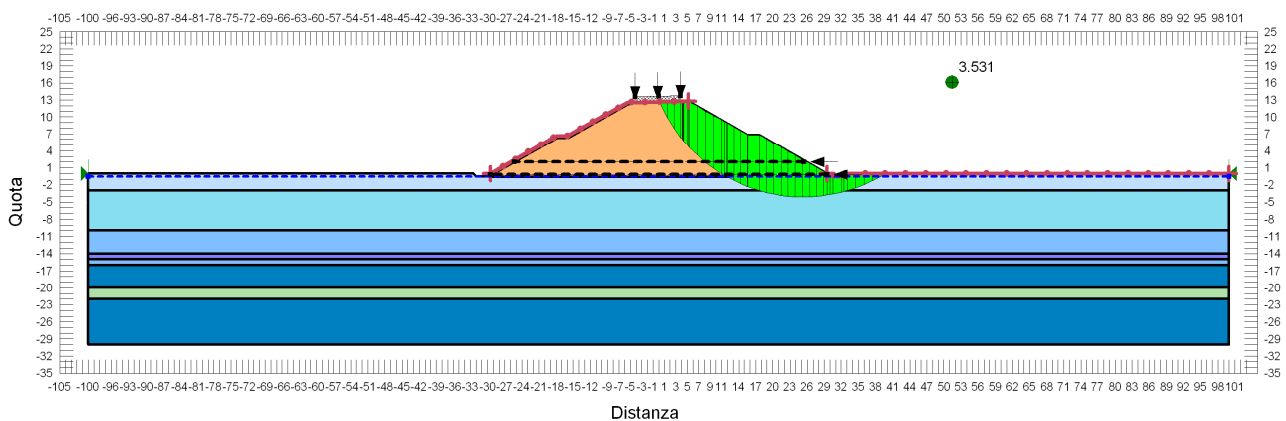
Si riportano nella tabella e nelle immagini seguenti i risultati ottenuti per le diverse condizioni di calcolo per rilevati di altezza 12.80 m.

**TABELLA 8-9: RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE H<sub>RIL</sub> = 12.80 M.**

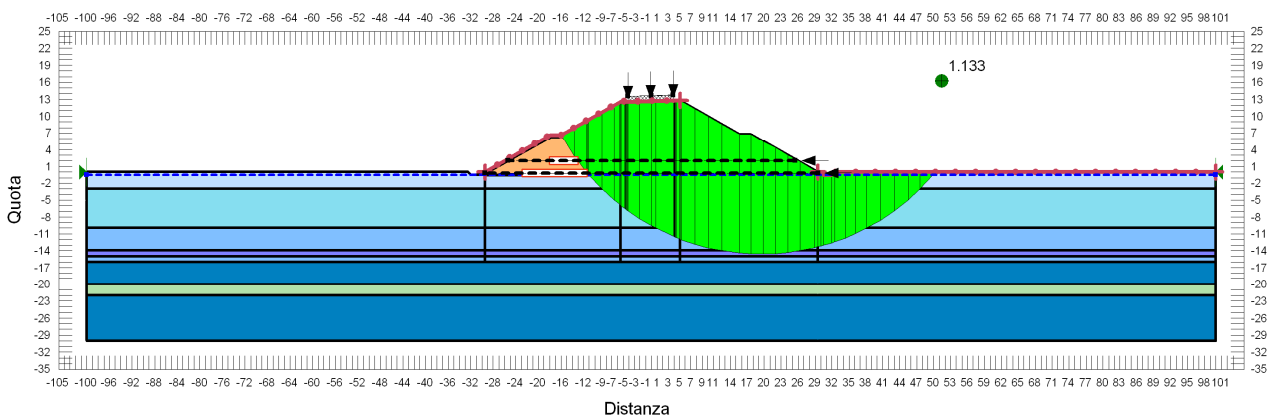
VERIFICHE	FS ( $\gamma_R \geq 1.1$ )			
	Cond. STATICA NON DRENATA	Cond. STATICA DRENATA	Cond. SISMA +	Cond. SISMA -
H=12.80 m	1.547	3.531	1.133	1.236



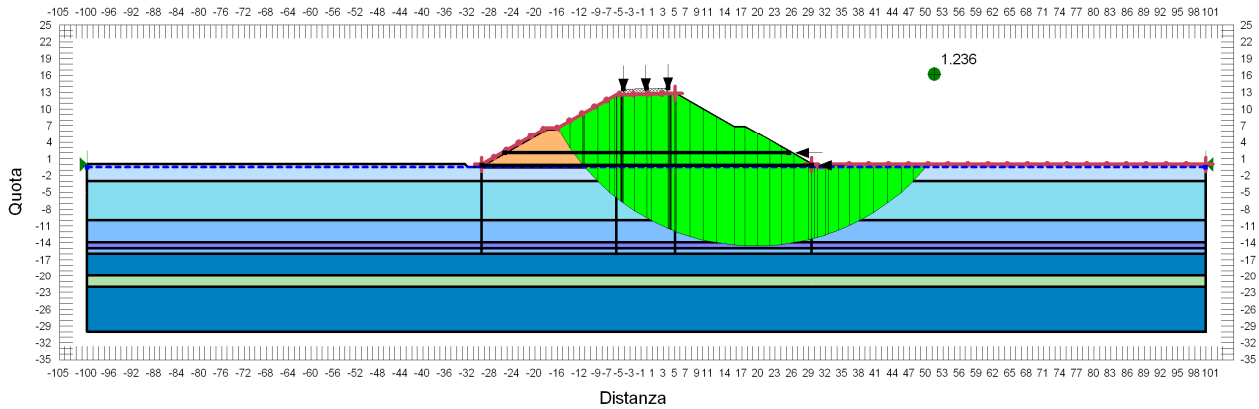
**FIGURA 8-21: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=12.80 M - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.**



**FIGURA 8-22: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=12.80 M - CONDIZIONE STATICA DRENATA.**



**FIGURA 8-23: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=12.80 M - CONDIZIONE SISMA+.**



**FIGURA 8-24: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=12.80 M - CONDIZIONE SISMA-.**

## 9. STIMA DEI CEDIMENTI E LORO EVOLUZIONE NEL TEMPO

Per la valutazione dei cedimenti si rimanda al documento PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_03.

In particolare gli interventi previsti sono riassunti nella seguente tabella.

**TABELLA 9-1: INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO RILEVATI.**

Interventi Previsti					
	Intervento previsto	Lato maglia quadrata [m]	Lunghezza dreni da piano campagna [m]	Tempo di costruzione	Tempo attesa
<b>INTERCONNESSIONE A13</b>	Hrilevato $\leq 300$ non sono previsti dreni a nastro	-	-	10 gg/metro	15 mesi
	$3.00 < Hrilevato \leq 5.00$ sono previsti dreni a nastro	4.0	21	10 gg/metro	16 mesi
	$5.00 < Hrilevato \leq 7.00$ sono previsti dreni a nastro	3.5	25	10 gg/metro	16 mesi
	$7.00 < Hrilevato \leq 9.00$ sono previsti dreni a nastro	3.5	25	10 gg/metro	20 mesi
	$9.00 < Hrilevato \leq 11.00$ sono previsti dreni a nastro	3.5	30	10 gg/metro	24 mesi

## 10. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO PER I RILEVATI IN CORRISPONDENZA DELLE SPALLE DELLE OPERE D'ARTE

Per la valutazione dei cedimenti si rimanda al documento PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_03.

In particolare gli interventi previsti sono riassunti nella seguente tabella.

Opera d'arte		Tipologia opera	Tipologia Spalla	Tipologia dreni	$L_d$ (valutata da piano campagna) [m]	$i_d$ [m]	$H_{precarico}$ [m]	$T_c$ (Tempo di costruzione)	$T_a$ (Tempo di attesa: fine esecuzione rilevato - esecuzione della spalla)	Rilevato di approccio in LECA?	Impiego di un palanco lato?
ICV01	Adeguamento Cavalcavia a Via Imperiale	Iperstatico	passante (2 file di pali)	dreni a nastro	25.0	2.0	1.0	10 gg/metro	12 mesi	no	no
ICV02	Cavalcavia a Rampa Sud - Ovest	Iperstatico	passante (2 file di pali)	dreni in sabbia	50.0	3.0	4.0	10 gg/metro	28 mesi	no	no
ICV03	Calvalcavia a Rampa Nord-Est	Iperstatico	passante (2 file di pali)	dreni in sabbia	46.0	3.0	4.0	10 gg/metro	12 mesi	no	no
ICV04	Cavalcavia a Rampa Ovest - Nord	Iperstatico	passante (2 file di pali)	dreni in sabbia	50.0	3.0	4.0	10 gg/metro	12 mesi	no	no

## **11. 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.

## **12. CLASSI DI ESPOSIZIONE PER OPERE DI FONDAZIONE**

---

Si rimanda al documento PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_03.



## 13. TRATTAMENTO DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI

### 13.1. 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".

### 13.2. SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE

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

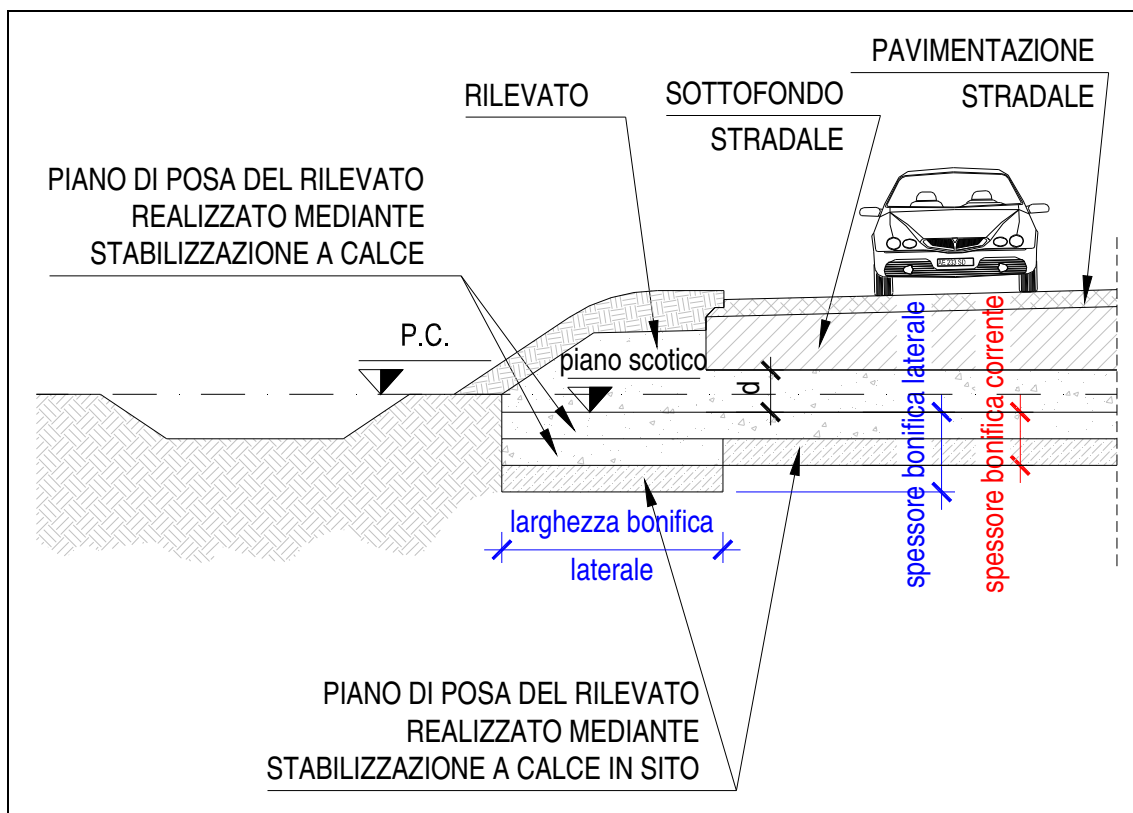


FIGURA 13-1: SCHEMA GENERALE BONIFICHE.

### 13.3. 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 13-1: LIVELLI PRESTAZIONALI MINIMI DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE.**

WBS	Tratto	pk inizio [km]	pk fine [km]	d [m]	$M_{d\text{-richiesto}}$ [MPa]
IRA09	1	0+000	0+665	0.7	29
IRA10	1	0+000	0+130	0.7	29
	2	0+130	inizio IGA04	0.0	50
	3	fine IGA04	inizio IGA05	0.0	50
	4	fine IGA05	0+350	0.0	50
	5	0+350	1+120	1.0	20
	6	1+120	1+193	0.0	50
IRA07-B	1	0+000	0+600	1.0	20
	2	0+600	0+731	0.0	50
IRA07-A	1	0+000	0+070	0.0	50
	2	0+070	0+150	0.6	32
	3	0+150	0+450	0.2	44
	4	0+450	0+845	0.6	32
IRA11	1	0+000	0+705	1.0	20
	2	0+705	inizio IGA06	0.0	50
	3	fine IGA07	1+000	0.0	50
	4	1+000	1+036	1.0	20
IRA08	1	0+000	0+375	1.0	20
	2	0+375	1+104	0.0	50
IRA12	1	0+000	0+620	1.0	20
	2	0+620	0+648	0.0	50
	3	0+782	1+158	0.0	50

WBS	Tratto	pk inizio [km]	pk fine [km]	d [m]	M <sub>d-ri chiesto</sub> [MPa]
IRA05	1	0+000	0+600	0.0	50
	2	0+600	0+650	1.0	20
IRA06	1	0+000	inizio IGA03	0.0	50
	2	fine IGA03	0+340	0.0	50
	3	0+340	1+303	1.0	20

Gli intervalli di pk indicati risultano al lordo delle opere d'arte, a meno delle trincee.

### 13.4. 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:* 431, 432 e 433 (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, per il singolo tratto individuato sulla base della distanza prevalente intradosso fondazione/sottofondo stradale – piano di posa rilevato (vedi Tabella 13-1):

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

TABELLA 13-2: TERRENO NATURALE – MODULO ELASTICO ASSUNTO NELLE ELABORAZIONI.

WBS	Tratto	$E_{PLT} = E_0$ [MPa]
/	/	6.0

### 13.5. 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 13-1).

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 13-3: SPESSORI DI BONIFICA LUNGO IL TRACCIATO.

Asse	Tratto	Spessore bonifica corrente [m]	Spessore bonifica laterale [m]	Larghezza bonifica laterale [m]	Analisi di Burmister
IRA09	1	0.3	0.6	2.5	Figura 13-3
IRA10	1	0.3	0.6	2.5	Figura 13-3
	2	0.6	0.6	0.0	Figura 13-6
	3	0.6	0.6	0.0	Figura 13-6
	4	0.6	0.6	0.0	Figura 13-6
	5	0.3	0.6	2.5	Figura 13-2
	6	0.6	0.6	0.0	Figura 13-6
IRA07-B	1	0.3	0.6	2.5	Figura 13-2
	2	0.6	0.6	0.0	Figura 13-6
IRA07-A	1	0.6	0.6	0.0	Figura 13-6
	2	0.3	0.6	2.5	Figura 13-4
	3	0.6	0.6	0.0	Figura 13-5
	4	0.3	0.6	2.5	Figura 13-4
IRA11	1	0.3	0.6	2.5	Figura 13-2
	2	0.6	0.6	0.0	Figura 13-6
	3	0.6	0.6	0.0	Figura 13-6
	4	0.3	0.6	2.5	Figura 13-2
IRA08	1	0.3	0.6	2.5	Figura 13-2
	2	0.6	0.6	0.0	Figura 13-6
IRA12	1	0.3	0.6	2.5	Figura 13-2
	2	0.6	0.6	0.0	Figura 13-6
	3	0.6	0.6	0.0	Figura 13-6
IRA05	1	0.6	0.6	0.0	Figura 13-6
	2	0.3	0.6	2.5	Figura 13-2
IRA06	1	0.6	0.6	0.0	Figura 13-6
	2	0.6	0.6	0.0	Figura 13-6
	3	0.3	0.6	2.5	Figura 13-2

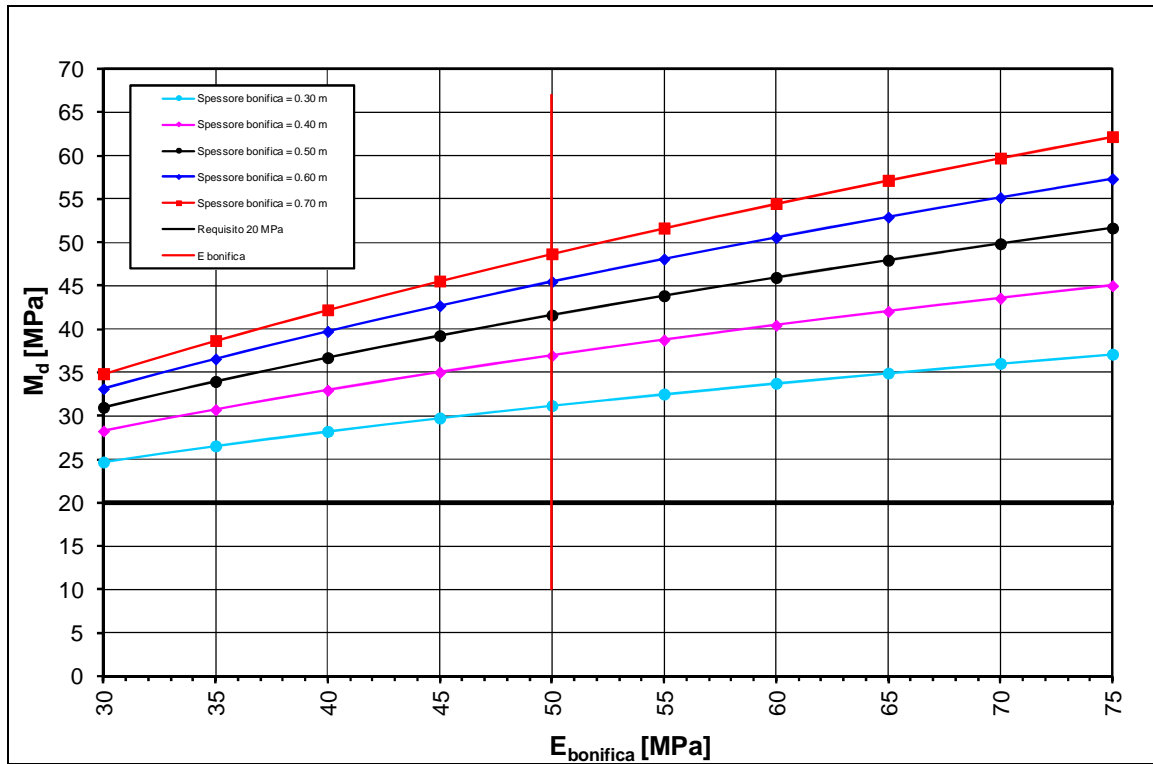


FIGURA 13-2:  $M_{D-RICHIESTO} = 20\text{MPa}$  – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.

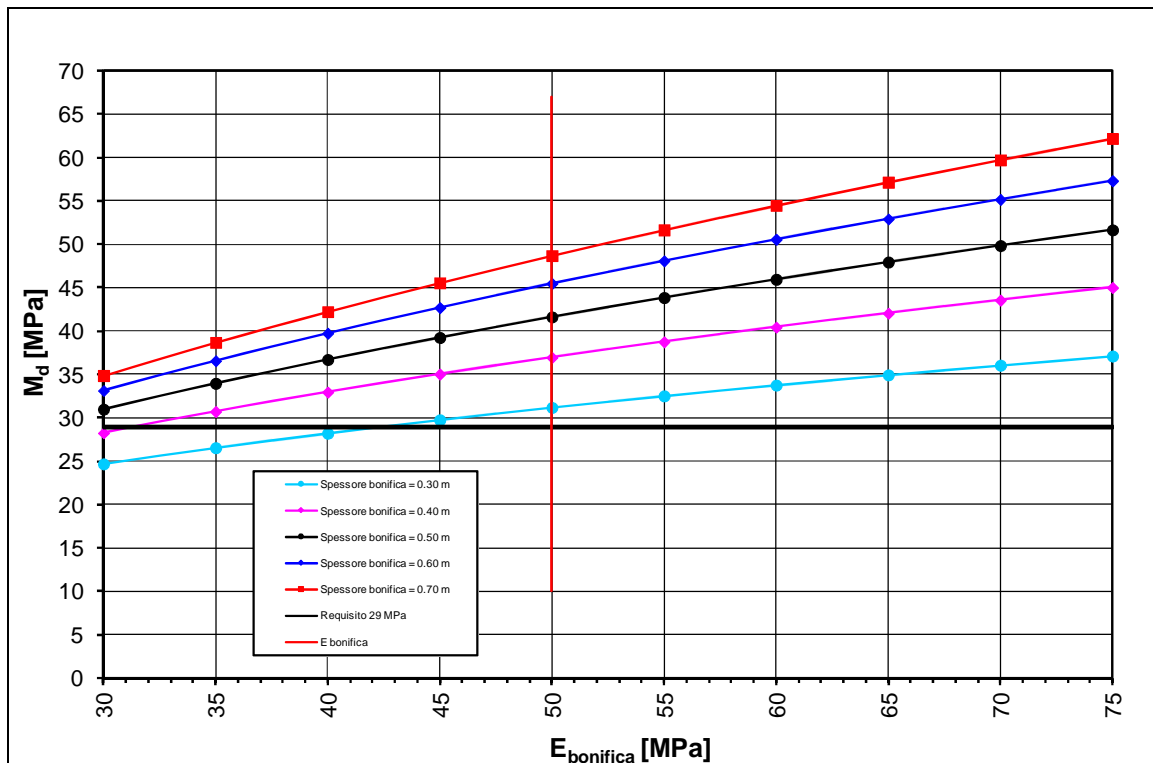
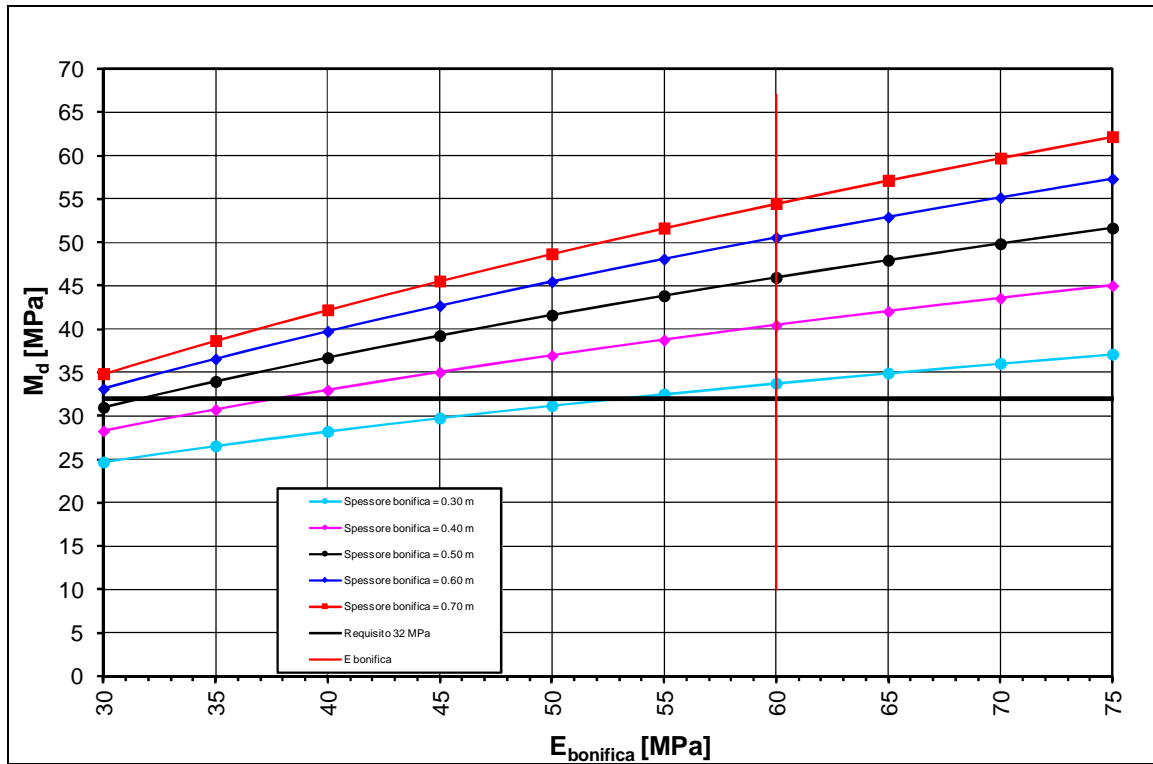
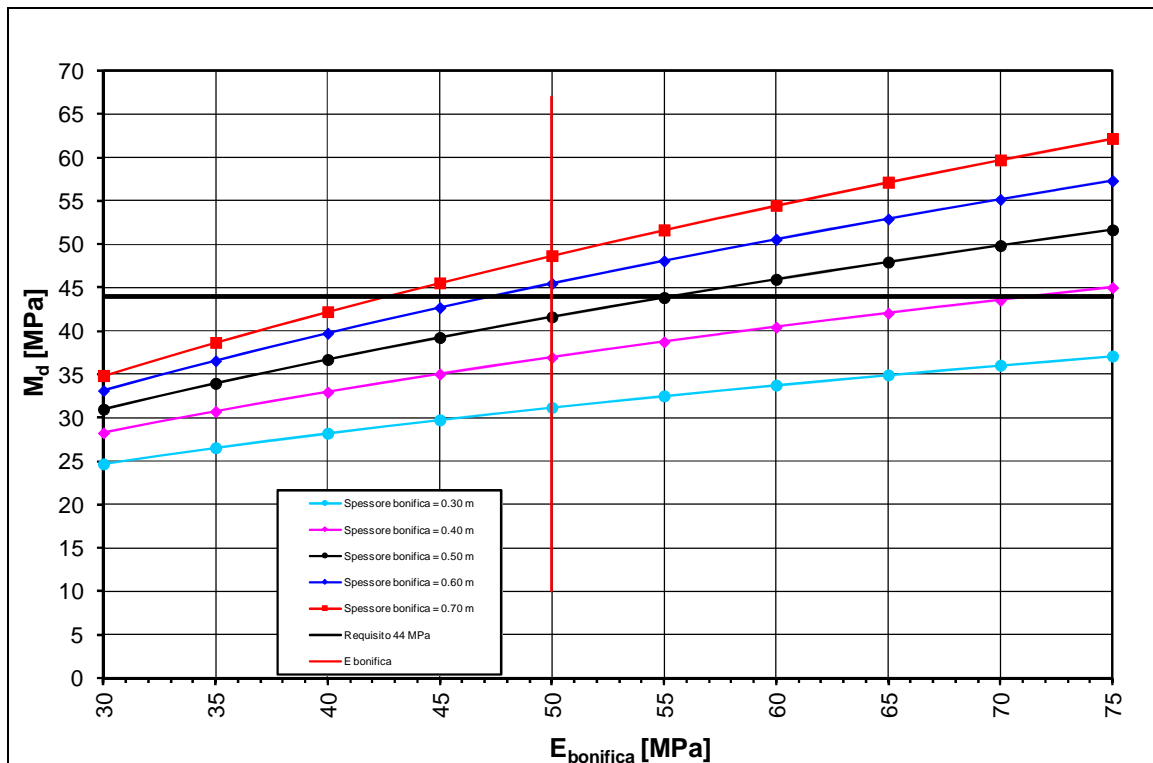


FIGURA 13-3:  $M_{D-RICHIESTO} = 29\text{MPa}$  – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.



**FIGURA 13-4: M<sub>D</sub>-RICHIESTO = 32MPa – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.**



**FIGURA 13-5: M<sub>D</sub>-RICHIESTO = 44MPa – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.**

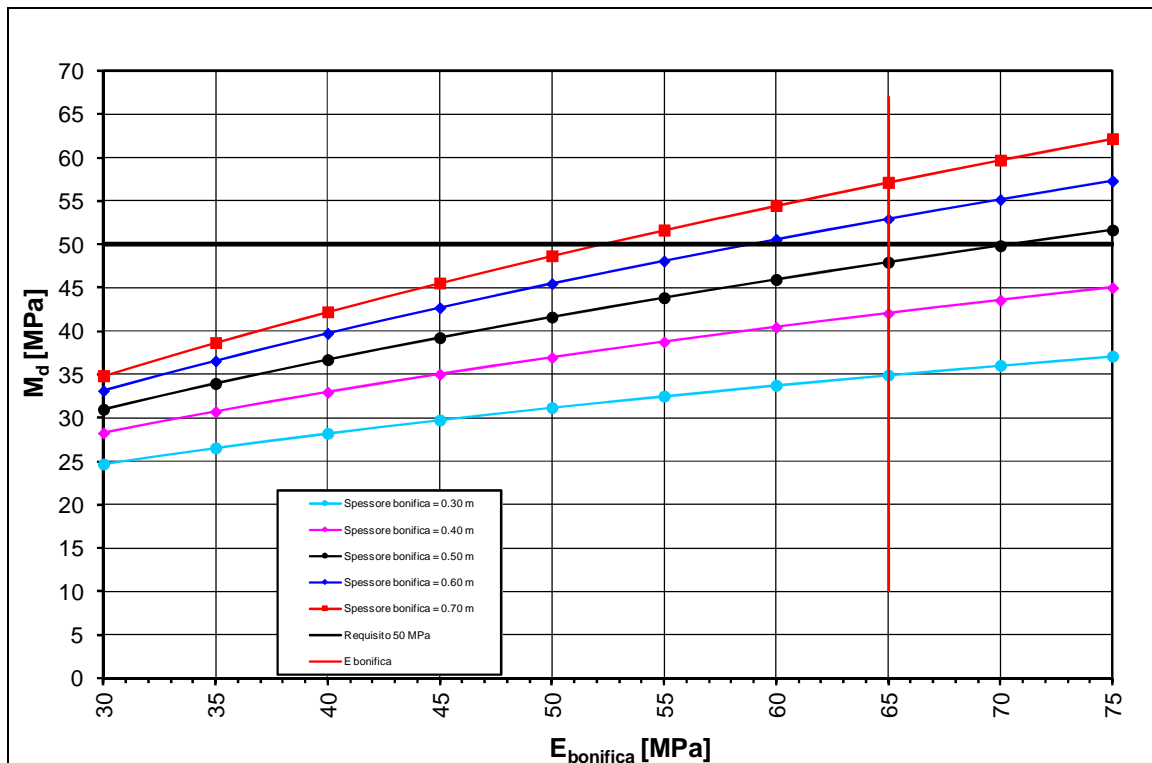


FIGURA 13-6:  $M_{D-RICHIESTO} = 50\text{MPa}$  – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.

## 13.6. 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 13-4: INDICAZIONI IN MERITO ALLA %CAO DA ADOTTARE NELLA STABILIZZAZIONE.**

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