



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

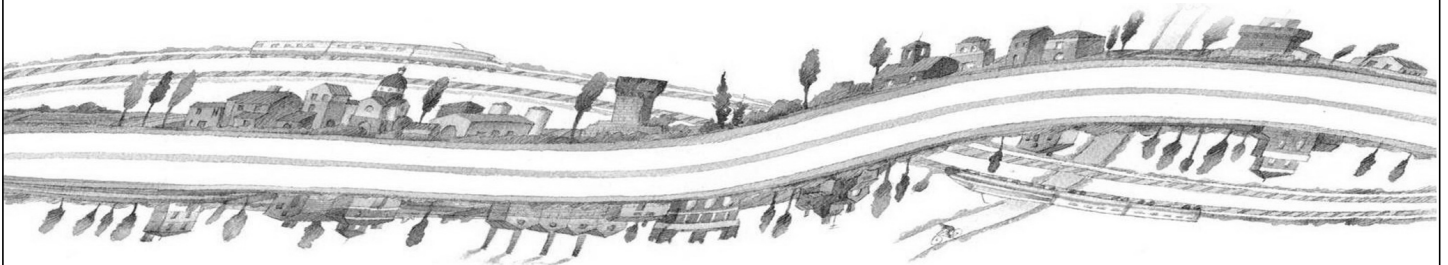
CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

**VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE - D02 (EX 1RE) VARIANTE
ALLA SP41 IN CORRISP. DEL TRACCIATO CISPADANO-TRATTO TRA SP60 E BRESCELLO**
GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA



IL PROGETTISTA

Ing. Gianfranco Marchi
Albo Ing. Ravenna n°342

Gianfranco Marchi

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

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: _
4853	PD	0	D02	D0000	0	GT	RB	01	A	

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1. NORMATIVA	4
2.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO	4
2.3. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO	5
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DI LABORATORIO	6
3.1. INDAGINI IN SITO.....	6
3.2. PROVE DI LABORATORIO	8
4. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA.....	10
5. DEFINIZIONE DEI LIVELLI PIEZOMETRICI	12
5.1. DATI PIEZOMETRICI DISPONIBILI.....	12
5.1.1. Monitoraggio piezometrico	12
5.2. DEFINIZIONE DELLA FALDA DI PROGETTO.....	13
6. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	15
7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	16
7.1. PREMESSA.....	16
7.2. ZONA OMOGENEA 1.....	17
7.3. ZONA OMOGENEA 2.....	21
7.4. ZONA OMOGENEA 3.....	25
8. STRATIGRAFIE E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO	29
8.1. ZONA OMOGENEA 1.....	29
8.2. ZONA OMOGENEA 2.....	30
8.3. ZONA OMOGENEA 3.....	31
9. VERIFICHE DI STABILITÀ DEI RILEVATI.....	32
9.1. VERIFICHE DI STABILITÀ DEL CORPO RILEVATO.....	33
9.1.1. $H_{ril} = 6.00\text{ m}$	34
9.1.2. $H_{ril} = 10.00\text{ m}$	35
9.2. VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE DEI RILEVATI.....	37
9.2.1. Zona omogenea 1	37
9.2.1.1 $H_{ril} = 6.00\text{ m}$	37
9.2.1.2 $H_{ril} = 10.00\text{ m}$	39
9.2.2. Zona omogenea 2	41

9.2.2.1	$H_{rij} = 6.00 \text{ m}$	41
9.2.2.2	$H_{rij} = 10.00 \text{ m}$	42
9.2.3.	Zona omogenea 3	44
9.2.3.1	$H_{rij} = 6.00 \text{ m}$	44
9.2.3.2	$H_{rij} = 10.00 \text{ m}$	46
10.	VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI	48
10.1.	LIVELLI PRESTAZIONALI RILEVATI	48
10.2.	ZONA OMOGENEA 1.....	49
10.2.1.	$H_{rij}=3.00 \text{ m}$	49
10.2.2.	$H_{rij}=6.00 \text{ m}$	52
10.2.3.	$H_{rij}=9.00 \text{ m}$	55
10.3.	ZONA OMOGENEA 2.....	58
10.3.1.	$H_{rij}=3.00 \text{ m}$	58
10.3.2.	$H_{rij}=4.00 \text{ m}$	61
10.3.3.	$H_{rij}=6.00 \text{ m}$	64
10.3.4.	$H_{rij}=9.00 \text{ m}$	67
10.4.	ZONA OMOGENEA 3.....	70
10.4.1.	$H_{rij}=3.00 \text{ m}$	70
10.4.2.	$H_{rij}=4.00 \text{ m}$	73
10.4.3.	$H_{rij}=6.00 \text{ m}$	76
10.4.4.	$H_{rij}=9.00 \text{ m}$	79
11.	INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO PER I RILEVATI IN CORRISPONDENZA DELLE SPALLE DELLE OPERE D'ARTE	82
12.	VERIFICA STABILITÀ AI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE	83
13.	CLASSI DI ESPOSIZIONE PER OPERE DI FONDAZIONE	97
14.	TRATTAMENTO DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE.....	98
14.1.	CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEGLI SPESSORI DI BONIFICA AL DI SOTTO DEI RILEVATI.....	98
14.2.	SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE	98
14.3.	LIVELLO PRESTAZIONALE PIANO DI POSA DEI RILEVATI	99
14.4.	CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI	99
14.5.	EFFETTI DELLA VARIAZIONE DELLO SPESSORE DI BONIFICA E DEL RELATIVO MODULO ELASTICO	100
14.6.	STUDIO DELLA STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE	102
15.	VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI POST-SISMICI IN TERRENI COESIVI.....	104

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 D02 (ex 1RE) Variante alla SP n° 41 in corrispondenza del tracciato Cispadano - tratto tra SP n°60 e Bre scello.

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

- normativa e documentazione di riferimento per la caratterizzazione geotecnica;
- descrizione dei dati geognostici disponibili;
- caratterizzazione stratigrafica dei terreni lungo il tracciato;
- definizione dei livelli piezometrici ai fini delle analisi geotecniche;
- descrizione dei criteri utilizzati per la caratterizzazione geotecnica;
- definizione dei parametri geotecnici per le unità geotecniche individuate, in relazione alle singole zone omogenee definite lungo il tracciato;
- verifiche geotecniche.

2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1. NORMATIVA

Le normative di riferimento sono riportate nell'elaborato:

- PD_0_0000_0000_0_GE_KT_01, "Elenco delle Normative di riferimento".

2.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- Associazione Geotecnica Italiana (2005) "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica", Patron Editore, Bologna.
- LANCELLOTTA R. (1993) – "Geotecnica", Seconda edizione, ed. Zanichelli, Bologna.
- LUNNE T., CHRISTOFFERSEN H.P. (1985) – "Interpretation of Cone Penetrometer Data for Offshore Sands" – Norwegian Geotechnical Institute, 1985, Publication n. 156.
- LUNNE T., ROBERTSON P.K., POWELL J.J.M. (1997) – "Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice" – Blackie Academic & Profesional.
- P.K. ROBERTSON (2009) – "Interpretation of cone penetration tests - a unified approach" – Canadian Geotechnical Journal, Vol. 46, 1337-1355.
- "Soil behaviour in earthquake geotechnics"; Ishihara K.; 1996 Oxford science publications.
- "Dinamica dei terreni per le applicazioni sismiche"; Crespellani T., Facciorusso J.; 2010, Dario Flaccovio Editore.
- "Dynamic deformation characteristics of soils determined by laboratory tests", Yokota K., Imai T., Konno M., 1981; OYO Technical report.
- "The behaviour of Drammen clay under cyclic loading", Eekelen H.A.M. Van, Potts D.M., 1978
- "Post-cyclic degradation of strength and stiffness for low plasticity silt", Yasuhara K., Murakami S.M., Song B., Yokokawa S., Hyde A.F.L., 2003

2.3. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO

Nell'ambito delle attività di progettazione, a corredo della presente relazione sono state elaborate le cartografie tematiche di seguito elencate:

- D02 (ex 1RE) Variante alla SP n°41 in corrispondenza del tracciato Cispadano - tratto tra SP n°60 e Brescello - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - scala 1:5.000
Cod. PD_0_D02_D0002_0_GT_PG_01;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 1/1 - scala 1:10.000
Cod. PD_0_D00_D0000_0_GT_CT_01;
- D02 (ex 1RE) Variante alla SP n°41 in corrispondenza del tracciato Cispadano - tratto tra SP n°60 e Brescello - Profilo geotecnico - scala 1:5.000/1:200
Cod. PD_0_D02_D0002_0_GT_FT_01.

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

- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 1 - Relazione illustrativa
Cod. PD_0_X01_X0000_0_IS_RG_00;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 1 - 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.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DI LABORATORIO

Le campagne di indagini geognostiche a supporto della caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalle opere in progetto derivano dalla campagna indagini eseguita a partire dal luglio 2011 (nel seguito definita campagna indagini di Progetto Definitivo), che ha previsto sia l'esecuzione di indagini in sito sia la realizzazione di prove di laboratorio.

3.1. INDAGINI IN SITO

Le indagini geognostiche in sito effettuate nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo sono riportate nel seguito:

- n. 5 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo (BH), eseguiti da Geo-service srl di Casagiove (CE), spinti a profondità comprese di 40 m da piano campagna.

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

- rilievo stratigrafico;
 - rilievo speditivo della consistenza mediante prove con pocket penetrometer e scissometro sul materiale carotato;
 - rilievo del livello di falda;
 - prelievo di campioni indisturbati con campionatore a pareti sottili tipo Shelby;
 - esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT (Standard Penetration Test) con punta aperta e recupero del campione rimaneggiato;
 - installazione di piezometri a tubo aperto di tipo Norton Ø4" e di tipo Casagrande.
- n. 12 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), eseguite da Geo-service srl di Casagiove (CE), 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. 9 pozzetti esplorativi (PZ), eseguiti da Geo-service srl di Casagiove (CE), eseguiti fino a 2,5 metri di profondità da piano campagna.
Durante l'esecuzione dei sondaggi sono inoltre state effettuate le seguenti attività:
 - prelievo di campioni rimaneggiati di terreno;
 - esecuzione di prove di carico su piastra.
 - n. 1 prova con cono sismico (SCPT), eseguita da Imprefond srl di Trieste, spinta alla profondità di 25 m circa da piano campagna.

Un riepilogo delle indagini geognostiche precedentemente descritte è riportato da Tabella 3-1 a Tabella 3-3; 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 SONDAGGI STRATIGRAFICI ESEGUITI

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1RE-BH1	Sondaggio stratigrafico	1615270,953	4971843,789	26,330
1RE-BH2	Sondaggio stratigrafico	1615377,744	4971866,228	26,422
1RE-BH3	Sondaggio stratigrafico	1615551,177	4971893,637	27,161
1RE-BH4	Sondaggio stratigrafico	1617578,824	4971617,440	24,528
1RE-BH5	Sondaggio stratigrafico	1617649,804	4971697,868	23,209

TABELLA 3-2: QUADRO RIASSUNTIVO DELLE PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1RE-CPTU1	Prova penetrometrica	1614928,588	4971930,953	25,955
1RE-CPTU2	Prova penetrometrica	1615044,613	4971898,837	25,826
1RE-CPTU3	Prova penetrometrica	1615242,112	4971867,652	26,233
1RE-CPTU4	Prova penetrometrica	1615266,582	4971845,321	26,237
1RE-CPTU5	Prova penetrometrica	1615376,597	4971826,046	26,594
1RE-CPTU6	Prova penetrometrica	1615557,100	4971898,174	26,819
1RE-CPTU7	Prova penetrometrica	1616209,621	4971736,124	26,017
1RE-CPTU8	Prova penetrometrica	1617033,010	4971601,605	24,815
1RE-CPTU9	Prova penetrometrica	1617494,435	4971665,483	24,668
1RE-CPTU10	Prova penetrometrica	1617645,740	4971698,225	23,155
1RE-CPTU11	Prova penetrometrica	1618092,063	4971780,132	23,553
1RE-CPTU12	Prova penetrometrica	1618298,957	4971768,426	23,169

TABELLA 3-3: QUADRO RIASSUNTIVO DEI POZZETTI ESPLORATIVI ESEGUITI

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1RE-PZ1	Pozzetto esplorativo	1614918,255	4971928,303	25,906
1RE-PZ2	Pozzetto esplorativo	1615120,911	4971879,118	26,258
1RE-PZ3	Pozzetto esplorativo	1615821,799	4971755,479	26,353
1RE-PZ4	Pozzetto esplorativo	1616164,330	4971743,374	26,438
1RE-PZ5	Pozzetto esplorativo	1616480,101	4971685,132	25,650

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1RE-PZ6	Pozzetto esplorativo	1616790,600	4971666,260	24,782
1RE-PZ7	Pozzetto esplorativo	1617173,131	4971673,797	25,083
1RE-PZ8	Pozzetto esplorativo	1618092,887	4971783,687	23,481
1RE-PZ9	Pozzetto esplorativo	1618293,809	4971767,737	23,215

TABELLA 3-4: QUADRO RIASSUNTIVO DELLE PROVE CON CONO SISMICO ESEGUITE

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1RE-SCPT5	Prova con cono sismico	1615376,597	4971826,046	26,594

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

3.2. PROVE DI LABORATORIO

Al fine di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni, i campioni indisturbati prelevati durante la campagna indagini di Progetto Definitivo, sono stati sottoposti a prove di laboratorio; in particolare:

- Prove di classificazione
 - 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 peso di volume allo stato naturale;
 - determinazione del peso specifico dei grani.

- Prove meccaniche
 - prova triassiale non consolidata non drenata (U.U.);
 - prova triassiale consolidata e non drenata con misura delle pressioni interstiziali (C.I.U.);
 - prova di taglio diretto (T.D.);
 - prova di compressione non confinata (ELL);
 - prova di compressibilità edometrica con diagramma deformazione/tempo e determinazione dei coefficienti M , C_v , C_α e k .

Inoltre, 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 (*"Profilo geotecnico Viabilità di adduzione 1RE"* doc. PD_0_D02_D0002_0_GT_FT_01). L'intera profondità indagata lungo tutta la tratta in progetto è caratterizzata dalla presenza di depositi di piana alluvionale che sono stati suddivisi nelle 6 unità stratigrafiche descritte in seguito:

- Unità R

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

- Unità 1

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

- Unità 2

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

- Unità 3

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

- 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

5.1. DATI PIEZOMETRICI DISPONIBILI

5.1.1. Monitoraggio piezometrico

Nel corso della campagna indagini eseguita a supporto delle attività di progettazione, alcuni fori di sondaggio stratigrafico sono stati attrezzati mediante l'istallazione di verticali piezometriche, sia di tipo Norton (ovvero a tubo aperto), sia con celle di Casagrande.

Contestualmente alle attività di indagine, è stata eseguita una campagna di monitoraggio piezometrico della strumentazione installata, che ha previsto una serie di letture protrattesi fino a marzo 2012.

Nella successiva Tabella 5-1 si riporta il quadro completo della strumentazione installata e delle letture disponibili, mentre per l'ubicazione in pianta delle verticali piezometriche si rimanda alle cartografie idrogeologiche di progetto.

TABELLA 5-1: QUADRO RIASSUNTIVO DEI PIEZOMETRI INSTALLATI E DELLE LETTURE DEI LIVELLI DI FALDA DISPONIBILI.

Sigla	PIEZ. TIPO	CARATTERISTICHE PIEZOMETRO	Letture livello falda in m da piano campagna								
			Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar
1REBH2	Casagrande	Cella posta a 20 m	-	-	-	5,26	5,36	5,16	5,11	-	5,19
1REBH3	Tubo aperto	Tubo cieco 3 metri, tubo finestrato 5 metri	-	-	-	-	5,45	5,16	5,37	-	5,62
1REBH4	Casagrande	Cella posta a 10 m	-	-	-	4,12	4,33	4,27	4,39	-	4,57

Come si può osservare dai dati in Tabella 5-1, i livelli piezometrici misurati appaiono piuttosto depressi rispetto al piano di campagna e lontani dai valori che di norma attesi nel periodo invernale per questa porzione di territorio.

I dati storici e le esperienze pregresse, unitamente alle informazioni raccolte presso la popolazione locale, indicano infatti che la falda può attestarsi a quote molto prossime dal piano campagna nei periodi caratterizzati da apporti meteorici intensi e soprattutto nel periodo invernale/primaverile.

È evidente quindi che i livelli di soggiacenza eccezionalmente bassi misurati nel corso della campagna di rilievi e monitoraggio effettuata risultano affetti da una anomalia conseguente il prolungato periodo siccitoso estivo e la quasi totale assenza di apporti meteorici, protrattasi fino a tutto marzo 2012.

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.

- **Verifiche geotecniche: cedimenti, stabilità globale dei rilevati, liquefazione, capacità portante di pali/diaframmi fuori alveo**

Tali verifiche si ritengono influenzate prevalentemente dalla falda profonda.

Per la viabilità 1RE il monitoraggio piezometrico in essere lungo il tracciato stradale indica valori di soggiacenza della falda mediamente di 3,50÷5,50 m dal p.c.. Come illustrato anche per l'asse autostradale principali, i livelli misurati risultano affetti da un lungo periodo caratterizzato dalla quasi totale assenza di apporti meteorici, perdurato da luglio 2011 a tutto marzo 2012.

Pertanto, i valori misurati non possono essere considerati rappresentativi per la corretta definizione di una plausibile falda di progetto.

Si ritiene piuttosto che tale livello, analogamente a quanto fatto per la scelta della falda di progetto per l'asse autostradale, possa attestarsi, in condizioni stagionali "normali", ad una quota superiore di un 1,5÷2,0 metri circa.

In particolare, tenuto conto delle differenti quote del piano campagna lungo la viabilità in oggetto, per le verifiche geotecniche sopra citate si possono assumere i seguenti valori della falda di progetto:

TABELLA 5-2: DISCRETIZZAZIONE DELLA FALDA DI PROGETTO LUNGO LA VIABILITÀ 1RE.

	DA pk [m]	A pk [m]	Falda progetto m da p.c.
1 ^a tratta	0+000,00	2+075,00	2,50
	2+075,00	2+339,77	2,00
2 ^a tratta	0+000,00	0+550,00	2,00
	0+550,00	1+347,74	1,00

Cautelativamente la falda è stata posta a 1.0 m da piano campagna per quanto concerne la valutazione della capacità portante di pali/diaframmi.

- **Verifiche geotecniche: capacità portante di pali/diaframmi in alveo**

Falda di progetto = 0.0 m da piano campagna.

Tale livello di falda, leggermente superiore a quanto assunto nel punto precedente, non determina comunque variazioni significative in termini di portanza delle fondazioni profonde per cui, in generale, il calcolo delle capacità portanti ha fatto riferimento alla suddetta assunzione.

- **Progettazione e verifiche relative a tombini, scatolari stradali, trincee e muri di sostegno, edifici, basamenti, vasche di trattamento acque**

Dato il limitato approfondimento di tali opere, si ritiene opportuno considerare la falda superficiale, ovvero in linea generale il livello piezometrico massimo proprio delle unità geotecniche superficiali.

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

Falda di progetto = 0.5 m da piano campagna.

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

- **Opere provvisorie, scarpate provvisorie, 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;
- unità 4: sabbie medie, talora debolmente limose, da mediamente addensate ad addensate;
- unità 5: sabbie medie, talora debolmente limose, con un buon grado di addensamento;
- unità 6: argille poco consistenti, con abbondante presenza di frustoli carboniosi e livelli organici indecomposti.

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

L'analisi del profilo stratigrafico sulla base delle unità litostratigrafiche suddette ha permesso la suddivisione dell'intero tratto in progetto in 3 zone omogenee, che presentano al loro interno caratteristiche geologico-geotecniche sostanzialmente uniformi.

7.2. ZONA OMOGENEA 1

La zona omogenea 1 si sviluppa dalla pk 0+000 fino alla pk 0+735 circa della 1° tratta, in corrispondenza del Fiume Enza.

Al di sotto di un primo strato di spessore pari a circa 2 metri di terreni limoso-sabbiosi (unità 2) si rinvengono prima depositi di natura argilloso-limosa (unità 1) fino a circa 12 metri di profondità e poi nuovamente un livello di spessore pari a circa 5 metri e continuo lateralmente di terreni limoso-sabbiosi (unità 2), oltre i 17 metri di profondità, e fino alla massima profondità indagata (40 metri), sono presenti depositi sabbiosi da poco a ben addensati (unità 3, 4 e 5) all'aumentare della profondità. Tale unità sabbiosa è variamente intercalata da lenti di spessore metrico e scarsa continuità laterale di argille limose (unità 1), limi sabbiosi (unità 2) e argille poco consistenti (unità 6).

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

Nei grafici riportati in Allegato 1 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

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/m³]

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5	Unità 6
γ [kN/m ³]	19.0	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]

	Unità 1	Unità 6
c_u [kPa] (*)	50 ÷ 110	50 ÷ 60

(*) = 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

	Unità 1	Unità 6
c' [kPa] (*)	2 ÷ 4	n.d.
ϕ' [°] (*)	22 ÷ 24	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	Unità 4	Unità 5
φ' [°] (*)	29 ÷ 31	30 ÷ 33	31 ÷ 34	32 ÷ 34

(*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

TABELLA 7-5: Z.O.1 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [MPa]

	Unità 1	Unità 6
M [kPa]	7000	6000
E' [kPa]	5200	4500
E _u [kPa]	40000	27500

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

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
E' [MPa]	15000	25000	40000	60000

TABELLA 7-7: Z.O.1 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m²/s]

	Unità 1	Unità 6
c_v [m ² /s]	$1.5 \cdot 10^{-7}$	$6.0 \cdot 10^{-7}$

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

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

	Unità 1	Unità 6
c_α [%]	0.2	n.d.

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

7.3. ZONA OMOGENEA 2

La zona omogenea 2 si sviluppa dalla pk 0+735 fino alla pk 2+085 circa della 1° tratta.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di un primo strato di spessore pari a circa 15 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1), localmente intercalati da lenti discontinue di limi sabbiosi (unità 2) e sabbie limose poco addensate (unità 3). Oltre i 15 metri di profondità, e fino alle massime profondità indagate (36 metri) sono presenti depositi sabbiosi, poco addensati (unità 3) per i primi 5 metri del deposito stesso e poi da mediamente addensati a ben addensati (unità 4 e 5).

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

Nei grafici riportati in Allegato 1 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

TABELLA 7-9: Z.O.2 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m³]

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
γ [kN/m ³]	19.0	n.d.	18.5	n.d.	n.d.

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

TABELLA 7-10: Z.O.2 COESIONE NON DRENATA [kPa]

	Unità 1
c_u [kPa] (*)	50 ÷ 110

(*) = 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 7-11: Z.O.2 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE

	Unità 1
c' [kPa] (*)	2 ÷ 4
φ' [°] (*)	22 ÷ 24

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 7-12: Z.O.2 ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
φ' [°] (*)	29 ÷ 31	30 ÷ 33	31 ÷ 34	32 ÷ 34

(*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

TABELLA 7-13: Z.O.2 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [MPa]

	Unità 1
M [kPa]	da 0.0 a 7.0 m: $1670 \cdot z + 1300$ oltre 7.0 m: 7500
E' [kPa]	da 0.0 a 7.0 m: $1240 \cdot z + 965$ oltre 7.0 m: 5600
E _u [kPa]	da 0.0 a 7.0 m: 40000 oltre 7.0 m: 80000

Nota: z = profondità da piano campagna in metri.

TABELLA 7-14: Z.O.2 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [MPa]

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
E' [MPa]	12000	25000	45000	60000

TABELLA 7-15: Z.O.2 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m²/s]

	Unità 1
c_v [m ² /s]	$2.8 \cdot 10^{-7}$

TABELLA 7-16: Z.O.2 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]

	Unità 1
c_α [%]	0.2

7.4. ZONA OMOGENEA 3

La zona omogenea 3 si sviluppa dalla pk 2+085 fino al termine della 1° tratta e per l'intero tracciato della 2° tratta.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di un primo strato di spessore pari a circa 15 metri di terreni argilloso-limosi (unità 1), localmente intercalate da lenti discontinue di limi sabbiosi (unità 2). Oltre i 15 metri, e fino a circa 35 metri di profondità, sono presenti depositi sabbiosi da poco a ben addensati (unità 3, 4 e 5). A partire da 35 metri e fino alle massime profondità indagate (40 metri), si osservano terreni argilloso-limosi (unità 1), intercalati a lenti di spessore metrico e buona continuità laterale di argille poco consistenti (unità 6).

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

Nei grafici riportati in Allegato 1 vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

TABELLA 7-17: Z.O.3 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m³]

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5	Unità 6
γ [kN/m ³]	18.0	19.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

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

TABELLA 7-18: Z.O.3 COESIONE NON DRENATA [kPa]

	Unità 1	Unità 6
c_u [kPa] (*)	60 ÷ 100	70 ÷ 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 7-19: Z.O.3 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE

	Unità 1	Unità 6
c' [kPa] (*)	2 ÷ 4	n.d.
ϕ' [°] (*)	22 ÷ 24	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 7-20: Z.O.3 ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
φ' [°] (*)	29 ÷ 31	30 ÷ 33	31 ÷ 35	33 ÷ 35

(*) = 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 7-21: Z.O.3 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [MPa]

	Unità 1	Unità 6
M [kPa]	$175 \cdot z + 5000$	11000
E' [kPa]	$130 \cdot z + 3715$	8170
E _u [kPa]	48000	31500

TABELLA 7-22: Z.O.3 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [MPa]

	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5
E' [MPa]	14000	25000	45000	70000

TABELLA 7-23: Z.O.3 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m²/s]

	Unità 1	Unità 6
c_v [m ² /s]	$1.5 \cdot 10^{-7}$	$6.6 \cdot 10^{-7}$

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

TABELLA 7-24: Z.O.3 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]

	Unità 1	Unità 6
c_α [%]	0.1	n.d.

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

8. STRATIGRAFIE E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Sulla base di quanto riportato nel precedente capitolo, nel seguito si riportano per le singole zone omogenee la stratigrafia di calcolo e i principali parametri geotecnici assunti per le varie unità litostratigrafiche considerate.

8.1. ZONA OMOGENEA 1

La stratigrafia adottata per i calcoli geotecnici relativi alla zona omogenea in questione è riportata in Tabella 8-1.

Per ogni unità litostratigrafica individuata sono riportati i corrispondenti parametri di deformabilità e di consolidazione per la valutazione dei cedimenti e i parametri di resistenza al taglio caratteristici e di progetto ai fini delle verifiche di stabilità.

TABELLA 8-1: STRATIGRAFIA E PARAMETRI DI PROGETTO – ZONA OMOGENEA 1.

Z _{min} [m da p.c.]	Z _{max} [m da p.c.]	Unità	γ [kN/m ³]	Parametri di deformabilità		Parametri di consolidazione		Parametri di resistenza al taglio caratteristici			Parametri di resistenza al taglio di progetto		
				E' [kPa]	E _v [kPa]	c _v cmq/s	c _{αε} [-]	c' _k [kPa]	φ _k [°]	c _{uk} [kPa]	c' _d [kPa]	φ' _d [°]	c _{ud} [kPa]
0.00	2.00	2	19.0	15000	-	-	-	-	30	-	-	24.79	-
2.00	14.00	1	19.0	5200	40000	1.5E-3	0.002	3.0	23	80.0	2.4	18.76	57.14
14.00	18.50	2	19.0	15000	-	-	-	-	30	-	-	24.79	-
18.50	19.50	3	18.5	25000	-	-	-	-	31	-	-	25.67	-
19.50	20.50	6	16.5	4500	27500	6.0E-3	0.002	-	17	55.0	-	13.74	39.29
20.50	22.00	3	18.5	25000	-	-	-	-	31	-	-	25.67	-
22.00	25.00	4	19.0	40000	-	-	-	-	32	-	-	26.56	-
25.00	27.00	5	19.5	60000	-	-	-	-	33	-	-	27.45	-
27.00	29.00	4	19.0	40000	-	-	-	-	32	-	-	26.56	-
29.00	30.00	5	19.5	60000	-	-	-	-	33	-	-	27.45	-
30.00	60.00	5	19.5	60000	-	-	-	-	33	-	-	27.45	-

Con riferimento a quanto indicato in Tabella 5-2, nelle elaborazioni è stato assunto il livello di falda pari a 2.50 m da p.c.

8.2. ZONA OMOGENEA 2

La stratigrafia adottata per i calcoli geotecnici relativi alla zona omogenea in questione è riportata in Tabella 8-2.

Per ogni unità litostratigrafica individuata sono riportati i corrispondenti parametri di deformabilità e di consolidazione per la valutazione dei cedimenti e i parametri di resistenza al taglio caratteristici e di progetto ai fini delle verifiche di stabilità.

TABELLA 8-2: STRATIGRAFIA E PARAMETRI DI PROGETTO – ZONA OMOGENEA 2.

Z _{min} [m da p.c.]	Z _{max} [m da p.c.]	Unità	γ [kN/m ³]	Parametri di deformabilità		Parametri di consolidazione		Parametri di resistenza al taglio caratteristici			Parametri di resistenza al taglio di progetto		
				E' [kPa]	E _u [kPa]	c _v cmq/s	c _{αε} [-]	c' _k [kPa]	φ' _k [°]	c _{uk} [kPa]	c' _d [kPa]	φ' _d [°]	c _{ud} [kPa]
0.00	1.50	2	19.0	12000	-	-	-	-	30	-	-	24.79	-
1.50	7.00	1	19.0	2825-9645	40000	2.8E-3	0.002	3.0	23	80.0	2.4	18.76	57.14
7.00	16.00	1	19.0	5600	80000	2.8E-3	0.002	3.0	23	80.0	2.4	18.76	57.14
16.00	22.00	3	18.5	25000	-	-	-	-	31	-	-	25.67	-
22.00	25.00	4	19.0	45000	-	-	-	-	32	-	-	26.56	-
25.00	27.00	5	19.5	60000	-	-	-	-	33	-	-	27.45	-
27.00	29.00	4	19.0	45000	-	-	-	-	32	-	-	26.56	-
29.00	60.00	5	19.5	60000	-	-	-	-	33	-	-	27.45	-

Con riferimento a quanto indicato in Tabella 5-2, nelle elaborazioni è stato assunto il livello di falda pari a 2.50 m da p.c.

8.3. ZONA OMOGENEA 3

La stratigrafia adottata per i calcoli geotecnici relativi alla zona omogenea in questione è riportata in Tabella 8-3.

Per ogni unità litostratigrafica individuata sono riportati i corrispondenti parametri di deformabilità e di consolidazione per la valutazione dei cedimenti e i parametri di resistenza al taglio caratteristici e di progetto ai fini delle verifiche di stabilità.

TABELLA 8-3: STRATIGRAFIA E PARAMETRI DI PROGETTO – ZONA OMOGENEA 3.

Z _{min} [m da p.c.]	Z _{max} [m da p.c.]	Unità	γ [kN/m ³]	Parametri di deformabilità		Parametri di consolidazione		Parametri di resistenza al taglio caratteristici			Parametri di resistenza al taglio di progetto		
				E' [kPa]	E _u [kPa]	C _v cmq/s	C _{αε} [-]	C' _k [kPa]	φ' _k [°]	C _{uk} [kPa]	C' _d [kPa]	φ' _d [°]	C _{ud} [kPa]
0.00	15.00	1	18.0	3715-5665	48000	1.5E-3	0.001	3.0	23	80.0	2.4	18.76	57.14
15.00	17.00	2	19.0	14000	-	-	-	-	30	-	-	24.79	-
17.00	19.00	3	18.5	25000	-	-	-	-	31	-	-	25.67	-
19.00	20.00	4	19.0	45000	-	-	-	-	33	-	-	27.45	-
20.00	21.00	1	18.0	6315-6445	48000	1.5E-3	0.001	3.0	23	80.0	2.4	18.76	57.14
21.00	29.00	4	19.0	45000	-	-	-	-	33	-	-	27.45	-
29.00	33.00	5	19.5	70000	-	-	-	-	34	-	-	28.35	-
33.00	35.00	1	18.0	8005-8265	48000	1.5E-3	0.001	3.0	23	80.0	2.4	18.76	57.14
35.00	36.00	6	16.5	8170	31500	6.6E-3	0.004	-	17	80.0	-	13.74	57.14
36.00	60.00	1	18.0	8395-11515	48000	-	0.001	3.0	23	85.0	2.4	18.76	60.71

Con riferimento a quanto indicato in Tabella 5-2, nelle elaborazioni è stato assunto il livello di falda pari a 1.00 m da p.c.

9. 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 al precedente § 8.

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 9-1: PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO MATERIALE DA RILEVATO E TERRENO VEGETALE.

Unità	γ [kN/m ³]	Parametri di resistenza al taglio caratteristici			Parametri di resistenza al taglio di progetto		
		c'_k [kPa]	ϕ'_k [°]	c_{uk} [kPa]	c'_d [kPa]	ϕ'_d [°]	c_{ud} [kPa]
Materiale da rilevato	19.5	15	28	200.0	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 : 50 anni;
- Classe d'uso: III;
- Coefficiente d'uso C_U : 1.5;
- Periodo di riferimento V_R : 75 anni.

si riassumono nella seguente tabella i valori dei coefficienti sismici adottati nelle verifiche di stabilità per le singole zone omogenee.

TABELLA 9-2: COEFFICIENTI SISMICI ADOTTATI PER LE VERIFICHE DI STABILITÀ DEI RILEVATI.

ZONA OMOGENEA	a_g	β_s	S_s	S_T	a_{max}	k_h	k_v
1	0.123g	0.24	1.500	1.0	0.185g	0.04438	±0.02219
2	0.102g	0.24	1.500	1.0	0.153	0.03677	±0.01839
3	0.102	0.24	1.500	1.0	0.153	0.03677	±0.01839

9.1. 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 2/3;
- rilevati di altezza $6.00 \text{ m} < H_{ril} \leq 10.00$ m:
 - pendenza delle scarpate pari a 2/3;
 - larghezza banca pari a 2.00 m a 6.00 m dalla sommità del rilevato;

In Tabella 9-3 si riportano i valori dei coefficienti di sicurezza FS ottenuti per le due altezze di rilevato analizzate.

Nei paragrafi seguenti si riportano nel dettaglio le verifiche condotte.

TABELLA 9-3: RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ DEL CORPO RILEVATO.

VERIFICHE	FS ($\gamma_R \geq 1.1$)			
	Cond. STATICA NON DRENATA	Cond. STATICA DRENATA	Cond. SISMA +	Cond. SISMA -
H=6.00 m	6.545	1.530	7.269	7.555
H=10.00 m	4.587	1.420	4.686	4.872

Si osserva che, ai fini delle verifiche sismiche, sono stati cautelativamente adottati i valori dei coefficienti sismici ottenuti per la zona omogenea 1 (Tabella 9-2).

9.1.1. H_{ril} 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.

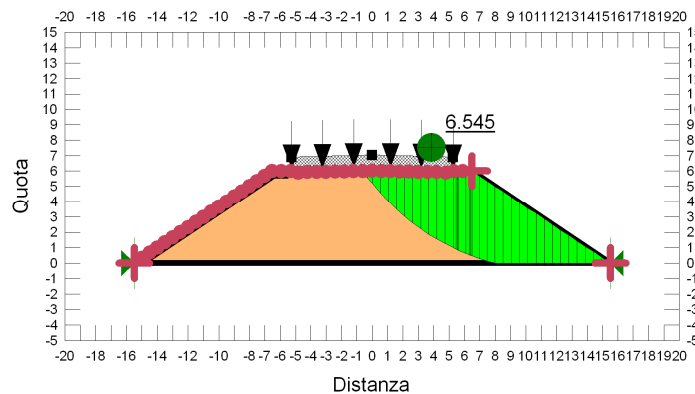


FIGURA 9-1: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.

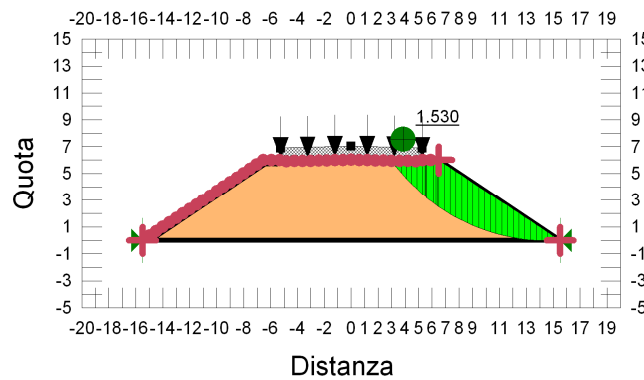


FIGURA 9-2: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE STATICA DRENATA.

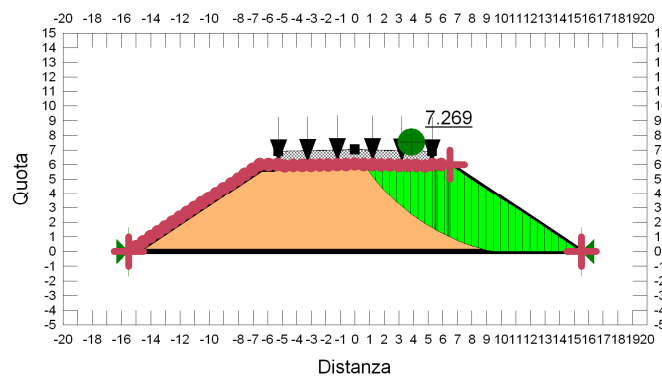


FIGURA 9-3: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE SISMA+.

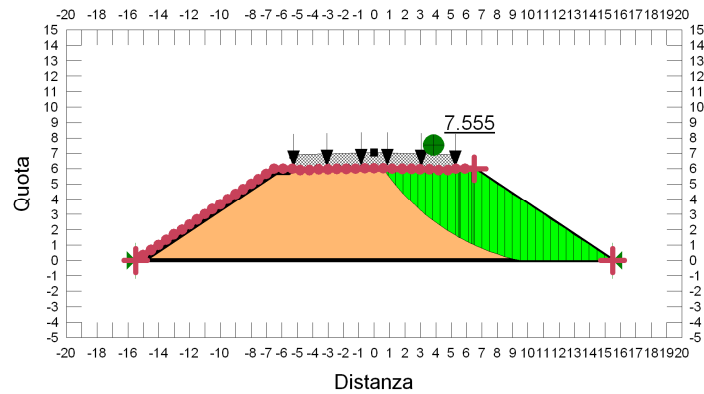


FIGURA 9-4: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE SISMA-.

9.1.2. H_{ril} 10.00 m

Nelle figure seguenti si riportano i risultati ottenuti per il rilevato di altezza 10.00 m per le diverse condizioni di calcolo.

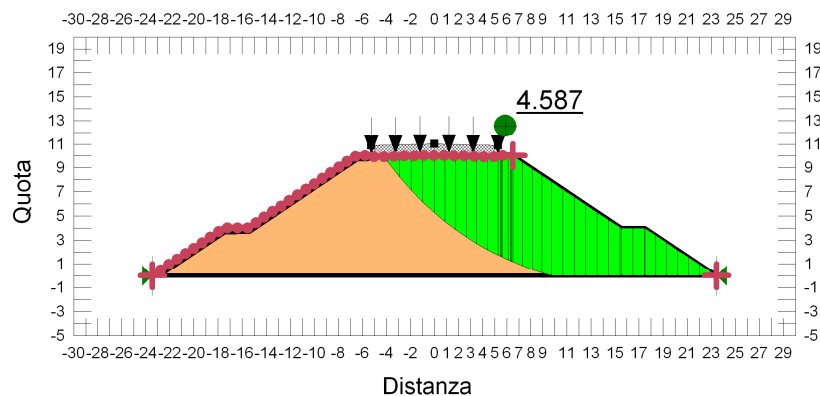


FIGURA 9-5: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.

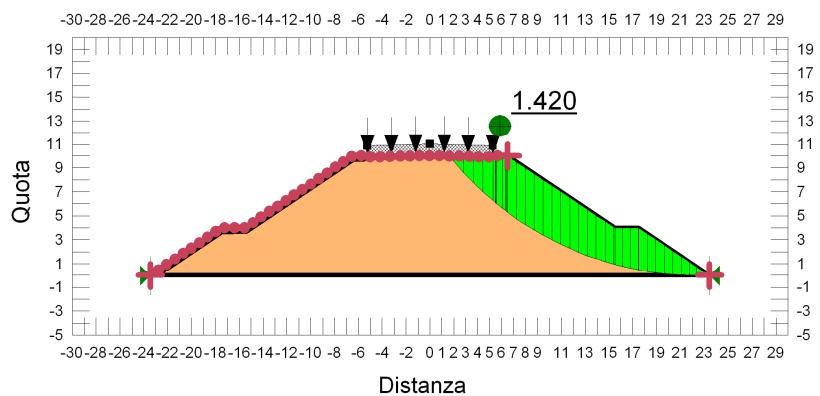


FIGURA 9-6: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE STATICA DRENATA.

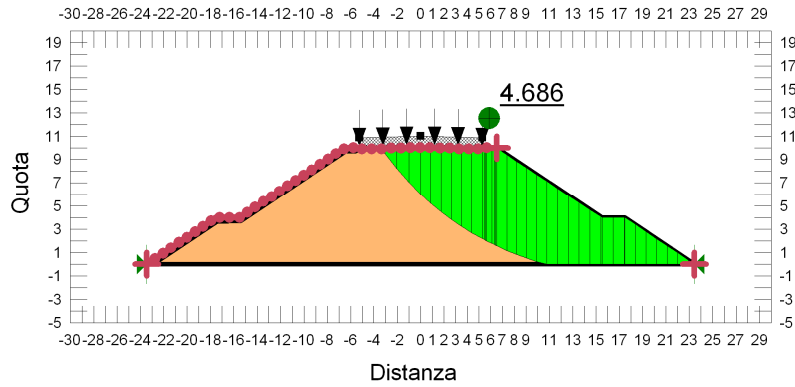


FIGURA 9-7: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE SISMA+.

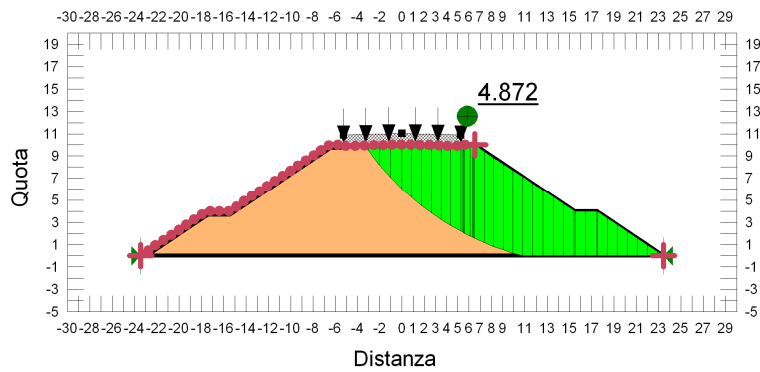


FIGURA 9-8: SUPERFICIE DI SCORRIMENTO PER RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE SISMA-.

9.2. VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE DEI RILEVATI

Sulla base delle altezze massime di rilevato individuate nel precedente paragrafo § 9.1, in corrispondenza di ciascuna zona omogenea è stata analizzata la stabilità globale; in questo caso, le superfici di scorrimento interessano anche gli strati di terreno al di sotto del rilevato.

9.2.1. Zona omogenea 1

9.2.1.1 $H_{ril} = 6.00\text{ m}$

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 9-4: RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE.

VERIFICHE	FS ($\gamma_R \geq 1.1$)			
	Cond. STATICA NON DRENATA	Cond. STATICA DRENATA	Cond. SISMA +	Cond. SISMA -
H=6.00 m	2.673	1.311	2.449	2.535

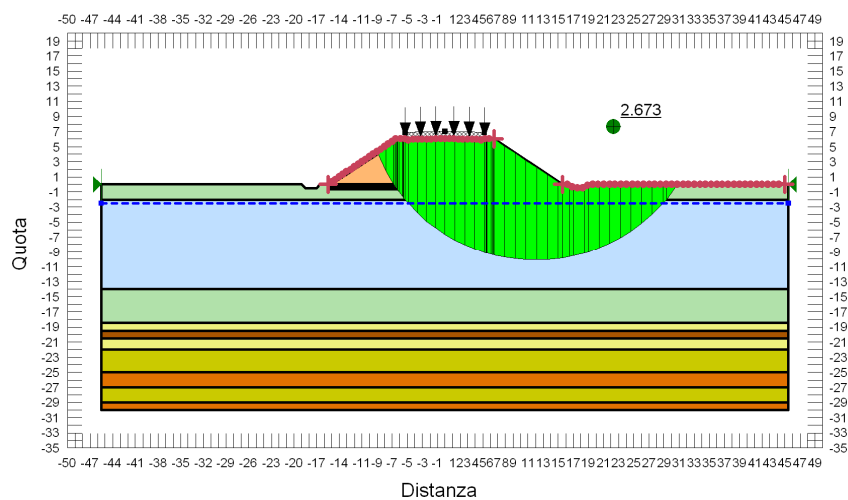


FIGURA 9-9: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.

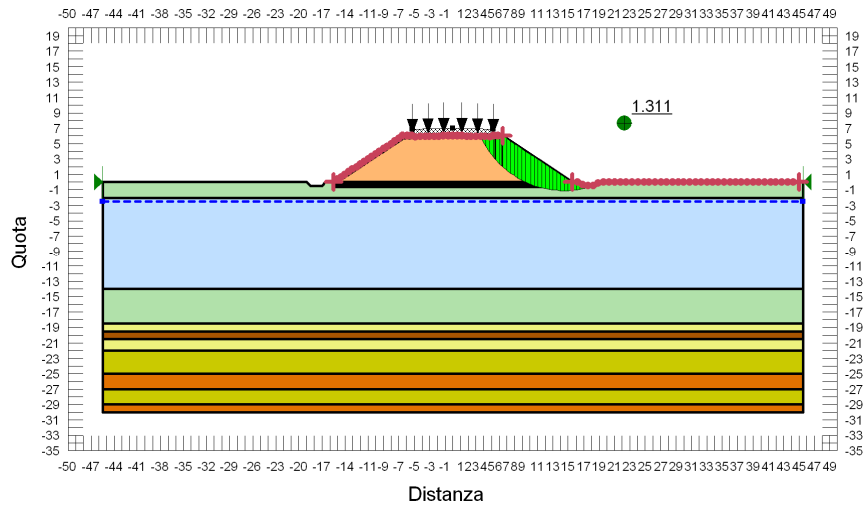


FIGURA 9-10: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE STATICA DRENATA.

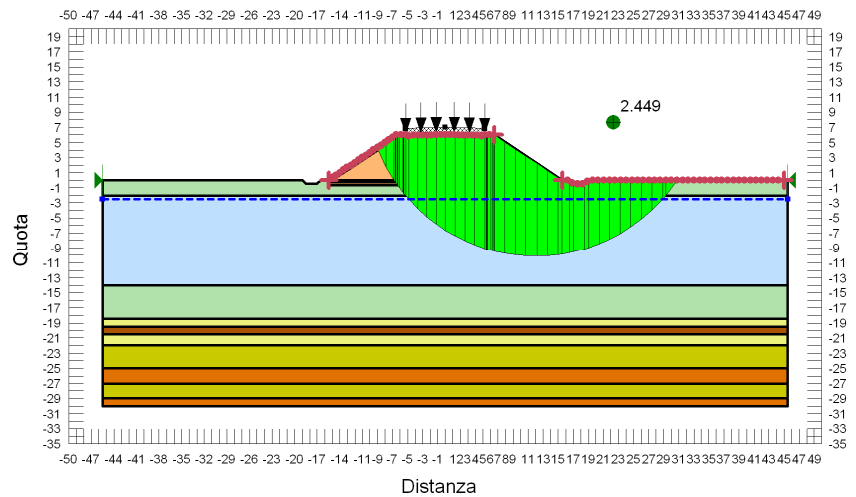


FIGURA 9-11: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE SISMA+.

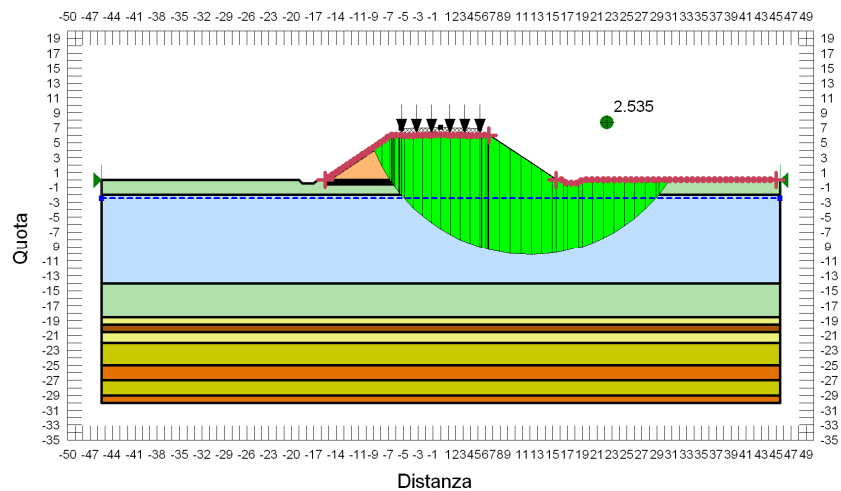


FIGURA 9-12: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE SISMA-.

9.2.1.2 $H_{ril} = 10.00\text{ m}$

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 9-5: RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE.

VERIFICHE	FS ($\gamma_R \geq 1.1$)			
	Cond. STATICA NON DRENATA	Cond. STATICA DRENATA	Cond. SISMA +	Cond. SISMA -
H=10.00 m	1.867	1.300	1.640	1.699

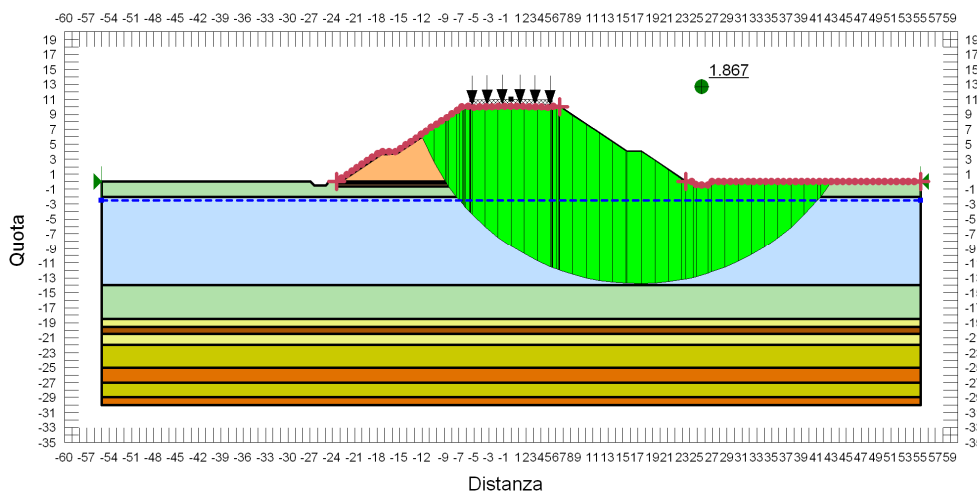


FIGURA 9-13: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.

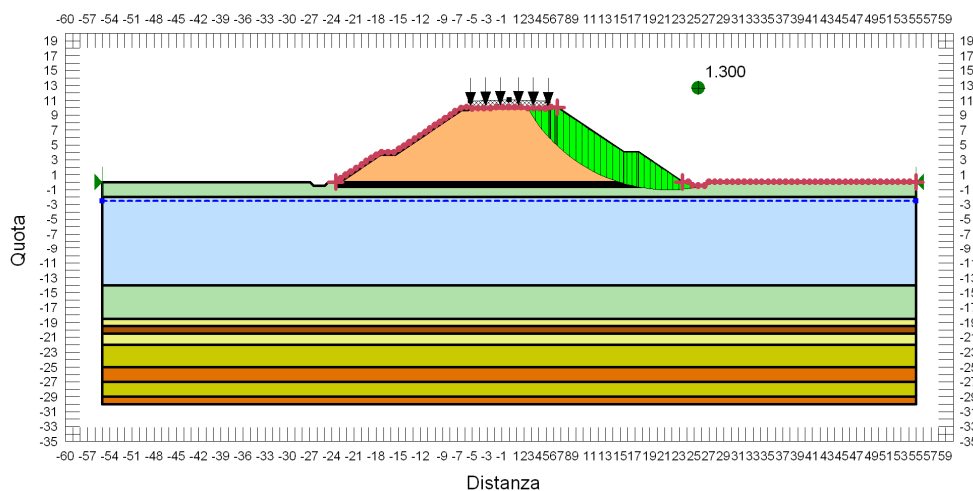


FIGURA 9-14: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE STATICA DRENATA.

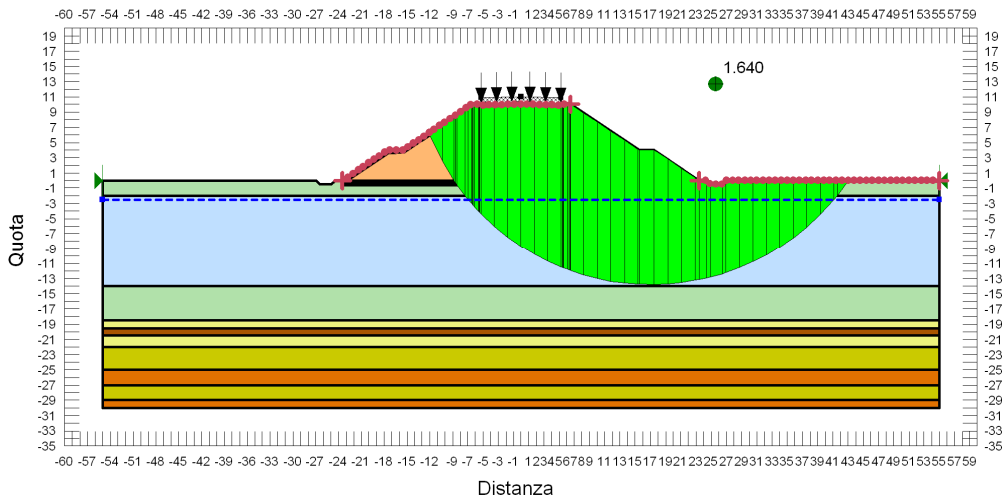


FIGURA 9-15: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE SISMA+.

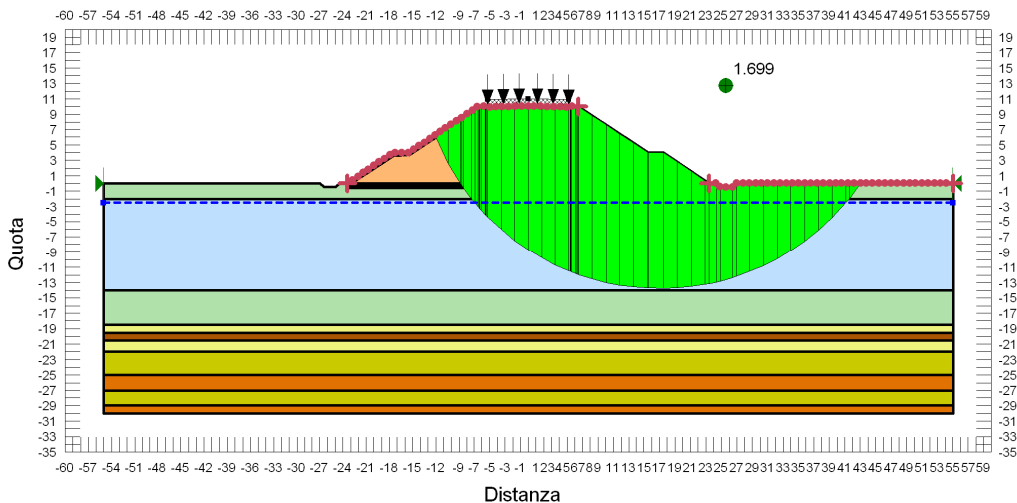


FIGURA 9-16: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE SISMA-.

9.2.2. Zona omogenea 2

9.2.2.1 $H_{ril} = 6.00\text{ m}$

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 9-6: RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE.

VERIFICHE	FS ($\gamma_R \geq 1.1$)			
	Cond. STATICA NON DRENATA	Cond. STATICA DRENATA	Cond. SISMA +	Cond. SISMA -
H=6.00 m	2.695	1.298	2.547	2.624

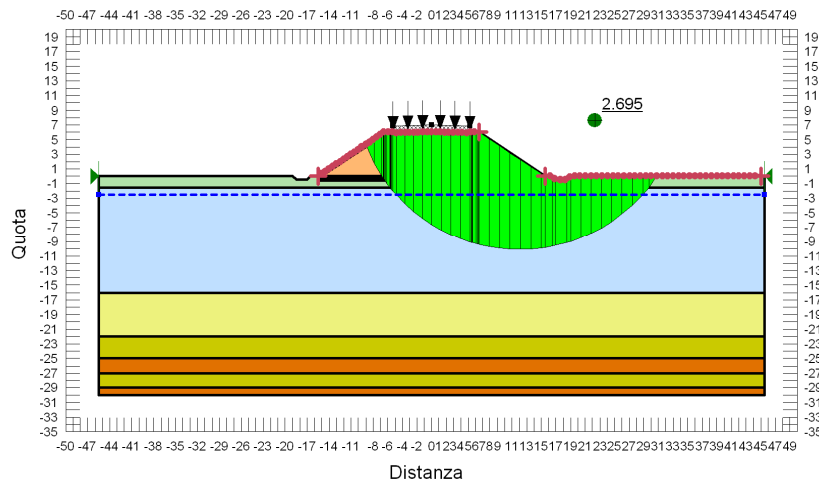


FIGURA 9-17: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.

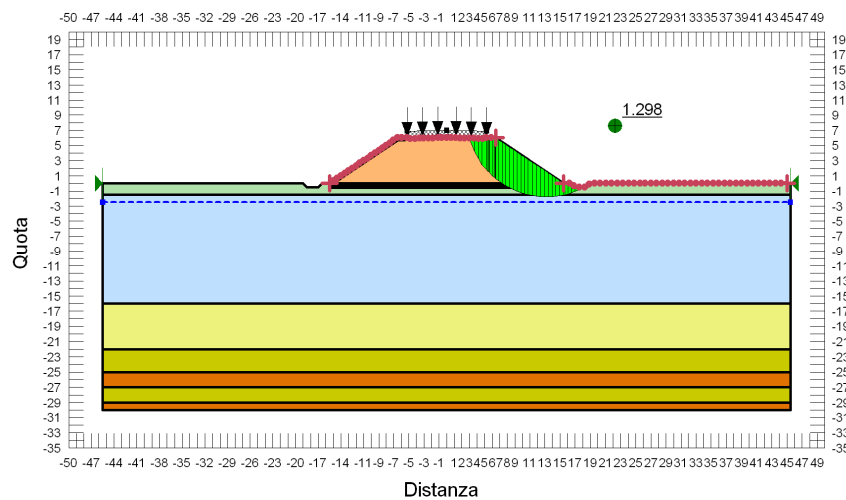


FIGURA 9-18: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE STATICA DRENATA.

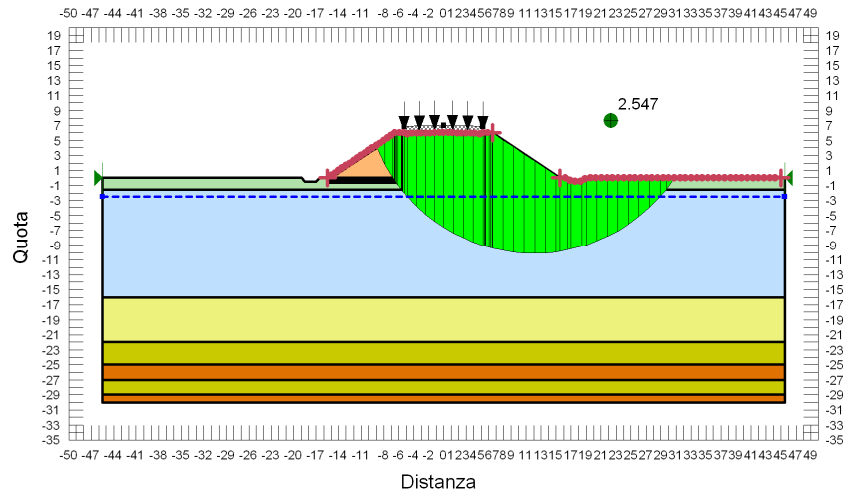


FIGURA 9-19: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE SISMA+.

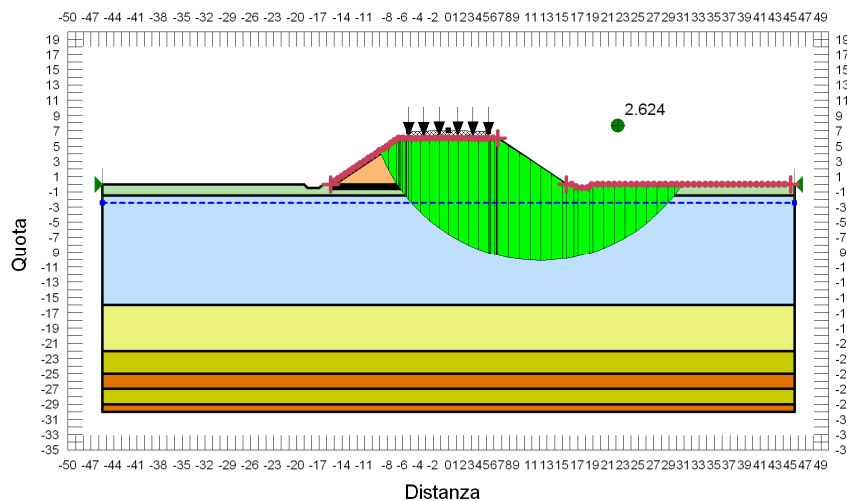


FIGURA 9-20: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE SISMA-.

9.2.2.2 $H_{rij} = 10.00 m$

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 9-7: RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE.

VERIFICHE	FS ($\gamma_R \geq 1.1$)			
	Cond. STATICA NON DRENATA	Cond. STATICA DRENATA	Cond. SISMA +	Cond. SISMA -
H=10.00 m	1.867	1.241	1.683	1.736

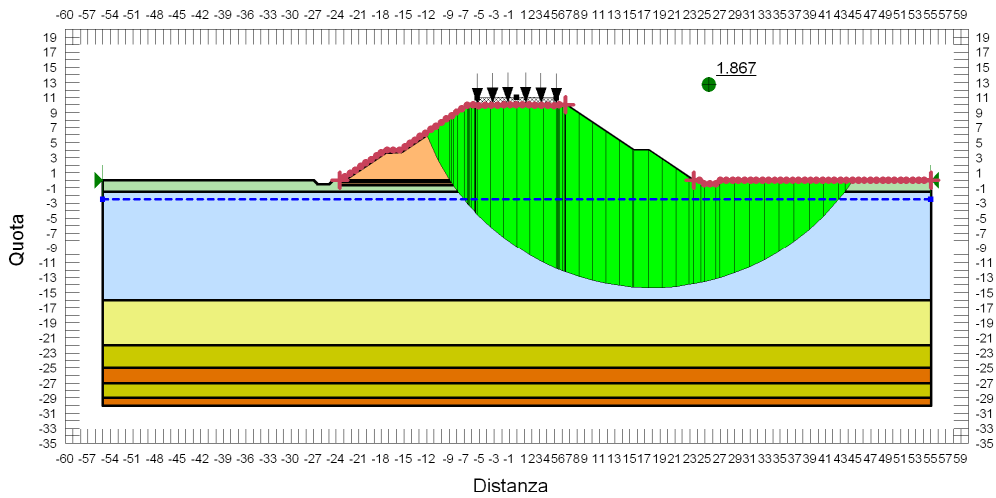


FIGURA 9-21: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.

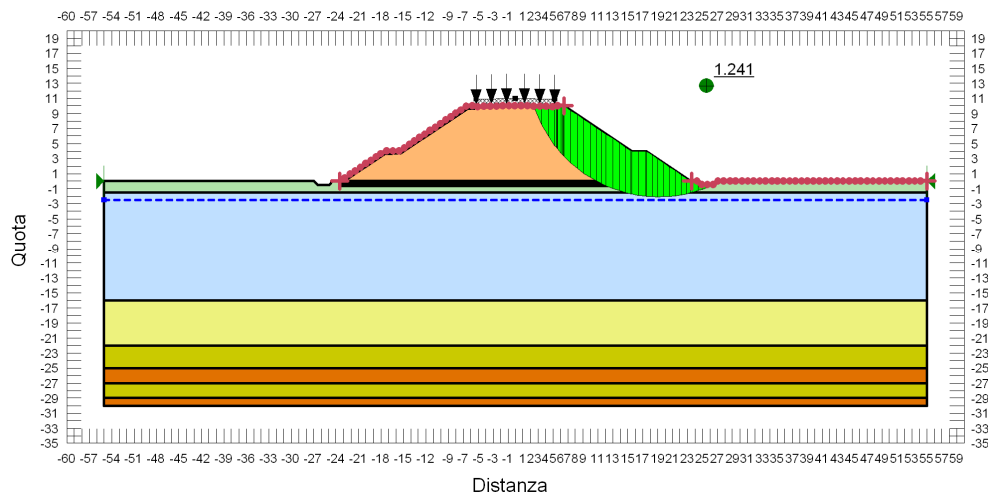


FIGURA 9-22: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE STATICA DRENATA.

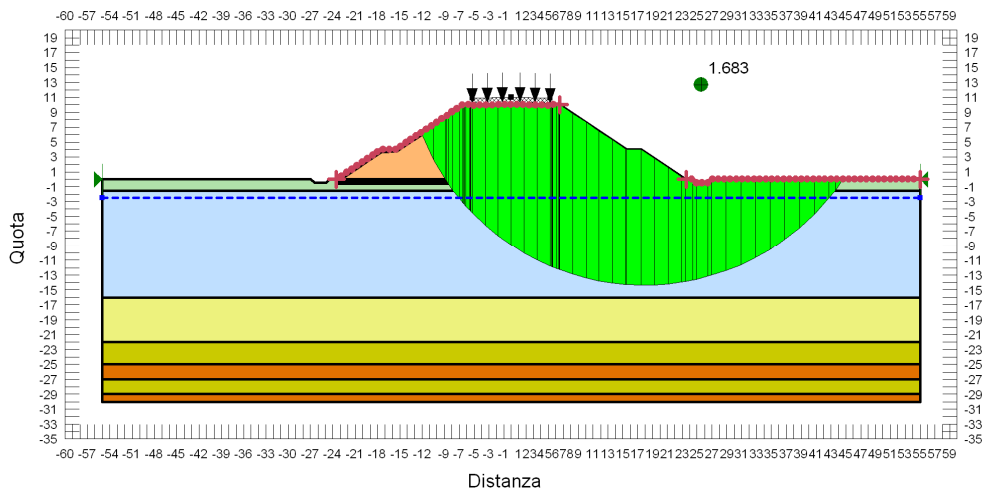


FIGURA 9-23: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE SISMA+.

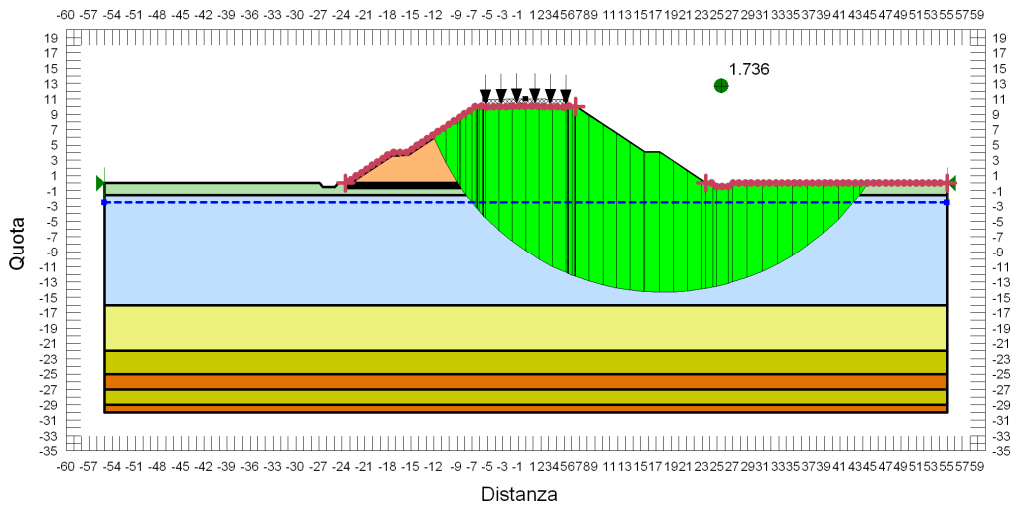


FIGURA 9-24: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE SISMA-

9.2.3. Zona omogenea 3

9.2.3.1 $H_{ril} = 6.00 m$

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 9-8: RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE.

VERIFICHE	FS ($\gamma_R \geq 1.1$)			
	Cond. STATICA NON DRENATA	Cond. STATICA DRENATA	Cond. SISMA +	Cond. SISMA -
H=6.00 m	2.766	1.188	2.622	2.704

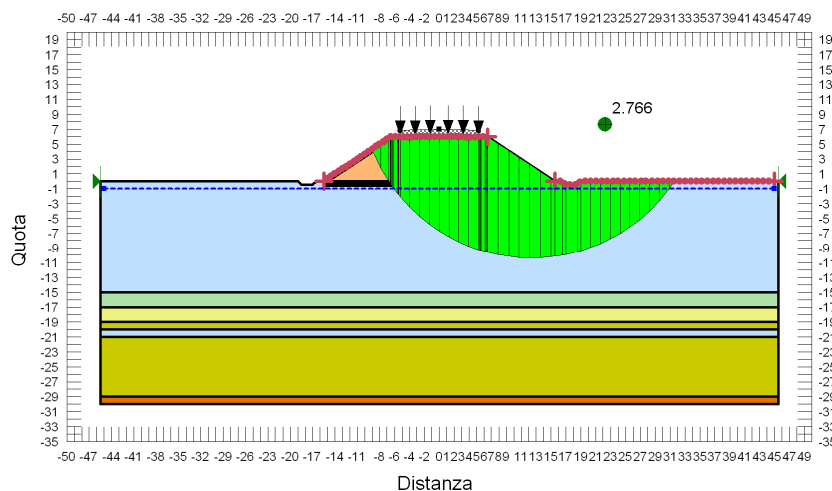


FIGURA 9-25: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.

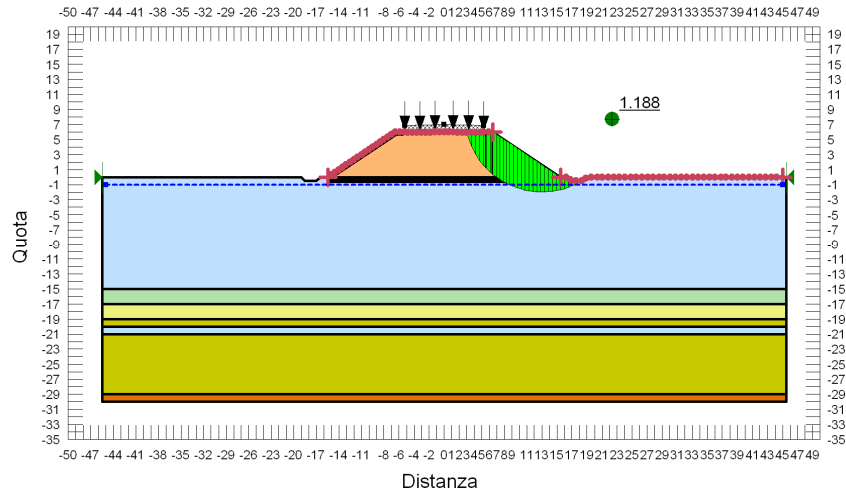


FIGURA 9-26: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE STATICA DRENATA.

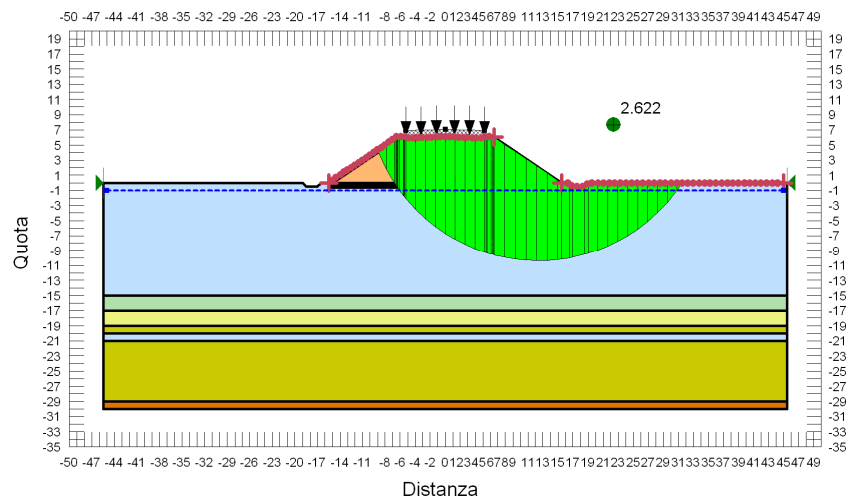


FIGURA 9-27: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE SISMA+.

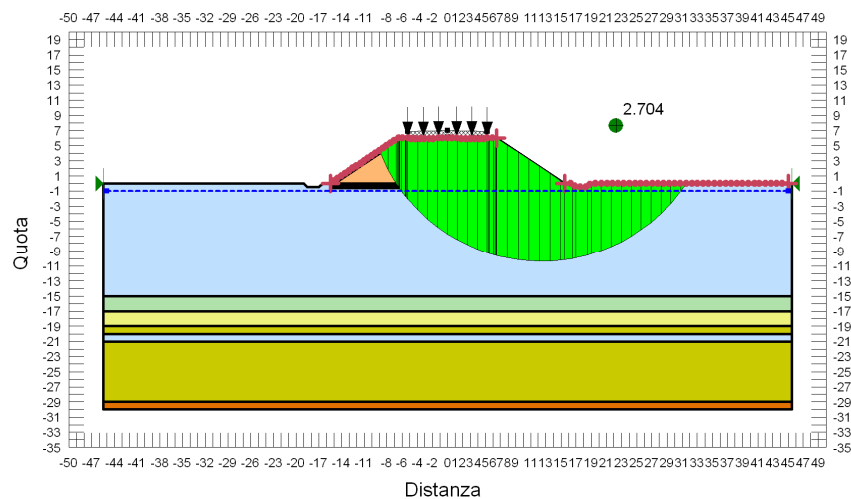


FIGURA 9-28: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 M - CONDIZIONE SISMA-.

9.2.3.2 $H_{ril} = 10.00\text{ m}$

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 9-9: RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE.

VERIFICHE	FS ($\gamma_R \geq 1.1$)			
	Cond. STATICA NON DRENATA	Cond. STATICA DRENATA	Cond. SISMA +	Cond. SISMA -
H=10.00 m	1.893	1.142	1.712	1.767

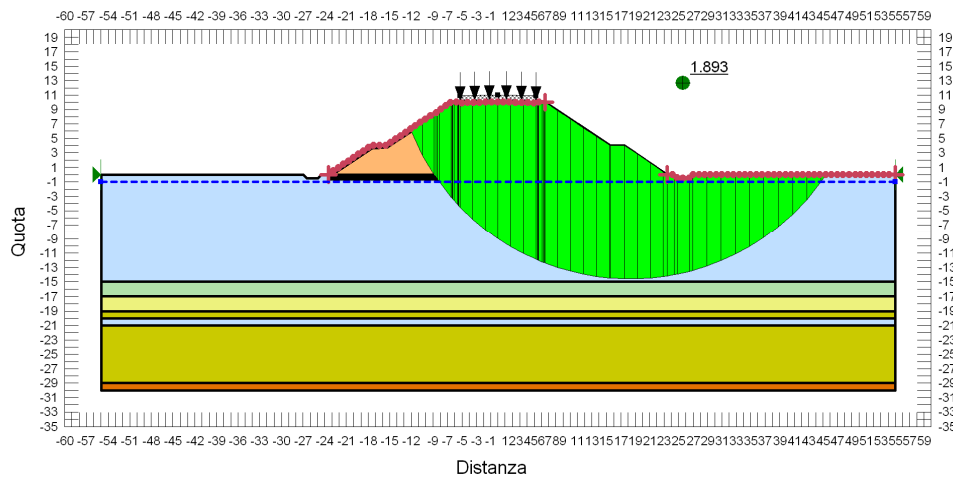


FIGURA 9-29: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.

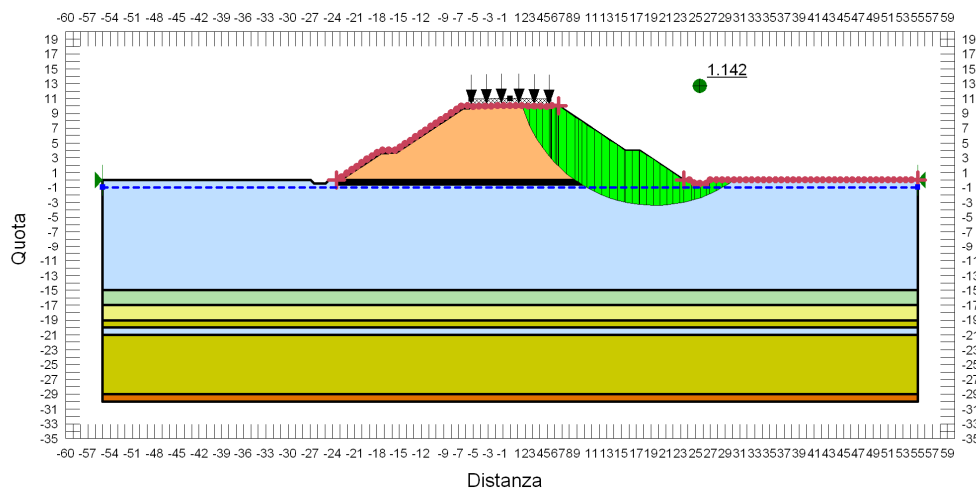


FIGURA 9-30: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE STATICA DRENATA.

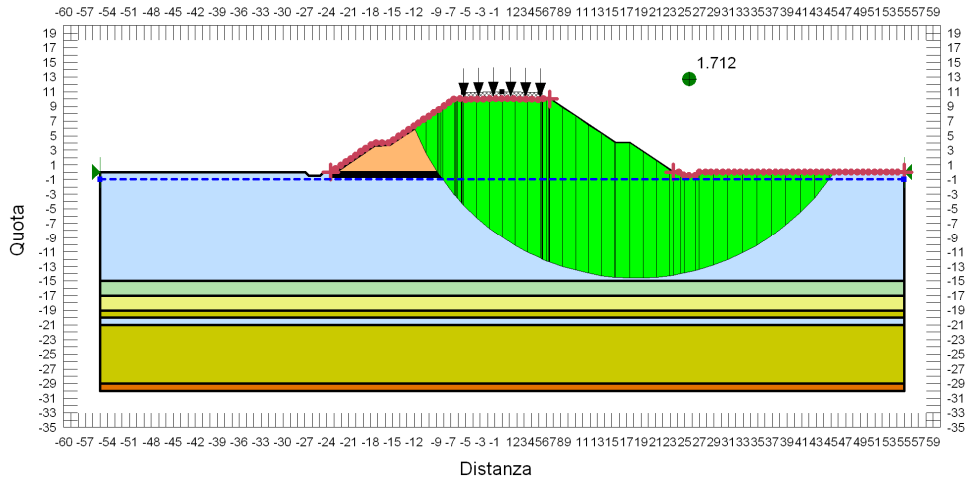


FIGURA 9-31: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE SISMA+.

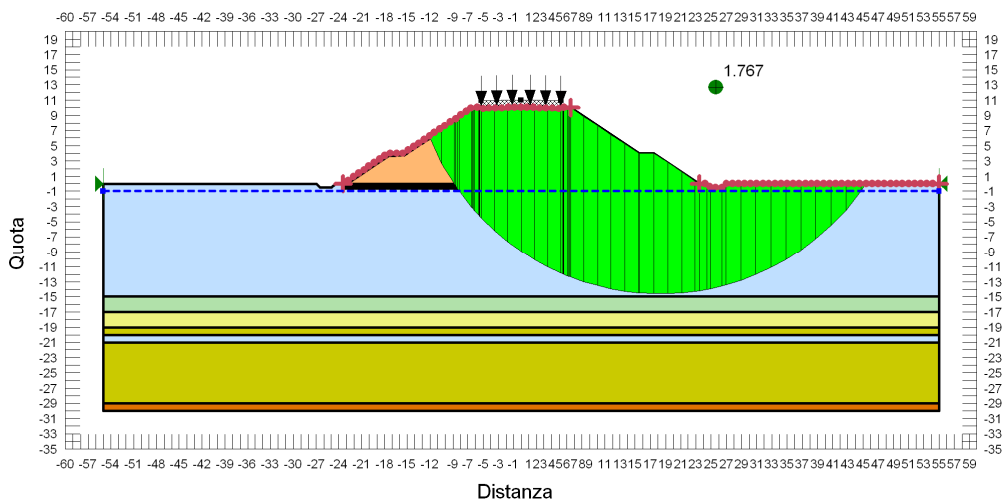


FIGURA 9-32: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=10.00 M - CONDIZIONE SISMA-.

10. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI

10.1. LIVELLI PRESTAZIONALI RILEVATI

Per la progettazione degli interventi di consolidamento al di sotto del rilevato corrente sono stati considerati i seguenti livelli prestazionali:

- il cedimento residuo, dopo la messa in esercizio dell'opera (T_c+T_a), deve risultare **inferiore a 7.5 cm nel corso del primo anno di esercizio** ($T_c+T_a+360gg$);
- il cedimento residuo, dopo la messa in esercizio dell'opera (T_c+T_a), deve risultare **inferiore a 22.5 cm nel corso dei primi 10 anni di esercizio** ($T_c+T_a+3600gg$);

dove:

T_c è il tempo di costruzione del rilevato considerato pari a 10 gg/metro;

T_a è il tempo che intercorre tra la fine della costruzione del rilevato e la realizzazione della sovrastruttura stradale.

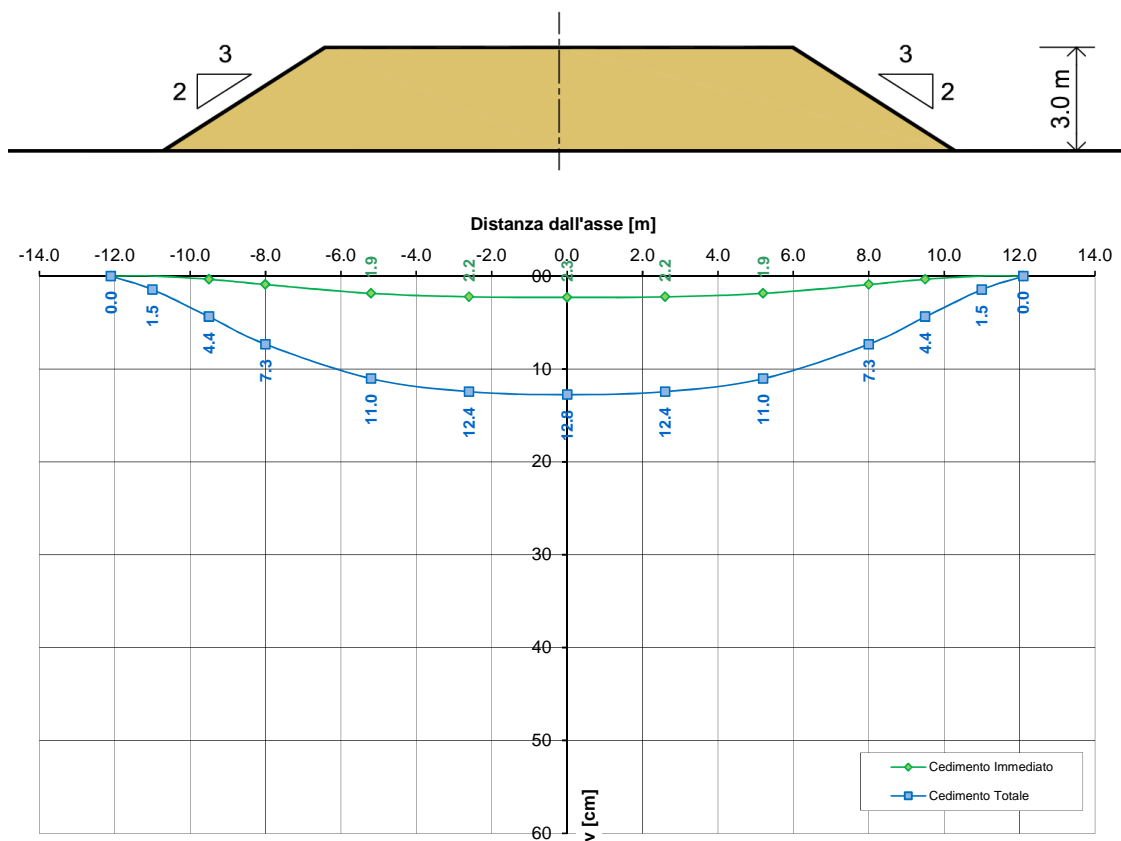
Le elaborazioni sono state condotte secondo quanto riportato nell'elaborato PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_02.

10.2. ZONA OMOGENEA 1

La valutazione dei cedimenti è stata condotta con riferimento alla stratigrafia riportata al precedente § 8.1.

10.2.1. $H_{rij}=3.00\text{ m}$

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).



1RE - Zona Omogenea 1 - Rilevato H = 3.00 m

FIGURA 10-1: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

In Figura 10-2 e in Figura 10-3 sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

1RE - Zona Omogenea 1 - Rilevato H = 3.0 m
 Evoluzione del cedimento nel tempo

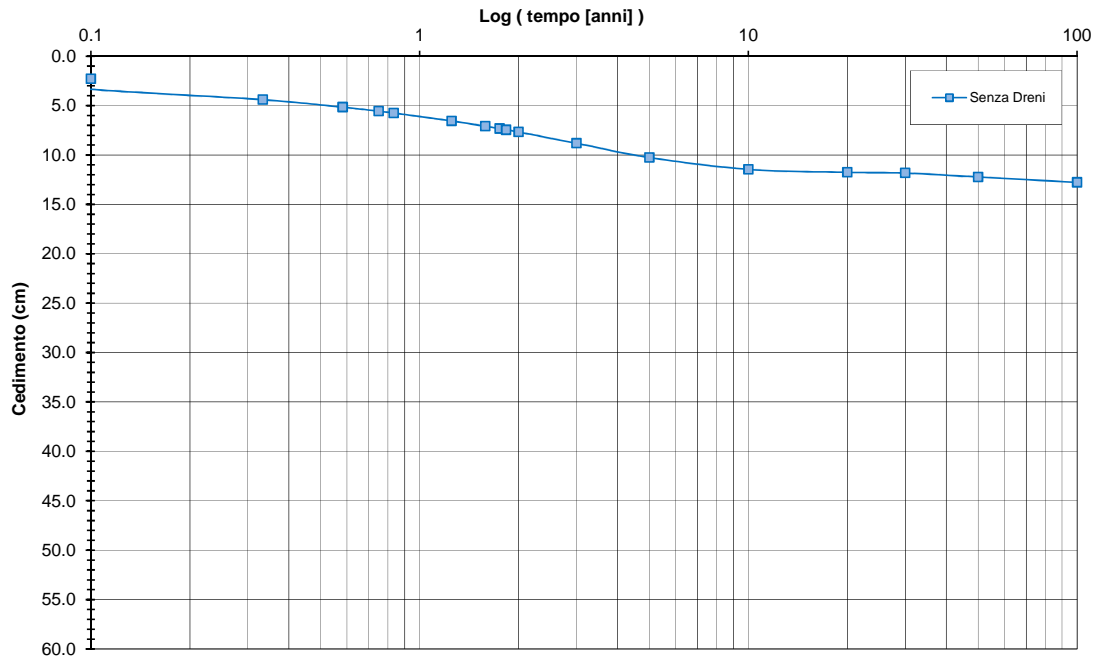


FIGURA 10-2: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

1RE - Zona Omogenea 1 - Rilevato H = 3.0 m
 Evoluzione del cedimento nel tempo

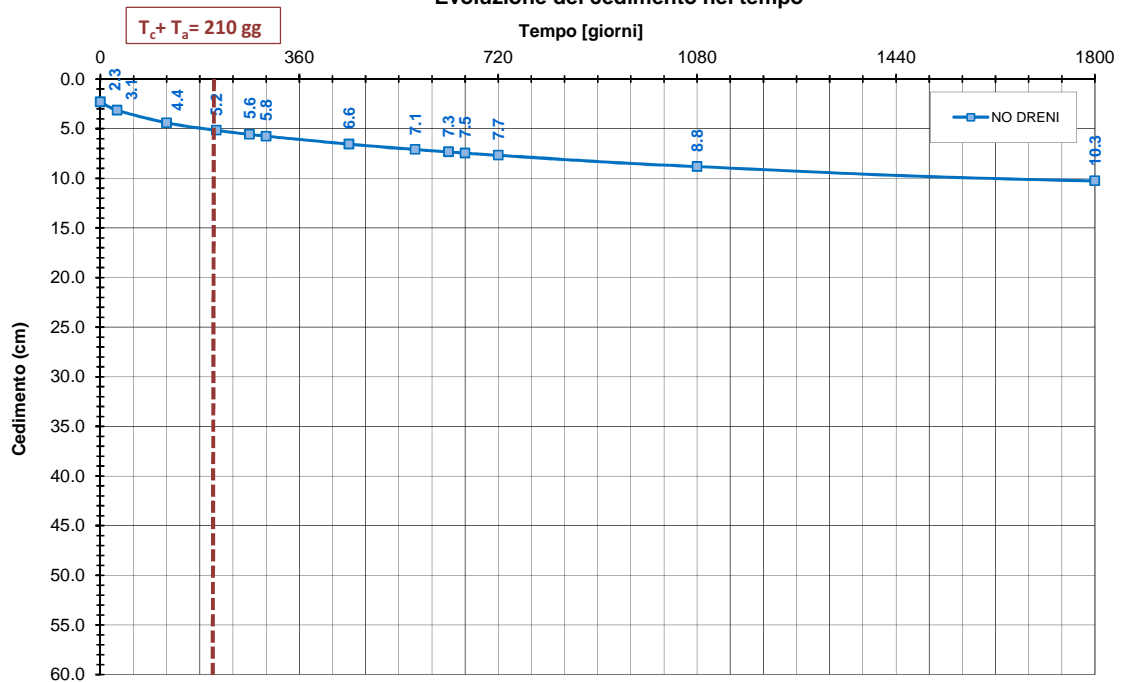


FIGURA 10-3: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportate rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso di assenza di interventi di consolidamento.

TABELLA 10-1: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – ZONA OMOGENEA 1.

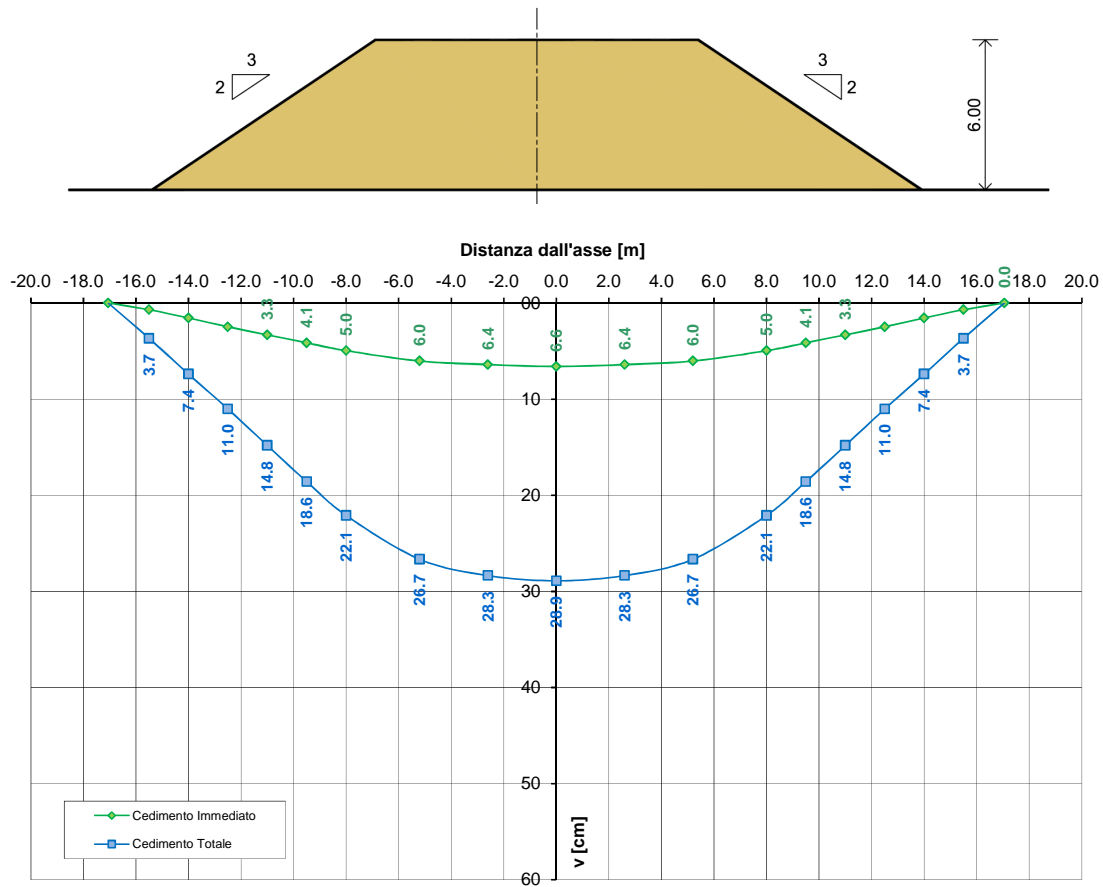
Cedimento immediato [cm]	2.3
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	9.5
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	0.9

TABELLA 10-2: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – ZONA OMOGENEA 1.

Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	5.2	
$T_c + T_a + 360gg$	7.1	$\Delta_{1\text{anno}} = 1.9 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600gg$	11.5	$\Delta_{10\text{anno}} = 6.3 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

10.2.2. $H_{rij}=6.00\text{ m}$

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).



1RE - Zona Omogenea 1 - Rilevato H = 6.00 m

FIGURA 10-4: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

In Figura 10-5 e in Figura 10-6 sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

1RE - Zona Omogenea 1 - Rilevato H = 6.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

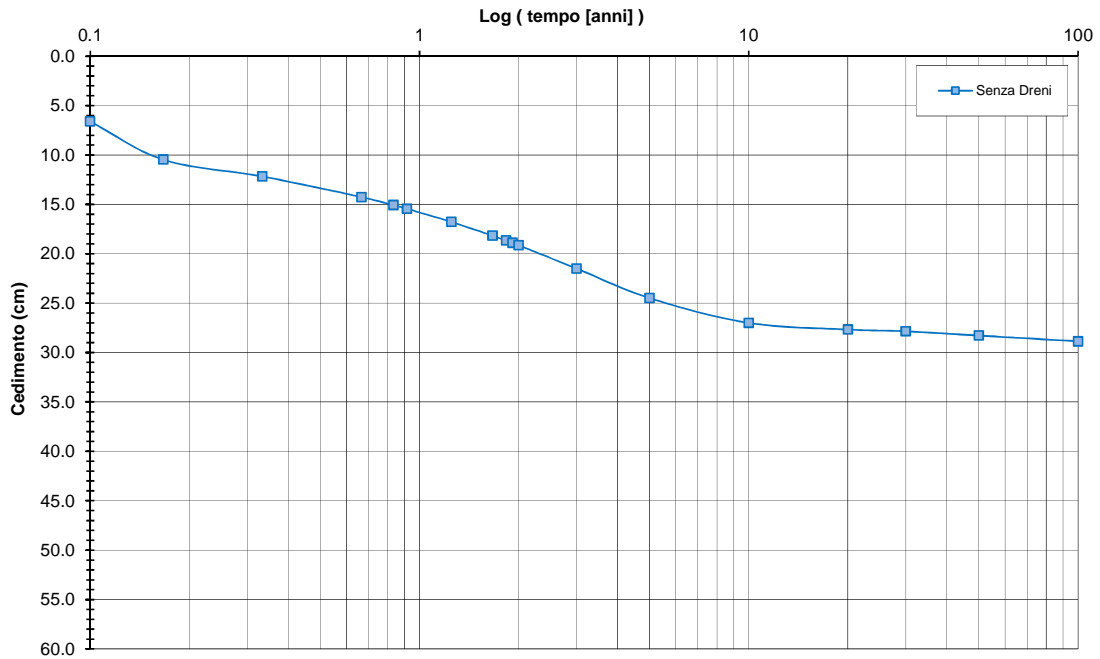


FIGURA 10-5: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

1RE - Zona Omogenea 1 - Rilevato H = 6.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

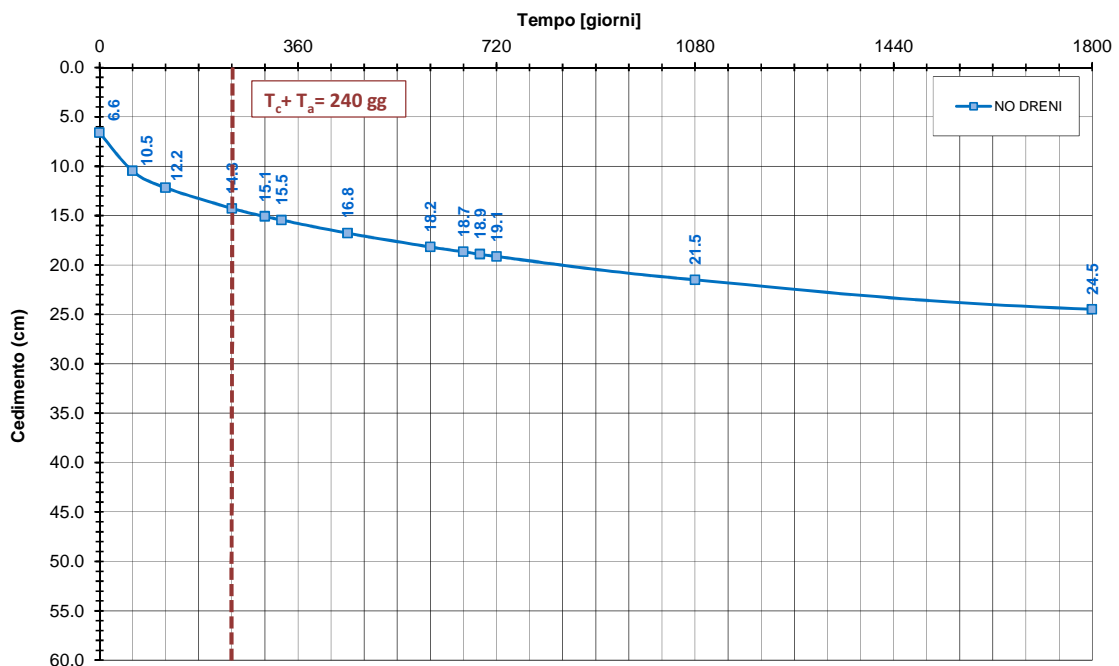


FIGURA 10-6: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportate rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso di assenza di interventi di consolidamento.

TABELLA 10-3: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – ZONA OMOGENEA 1.

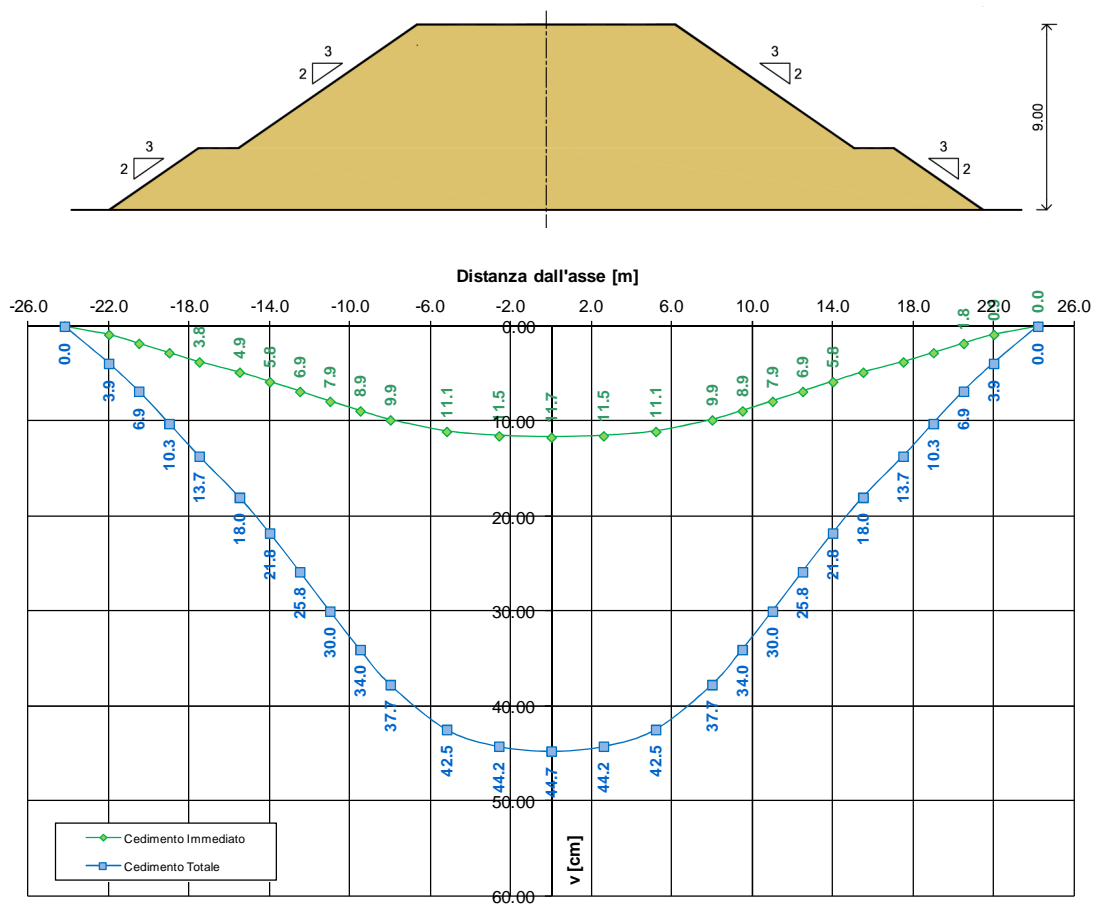
Cedimento immediato [cm]	6.6
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	20.9
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	1.4

TABELLA 10-4: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – ZONA OMOGENEA 1.

Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	14.3	
$T_c + T_a + 360gg$	18.2	$\Delta_{1^{\circ}anno} = 3.9 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600gg$	27.0	$\Delta_{10^{\circ}anno} = 12.7 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

10.2.3. $H_{rij}=9.00\text{ m}$

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).



1RE - Zona Omogenea 1 - Rilevato H = 9.00 m

FIGURA 10-7: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

In Figura 10-8 e Figura 10-9 sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

1RE - Zona Omogenea 1 - Rilevato H = 9.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

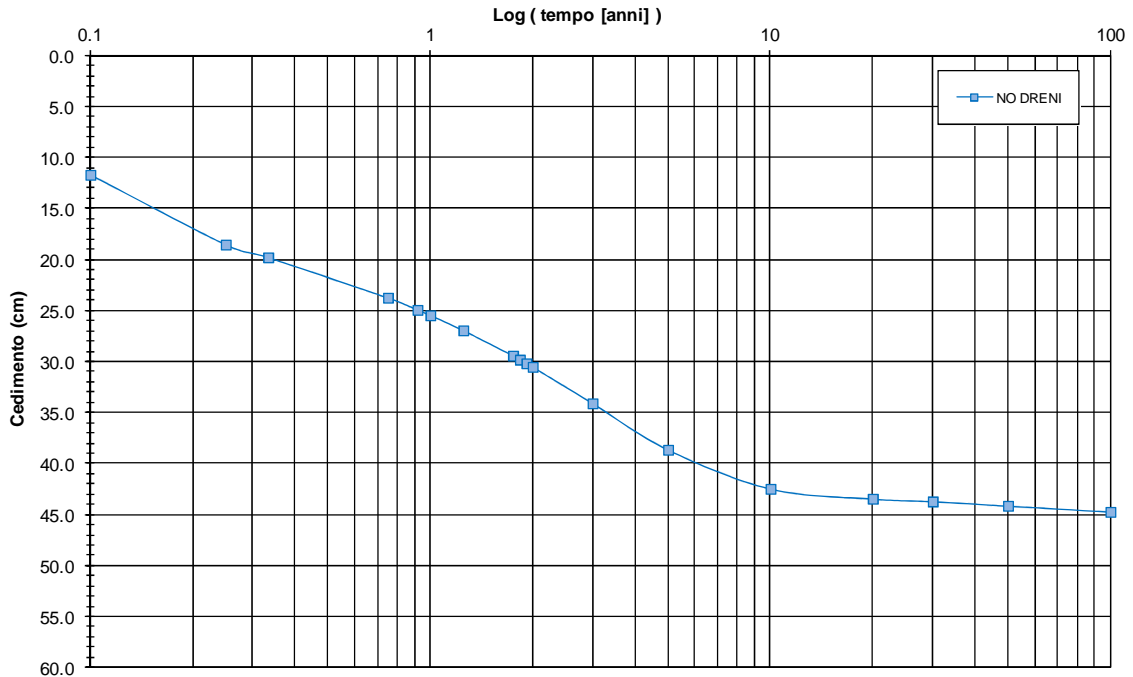


FIGURA 10-8: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

1RE - Zona Omogenea 1 - Rilevato H = 9.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

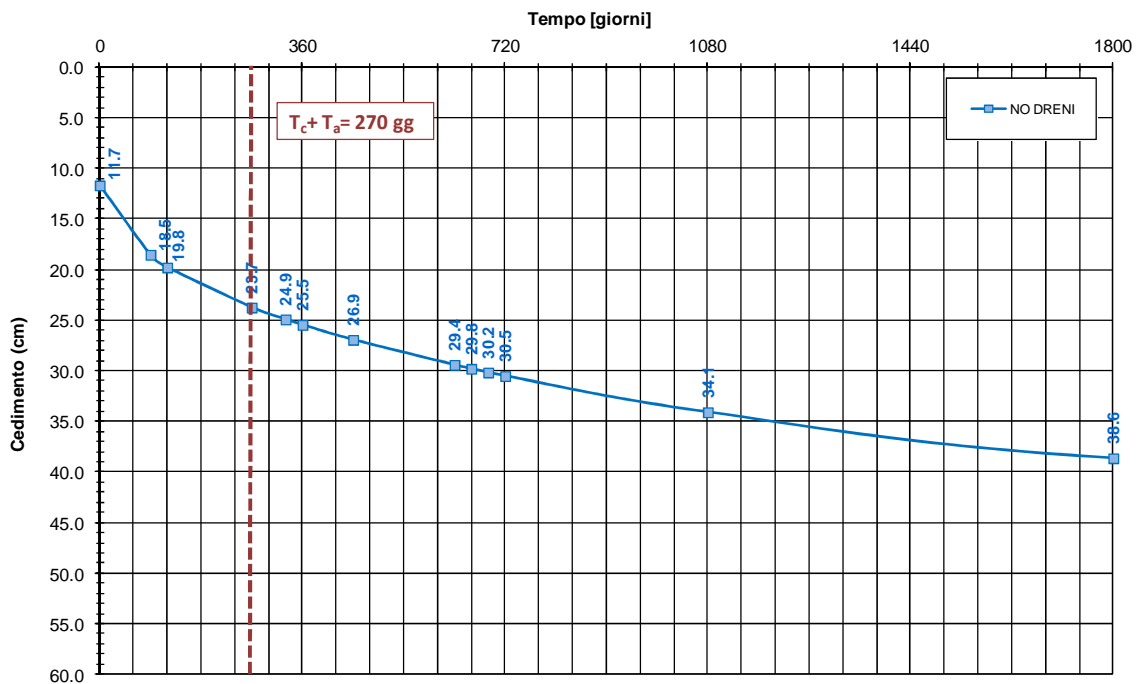


FIGURA 10-9: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportate rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso di assenza di interventi di consolidamento.

TABELLA 10-5: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – ZONA OMOGENEA 1.

Cedimento immediato [cm]	11.7
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	31.7
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	1.3

TABELLA 10-6: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – ZONA OMOGENEA 1.

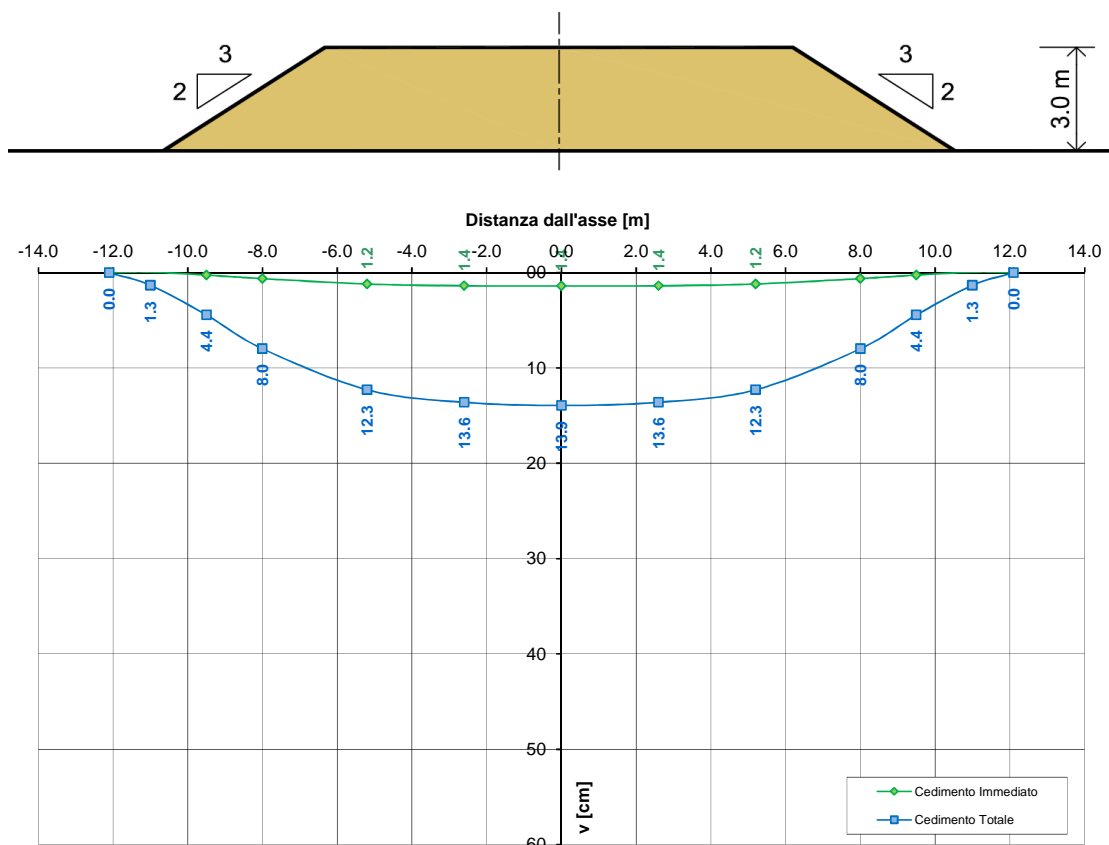
Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	23.8	
$T_c + T_a + 360gg$	29.4	$\Delta_{1^{\circ}anno} = 5.6 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600gg$	42.5	$\Delta_{10^{\circ}anno} = 18.7 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

10.3. ZONA OMOGENEA 2

La valutazione dei cedimenti è stata condotta con riferimento alla stratigrafia riportata al precedente § 8.2.

10.3.1. $H_{rij}=3.00\text{ m}$

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).



1RE - Zona Omogenea 2 - Rilevato H = 3.00 m

FIGURA 10-10: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

In Figura 10-11 e in Figura 10-12 sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

1RE - Zona Omogenea 2 - Rilevato H = 3.0 m
 Evoluzione del cedimento nel tempo

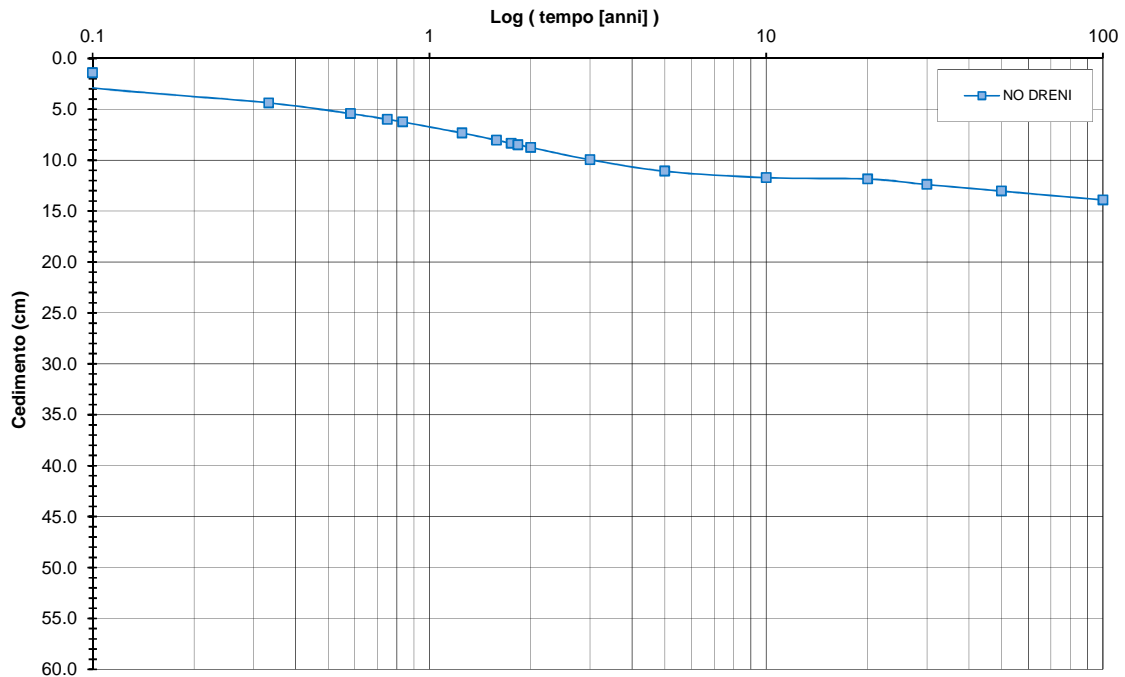


FIGURA 10-11: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

1RE - Zona Omogenea 2 - Rilevato H = 3.0 m
 Evoluzione del cedimento nel tempo

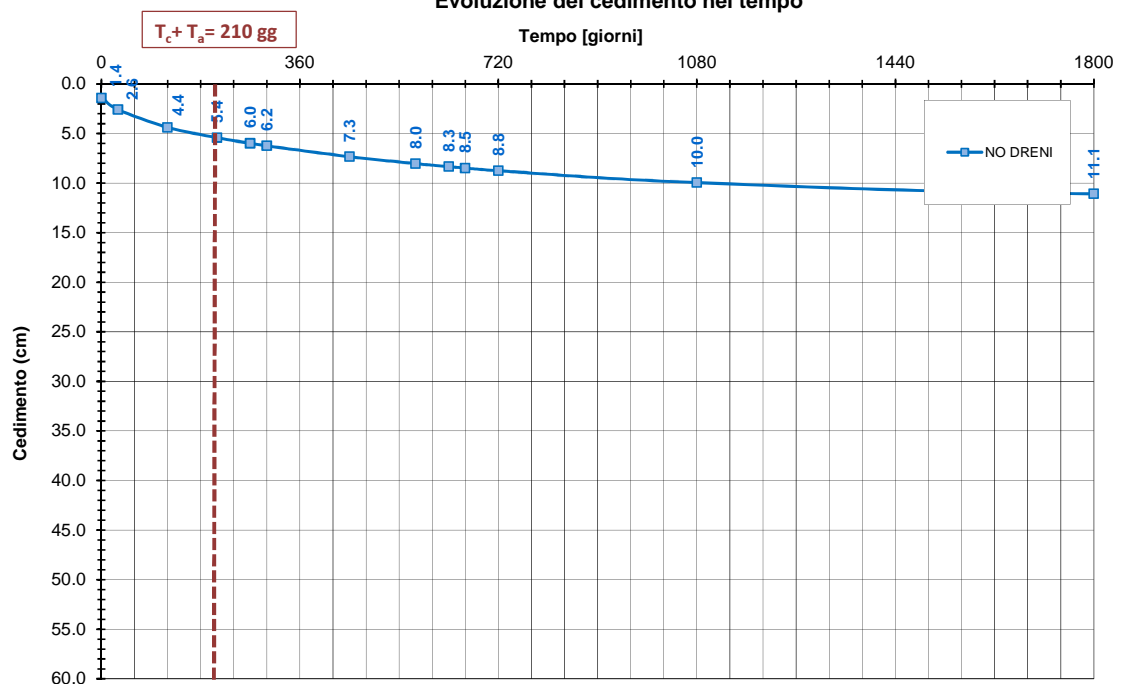


FIGURA 10-12: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportate rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso di assenza di interventi di consolidamento.

TABELLA 10-7: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – ZONA OMOGENEA 2.

Cedimento immediato [cm]	1.4
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	10.5
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	2.0

TABELLA 10-8: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – ZONA OMOGENEA 2.

Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	5.4	
$T_c + T_a + 360gg$	8.0	$\Delta_{1\text{anno}} = 2.6 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600gg$	11.7	$\Delta_{10\text{anno}} = 6.3 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

10.3.2. $H_{rij}=4.00\text{ m}$

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).

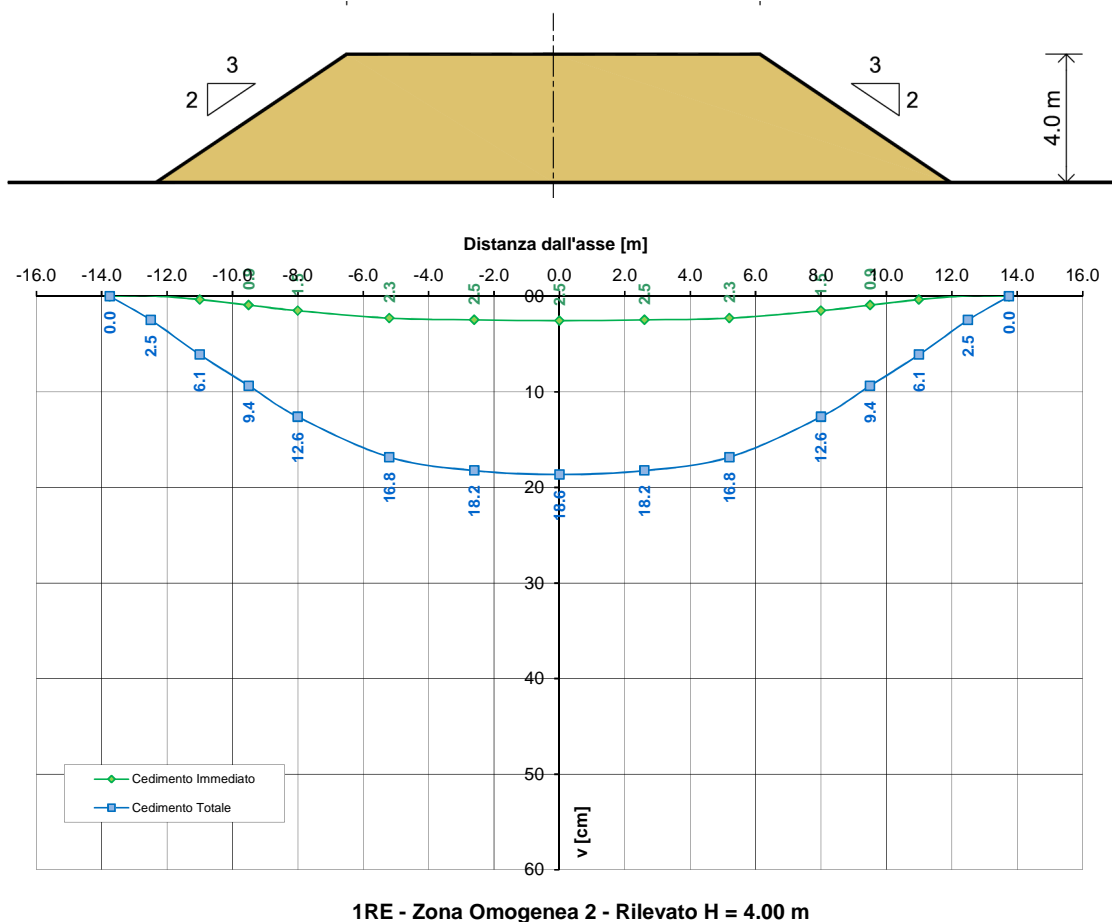


FIGURA 10-13: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

In Figura 10-14 e in Figura 10-15 sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

1RE - Zona Omogenea 2 - Rilevato H = 4.0 m
 Evoluzione del cedimento nel tempo

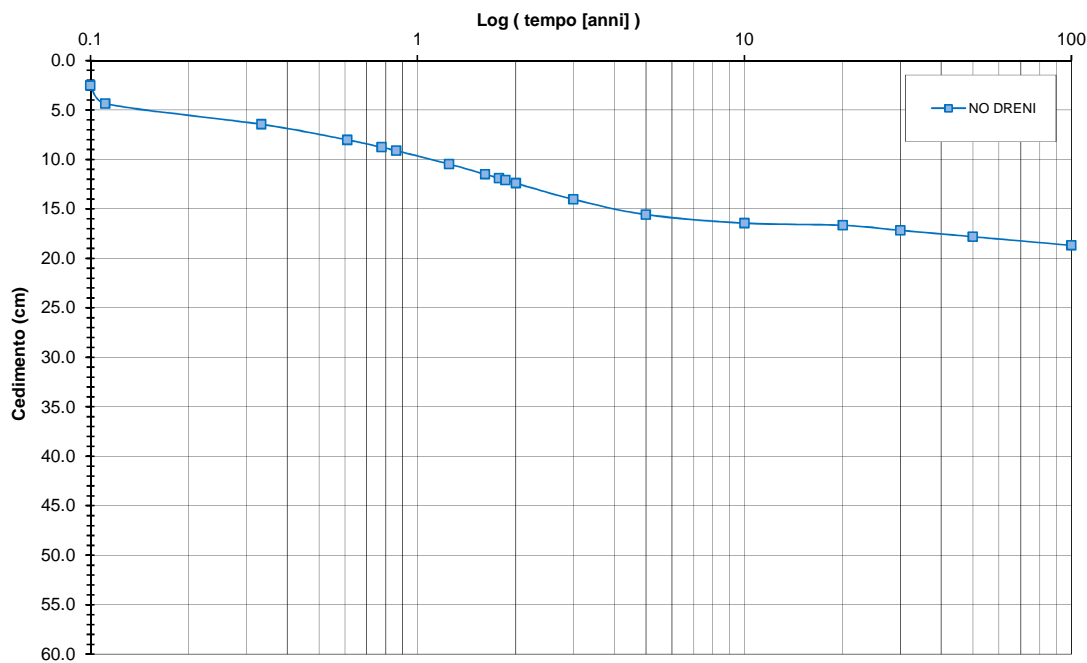


FIGURA 10-14: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

1RE - Zona Omogenea 2 - Rilevato H = 4.0 m
 Evoluzione del cedimento nel tempo

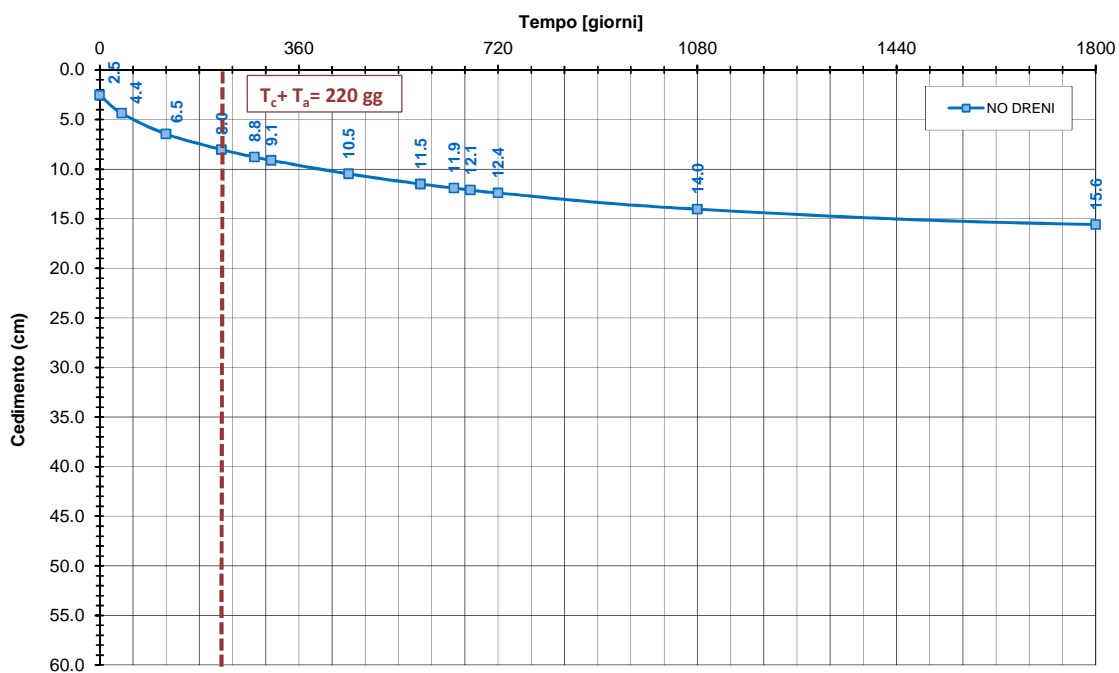


FIGURA 10-15: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportate rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso di assenza di interventi di consolidamento.

TABELLA 10-9: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – ZONA OMOGENEA 2.

Cedimento immediato [cm]	2.5
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	14.1
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	2.0

TABELLA 10-10: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – ZONA OMOGENEA 2.

Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	8.0	
$T_c + T_a + 360\text{gg}$	11.5	$\Delta_{1\text{anno}} = 3.5 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600\text{gg}$	16.5	$\Delta_{10\text{anno}} = 8.5 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

10.3.3. $H_{ril}=6.00$ m

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).

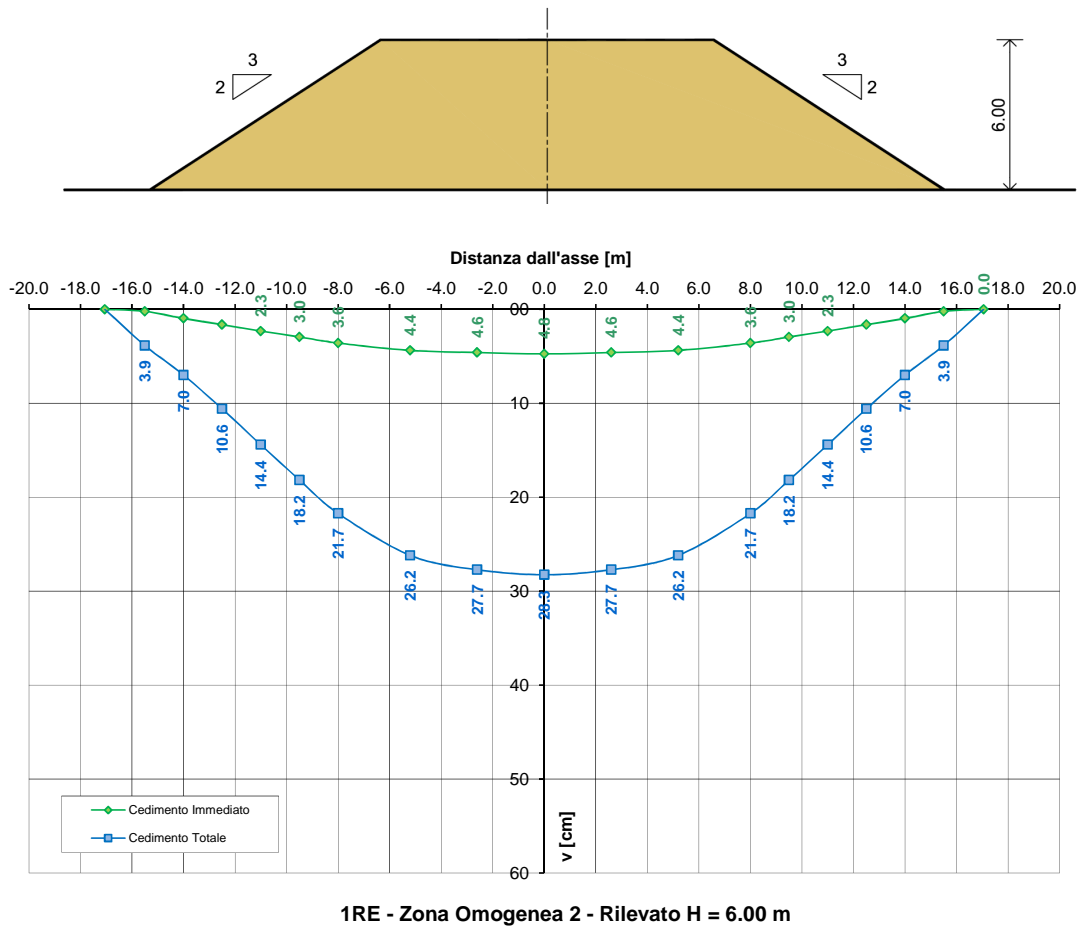


FIGURA 10-16: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

In Figura 10-17 e in Figura 10-18 sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

1RE - Zona Omogenea 2 - Rilevato H = 6.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

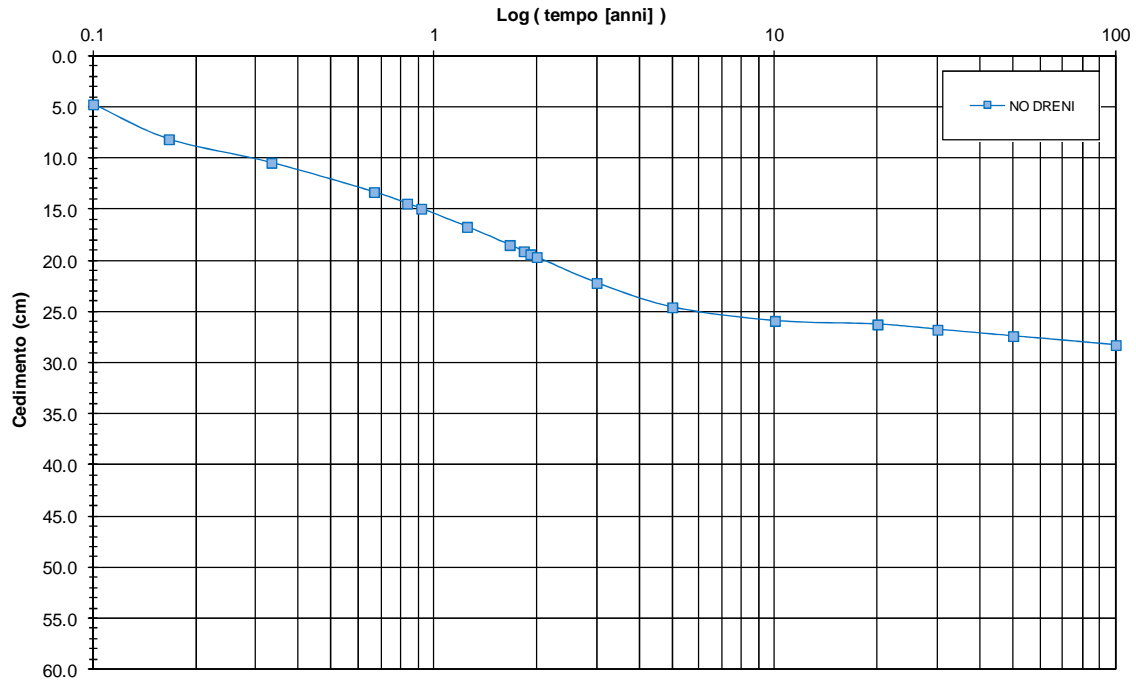


FIGURA 10-17: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

1RE - Zona Omogenea 2 - Rilevato H = 6.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

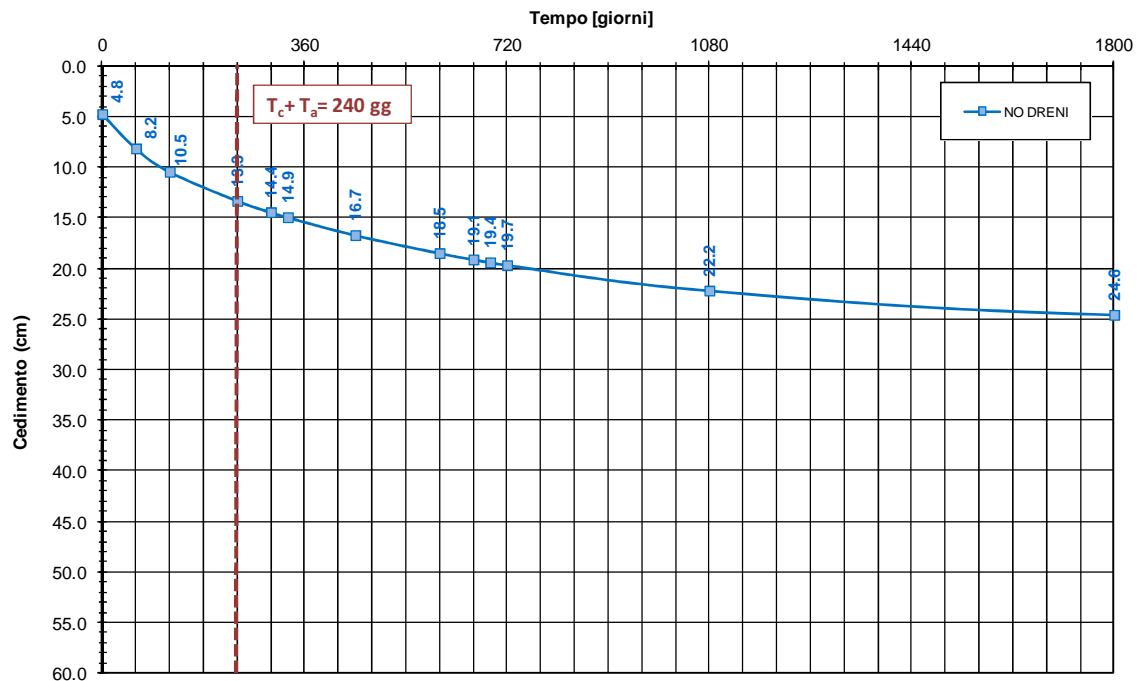


FIGURA 10-18: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportate rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso di assenza di interventi di consolidamento.

TABELLA 10-11: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – ZONA OMOGENEA 2.

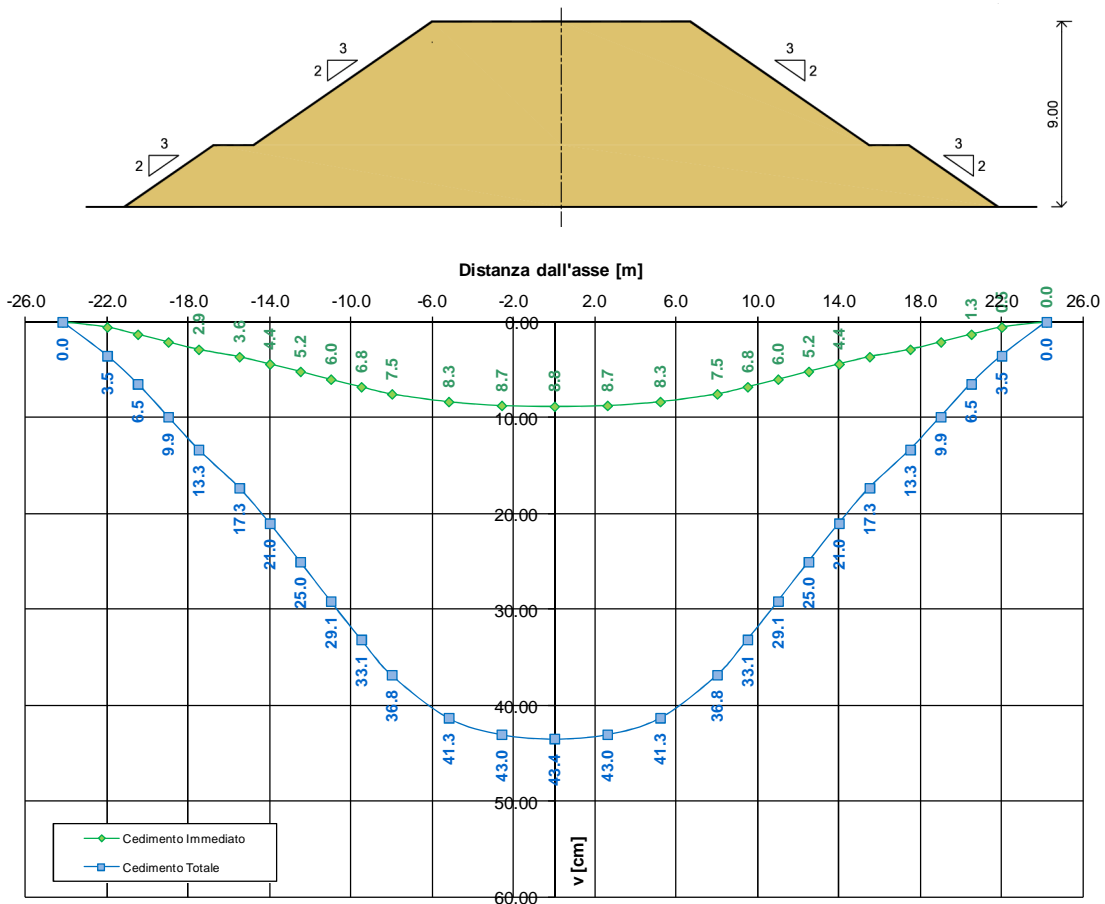
Cedimento immediato [cm]	4.8
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	21.5
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	2.0

TABELLA 10-12: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – ZONA OMOGENEA 2.

Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	13.3	
$T_c + T_a + 360\text{gg}$	18.5	$\Delta_{1\text{anno}} = 5.2 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600\text{gg}$	25.9	$\Delta_{10\text{anno}} = 12.6 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

10.3.4. $H_{rij}=9.00\text{ m}$

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).



1RE - Zona Omogenea 2 - Rilevato H = 9.00 m

FIGURA 10-19: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

In Figura 10-20 e in Figura 10-21 sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

1RE - Zona Omogenea 2 - Rilevato H = 9.0 m
 Evoluzione del cedimento nel tempo

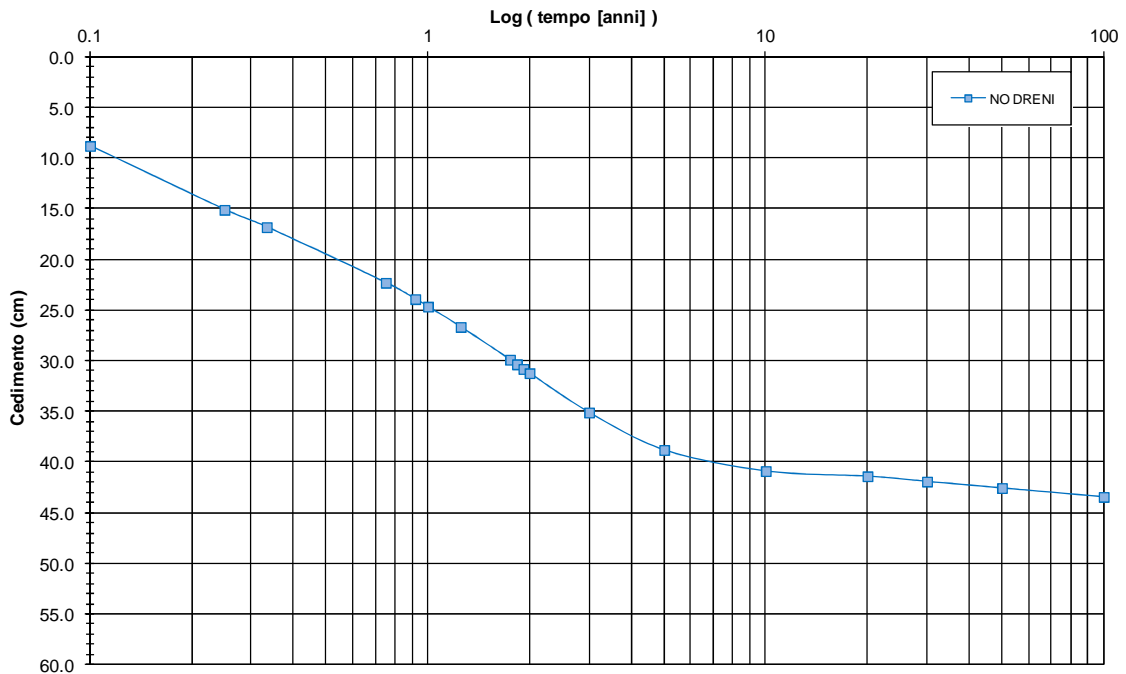


FIGURA 10-20: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

1RE - Zona Omogenea 2 - Rilevato H = 9.0 m
 Evoluzione del cedimento nel tempo

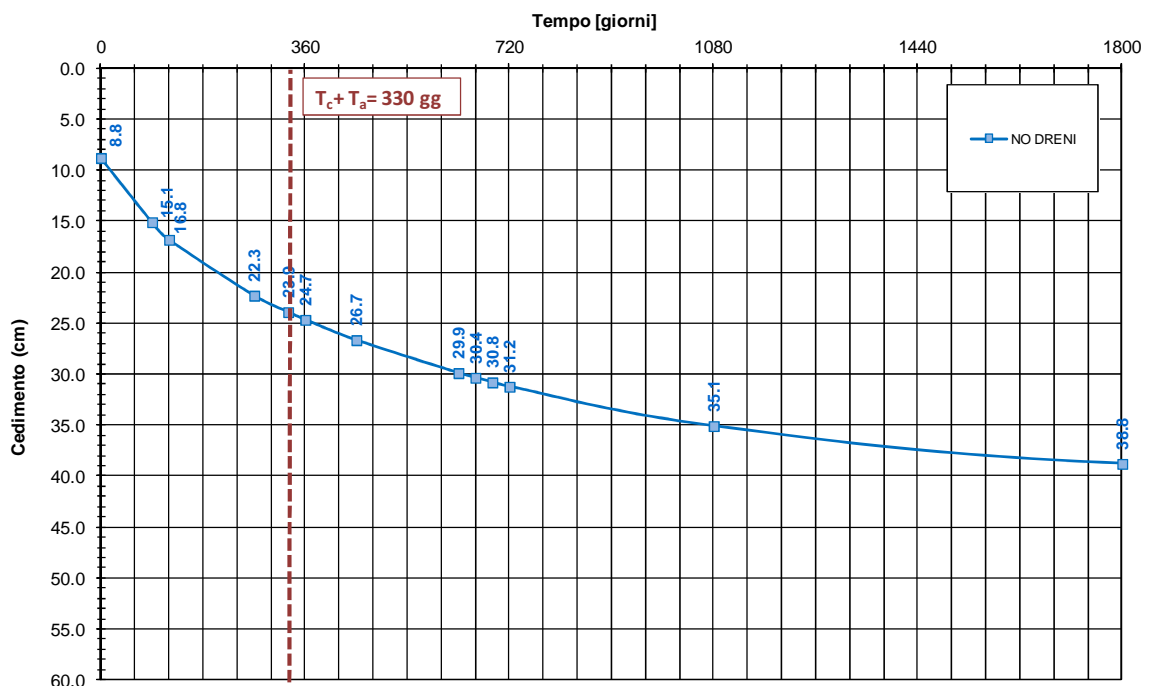


FIGURA 10-21: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportate rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso di assenza di interventi di consolidamento.

TABELLA 10-13: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – ZONA OMOGENEA 2.

Cedimento immediato [cm]	8.8
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	32.6
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	2.0

TABELLA 10-14: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – ZONA OMOGENEA 2.

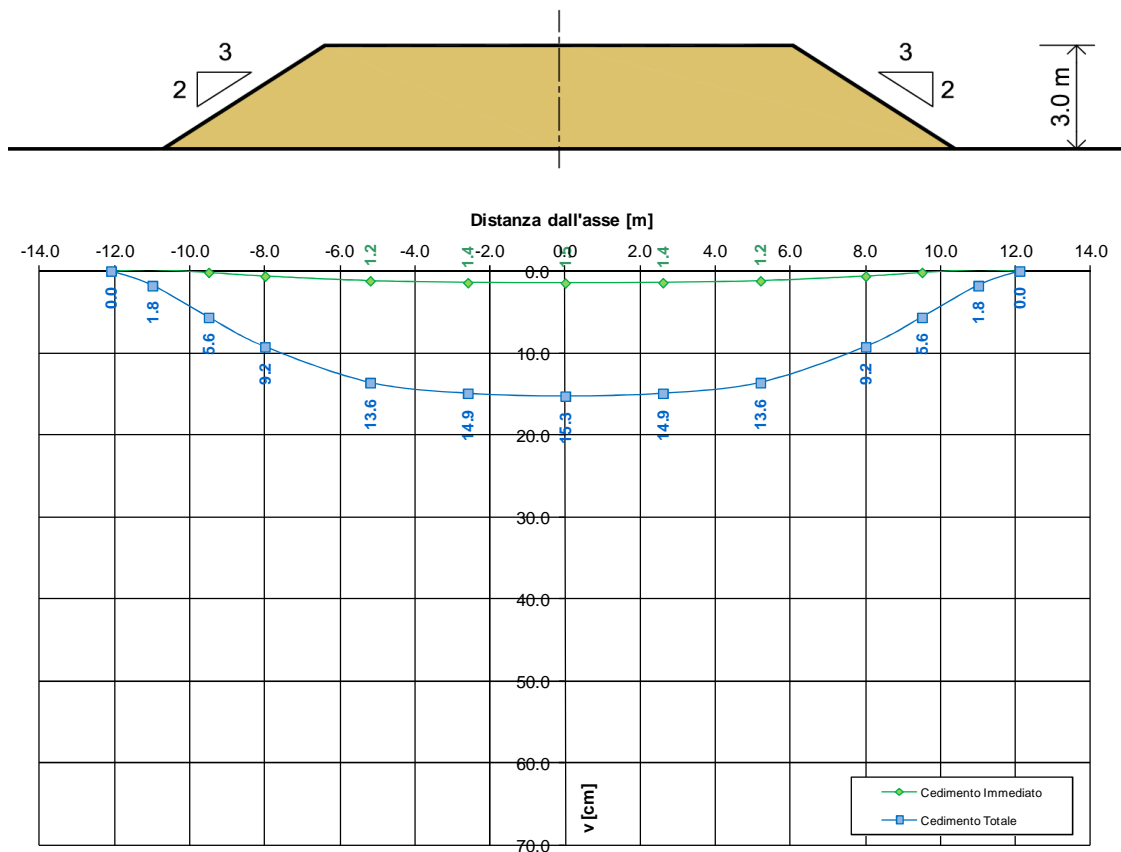
Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	23.9	
$T_c + T_a + 360gg$	30.8	$\Delta_{1^{\circ}\text{anno}} = 6.9 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600gg$	40.9	$\Delta_{10^{\circ}\text{anno}} = 17.0 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

10.4. ZONA OMOGENEA 3

La valutazione dei cedimenti è stata condotta con riferimento alla stratigrafia riportata al precedente § 8.3.

10.4.1. $H_{rij}=3.00\text{ m}$

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).



1RE - Zona Omogenea 3 - Rilevato H = 3.00 m

FIGURA 10-22: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

In Figura 10-23 e in Figura 10-24 sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

1RE - Zona Omogenea 3 - Rilevato H = 3.0 m
 Evoluzione del cedimento nel tempo

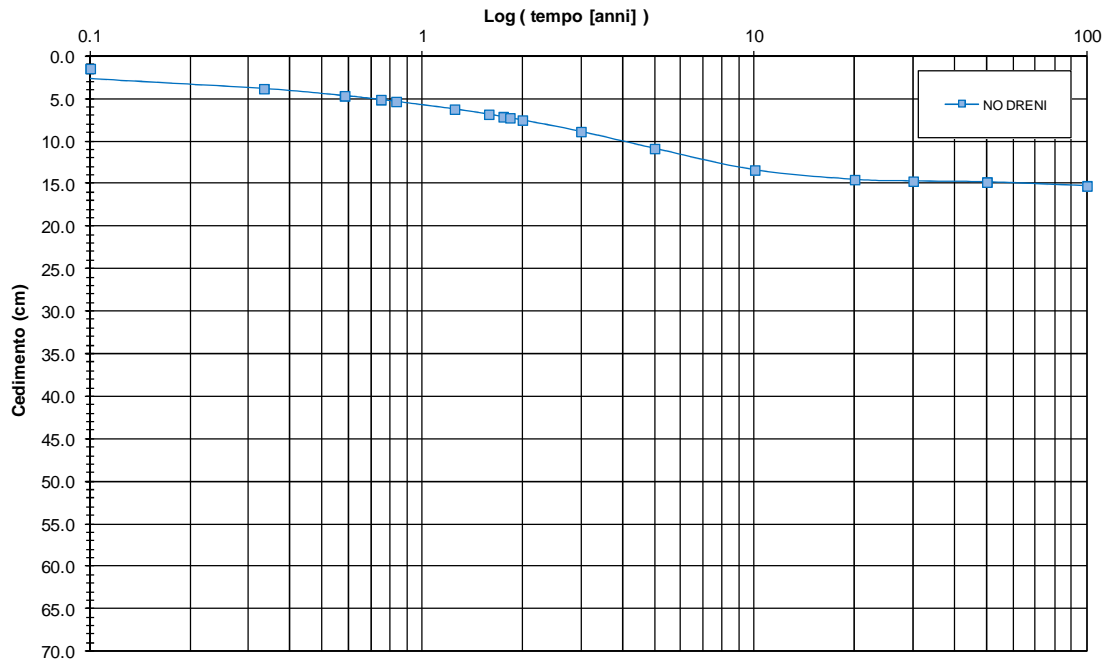


FIGURA 10-23: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

1RE - Zona Omogenea 3 - Rilevato H = 3.0 m
 Evoluzione del cedimento nel tempo

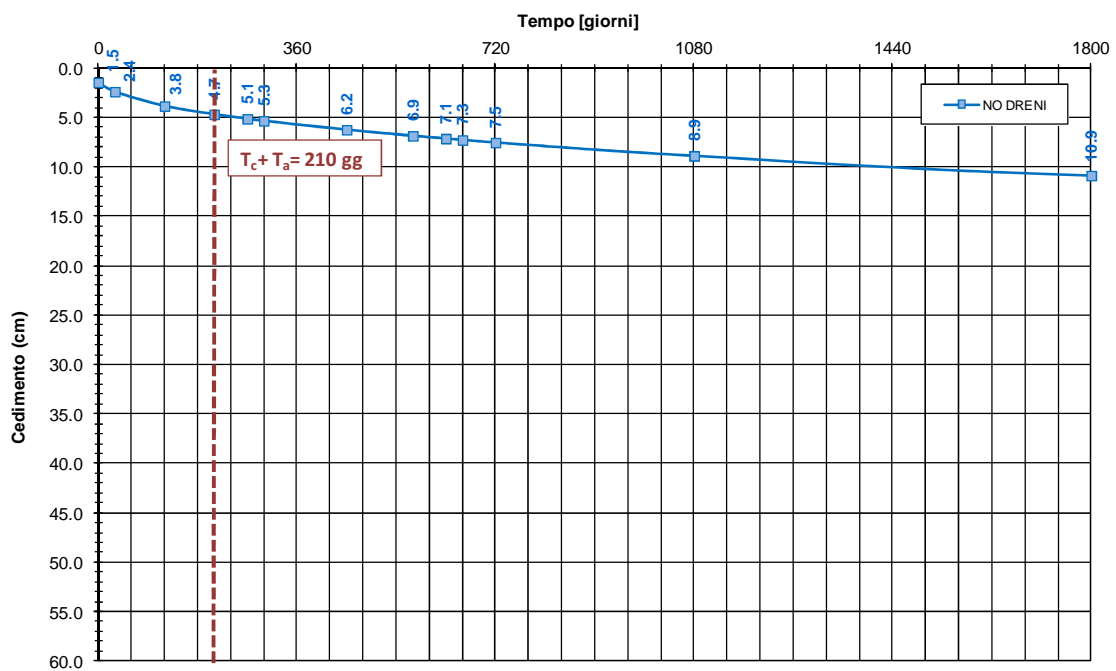


FIGURA 10-24: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportate rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso di assenza di interventi di consolidamento.

TABELLA 10-15: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – ZONA OMOGENEA 3.

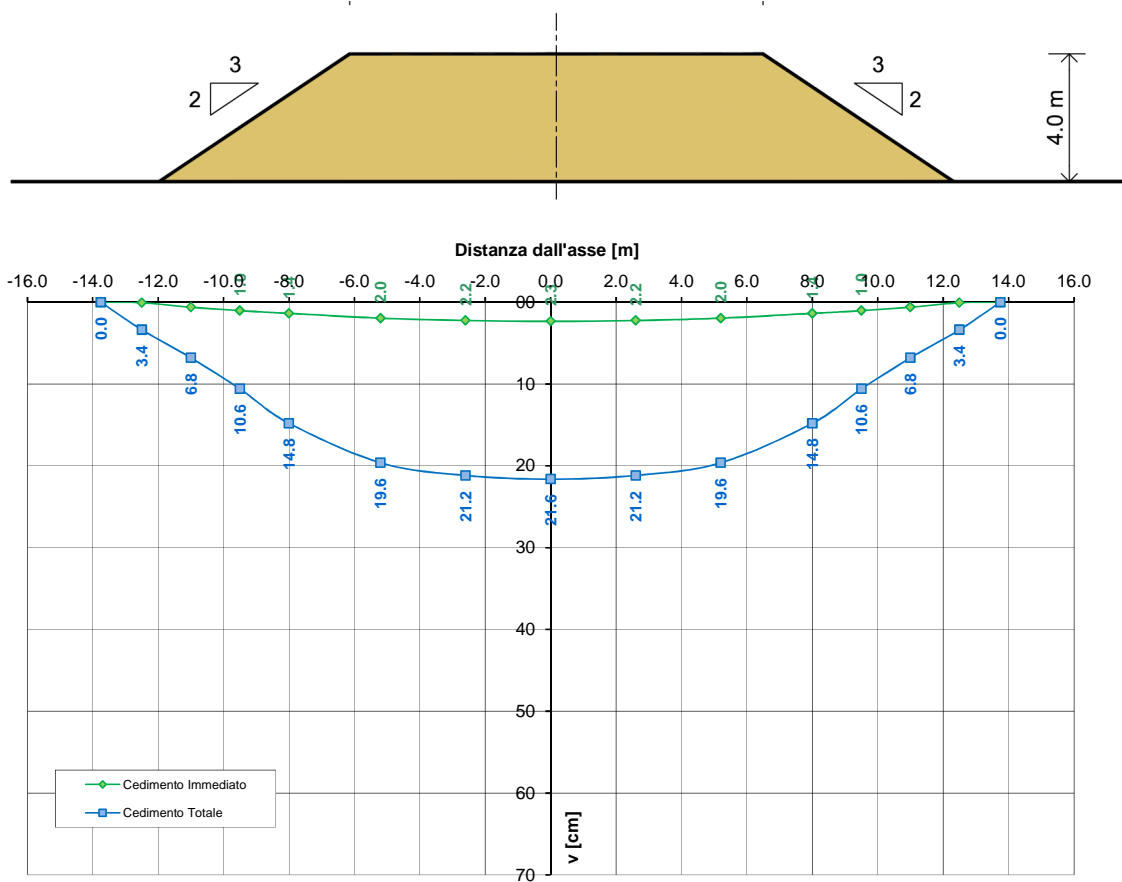
Cedimento immediato [cm]	1.5
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	13.4
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	0.4

TABELLA 10-16: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – ZONA OMOGENEA 3.

Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	4.7	
$T_c + T_a + 360\text{gg}$	6.9	$\Delta_{1\text{anno}} = 2.2 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600\text{gg}$	13.5	$\Delta_{10\text{anno}} = 8.8 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

10.4.2. $H_{rij}=4.00\text{ m}$

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).



1RE - Zona Omogenea 3 - Rilevato H = 4.00 m

FIGURA 10-25: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

In Figura 10-26 e in Figura 10-27 sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

1RE - Zona Omogenea 3 - Rilevato H = 4.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

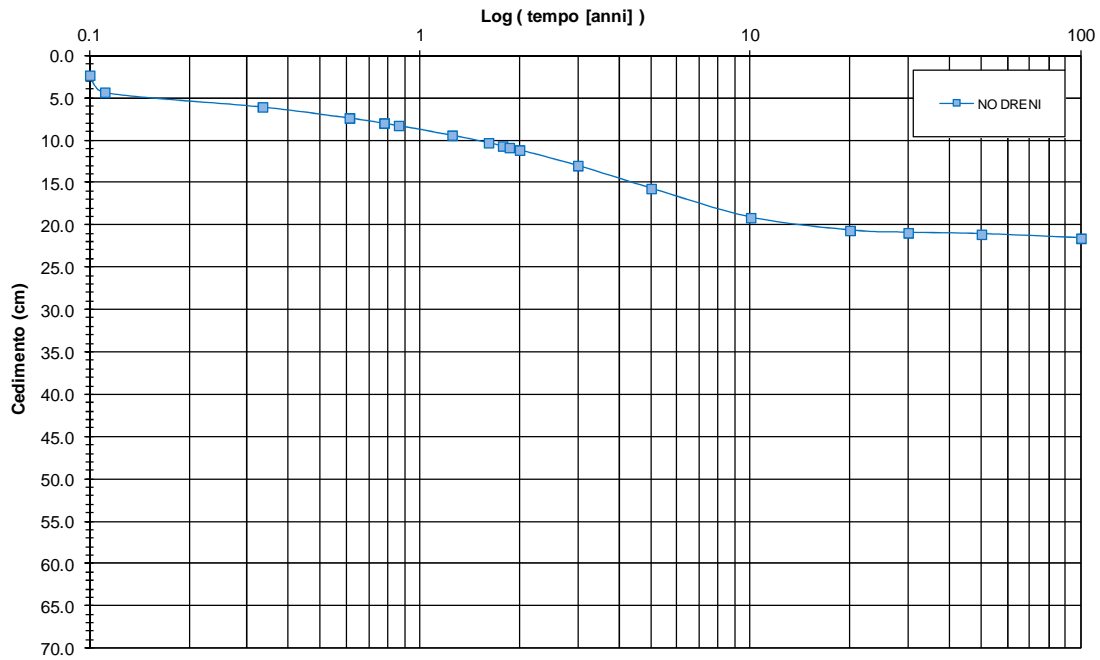


FIGURA 10-26: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

1RE - Zona Omogenea 3 - Rilevato H = 4.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

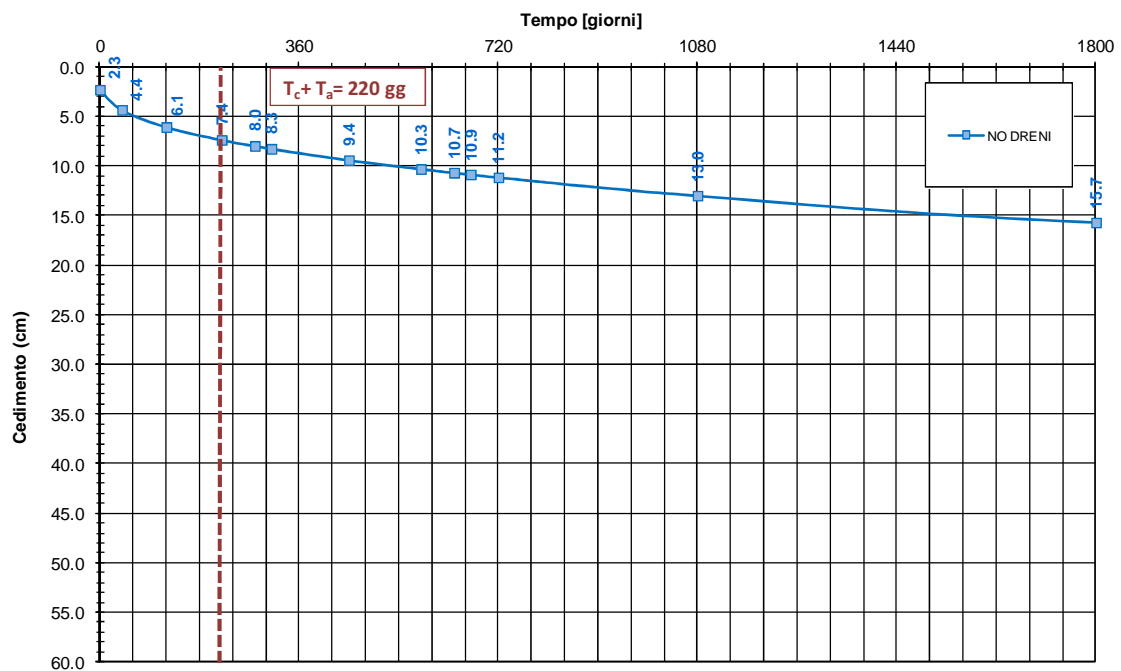


FIGURA 10-27: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportate rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso di assenza di interventi di consolidamento.

TABELLA 10-17: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – ZONA OMOGENEA 3.

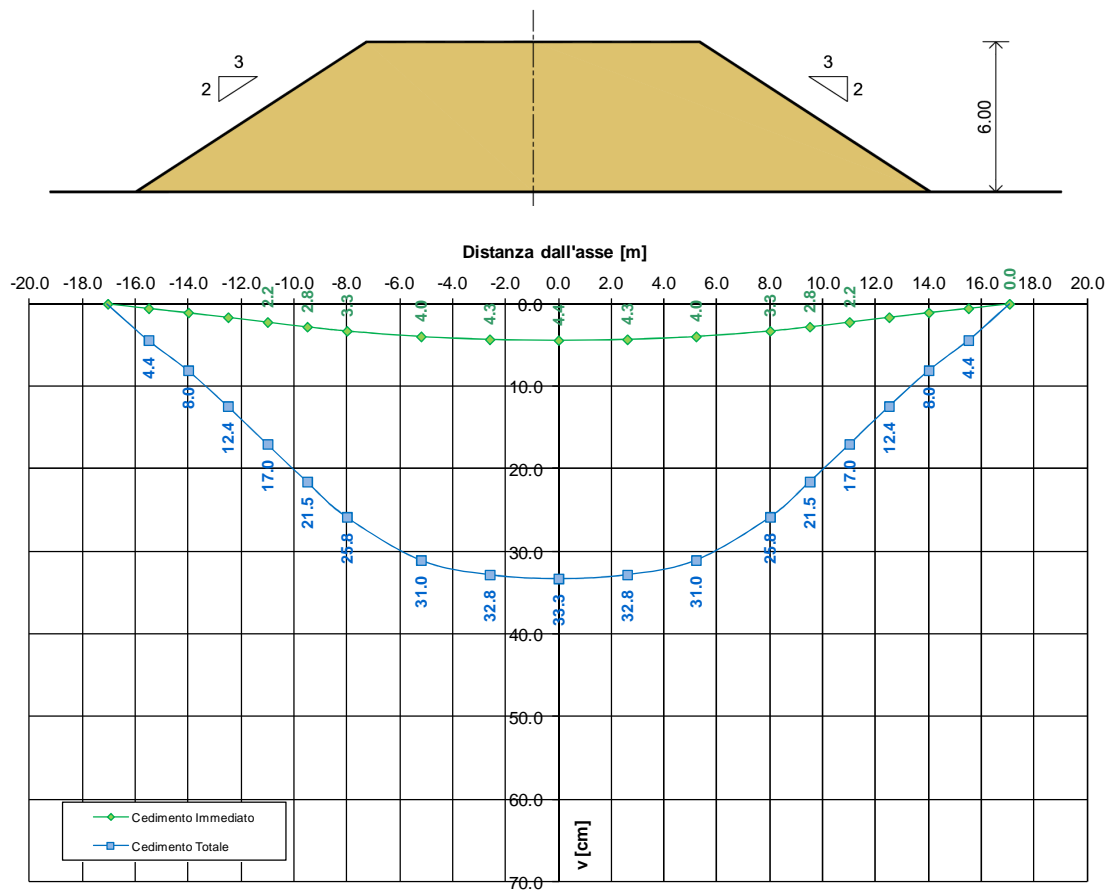
Cedimento immediato [cm]	2.3
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	18.6
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	0.7

TABELLA 10-18: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – ZONA OMOGENEA 3.

Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	7.4	
$T_c + T_a + 360\text{gg}$	10.3	$\Delta_{1\text{anno}} = 2.9 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600\text{gg}$	19.2	$\Delta_{10\text{anno}} = 11.8 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

10.4.3. $H_{rij}=6.00\text{ m}$

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).



1RE - Zona Omogenea 3 - Rilevato H = 6.00 m

FIGURA 10-28: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

In Figura 10-29 e in Figura 10-30 sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

1RE - Zona Omogenea 3 - Rilevato H = 6.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

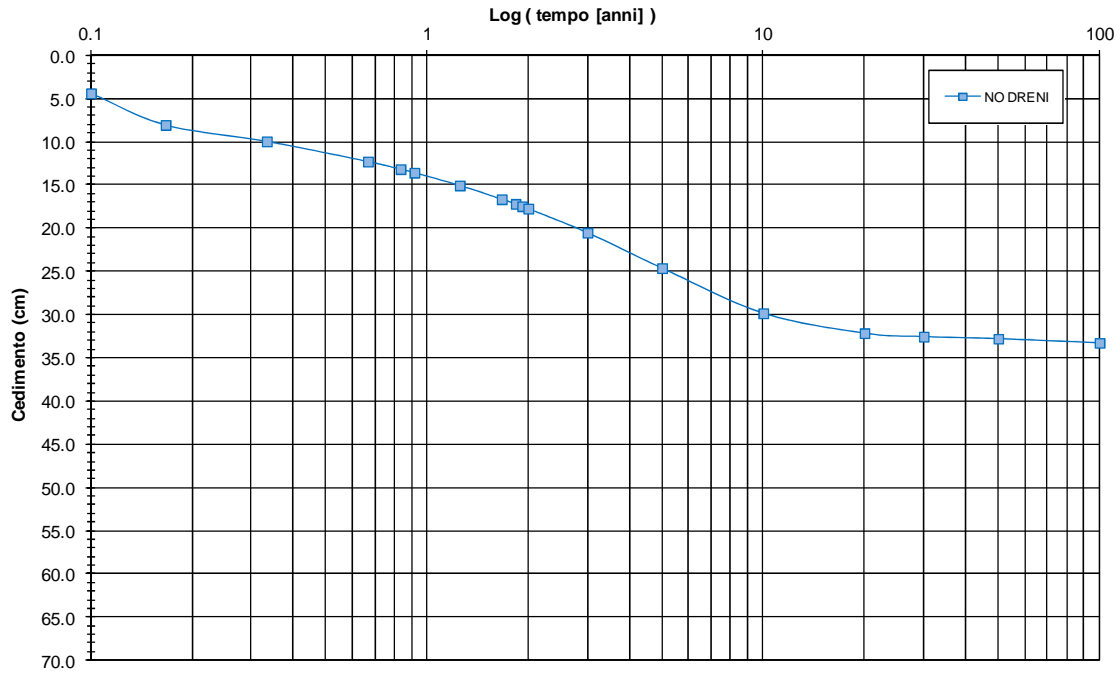


FIGURA 10-29: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

1RE - Zona Omogenea 3 - Rilevato H = 6.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

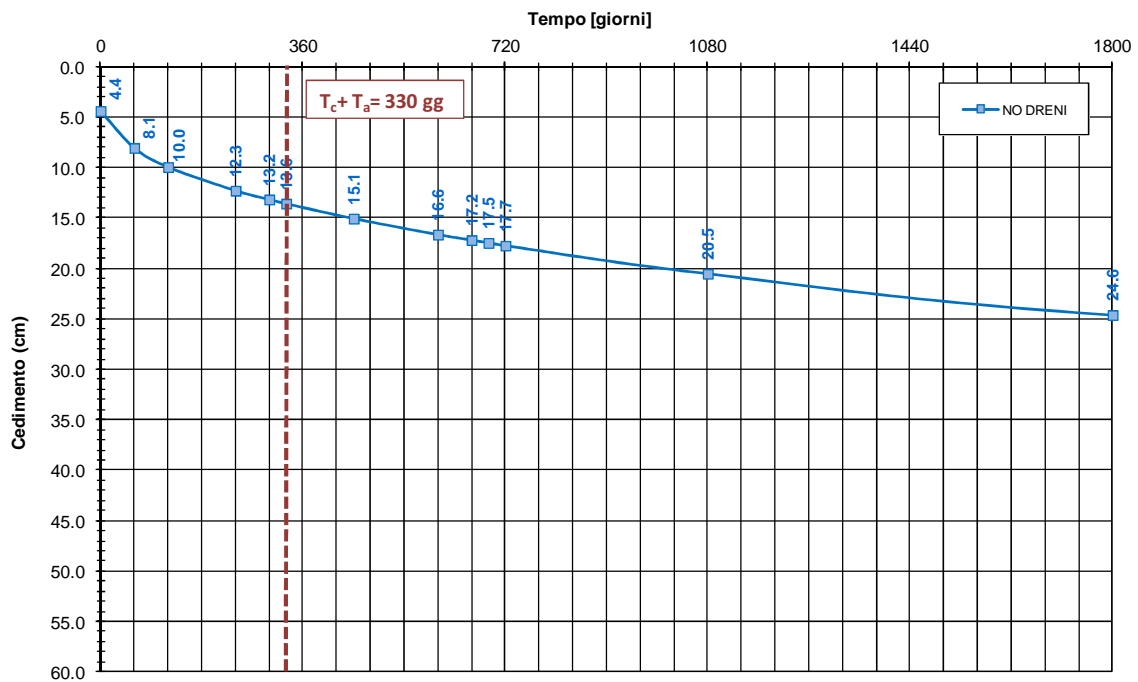


FIGURA 10-30: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportate rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso di assenza di interventi di consolidamento.

TABELLA 10-19: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – ZONA OMOGENEA 3.

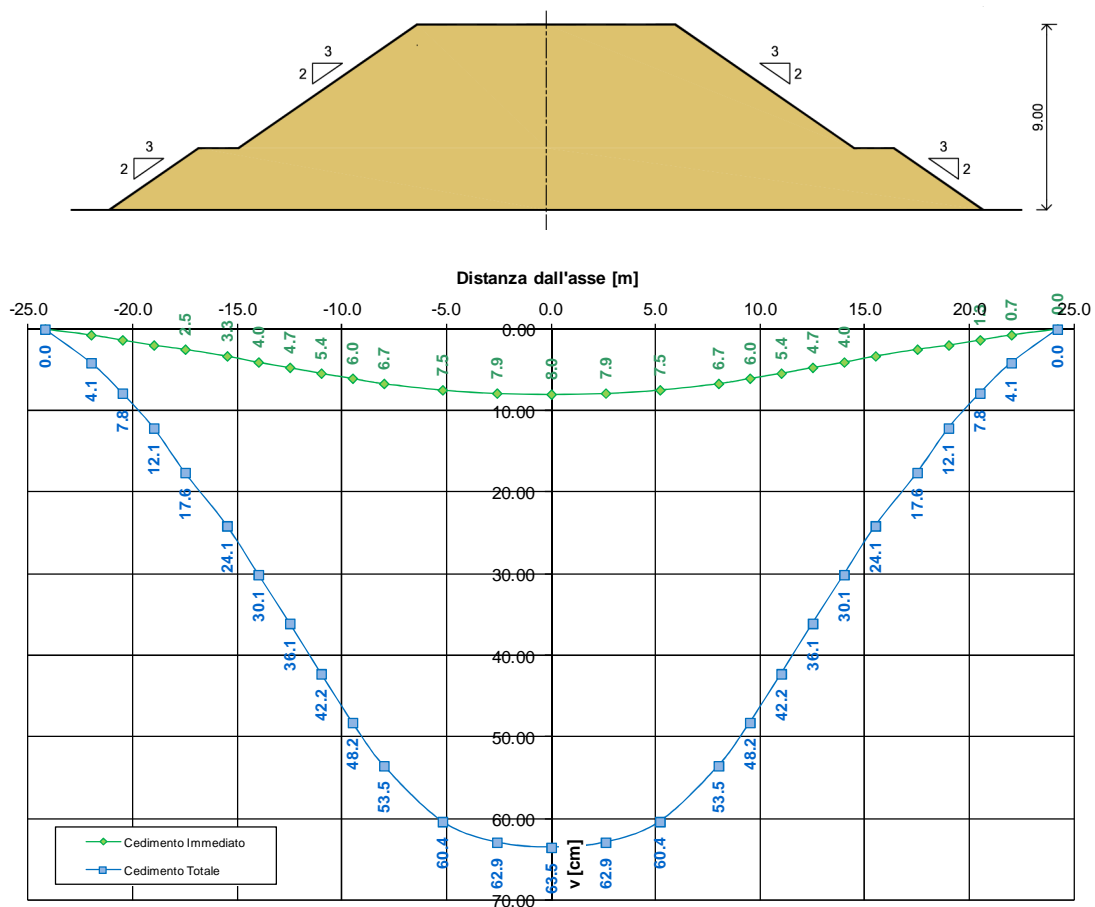
Cedimento immediato [cm]	4.4
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	28.2
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	0.7

TABELLA 10-20: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – ZONA OMOGENEA 3.

Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	13.6	
$T_c + T_a + 360\text{gg}$	17.5	$\Delta_{1\text{anno}} = 3.9 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600\text{gg}$	30.1	$\Delta_{10\text{anno}} = 16.5 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

10.4.4. $H_{rij}=9.00\text{ m}$

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).



1RE - Zona Omogenea 3 - Rilevato H = 9.00 m

FIGURA 10-31: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

In Figura 10-32 e in Figura 10-33 sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

1RE - Zona Omogenea 3 - Rilevato H = 9.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

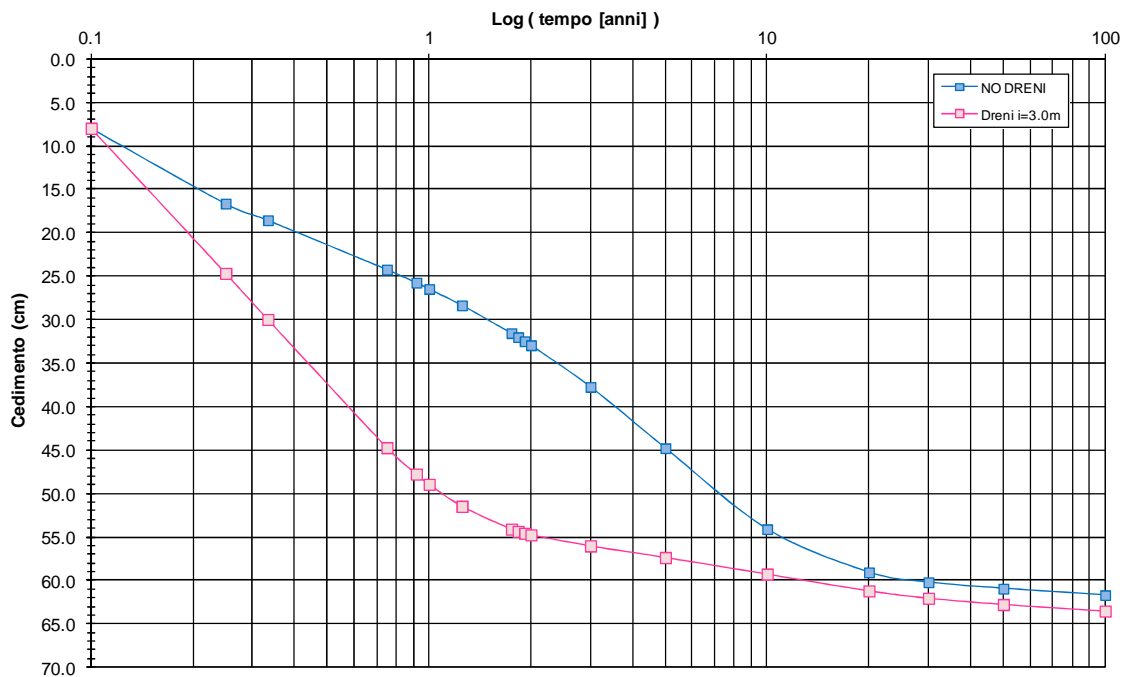


FIGURA 10-32: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

1RE - Zona Omogenea 3 - Rilevato H = 9.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

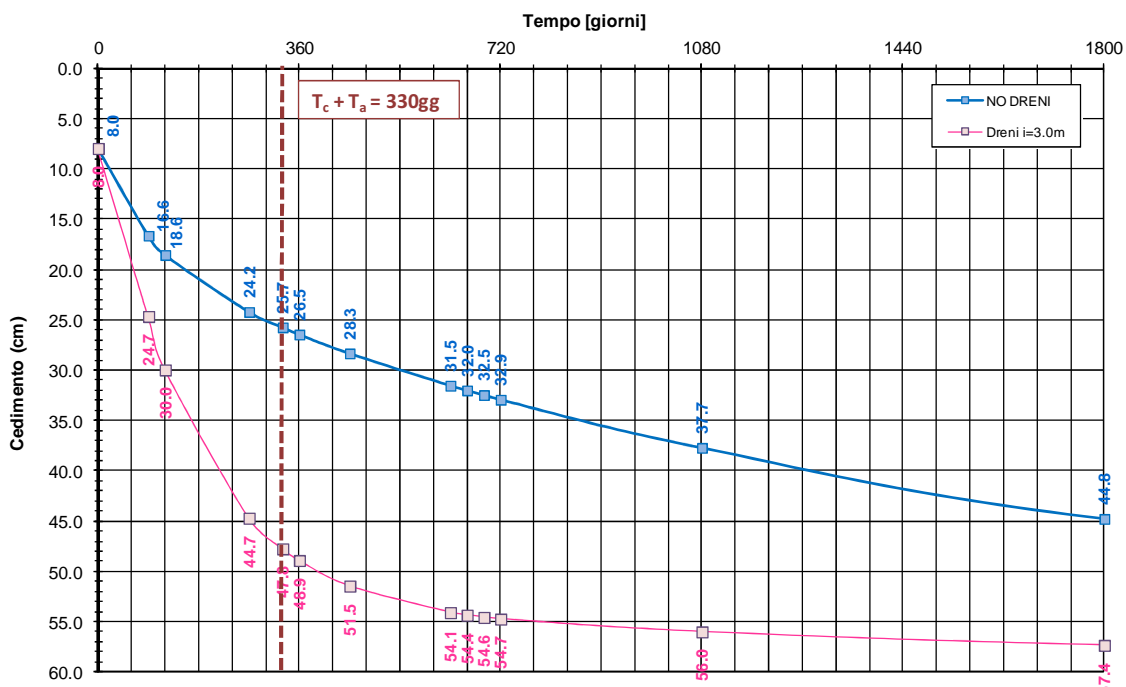


FIGURA 10-33: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportate rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso di dreni ad interasse pari a 3.0 m e di lunghezza 16.0m.

TABELLA 10-21: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – ZONA OMOGENEA 3.

Cedimento immediato [cm]	8.0
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	52.0
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	3.5

TABELLA 10-22: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – ZONA OMOGENEA 3.

Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	47.8	
$T_c + T_a + 360gg$	54.6	$\Delta_{1^{\text{anno}}} = 6.8 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600gg$	59.4	$\Delta_{10^{\text{anno}}} = 11.6 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

11. 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_02_A.

In particolare gli interventi previsti sono riassunti nella seguente tabella.

TABELLA 11-1: INTERVENTI SPALLE OPERE D'ARTE.

Opera d'arte		Tipologia opera	Pk di riferimento	ZO	Tipologia Spalla	$H_{RIL, max}$ [m]	Tipologia dreni	L_d (valutata da piano campagna) [m]	i_d [m]	$H_{precarico}$ [m]	Tc (Tempo di costruzione)	T_a (Tempo di attesa: fine esecuzione rilevato - esecuzione della spalla)
DPO02	Ponte sul torrente Enza	Iperstatico	0+620 (1° tratto)	1	passante (2 file di pali)	10.4	dreni a nastro	15.0	2.5	2.0	10 gg/metro	12 mesi
DPO03	Ponte sul Canale Brescello	Isostatico	0+430 (2° tratto)	3	passante (2 file di pali)	10.1	dreni a nastro	16.0	2.5	2.0	10 gg/metro	18 mesi

12. VERIFICA STABILITÀ AI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

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

La verifica a liquefazione è stata articolata nelle seguenti fasi:

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

Le elaborazioni sono state condotte secondo quanto riportato nell'elaborato PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_02.

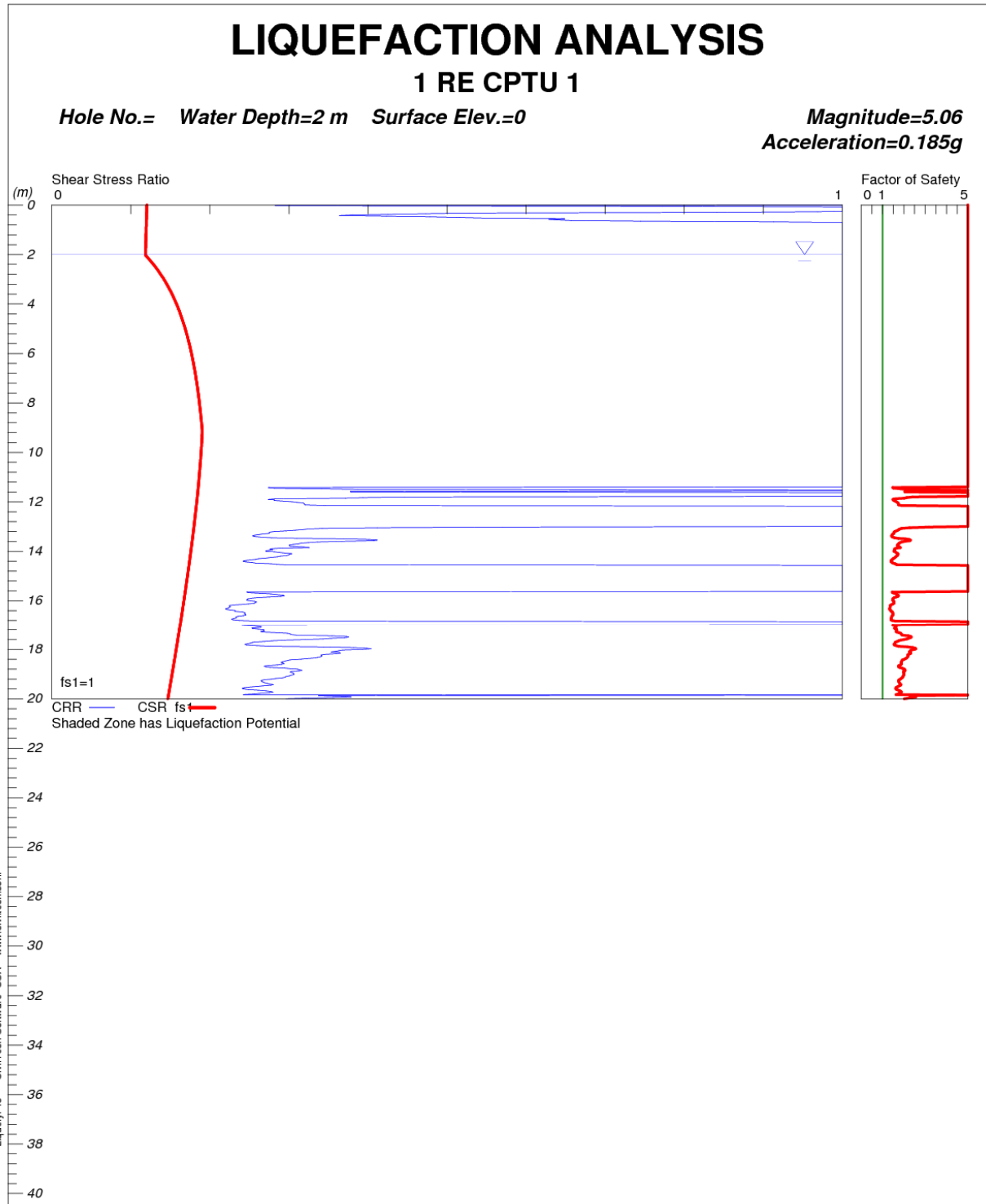
In Tabella 12-1 vengono riportati i parametri di pericolosità sismica adottati ed i valori dell'Indice del potenziale di liquefazione calcolato per ogni verticale di indagine.

TABELLA 12-1: PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA E INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.

	n° CPTU	Vita Nominale [anni]	Classe d'uso	Categoria di sottosuolo	Comune	Magnitudo	a_{max}/g	Falda m da p.c.	Potenziale di liquefazione (IL)	
1RE	1	CPTU 1	50	III	C	Sorbolo (PR)	5.06	0.185	2.0	0.0
		CPTU 2	50	III	C	Sorbolo (PR)	5.06	0.185	2.0	0.0
		CPTU 3	50	III	C	Sorbolo (PR)	5.06	0.185	2.0	0.0
		CPTU 4	50	III	C	Sorbolo (PR)	5.06	0.185	2.0	0.0
		CPTU 5	50	III	C	Sorbolo (PR)	5.06	0.185	2.0	0.0
	2	CPTU 6	50	III	C	Brescello (RE)	5.23	0.153	2.0	0.0
		CPTU 7	50	III	C	Brescello (RE)	5.23	0.153	2.0	0.0
	3	CPTU 8	50	III	C	Brescello (RE)	5.23	0.153	1.0	0.0
		CPTU 9	50	III	C	Brescello (RE)	5.23	0.153	1.0	0.0
		CPTU 10	50	III	C	Brescello (RE)	5.23	0.153	1.0	0.0
		CPTU 11	50	III	C	Brescello (RE)	5.23	0.153	1.0	0.0
		CPTU 12	50	III	C	Brescello (RE)	5.23	0.153	1.0	0.0

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

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

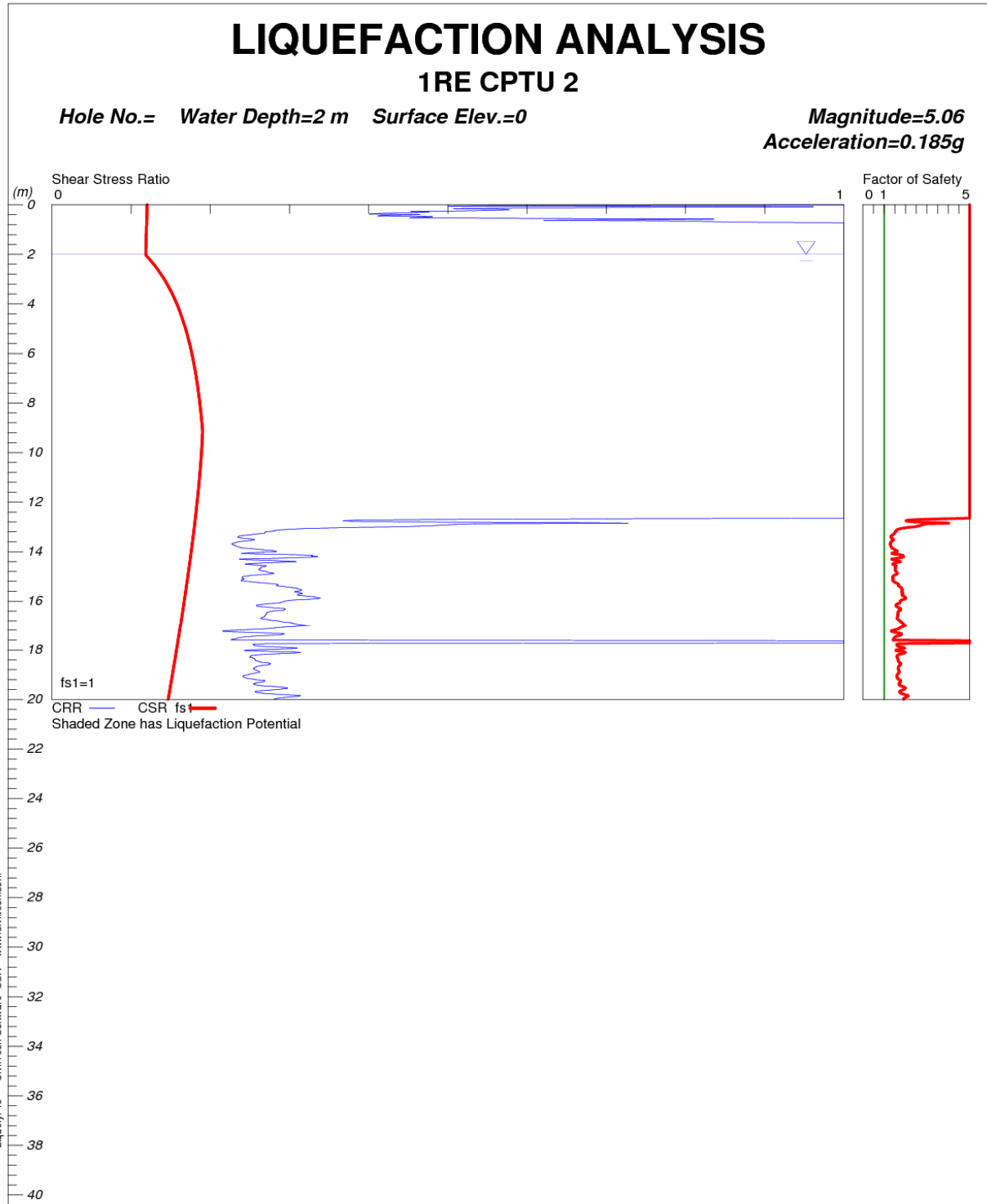


CivilTech Corporation

Cispadana _ Viabilità di Adduzione 1RE

Plate A-1

FIGURA 12-1: 1RE CPTU1 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE.



CivilTech Corporation Autostrada Regionale Cispadana _ Viabilità di adduzione 1RE

Plate A-1

FIGURA 12-2: 1RE CPTU2 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE.

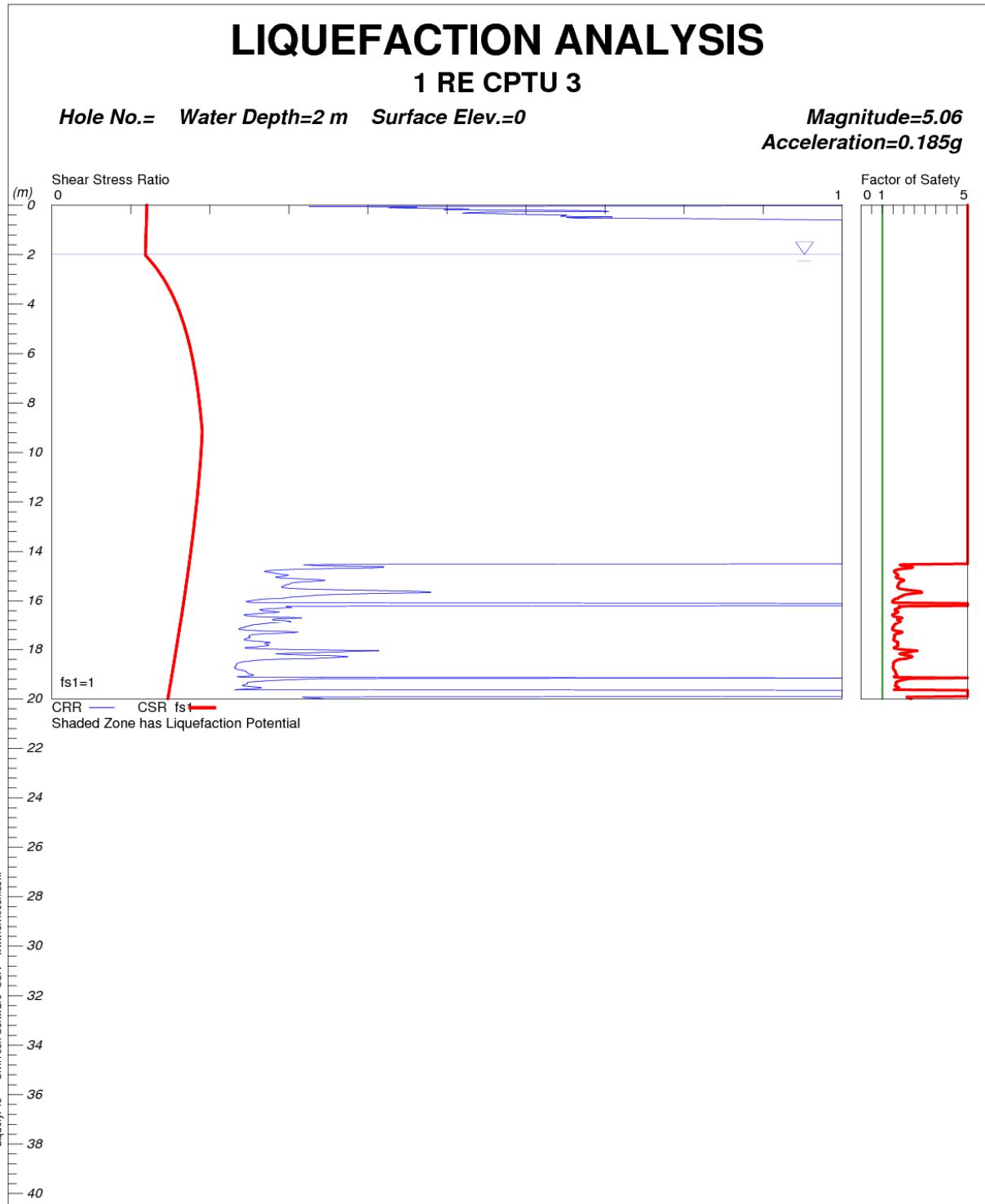


FIGURA 12-3: 1RE CPTU3 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE.

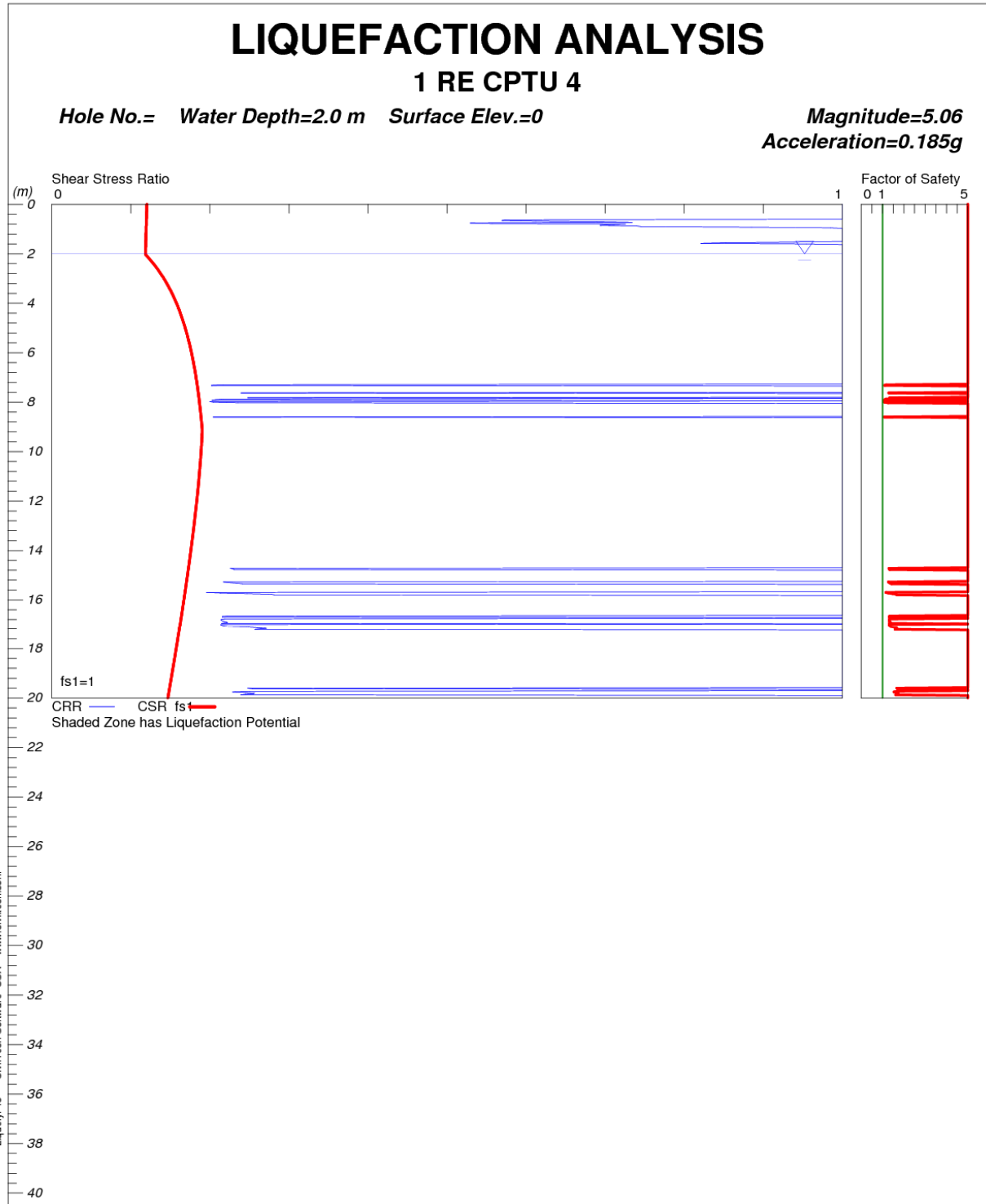


FIGURA 12-4: 1RE CPTU4 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE.

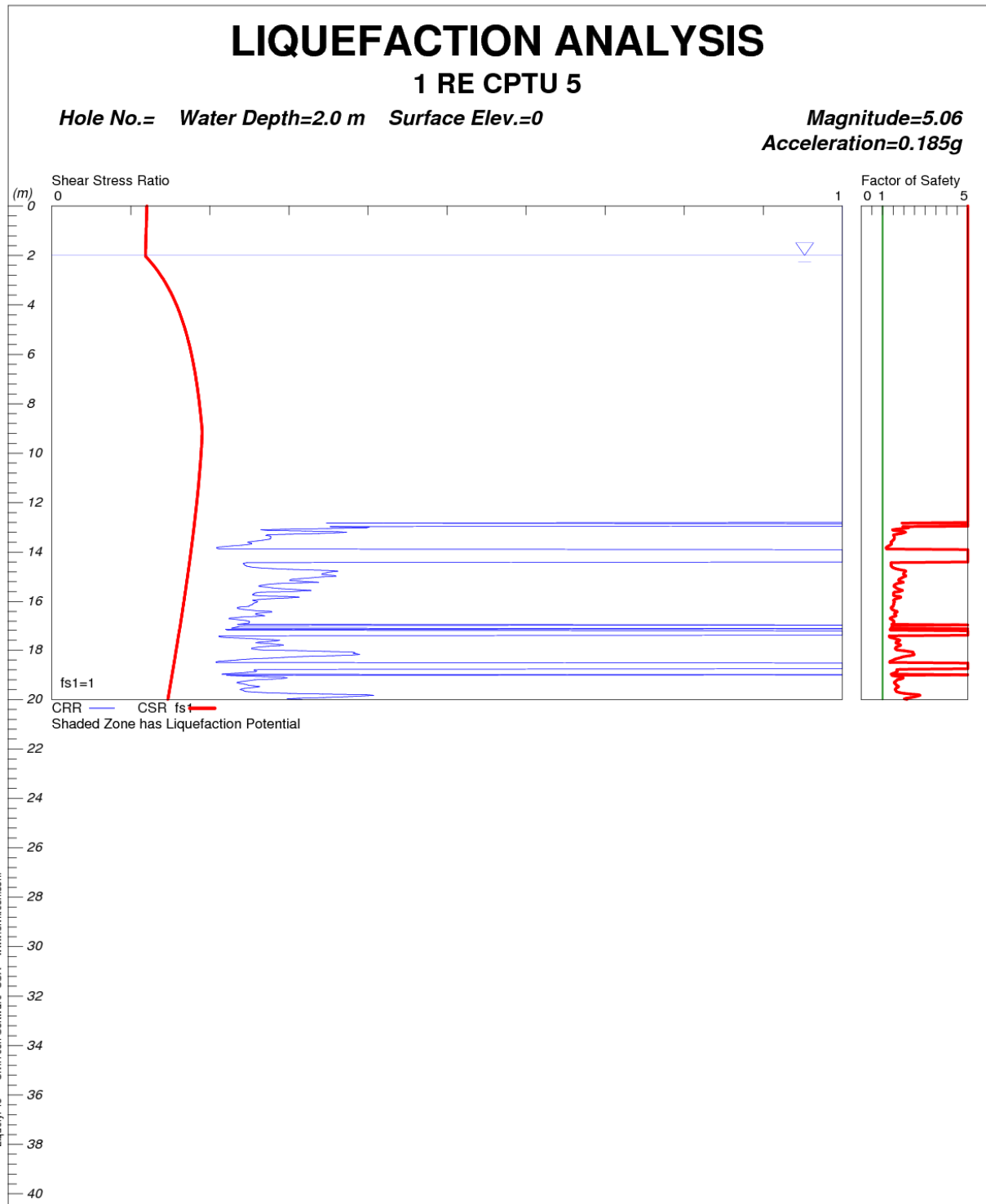


FIGURA 12-5: 1RE CPTU5 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE.

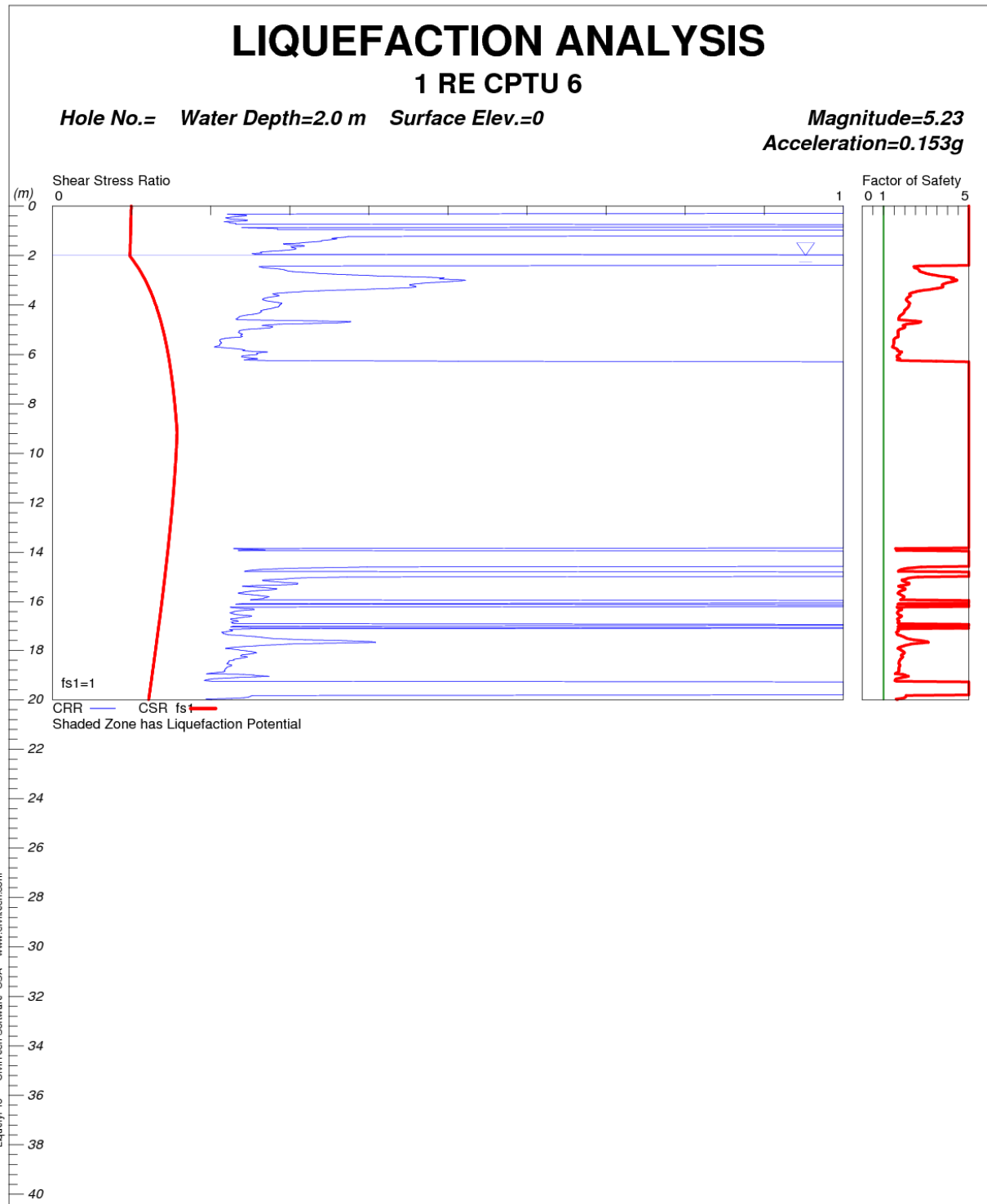
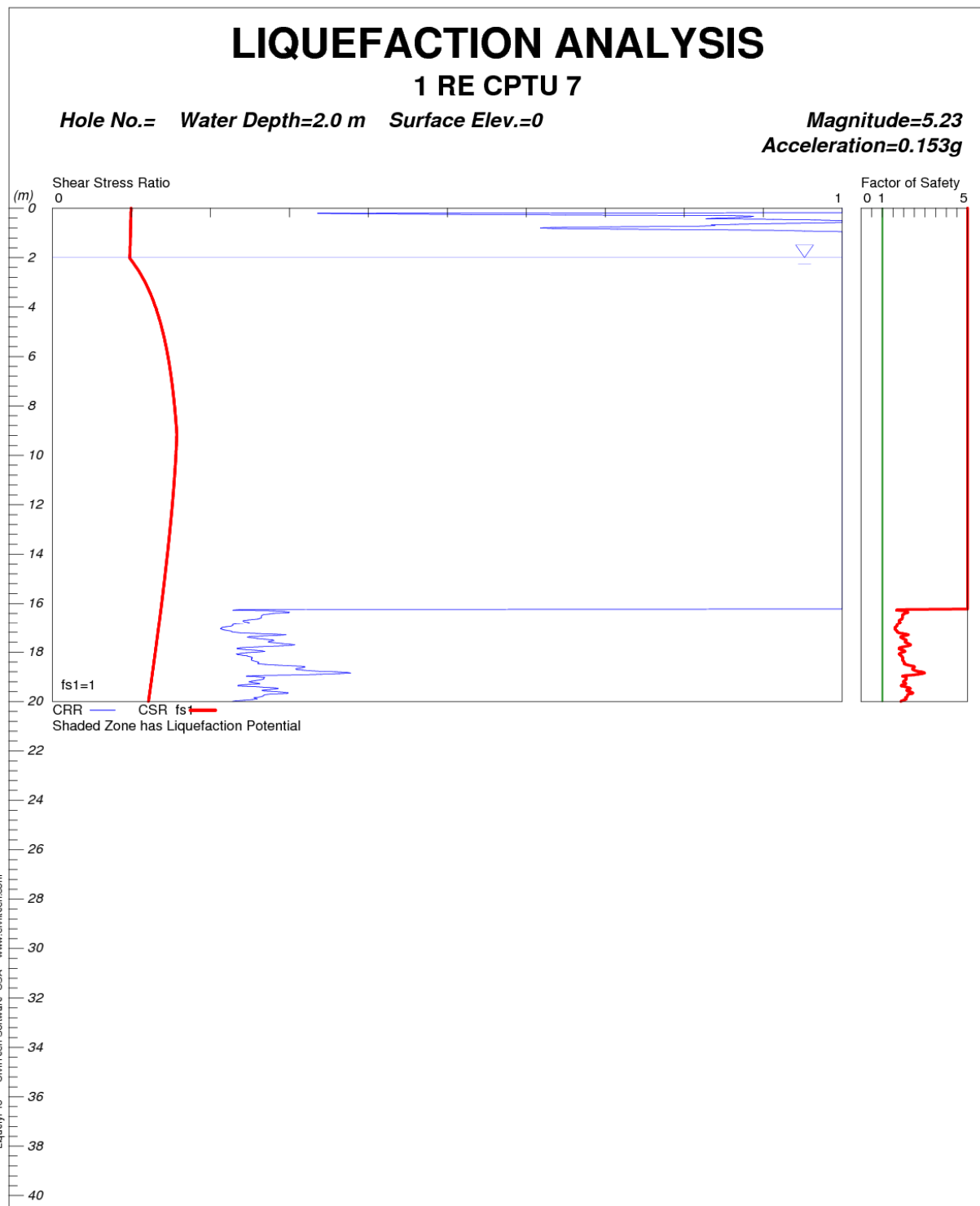


FIGURA 12-6: 1RE CPTU6 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE.



CivilTech Corporation Autostrada Regionale Cispadana _ Viabilità di addu Plate A-1

FIGURA 12-7: 1RE CPTU7 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE.

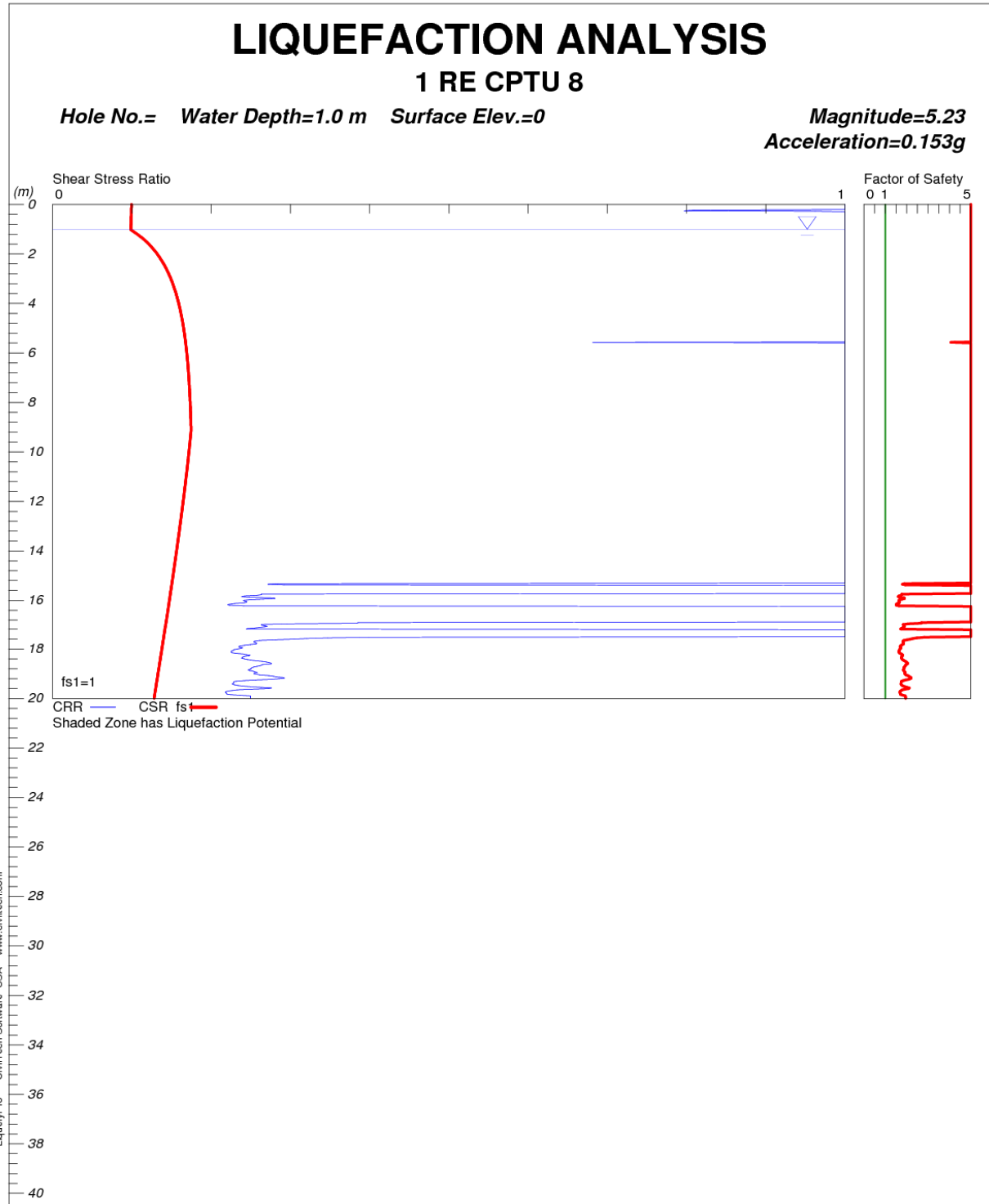
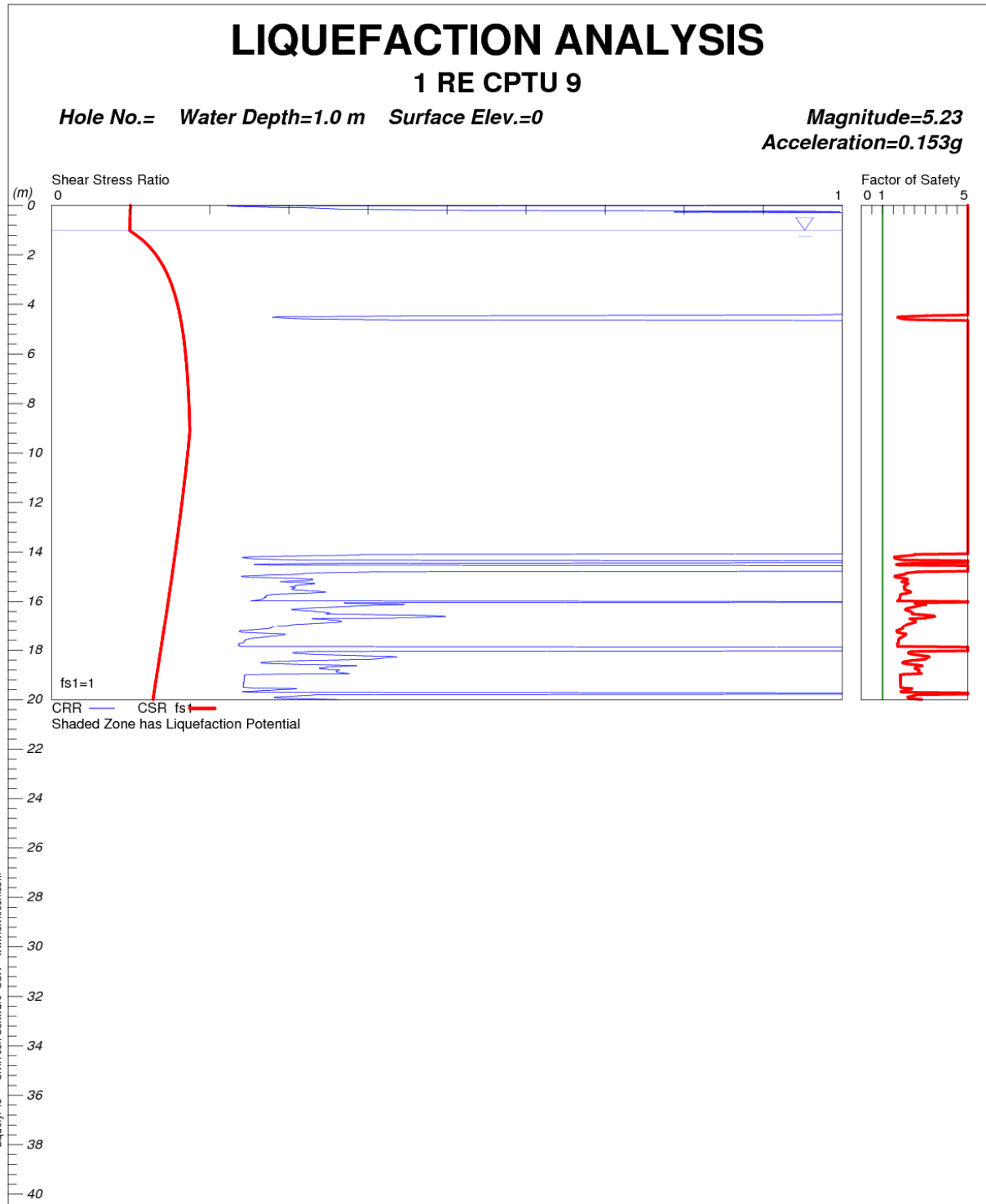


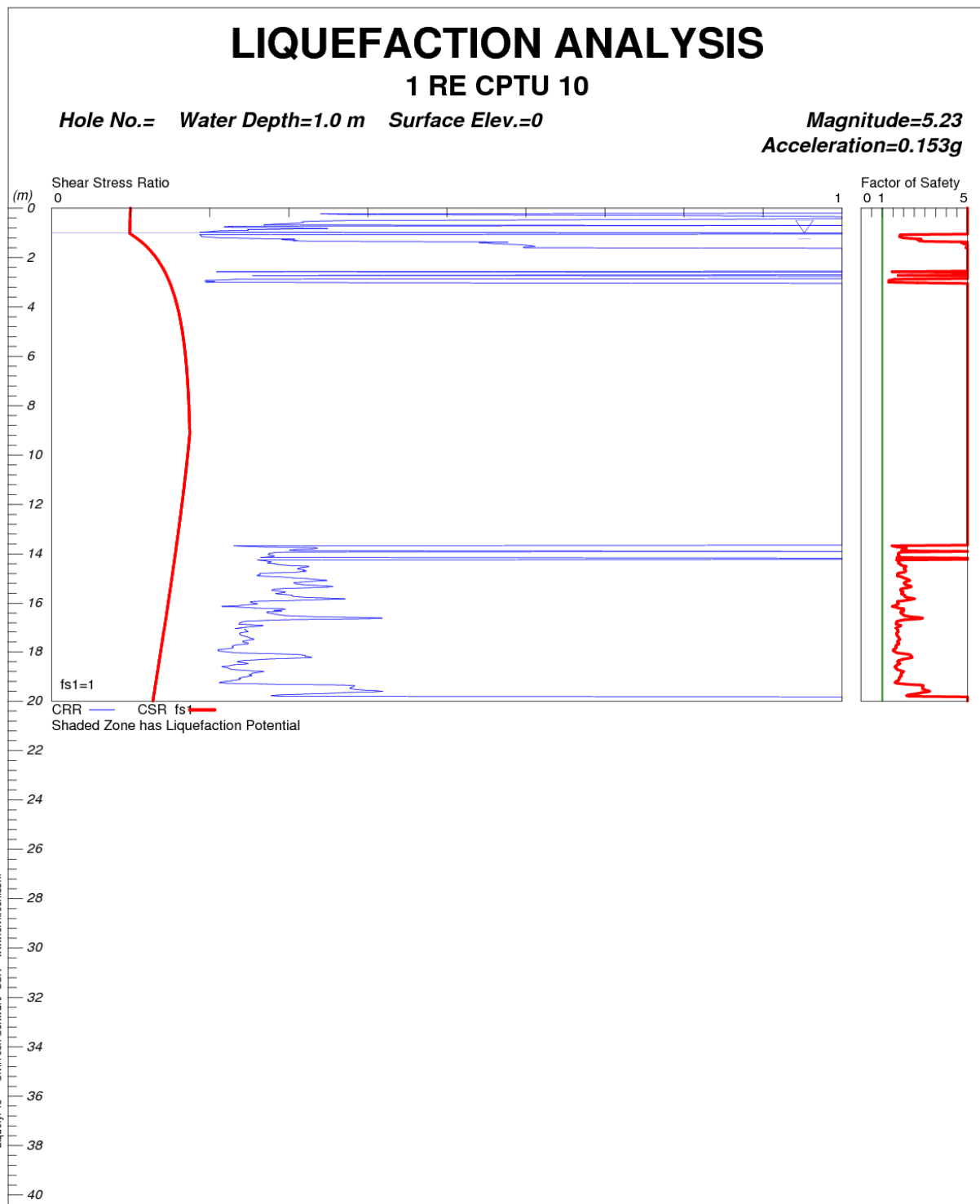
FIGURA 12-8: 1RE CPTU8 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE.



CivilTech Corporation Autostrada Regionale Cispadana _ Viabilità di addu

Plate A-1

FIGURA 12-9: 1RE CPTU9 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE.



CivilTech Corporation Autostrada Regionale Cispadana _ Viabilità di addu

Plate A-1

FIGURA 12-10: 1RE CPTU10 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE.

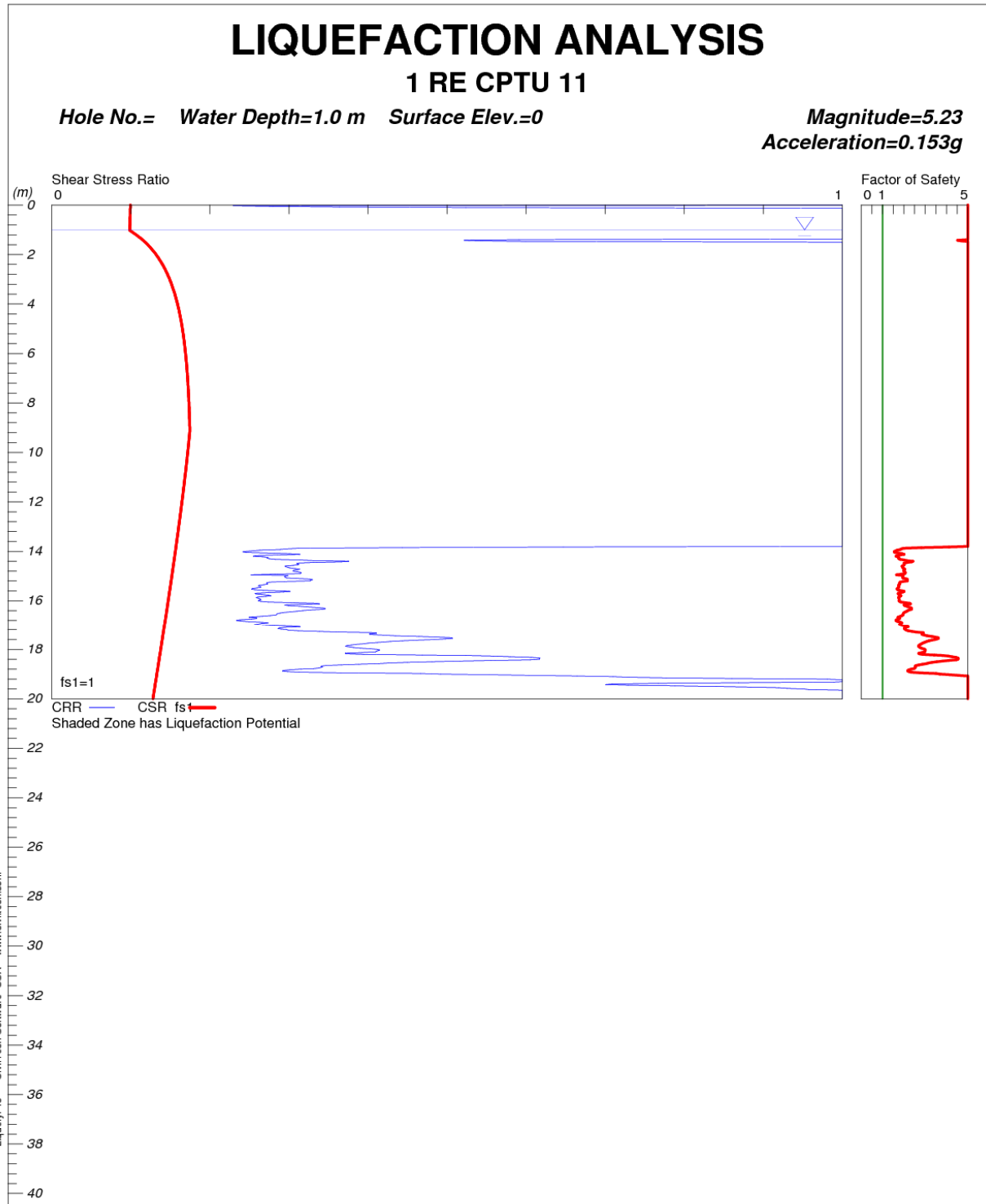


FIGURA 12-11: 1RE CPTU11 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE.

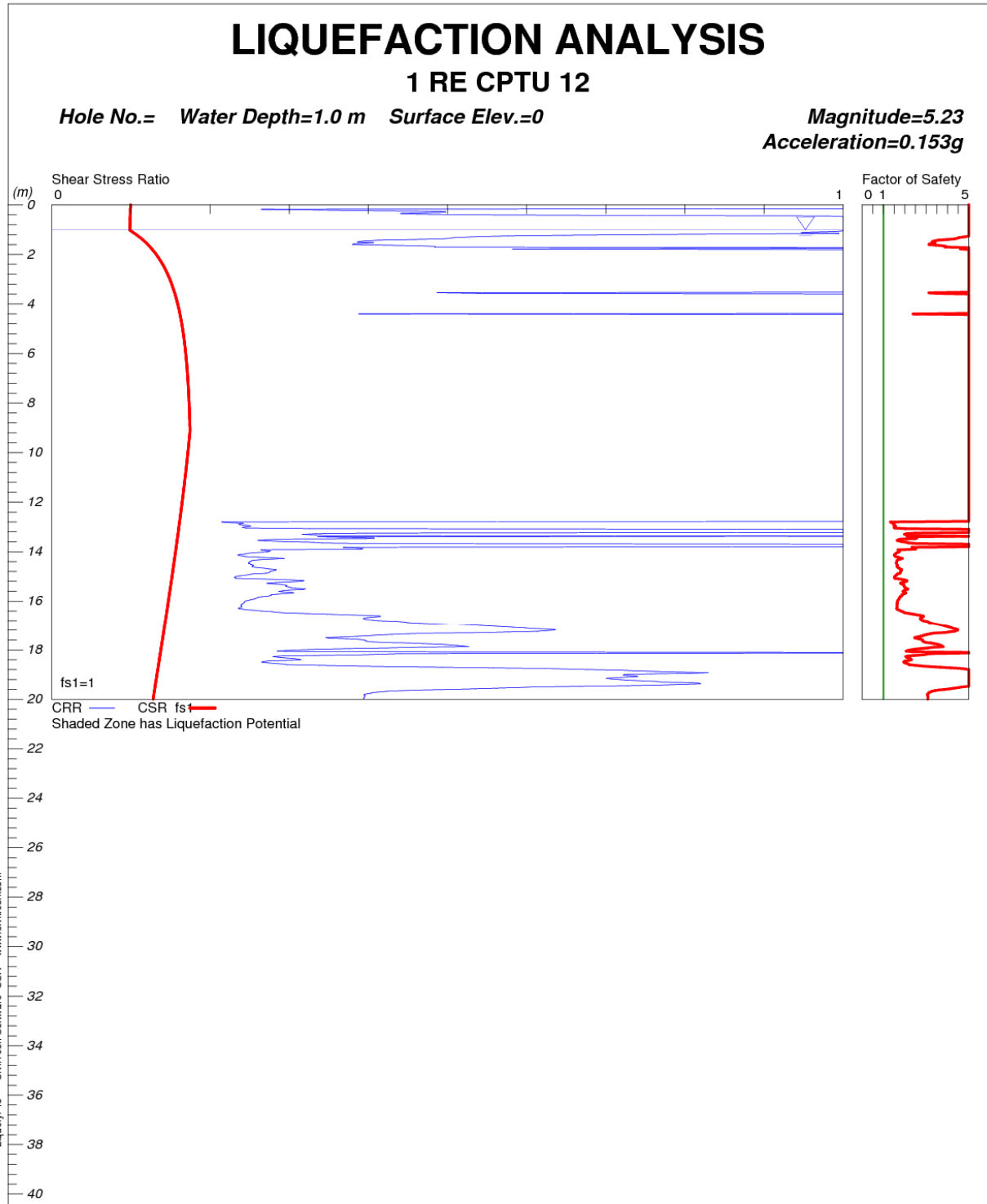


FIGURA 12-12: 1RE CPTU12 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE.

13. 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 XA1**

Criticità: acqua nel terreno rilevata nel piezometro del sondaggio 1RE-BH03.

14. TRATTAMENTO DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE

14.1. 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".

14.2. SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE

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

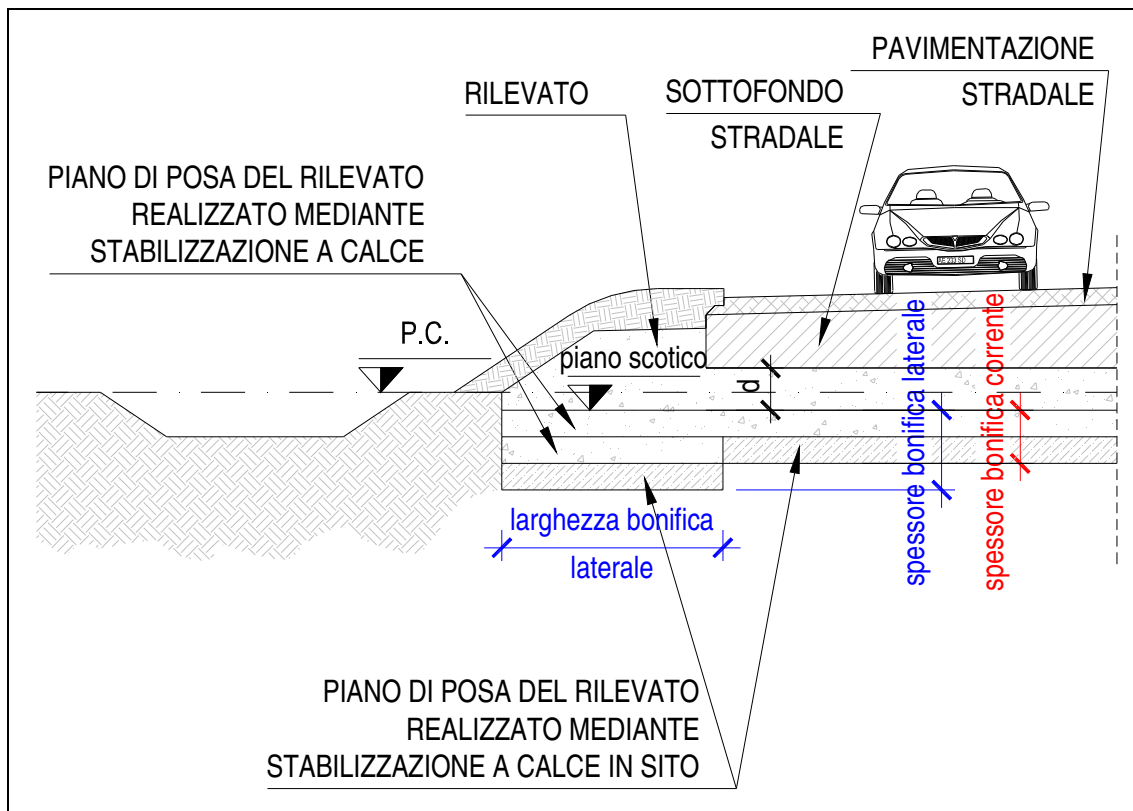


FIGURA 14-1: SCHEMA GENERALE BONIFICHE.

14.3. 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 14-1: LIVELLI PRESTAZIONALI MINIMI DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE.

Altezza rilevato [m]	d [m]	$M_{d\text{-richiesto}}$ [MPa]
≤ 1	0.4	38.0
> 1	1.0	20.0

14.4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

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

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

Tale modulo $E_0 = E_{PLT}$ è ricavato sulla base del modulo di deformazione su piastra dei pozzetti di riferimento per il singolo tratto secondo quanto riportato nell'elaborato PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_02 "Criteri generali verifiche geotecniche".

Nella tabella seguente sono riportati, per il singolo tratto individuato sulla base della distanza prevalente intradosso fondazione/sottofondo stradale – piano di posa rilevato (vedi Tabella 14-1):

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

TABELLA 14-2: TERRENO NATURALE – MODULO ELASTICO ASSUNTO NELLE ELABORAZIONI.

Altezza rilevato [m]	$E_{PLT} = E_0$ [MPa]
≤ 1	3.5
> 1	4.4

14.5. 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 14-1).

TABELLA 14-3: 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	0.9	2.5	Figura 14-2
> 1	0.3	0.9	2.5	Figura 14-3

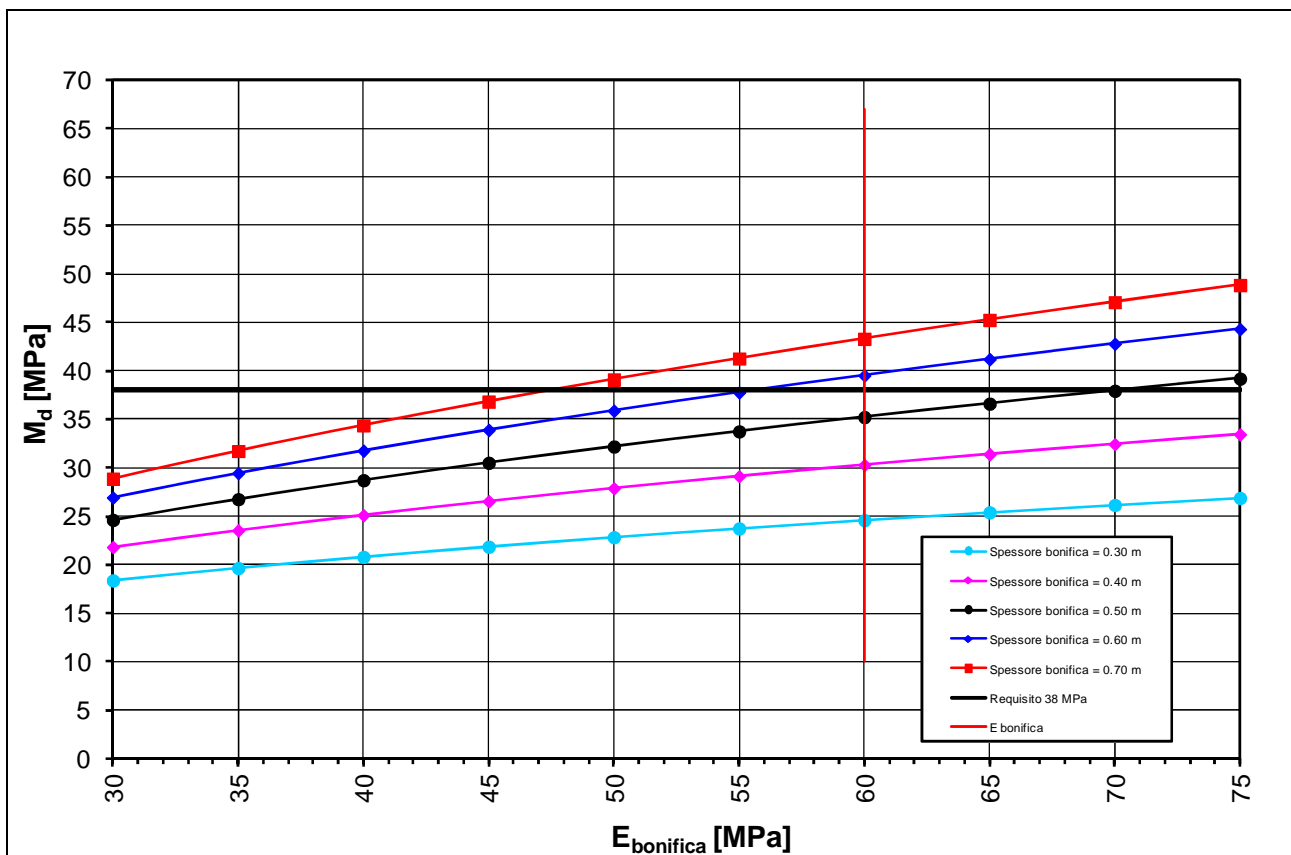


FIGURA 14-2: HRIL ≤ 1M – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.

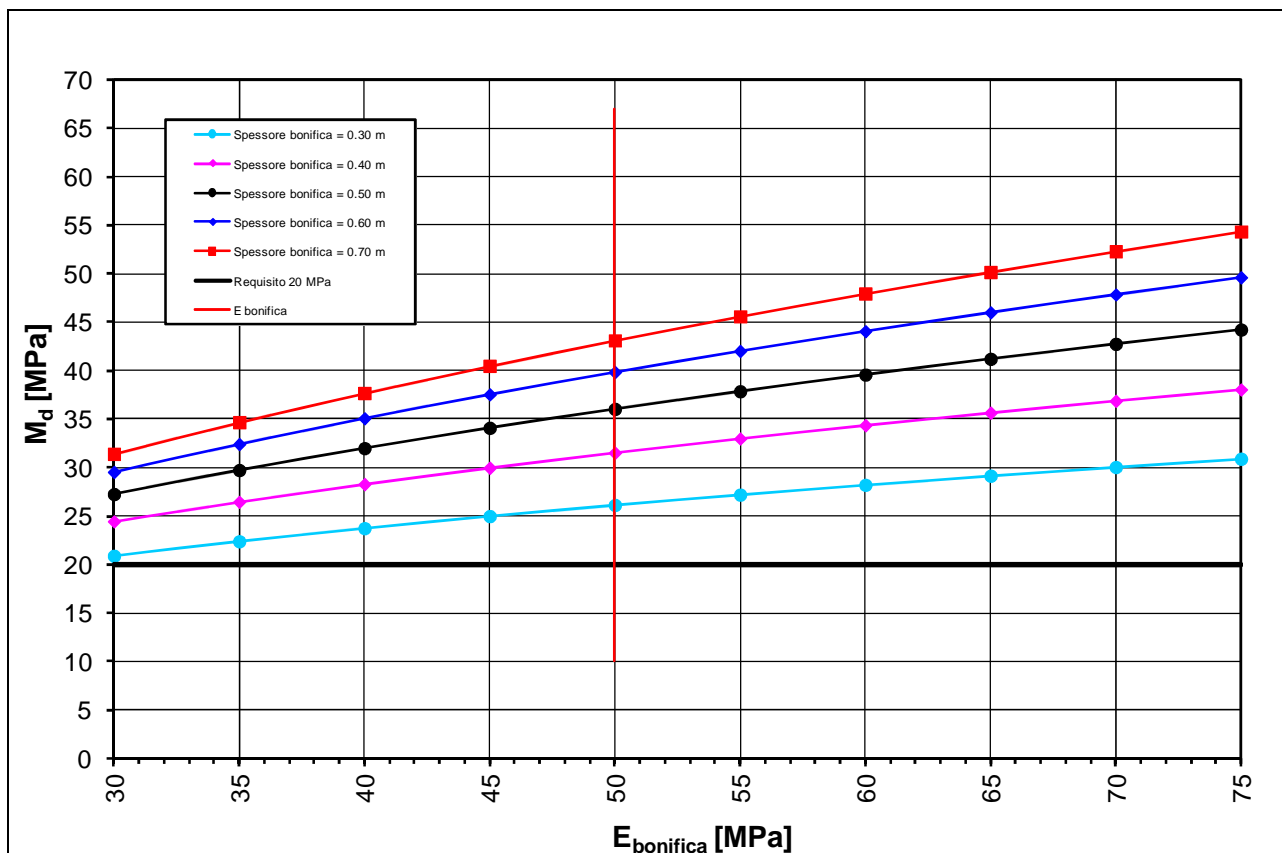


FIGURA 14-3: HRIL > 1M – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.

14.6. STUDIO DELLA STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE

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

Nella tabella seguente sono riportati:

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

TABELLA 14-4: INDICAZIONI IN MERITO ALLA %CAO DA ADOTTARE NELLA STABILIZZAZIONE.

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

15. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI POST-SISMICI IN TERRENI COESIVI

Per quanto concerne la valutazione dei cedimenti post-sismici in terreni coesivi si rimanda al documento PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_03.