

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA

PROGETTO ESECUTIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO
I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE
ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI

VIABILITA' di SOPPRESSIONE PL al KM 143+833 – Via Calabroni

Relazione di calcolo rilevati

SCALA:

1

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

IF0L 00 E 11 CL GE0005 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	G. Grimaldi	Sett..2015	P. Tascione	Sett..2015	F. Cerone	Sett..2015	F. Sacchi	Sett. 2015

ITALFERR S.p.A.
U.D. CORPO STRADALE E GEOTECNICA
Dott. Ing. FRANCESCO SACCHI
Ordinatore degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria della linea Roma

INDICE

1. PREMESSA.....	4
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
2.1 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO E DI BASE.....	6
2.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO.....	9
3. LA PRESENTE PROGETTAZIONE È CONFORME ALLE NORMATIVE VIGENTI.CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE.....	10
3.1 CRITERI GENERALI DI VERIFICA.....	10
3.2 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI.....	11
3.2.1 Stati limite ultimi (SLU).....	11
3.2.2 Stati limite di esercizio (SLE).....	13
3.3 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI.....	13
3.3.1 Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche.....	13
3.3.2 Stati limite ultimi (SLU).....	15
3.3.3 Stati limite di esercizio (SLE).....	15
4. AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	16
4.1.1 Componenti dell'accelerazione equivalente.....	17
4.1.1.1 Coefficienti sismici per la verifica di stabilità globale.....	18
5. CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA.....	19
5.1 CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI.....	19
5.1.1 Slope/2015.....	19
5.2 METODOLOGIE DI VERIFICA ADOTTATE.....	20
5.2.1 Verifiche di stabilità.....	20
1.1.1.1 Metodo equilibrio limite (LEM).....	20
1.1.1.2 Metodo dei conci.....	21
1.1.1.3 Metodo di Morgenstern e Price (1965).....	22
1.1.1.4 Ricerca della superficie di scorrimento critica.....	23
5.2.2 Valutazione degli spostamenti.....	24
6. CARATTERISTICHE DEL CORPO STRADALE.....	26

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0006 001	A	3 di 42

6.1	CARICHI DI PROGETTO	26
7.	DATI GEOTECNICI DI CALCOLO	27
8.	VERIFICHE RILEVATO TIPOLOGICO H=4m.....	28
8.1	Verifica A2+M2+R2 statica	28
8.2	Verifica A2+M2+R2 sismica.....	33
9.	CEDIMENTI TIPOLOGICO H=4	39

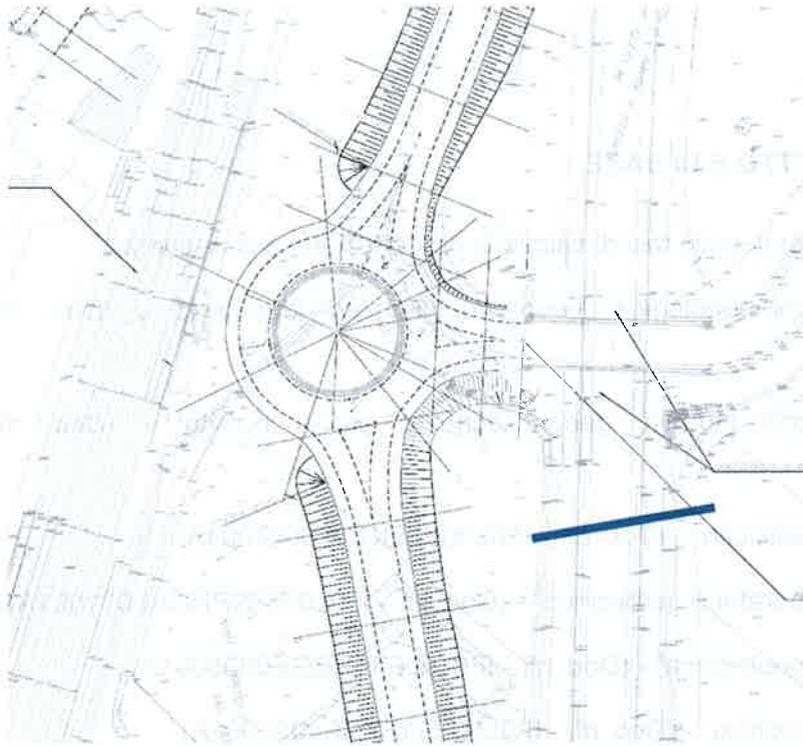


Figura 2 - Stralcio planimetrico in prossimità della sezione 3

Il documento è così articolato:

Nel Cap. 2 si riportano i documenti di riferimento e la normativa citati nel testo.

Nel Cap. 3 si descrivono i criteri generali di progettazione in accordo alla Normativa vigente (Doc. Rif.[55] e [56]).

Nel Cap. 4 si definisce l'azione sismica di progetto.

Nel Cap. 5 si descrivono i codici di calcolo adottati ed i criteri di verifica.

Nel Cap. 6 si riporta la descrizione del corpo stradale in esame da un punto di vista geometrico, con i criteri per l'individuazione delle sezioni caratteristiche, le caratteristiche geotecniche dei materiali e i sovraccarichi presenti.

Nel Cap. 7 si riportano i dati geotecnici di calcolo in termini di stratigrafia e parametri.

Nel Cap. 8 sono invece riportate le descrizioni delle verifiche condotte e i risultati ottenuti per ciascuna sezione caratteristica.



ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO
I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E
VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL
COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	8 di 42

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO E DI BASE

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- [1] Progetto esecutivo – “Relazione geologica, geomorfologica ed idrologica” - (Doc. rif. - IF0L00E69RGGE0001001A)
- [2] Progetto esecutivo – “Relazione indagini geognostiche e prove in situ” - (Doc. rif. - IF0L00E69SGGE0001001A)
- [3] Progetto esecutivo – “Indagini geofisiche” - (Doc. rif. - IF0L00E69IGGE0001001A)
- [4] Progetto esecutivo – “Prove di laboratorio geotecnico” - (Doc. rif. - IF0L00E69PRGE0001001A)
- [5] Progetto esecutivo – “Relazione geotecnica” - (Doc. rif. - IF0L00E11RBGE0005001A)
- [6] Progetto esecutivo – “Profilo geotecnico” - (Doc. rif. - IF0L00E11FZGE0005001A)
- [7] Progetto Definitivo – Profilo geotecnico (Doc. Rif. IF0K00D11FZNV0100001A)
- [8] Geosud s.r.l. – “Campagna d’indagini geognostiche 1985 – Stratigrafie, Prove in situ” – (Doc. rif. – Protocol 105195-270115)
- [9] Imprefond s.r.l. – “Campagna d’indagini geognostiche – 2008/2009 - Stratigrafie, prove in sito, rilievo geomeccanico e documentazione fotografica” (Doc. rif. – Progetto Preliminare Italferr IF3201R69SGGE0005001A)
- [10] Sidercem s.r.l. – “Campagna d’indagini geognostiche – 2013/2014 – Sondaggi, stratigrafie e prove in sito” (Doc. rif. Progetto Definitivo Italferr – IF5101D69SGGE0005001A)
- [11] SGG s.r.l. – “Indagini Geofisiche - Campagna Geognostica 2013-2014 – Prospezioni elettromagnetiche, sismica a rifrazione, carotaggi sismici DOWN HOLE, REMI E MASWS” (Doc. rif. Progetto Definitivo Italferr – IF5101D69IGGE0005017A)
- [12] Progetto Definitivo - Relazione Geologica, geomorfologica ed idrogeologica - (Doc. rif. - IF0F01D69RG000001001A)

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	7 di 42

- [13] Progetto Definitivo - Carta geologica e Profilo geologico Lotto 1 - Tav. 1 di 4 da Km 0+000 a Km 4+000 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5GE0001001A)
- [14] Progetto Definitivo - Carta geologica e Profilo geologico Lotto 1 - Tav. 2 di 4 da Km 4+000 a Km 8+000 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5000001002A)
- [15] Progetto Definitivo - Carta geologica e Profilo geologico Lotto 1 - Tav. 3 di 4 da Km 8+000 a Km 12+000 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5000001003A)
- [16] Progetto Definitivo - Carta geologica e Profilo geologico Lotto 1 - Tav. 4 di 4 da Km 12+000 a Km 16+500 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5000001004A)
- [17] Progetto Definitivo - Carta geologica e Profilo geologico SHUNT - Tav. 1 di 2 da Km 0+000 a Km 4+000 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5000001005A)
- [18] Progetto Definitivo - Carta geologica e Profilo geologico SHUNT - Tav. 2 di 2 da Km 4+000 a Km 8+116,796 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5000001006A)
- [19] Progetto Definitivo - Carta geomorfologica Lotto 1 - Tav. 1 e 2 da Km 0+000 a Km 8+000 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5000003001A)
- [20] Progetto Definitivo - Carta geomorfologica Lotto 1 - Tav. 3 e 4 da Km 8+000 a Km 16+500 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5000003002A)
- [21] Progetto Definitivo - Carta geomorfologica SHUNT - Tav. 1 di 1 da Km 0+000 a Km 8+116,796 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5000003003A)
- [22] Progetto Definitivo - Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico Lotto 1 - Tav. 1 di 4 da Km 0+000 a Km 4+000 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5GE0002001A)
- [23] Progetto Definitivo - Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico Lotto 1 - Tav. 2 di 4 da Km 4+000 a Km 8+000 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5000002002A)
- [24] Progetto Definitivo - Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico Lotto 1 - Tav. 3 di 4 da Km 8+000 a Km 12+000 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5000002003A)
- [25] Progetto Definitivo - Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico Lotto 1 - Tav. 4 di 4 da Km 12+000 a Km 16+500 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5000002004A)
- [26] Progetto Definitivo - Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico SHUNT - Tav. 1 di 2 da Km 0+000 a Km 4+000 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5000002005A)

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	8 di 42

- [27] Progetto Definitivo - Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico SHUNT - Tav. 2 di 2 da Km 4+000 a Km 8+116,796 - (Doc. rif. - IF0F01D69N5000002006A)
- [28] Progetto Definitivo - Indagini geognostiche - Sondaggi profondi - Stratigrafie e Prove in situ - (Doc. rif. - IF0F01D69SG000005001A)
- [29] Progetto Definitivo - Indagini geofisiche - Relazione geofisica - (Doc. rif. - IF0F01D69RH000005001A)
- [30] Progetto Definitivo - Indagini geofisiche - Planimetria e Profilo Prospezione Sismica a riflessione - (Doc. rif. - IF0F01D69IG000005001A)
- [31] Progetto Definitivo - Indagini geofisiche - Planimetria e Profilo Prospezione Sismica a rifrazione - (Doc. rif. - IF0F01D69IG000005002A)
- [32] Progetto Definitivo - Indagini geofisiche - Prospezioni elettromagnetiche - (Doc. rif. - IF0F01D69IG000005003A)
- [33] Progetto Definitivo - Prove geotecniche di laboratorio - (Doc. rif. - IF0F01D69PR000005001A)
- [34] Progetto Definitivo - Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni superficiali e profonde - (Doc. rif. - IF0F01D11ROGE0005001A)
- [35] Progetto Definitivo - Criteri di dimensionamento e verifica opere di sostegno - (Doc. rif. - IF0F01D11ROGE0005002A)
- [36] Progetto Definitivo - Criteri di dimensionamento e verifica rilevati e trincee - (Doc. rif. - IF0F01D11ROGE0005003A)
- [37] Progetto Definitivo - Relazione intervento consolidamento tra il km 8+107 ed il km 9+129 - (Doc. rif. - IF0F01D11CLGE0005015A)
- [38] Progetto Definitivo - Plano-profilo rilevati consolidamento - (Doc. rif. - IF0F01D11WZGE0005001A)
- [39] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea - Tav. 1 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005001A)
- [40] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea - Tav. 2 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005002A)
- [41] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea - Tav. 3 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005003A)
- [42] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea - Tav. 4 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005004A)
- [43] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea - Tav. 5 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005005A)

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	9 di 42

- [44] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea - Tav. 6 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005006A)
- [45] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea - Tav. 7 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005007A)
- [46] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea - Tav. 8 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005008A)
- [47] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea - Tav. 9 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005009A)
- [48] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea - Tav. 10 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005010A)
- [49] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea - Tav. 11 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005011A)
- [50] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea - Tav. 12 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005012A)
- [51] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea - Tav. 13 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005013A)
- [52] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea Colleg. Nord BP - Tav. 14 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005014A)
- [53] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea Colleg. Nord BD - Tav. 15 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005015A)
- [54] Progetto Definitivo - Profilo geotecnico di linea Colleg. Marcianise - Tav. 16 - (Doc. rif. - IF0F01D11F6GE0005016A)

2.2 **NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO**

Si riporta di seguito l'elenco delle normative a cui si è fatto riferimento per la stesura della presente relazione:

- [55] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- [56] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- [57] DM 06.05.2008 – "Integrazione al D.M. 14.01.2008 di approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".
- [58] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A del 21.12.2011- "Specifiche per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario".

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO ESECUTIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	COMMESSA IF0L	LOTTO 00 E 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

- [59] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A del 21.12.2011 - “Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie”.
- [60] RFI DTC INC CS LG IFS 001 A del 21.12.2011 – “Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra”.
- [61] RFI DTC SICS SP IFS 001 A del 30.06.2014 - Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi”– RFI.
- [62] 2008/217/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità (20/12/2007)”.
- [63] 2011/275/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo convenzionale (26/04/2011)”.
- [64] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [65] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

3. LA PRESENTE PROGETTAZIONE È CONFORME ALLE NORMATIVE VIGENTI.CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE

3.1 Criteri generali di verifica

Per le opere in esame devono essere svolte le seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese (par. 6.2.3. del Doc. Rif.[55]):

- Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU);
- Verifiche agli Stati Limite d'Esercizio (SLE).

Per ogni **Stato Limite Ultimo (SLU)** deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \quad \text{(Eq. 6.2.1 del Doc. Rif.[55])}$$

dove:

E_d = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

R_d = valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione $E_d \leq R_d$ deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO ESECUTIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	COMMESSA IF0L	LOTTO 00 E 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

($M1$ e $M2$) e per le resistenze ($R1$, $R2$ e $R3$). I coefficienti da adottarsi nelle diverse combinazioni sono definiti in funzione del tipo di verifica da effettuare (si vedano i paragrafi seguenti). Si sottolinea che per quanto concerne le azioni di progetto E_d tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali di cui sopra alle azioni caratteristiche, oppure, a posteriori, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche (Par. 6.2.3.1 del Doc. Rif.[55]).

Per ogni **Stato Limite d'Esercizio (SLE)** deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif.[55]})$$

dove:

E_d = valore di progetto dell'effetto dell'azione;

C_d = valore limite prescritto dell'effetto delle azioni (definito Progettista Strutturale).

La verifica della condizione $E_d \leq C_d$ deve essere effettuata impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali.

3.2 Verifiche di sicurezza in campo statico per opere in materiali sciolti

In base a quanto indicato dalle NTC 2008 le verifiche di sicurezza che devono essere condotte per opere costituite da materiali sciolti sono le seguenti.

3.2.1 Stati limite ultimi (SLU)

Le verifiche di stabilità in campo statico di opere in materiali sciolti, quali rilevati, devono essere eseguite secondo il seguente approccio (Par. 6.8.2 del Doc. Rif.[55]):

Approccio 1:

- Combinazione 2: $A2 + M2 + R2$

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in Tab. 1, Tab. 2 e Tab. 3.

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{\frac{1}{\gamma_R} \cdot R}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{R}{E_d} \geq \gamma_R$$

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	12 di 42

essendo R resistenza globale del sistema (vedasi Par. C.6.8.6.2 del Doc. Rif.[56]), calcolata sulla base delle azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto

$$(R = R \left[\gamma_F \cdot F_{12} \cdot \frac{X_{12}}{Z_{12}} \cdot \alpha_1 \right]).$$

La stabilità globale dell'insieme manufatto-terreno di fondazione deve essere studiata nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi costruttive ed al termine della costruzione.

Tab. 1: Coefficienti parziali sulle azioni (A1, A2 e EQU) - (Tab. 6.2.I, Doc. Rif.[55])

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano completamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tab. 2: Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2) - (Tab. 6.2.II, Doc. Rif.[55])

PARAMETRO	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	γ_{Cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ_v	1.0	1.0

Tab. 3: Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2) - (Tab. 6.8.I, Doc. Rif.[55])

Coefficiente parziale	(R2)
γ_R	1.1

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO ESECUTIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	COMMESSA IF0L	LOTTO 00 E 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 13 di 42

3.2.2 Stati limite di esercizio (SLE)

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali (Par. 6.5.3.2 del Doc. Rif.[55]), che gli spostamenti dell'opera in esame e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità della struttura e con la sicurezza e la funzionalità di manufatti adiacenti.

Deve essere tenuto presente che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio possono risultare più restrittive di quelle agli Stati Limite Ultimi.

3.3 Verifiche di sicurezza in campo sismico per opere in materiali sciolti

3.3.1 Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche

Le NTC-2008 (Doc. Rif.[55]) stabiliscono differenti Stati Limite (sia d'Esercizio che Ultimi) in funzione, in primo luogo, dell'importanza dell'opera mediante l'identificazione della Classe d'Uso e poi in funzione del danno conseguente ad un certo Stato Limite. In particolare si definiscono i seguenti Stati Limite di Esercizio e Ultimi, come riportato al par. 3.2.1 del Doc. Rif.[55]:

- **Stati Limite di Esercizio (SLE):**
 - Stato Limite di immediata Operatività **SLO** per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico. Tale stato limite non si applica per l'opera in oggetto.
 - Stato Limite di Danno **SLD** definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.
- **Stati Limite Ultimi (SLU):**
 - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, **SLV**, definito come lo stato limite in cui la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
 - Stato Limite di Prevenzione del Collasso, **SLC**, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO ESECUTIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	COMMESSA IFOL	LOTTO 00 E 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

La Tab. 4 riporta, in funzione della classe d'uso della struttura, lo stato limite da considerare in funzione della verifica di sicurezza appropriata per l'opera (Tabella C7.1.I del Doc. Rif.[56]).

Con riferimento all'opera in oggetto, e considerando quanto riportato al punto C7.1 del Doc. Rif.[56], le verifiche geotecniche in presenza di un evento sismico richiedono la verifica ai seguenti stati limite:

- Stato Limite Ultimo: **SLV** – Stato Limite di Salvaguardia della Vita (cui corrisponde una probabilità di superamento $P_{vr} = 10\%$ nel periodo V_r);
- Stato Limite Esercizio: **SLD** – Stato Limite di Danno (cui corrisponde una probabilità di superamento $P_{vr} = 63\%$ nel periodo V_r).

Le suddette probabilità, valutate nel periodo di riferimento V_r per l'azione sismica, consentono di determinare, per ciascuno stato limite, il tempo di ritorno del terremoto di progetto corrispondente.

Tab. 4: Verifiche di sicurezza in funzione della Classe d'uso (Tab. C7.1.I, Doc. Rif.[56])

Stato Limite	Prestazione da verificare	Classe d'uso			
		I	II	III	IV
SLO	Contenimento del danno degli elementi non strutturali			X	X
	Funzionalità degli impianti			X	X
SLD	Resistenza degli elementi strutturali			X	X
	Contenimento del danno degli elementi non strutturali	X	X		
	Contenimento delle deformazioni del sistema fondazione-terreno	X	X	X	X
	Contenimento degli spostamenti permanenti dei muri di sostegno	X	X	X	X
SLV	Assenza di martellamento tra strutture contigue	X	X	X	X
	Resistenza delle strutture	X	X	X	X
	Duttilità delle strutture	X	X	X	X
	Assenza di collasso fragile ed espulsione di elementi non strutturali	X	X	X	X
	Resistenza dei sostegni e collegamenti degli impianti	X	X	X	X
	Stabilità del sito	X	X	X	X
	Stabilità dei fronti di scavo e dei rilevati	X	X	X	X
	Resistenza del sistema terreno-fondazione	X	X	X	X
	Stabilità del muro di sostegno	X	X	X	X
	Stabilità delle paratie	X	X	X	X
Resistenza e stabilità dei sistemi di contrasto e degli ancoraggi	X	X	X	X	
SLC	Resistenza dei dispositivi di vincolo temporaneo tra costruzioni isolate	X	X	X	X
	Capacità di spostamento degli isolatori	X	X	X	X

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO ESECUTIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	COMMESSA IF0L	LOTTO 00 E 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

3.3.2 Stati limite ultimi (SLU)

Per tutte le verifiche l'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare (vedasi Tab. 4). Per l'opera in oggetto, come definito al punto 3.3.1, le verifiche agli Stati Limite Ultimi verranno condotte con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

Le verifiche di sicurezza agli SLU in campo sismico devono contemplare almeno le medesime verifiche definite in campo statico. In particolare la stabilità globale in condizioni sismiche dei opere in materiali sciolti, quali rilevati, deve essere svolta secondo l'*Approccio 1 – Combinazione 2*.

Approccio 1:

- **Combinazione 2:** $A2 + M2 + R2$

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati di Tab. 1 e Tab. 2 e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari ad uno (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif.[55]).

Le condizioni di stabilità del rilevato devono essere verificate affinché prima, durante e dopo il sisma la resistenza del sistema sia superiore alle azioni, ovvero gli spostamenti permanenti indotti dal sisma siano di entità tale da non pregiudicare le condizioni di sicurezza o di funzionalità delle strutture o infrastrutture medesime.

Come riportato al Par. 7.11.6.3.11 del Doc. Rif.[55] le verifiche possono essere condotte mediante metodi pseudo statici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica.

3.3.3 Stati limite di esercizio (SLE)

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali, che gli spostamenti permanenti indotti dal sisma non alterino significativamente la resistenza della fondazione e devono essere compatibili con la funzionalità dell'opera.

L'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare (vedasi Tab. 4). Per l'opera in oggetto, come definito al punto 3.3.1, le verifiche agli Stati Limite di Esercizio verranno condotte con riferimento allo Stato Limite di Danno (SLD).

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO ESECUTIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	COMMESSA IFOL	LOTTO 00 E 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 16 di 42

4. AZIONE SISMICA DI PROGETTO

La definizione dell'azione sismica di progetto per le opere afferenti il tracciato è stata condotta secondo quanto disposto dalle Norme Tecniche in vigore assunte alla base della progettazione in oggetto (DM 14 gennaio 2008. Norme tecniche per le costruzioni. Gazzetta Ufficiale n. 29 del 04.02.2008 – Supplemento Ordinario n. 159).

In particolare, l'azione sismica in base alla quale è stato il rispetto dei diversi stati limite per le strutture in progetto, è stata essere definita a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, a sua volta espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastica in accelerazione $S_e(T)$ "ancorato" al valore di a_g , facendo riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura.

In particolare si sono considerati una vita nominale dell'opera V_N pari a 75 anni ed un coefficiente d'uso pari a 1.5. Pertanto la vita di riferimento dell'opera V_R risulta pari a 112.5 anni.

Data la probabilità di superamento nel periodo di riferimento considerato, funzione dello Stato Limite di verifica, la forma spettrale è definita a partire dai valori dei seguenti parametri relativi ad un sito di riferimento rigido e orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Si è quindi proceduto alla definizione del periodo di riferimento per l'azione sismica, sulla base della classificazione delle opere in progetto, e successivamente sono stati definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica per suolo rigido in corrispondenza dei punti di interesse collocati lungo il tracciato.

La determinazione della categoria di suolo (e topografica) è stata eseguita attraverso l'interpretazione delle indagini geotecniche e geofisiche condotte per il Progetto Preliminare e Definitivo: sulla base delle informazioni disponibili, ai fini della microzonazione, tutta il tracciato risulta sostanzialmente omogeneo dal punto di vista delle caratteristiche geodinamiche e caratterizzabile, ai fini normativi, come sito di **categoria C** ossia "Deposito di terreni a grana grossa mediamente addensati o

terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).”

L'amplificazione dell'azione sismica viene determinata, secondo le NTC2008, attraverso l'impiego di un fattore di sito S funzione sia della categoria di sottosuolo (S_s) sopra determinata, sia dell'andamento della superficie topografica (S_T):

$$S = S_s \cdot S_T$$

Per la **categoria di sottosuolo C**, il coefficiente S_s si ottiene dall'espressione seguente (vedi Tabella 3.2.V del par. 3.2.3 delle NTC2008):

$$S_s = 1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$$

Per quanto riguarda l'eventuale amplificazione topografica, il fattore di amplificazione topografica è stato assunto pari a 1.

Nella Tab. 5 sono riportati i valori del fattore di sito accelerazione a_g [g] attesi in condizioni di campo libero su suolo rigido, con i coefficienti S_s ed S_T relativi e il corrispondente valore di a_{max} [g] per il Comune di Maddaloni, in corrispondenza dello stato limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

Tab. 5: Parametri per la valutazione dell'azione sismica

a_g [g]	S_s	S_t	a_{max} [g]
0.220	1.370	1	0.300

4.1.1 Componenti dell'accelerazione equivalente

Come definito in normativa, a meno di specifiche analisi dinamiche, è possibile svolgere le verifiche di sicurezza mediante analisi pseudostatiche o analisi agli spostamenti.

4.1.1.1 Coefficienti sismici per la verifica di stabilità globale

Come descritto nell'esempio di calcolo riportato al Par. C7.11.4 del Doc. Rif. [56] la verifica di stabilità globale va condotta mediante il metodo di analisi definito al Par. 7.11.3.5 del Doc. Rif.[55], inerente alla stabilità dei pendii.

Sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 del Doc. Rif.[55], in mancanza di studi specifici, i coefficienti sismici k_h (orizzontale) e k_v (verticale) sono definiti come:

$$k_h = \beta_s a_{max}$$

$$k_v = \pm k_h / 2$$

essendo

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (Tab. 6).

Per la **categoria di sottosuolo C** (Doc. rif. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), il coefficiente β_s da assumere è pari a 0.28

Tab. 6: Coefficiente β_s

	Categoria di sottosuolo	
	A	B,C,D,E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g (g) < 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g (g) < 0.2$	0.27	0.24
$a_g (g) < 0.1$	0.20	0.20

Con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, in accordo alle espressioni di cui sopra, si ottengono i seguenti coefficienti per la verifica di stabilità globale (Tab. 7):

Tab. 7: Valori dei coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale

STATO LIMITE	k_h	k_v
	[g]	[g]
SLV	0.084	± 0.042

5. CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA

5.1 Codici di calcolo utilizzati

5.1.1 Slope/2015

Slope è un codice di calcolo dedicato allo studio della stabilità dei pendii che permette di calcolare il fattore di sicurezza dei pendii in terreno e in roccia.

Il codice Slope utilizza il metodo dell'equilibrio limite e permette di prendere in considerazione superfici di scorrimento definite in diversi modi, condizioni stratigrafiche e idrostratigrafiche complesse. Sono inoltre utilizzabili diversi metodi di analisi e possono essere applicate condizioni di carico di vario tipo.

La versione del software adottata per le verifiche condotte nel presente documento è SLOpe\2015 – GeoStru Software

5.2 Metodologie di verifica adottate

5.2.1 Verifiche di stabilità

Il codice Slope è stato utilizzato nel presente documento per condurre le analisi di stabilità sia in campo statico che in campo sismico (adottando il metodo pseudo-statico) costituenti le verifiche SLU richieste dalla Normativa per le opere in terreni sciolti.

Nelle analisi sono state escluse, perché considerate non significative, le superfici di rottura superficiali che coinvolgono volumi di terreno ridotti e che comunque non interessano la sede stradale.

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

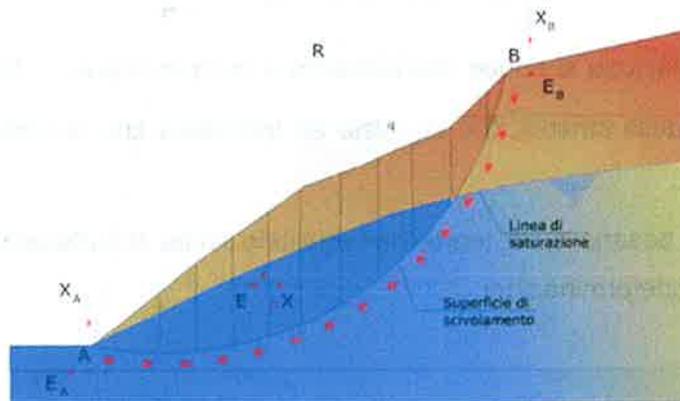
1.1.1.1 Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



1.1.1.2 Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n, il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i ;
- (n-1) forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- (n-1) forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
- (n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F.

Complessivamente le incognite sono (6n-2), mentre le equazioni a disposizione sono:



ITINERARIO NAPOLI – BARI
 RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO
 I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E
 VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL
 COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	COMMESSA IF0L	LOTTO 00 E 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 22 di 42
-------------------------------	------------------	------------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

- equazioni di equilibrio dei momenti n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n;
- equazioni relative al criterio di rottura n.

Totale numero di equazioni 4n.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

τ_f Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a (n-2) in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le (n-2) indeterminazioni.

1.1.1.3 Metodo di Morgenstern e Price (1965)

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo $X = \lambda f(x)E$, dove λ è un fattore di scala e $f(x)$, funzione della posizione di E e di X, definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione $f(x)$ è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E, X, il coefficiente di sicurezza F_s , il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU.

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \operatorname{tg} \varphi' \left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) =$$

$$= \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg}\alpha \left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$

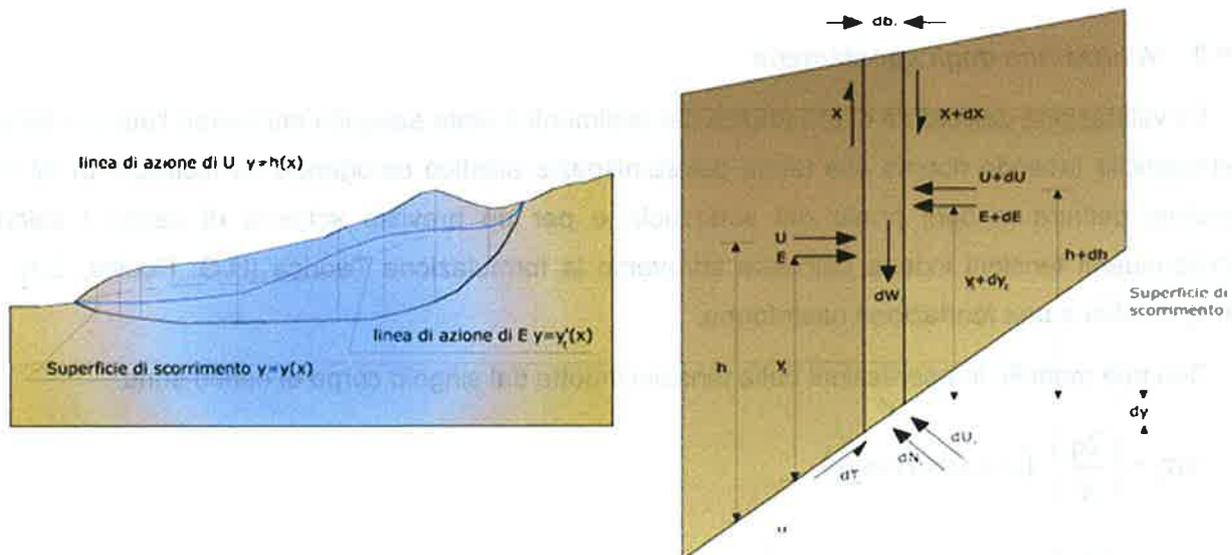


Figura 3 - Azioni sul concio *i*-esimo secondo le ipotesi di Morgenster e Price e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria della base:

$$X = \frac{d(E \cdot \gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.

Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore che tiene conto dell'effetto arco.

1.1.1.4 Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da *m* righe e *n* colonne saranno esaminate tutte le

superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Le analisi sono svolte nella combinazione A2+M2+R2.

5.2.2 Valutazione degli spostamenti

La valutazione dell'ordine di grandezza dei cedimenti è stata eseguita attraverso l'utilizzo della teoria dell'elasticità facendo ricorso alla teoria del semispazio elastico omogeneo ed isotropo. In tal modo è possibile definire in ogni punto del sottosuolo e per un previsto schema di carico i valori delle corrispondenti tensioni indotte calcolate attraverso la formulazione Teorica (H.G. Poulos, E.H. Davis; 1974) relativa a una fondazione nastriforme.

Con tale modello le espressioni delle tensioni indotte dal singolo corpo di carico sono:

$$\Delta\sigma_z = \left(\frac{2q}{\pi}\right) \cdot (\alpha + \text{sen}\alpha \cos\alpha)$$

$$\Delta\sigma_x = \left(\frac{2q}{\pi}\right) \cdot (\alpha - \text{sen}\alpha \cos\alpha)$$

$$\Delta\sigma_y = \left(\frac{4q}{\pi}\right) \cdot (v\alpha)$$

Ricavato ad ogni profondità z il valore di $\Delta\sigma_z$ è possibile ricavare il corrispondente valore di ε_z come rapporto tra il sovraccarico netto e il modulo edometrico.

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta\sigma_z}{E_{ed}}$$

Suddividendo il terreno di fondazione in strati di spessore finito è possibile valutare il valore del cedimento dello strato i -mo attraverso l'espressione:

$$\delta z_i = \varepsilon_{zi} \Delta z_i$$

Il cedimento complessivo sarà pari alla somma dei cedimenti dei singoli strati e quindi pari a:

$$\delta z_j = \sum_i \delta z_i = \sum_i \varepsilon_i \Delta z_i$$



ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO
I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E
VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL
COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	25 di 42

Se il sottosuolo è composto da n strati il cedimento complessivo è pari alla somma dei cedimenti dei singoli strati:

$$\delta_{tot} = \sum_j \delta z_j$$

Il calcolo è stato esteso fino alla profondità alla quale il sovraccarico indotto è pari all'1% della tensione media presente.

6. CARATTERISTICHE DEL CORPO STRADALE

Il materiale costituente il corpo del rilevato è caratterizzato da un peso specifico pari a 19 kN/m^3 , un angolo di attrito caratteristico ϕ'_k pari a 35° e coesione efficace nulla.

Il materiale costituente le differenti parti del rilevato ha parametri riassunti in Tab.8

Tab. 8: Parametri geotecnici di calcolo – materiali antropici

STRATO	Spess. [m]	Peso di volume γ_d [kN/m ³]	Angolo di resistenza al taglio			Coesione efficace			Modulo di Young operativo	Permeab.
			ϕ'_k	$\phi'_d \text{ M1}$	$\phi'_d \text{ M2}$	c'_k	$c'_d \text{ M1}$	$c'_d \text{ M2}$	$E_{op.}$	k
			[°]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]
PAVIMENTAZIONE	0.12	20	38	38	32	600	600	480	400 - 500	1×10^{-9}
SOTTOFONDO	0.3	20	42	42	35.8	0	0	0	60	1×10^{-9}
INERBIMENTO	0.3	19	26	26	21.3	10	10	8	8	1×10^{-5}
RILEVATO	Variab.	20	38	38	32	0	0	0	30	1×10^{-5}
STRATO BONIFICO DI	1.0	19	38	38	32	0	0	0	15	1×10^{-5}

6.1 Carichi di progetto

I carichi di progetto considerati nelle analisi oggetto del presente documento sono i seguenti:

Sovraccarico rappresentativo del traffico stradale.

Carico da azione sismica.

Il sovraccarico da traffico stradale è ipotizzato pari a 20 kPa applicato sulla sommità del rilevato in corrispondenza della sede stradale e quindi a partire da almeno 1.5 m di distanza dal ciglio del rilevato.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda al capitolo 4 del presente documento.

Tali carichi e sovraccarichi sono stati inseriti nelle diverse verifiche agli SLU (statiche e sismiche).

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	27 di 42

7. DATI GEOTECNICI DI CALCOLO

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica IF0L00E11RBGE0005001A nella Tab. 9 sono riportati i valori dei parametri geotecnici.

Si ricorda che, come definito al Cap. 7 del Doc. Rif.[56], le verifiche geotecniche SLU di stabilità globale dei rilevati, in campo statico e sismico, richiedono l'adozione della sola Combinazione 2 dell'Approccio 1 e pertanto l'applicazione dei soli coefficienti parziali M2, mentre per le verifiche SLE, finalizzate alla determinazione dei cedimenti, sono richiesti i parametri caratteristici.

Tab. 9: Parametri geotecnici

Parametri	Unità R 0 - 2÷4m	Unità T 2÷4 - 6m	Unità S 6 - 25÷28m	Unità LA 25÷28 - 40m
γ [kN/m ³]	17	17	15-17	19-20
φ' [°]	30	33	32	14
c' [kPa]	0-5	0	0	50
c_u [kPa]	80 - 120	-	-	200
V_s [m/s]	170	363	300	350
E' [MPa]	5-15.	45-65	30-45	40-60
k [m/s]	5×10^{-5}	5×10^{-5}	2.6×10^{-3}	4.3×10^{-9}

A favore di sicurezza, nel calcolo di stabilità si trascura la presenza dell'unità T da 4 a 6 m.

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli a 5 m dal piano campagna, 49.7m s.l.m.

8. VERIFICHE RILEVATO TIPOLOGICO H=4m

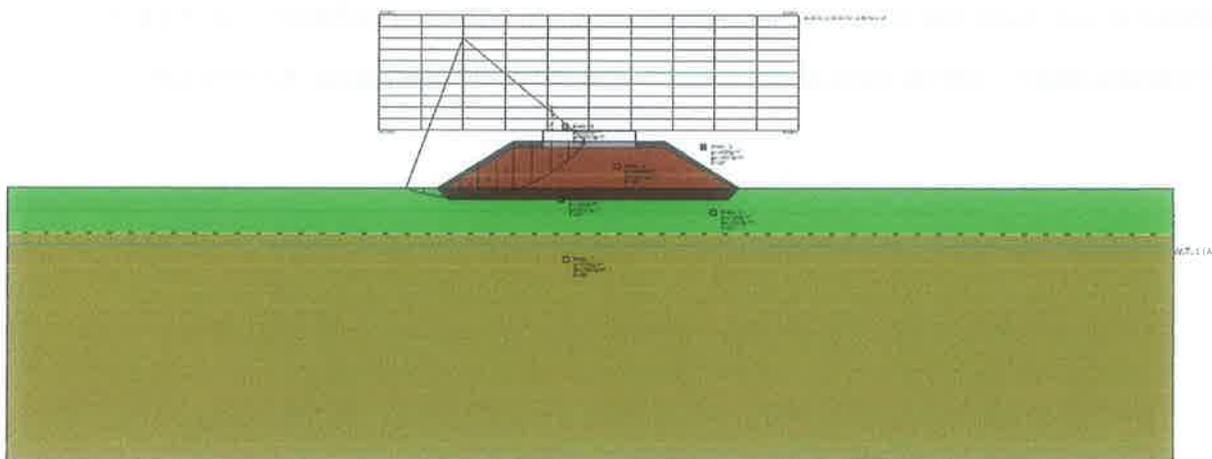
Al corpo del rilevato di altezza 3.9 m è stato aggiunto il pacchetto stradale, considerato nei calcoli di spessore 50cm.

Il sovraccarico da traffico stradale è ipotizzato pari a 20 kPa applicato sulla sommità del rilevato in corrispondenza della sede stradale. In condizioni sismiche è stata applicata l'azione sismica ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari ad uno.

La stratigrafia di calcolo è la seguente:

- Unità R 0-4m;
- Unità S 4-25m.

8.1 Verifica A2+M2+R2 statica



Analisi di stabilità dei pendii con: **MORGENSTERN-PRICE (1965)**

Lat./Long.
Normativa
Numero di strati

41.14075/14.460911
NTC 2008
7.0

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	29 di 42

Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	32.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	25.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	68.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe III
Vita nominale:	75.0 [anni]
Vita di riferimento:	113.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	68.0	0.72	2.41	0.33
S.L.D.	114.0	0.88	2.44	0.35
S.L.V.	1073.0	2.16	2.47	0.43
S.L.C.	2203.0	2.8	2.48	0.45

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1.08	0.2	0.022	0.011
S.L.D.	1.32	0.2	0.0269	0.0135
S.L.V.	2.9669	0.28	0.0847	0.0424
S.L.C.	3.5703	0.28	0.1019	0.051

Vertici profilo

Nr	X	y
----	---	---

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IFOL	00 E 11	CL	GE0005 001	A	30 di 42

	(m)	(m)
1	0.0	20.0
2	37.0	20.0
3	43.5	24.0
4	56.5	24.0
5	63.0	20.0
6	100.0	20.0

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	15.0
2	100.0	15.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	20.0
2	37.0	20.0
3	43.5	24.0
4	56.5	24.0
5	63.0	20.0
6	100.0	20.0

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	20.0
2	37.0	20.0
3	43.5	24.0
4	46.0	24.0
5	46.0	23.5
6	54.0	23.5
7	54.0	24.0
8	56.5	24.0
9	63.0	20.0
10	100.0	20.0

Vertici strato3

N	X (m)	y (m)
1	0.0	20.0
2	37.5	20.0
3	43.5	23.5
4	56.5	23.5
5	62.5	20.0
6	100.0	20.0

Vertici strato4

N	X (m)	y (m)
1	0.0	20.0
2	37.0	20.0
3	63.0	20.0

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	31 di 42

4	100.0	20.0
---	-------	------

Vertici strato5

N	X (m)	y (m)
1	0.0	20.0
2	37.0	20.0
3	38.0	19.0
4	62.0	19.0
5	63.0	20.0
6	100.0	20.0

Vertici strato6

N	X (m)	y (m)
1	0.0	16.0
2	100.0	16.0
3	100.0	0.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0.20		0	0.1	0.1	
2	6		38	2000	2000	
3	0.1		26	1900	1900	
4	0		35	2000	2000	
5	0		38	1900	1900	
6	0		30	1700	1700	
7	0		32	1700	1700	

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	46	24	54	24	1.55

Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	1.15
Ascissa centro superficie	39.2 m
Ordinata centro superficie	330 m
Raggio superficie	13.8 m

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	32 di 42

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali.

$x_c = 39.20$ $y_c = 33.00$ $R_c = 13.88$ $F_s = 1.147$
 $\Lambda = 0.381$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	1.54	-17.18	1.62	690.4
2	1.54	-10.6	1.57	1689.9
3	1.54	-4.17	1.55	4689.63
4	1.54	2.22	1.54	7689.78
5	1.54	8.63	1.56	10184.17
6	1.45	14.95	1.5	11363.34
7	1.64	21.69	1.76	12698.21
8	1.54	28.97	1.76	20201.05
9	1.54	36.58	1.92	30588.46
10	1.54	45.07	2.18	24944.16

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	282.14	740.44	0.0	0.0	171.32	62.7	0.0
2	776.43	2037.6	282.14	740.44	936.53	342.75	0.0
3	2134.65	5602.03	776.43	2037.6	3063.68	1517.32	0.0
4	3717.33	9755.51	2134.65	5602.03	6263.3	3101.97	0.0
5	5128.92	13459.99	3717.33	9755.51	9229.14	4570.83	0.0
6	6074.4	15941.25	5128.92	13459.99	10705.33	5301.93	0.0
7	6267.29	16447.45	6074.4	15941.25	11807.29	5240.84	0.0
8	5611.22	14725.7	6267.29	16447.45	17413.6	7729.29	0.0
9	3201.86	8402.75	5611.22	14725.7	22729.23	10088.7	0.0
10	0.0	0.0	3201.86	8402.75	13931.22	6183.58	0.0



ITINERARIO NAPOLI - BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO
I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E
VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL
COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	33 di 42

8.2 Verifica A2+M2+R2 sismica

Analisi di stabilità dei pendii con: MORGENSTERN-PRICE (1965)

Lat./Long.	41.14075/14.460911
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	7.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	32.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	25.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	68.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:

2 - Opere ordinarie

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	34 di 42

Classe d'uso: Classe III
 Vita nominale: 75.0 [anni]
 Vita di riferimento: 113.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	68.0	0.72	2.41	0.33
S.L.D.	114.0	0.88	2.44	0.35
S.L.V.	1073.0	2.16	2.47	0.43
S.L.C.	2203.0	2.8	2.48	0.45

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1.08	0.2	0.022	0.011
S.L.D.	1.32	0.2	0.0269	0.0135
S.L.V.	2.9669	0.28	0.0847	0.0424
S.L.C.	3.5703	0.28	0.1019	0.051

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.085
 Coefficiente azione sismica verticale 0.042

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	35 di 42

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	20.0
2	37.0	20.0
3	43.5	24.0
4	56.5	24.0
5	63.0	20.0
6	100.0	20.0

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	15.0
2	100.0	15.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	20.0
2	37.0	20.0
3	43.5	24.0
4	56.5	24.0
5	63.0	20.0
6	100.0	20.0

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	20.0
2	37.0	20.0

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	36 di 42

3	43.5	24.0
4	46.0	24.0
5	46.0	23.5
6	54.0	23.5
7	54.0	24.0
8	56.5	24.0
9	63.0	20.0
10	100.0	20.0

Vertici strato3

N	X (m)	y (m)
1	0.0	20.0
2	37.5	20.0
3	43.5	23.5
4	56.5	23.5
5	62.5	20.0
6	100.0	20.0

Vertici strato4

N	X (m)	y (m)
1	0.0	20.0
2	37.0	20.0
3	63.0	20.0
4	100.0	20.0

Vertici strato5

N	X (m)	y (m)
1	0.0	20.0
2	37.0	20.0

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	37 di 42

3	38.0	19.0
4	62.0	19.0
5	63.0	20.0
6	100.0	20.0

Vertici strato6

N	X (m)	y (m)
1	0.0	16.0
2	100.0	16.0
3	100.0	0.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0.20		0	0.1	0.1	
2	6		38	2000	2000	
3	0.1		26	1900	1900	
4	0		35	2000	2000	
5	0		38	1900	1900	
6	0		30	1700	1700	

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IFOL	00 E 11	CL	GE0005 001	A	38 di 42

7	0	32	1700	1700	
---	---	----	------	------	--

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	46	24	54	24	2.6

Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	1.09
Ascissa centro superficie	37.40 m
Ordinata centro superficie	28.50 m
Raggio superficie	10.90 m

$xc = 37.40 \quad yc = 28.50 \quad Rc = 10.90 \quad Fs = 1.09$

$\Lambda = 0.349$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	1.68	-33.47	2.01	1734.99
2	1.68	-23.38	1.83	4303.86
3	1.68	-14.04	1.73	5913.38
4	1.68	-5.07	1.68	6713.73
5	1.68	3.77	1.68	9345.79
6	1.68	12.7	1.72	12101.97
7	1.68	21.97	1.81	14062.68
8	1.2	30.38	1.39	10711.37

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	39 di 42

9	2.15	41.62	2.88	15840.22
10	1.68	57.41	3.11	36996.57

Sforzi sui concii

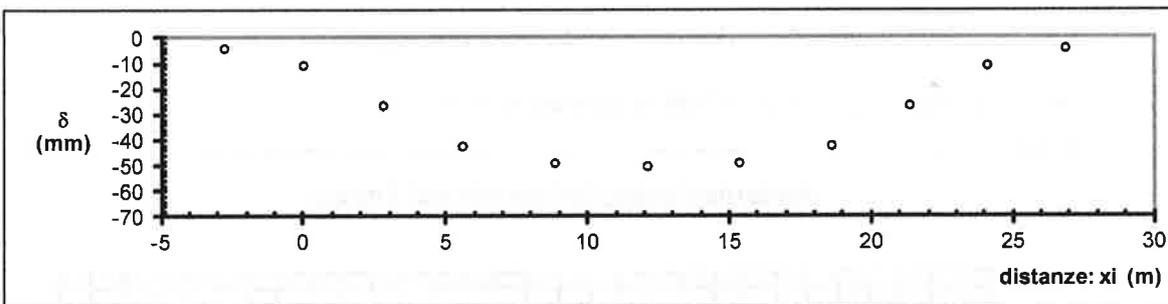
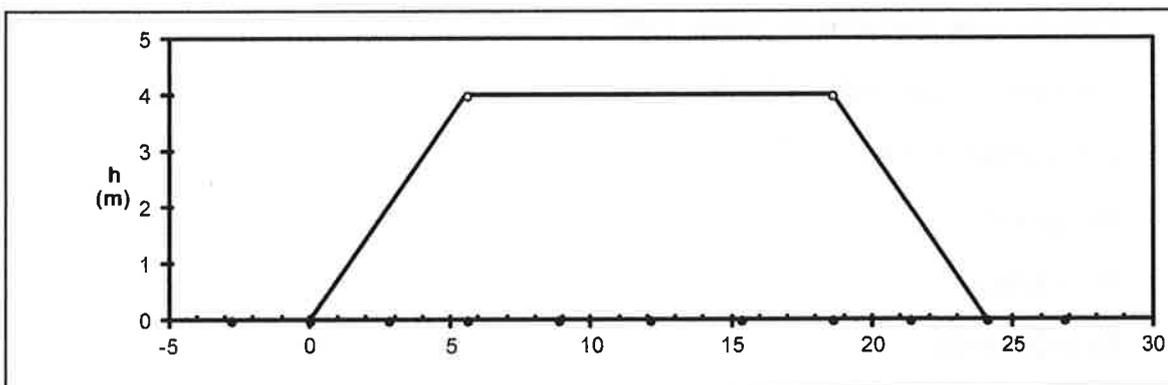
Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	2376.94	6806.04	0.0	0.0	-4146.98	-927.49	0.0
2	4942.87	14153.25	2376.94	6806.04	-1009.66	219.88	0.0
3	7019.35	20098.96	4942.87	14153.25	2642.94	1594.02	0.0
4	8471.5	24257.0	7019.35	20098.96	5204.78	2565.8	0.0
5	9562.99	27382.33	8471.5	24257.0	8781.38	3942.48	0.0
6	10065.55	28821.35	9562.99	27382.33	11901.51	5157.13	0.0
7	9764.99	27960.71	10065.55	28821.35	13098.11	5647.79	0.0
8	9261.79	26519.87	9764.99	27960.71	8873.74	4625.4	0.0
9	7504.77	21488.88	9261.79	26519.87	9416.44	5359.48	0.0
10	-63.88	-182.9	7504.77	21488.88	3928.43	2872.72	0.0

9. CEDIMENTI TIPOLOGICO H=4

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0L	00 E 11	CL	GE0005 001	A	41 di 42

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-2.79	0.00	2.79	5.58	8.83	12.08	15.33	18.58	21.33	24.08	26.83

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
-0.39	-1.06	-2.63	-4.22	-4.89	-5.01	-4.88	-4.21	-2.63	-1.07	-0.40

Considerando la natura dei terreni, i cedimenti si verificano a breve termine. Tuttavia stimando cautelativamente i cedimenti nell'ipotesi di terreno coesivo, con un coefficiente di consolidazione che da letteratura, per tali tipi di terreni risulta dell'ordine di $5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, si verifica immediatamente un cedimento di circa 3 cm e il restante centimetro si azzera nell'arco di circa 8 mesi.

Formulazione Teorica (Lancellotta; 1987)

$$U_m = (4Tv/\pi)^{0,5} / ((1 + (4Tv/\pi)^{2,8})^{0,179})$$

$$Tv = ((\pi/4)(U_m)^2 / (1 - (U_m)^{5,6})^{0,357})$$

$$Tv = cv \cdot t / h^2$$

$$U_m = \delta_t / \delta_{tmax}$$

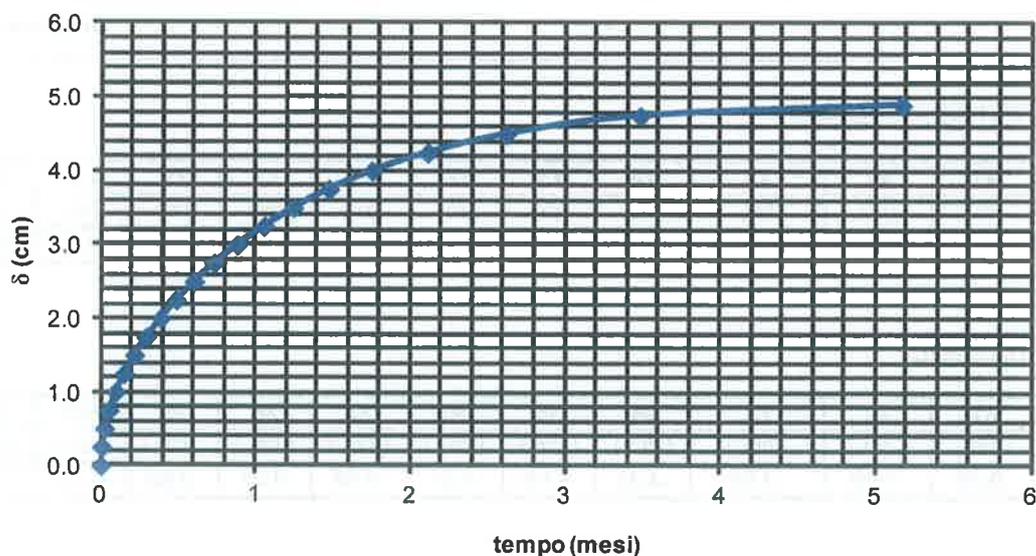
DATI DI INPUT:

$\delta_{tmax} =$ 5.00 (cm) (Cedimento massimo)

$h =$ 2.00 (m) (Massimo Percorso di Drenaggio)

$cv =$ 5.00.E-07 (m²/sec) (Coeff. di Consolidazione)

Andamento del Cedimento nel Tempo



$t =$ 8 (mesi) $U_m =$ 99.2 (%) $\delta_t =$ 4.96 (cm)