



Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione



Regione Lombardia

Provincia di Milano

Legge n. 345/97

Accordo di programma quadro in materia di trasporti

Realizzazione di un sistema integrato di accessibilità ferroviaria e stradale
all'aeroporto di Malpensa 2000

(CONVENZIONE DEL 29.10.1999)

Collegamento tra la S.S.n.11 "Padana Superiore" a Magenta
e la Tangenziale ovest di Milano
Variante di Abbiategrasso sulla S.S.n.494 e adeguamento in sede
del tratto Abbiategrasso Vigevano fino al nuovo ponte sul Ticino

PROGETTO DEFINITIVO - 1° STRALCIO FUNZIONALE

B - GEOLOGIA - GEOTECNICA

Verifiche stabilità rilevati

Revisioni	Controllato	Approvato	Data :Dicembre 2008.....	Scala :-.....
			Agg.to :Novembre 2014.....	All.to n.B.4.....

Progettazione :



Società Esercizi Aeroportuali s.p.a.
20090 Aeroporto Milano Linate tel. 02/74851

Progettazione redatta da :



Il Progettista :

Il Direttore Tecnico
Dott. Ing. Alberto RINALDI

Visto
La Direzione Centrale Progettazione :
Dott. Ing. Nicola DINNELLA

Visto
Il Responsabile del Procedimento :
Dott. Ing. Domenico PETRUZZELLI

INDICE

1	Introduzione	3
2	Normativa di riferimento	3
3	Sezione VERIFICATA	4
4	Parametri geotecnici	4
5	Carichi	5
5.1	SOVRACCARICHI DI PROGETTO	5
5.2	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	5
6	Analisi di stabilità globale	6
6.1	Metodologia di calcolo.....	6
6.1	Analisi.....	9
6.1.1	Condizioni statiche – breve termine/lungo termine.....	10
6.1.2	Condizioni sismiche	12

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI						
UNITA'	γ (kN/m ³)	φ (°)	Dr (%)	E (MPa)	M (MPa)	C _u (kPa)
G3	18.5	30.9	49.6	22.3	-	-
L5	19.0	-	-	-	3.2	26.6
S1	19.0	31.7	50.0	21.7	-	-

Tabella 4.1 – Tratto C - Sezione 85 – Parametri geotecnici del terreno

Per lo strato di bonifica sono stati adottati i seguenti parametri:

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ peso di volume del terreno

$\phi = 40^\circ$ angolo di attrito

Per il rilevato stradale:

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ peso di volume del terreno

$\phi = 35^\circ$ angolo di attrito

Il livello della falda è stato considerato a 1.6 m da quota p.c.. Per i livelli superficiali è stata adottata una minima coesione apparente ($c'=5\text{kPa}$) al fine di escludere le superfici di scorrimento superficiali.

5 CARICHI

5.1 Sovraccarichi di progetto

Nell'analisi è stato considerato un carico uniformemente distribuito in sommità al rilevato di 20 kPa, corrispondente al sovraccarico stradale.

5.2 Valutazione dell'azione sismica

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_H \cdot W$$

$$F_V = K_V \cdot W$$

Essendo:

F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W peso concio

K_H Coefficiente sismico orizzontale

k_v Coefficiente sismico verticale.

	S_s [-]	S_T [-]	C_c [-]	K_H [-]	K_V [-]	a_{max} [m/s ²]
SLO	1,500	1,000	1,800	0,007	0,003	0,331
SLD	1,500	1,000	1,750	0,008	0,004	0,406
SLV	1,500	1,000	1,560	0,015	0,008	0,746
SLC	1,500	1,000	1,530	0,018	0,009	0,872

Tab. n. 5.2.I – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito.

Per la definizione di K_H e k_v si rimanda al §7.4 della Relazione geologica e Idrogeologica (cfr. B.1)

6 ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE

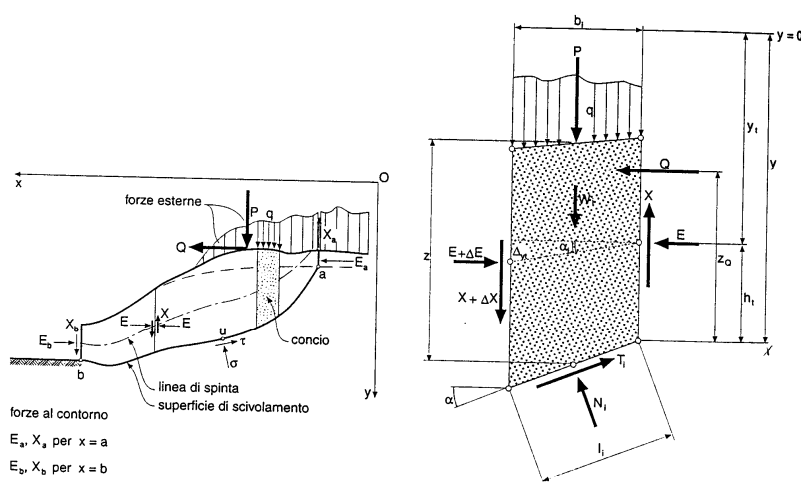
6.1 Metodologia di calcolo

Le verifiche di stabilità sono state calcolate utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Tali metodi si basano su ipotesi comuni:

- Il coefficiente di sicurezza è definito come il rapporto tra la resistenza al taglio lungo un'ipotetica superficie di scorrimento e lo sforzo di taglio mobilitato lungo la stessa superficie.
- La rottura avviene, per il raggiungimento della resistenza limite, contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento.
- Il coefficiente di sicurezza è costante in tutti i punti della superficie di scorrimento.
- La resistenza al taglio è espressa dal criterio di Coulomb.
- La parte instabile è considerata come un campo rigido.

Nell'utilizzare tali metodi di calcolo si fa sempre riferimento a problemi piani nei quali, quindi, la superficie di scorrimento è rappresentata da una curva e si trascura ogni effetto dovuto alle sezioni adiacenti. Tali schematizzazioni sono giustificabili se le proprietà meccaniche dei terreni sono omogenee in direzione trasversale e quando l'estensione del pendio è predominante sulla dimensione trasversale.

In generale la massa di terreno compresa tra la superficie di scorrimento e la superficie del suolo viene suddivisa in conci e le forze che agiscono su ciascuna striscia possono essere calcolate imponendo le condizioni di equilibrio. L'equilibrio dell'intera massa è dato poi dalla composizione delle forze che agiscono su ciascuna striscia.



Le forze agenti su ciascun concio sono, con riferimento alla figura precedente: Il peso W , l'azione tangenziale alla base T , l'azione normale efficace alla base N , la spinta dell'acqua sulla base U , gli sforzi tangenziali X e quelli normali E sulle superfici laterali (forze d'interfaccia).

Le condizioni di equilibrio di ciascun concio sono date dalle tre equazioni della statica, pertanto, ammettendo di suddividere il volume di terreno in esame in n conci, si hanno a disposizione $3n$ equazioni, mentre le incognite del problema risultano essere $5n-2$ così composte:

- n valori per l'azione delle forze normali efficaci alla base.
- $n-1$ valori per ciascuna delle forze d'interfaccia (X ed E)
- $n-1$ valori per il punto di applicazione delle forze d'interfaccia in direzione orizzontale.
- n valori per il punto di applicazione degli sforzi normali efficaci alla base.
- 1 valore del coefficiente di sicurezza.

Come già accennato, dal bilancio fra le equazioni disponibili e il numero delle incognite risulta che si hanno $2n-2$ incognite sovrabbondanti e quindi il problema risulta staticamente

indeterminato, per riportarlo a staticamente determinato e rendere possibile la soluzione del sistema di equazioni che descrivono l'equilibrio della massa di terreno potenzialmente instabile, è necessario introdurre alcune ipotesi semplificative che consentono di ridurre il numero delle incognite del problema. La prima tra tutte, che risulta, tra le altre cose, comune a tutti i metodi, è quella di considerare centrata la forza agente alla base della striscia, il che è accettabile nel caso in cui i conci siano di larghezza limitata. Le altre ipotesi necessarie per risolvere il sistema di equazioni sono diverse caso per caso e sono queste stesse che caratterizzano un metodo da un altro. L'esistenza di molti metodi di calcolo porta alcune volte alla indeterminatezza della soluzione, è bene quindi sottolineare che da studi comparativi effettuati per indagare la risposta dei diversi metodi di calcolo, indicano che, quelli che soddisfano tutte le condizioni di equilibrio danno sostanzialmente gli stessi risultati in termini di coefficiente di sicurezza, o meglio che non differiscono tra loro più del 5%. [Duncan, 1980].

In particolare è stato applicato il metodo di Bishop (1955) e la sua semplificazione. Questo metodo adotta come prima semplificazione l'ipotesi di una superficie di rottura circolare; inoltre considera la risultante delle forze perpendicolari alla superficie laterale del concio equilibrate ($X_i + X_{i+1} = 0$). Utilizzando tali ipotesi è possibile ottenere un numero d'incognite uguali al numero d'equazioni (3n equazioni in 3n incognite).

Risolvendo il sistema si ottiene un coefficiente di sicurezza dato dal rapporto tra la risultante dei momenti stabilizzanti e la risultante dei momenti destabilizzanti, nella forma:

$$FS = \frac{\sum M_{stab}}{\sum M_{destab}}$$
$$F = \frac{\left\{ \left[\frac{\sum c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \varphi_i'}{m_\alpha} \right] \right\}}{\sum W_i \sin \alpha}$$

$$m_\alpha = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \varphi}{F} \right)$$

L'espressione di F è implicita e va risolta tramite processo iterativo. Si assume un valore di F di primo tentativo che viene utilizzato per ricavare un valore di primo tentativo di m_α che inserito nella relazione di precedente fornisce un nuovo valore di F, il valore così calcolato si utilizza per aggiornare il valore di m_α che a sua volta si sostituisce nuovamente nella relazione che da F, si procede in tal modo fino a che la differenza fra i valori di F ricavati in due successive iterazioni è sufficientemente piccolo, la convergenza è solitamente rapida ed univoca.

6.1 Analisi

Le verifiche di sicurezza nei riguardi degli SLU si intendono soddisfatte se l'equazione formale:

$$E_d \leq R_d$$

ove:

- E_d è il valore di progetto dell'azione (carichi) o degli effetti delle azioni.
- R_d è il valore di progetto della resistenza del terreno, determinata in modo analitico, con riferimento al valore dei parametri geotecnici.

risulta soddisfatta per tutti i possibili cinematismi di collasso.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2, A2+M2+R2 (crf. D.M. 14.01.2008 § 6.8.2) in cui i coefficienti parziali:

A2 sono moltiplicativi delle azioni,

M2 sono riduttivi dei parametri geotecnici,

R2 sono riduttivi della resistenza globale del sistema.

I diversi coefficienti di sicurezza sono riportati nelle seguenti tabelle:

CARICHI	EFFETTO	COEFF. PARZIALE γ_m	(A1)	(A2)
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,3	1,0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3

Tab. n. 6.1.I – Coefficienti parziali per azioni o effetto di azioni (γ_m).

PARAMETRO	GRANDEZZA A CUI APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEF. PARZIALE γ_m	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1,0	1,0

Tab. n. 6.1.II – Coefficienti parziali parametri geotecnici del terreno (γ_m).

Coefficiente	(R2)
γ_R	1,1

Tab. n. 6.2.III – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo (γ_R).

La verifica in condizione sismica deve essere effettuata secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2, A2+M2+R2 considerando valori unitari per i coefficienti parziali M2.

La valutazione dei coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza alla stabilità viene condotta mediante un programma di calcolo denominato Slope/W in cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento. In particolare in questa sede si fa riferimento al metodo di Bishop (1955) che prevede l'utilizzo di superfici di scorrimento circolari.

Il coefficiente parziali di sicurezza a rottura lungo la superficie di scorrimento viene definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie e quella effettivamente mobilitata:

$$\gamma_R = \frac{\tau_{\text{disp}}}{\tau_{\text{mob}}} \quad \text{coefficiente parziali di sicurezza}$$

La verifica viene condotta generando numerose superfici di rottura in condizioni statiche a breve e a lungo termine.

6.1.1 Condizioni statiche – breve termine/lungo termine

Le ipotesi e condizioni di calcolo adottate nell'analisi sono di seguito riportate:

- Pendenza scarpata come da disegno di progetto;
- Sovraccarico stradale pari a 20 kPa applicato in corrispondenza della strada in progetto;
- Parametri geotecnici utilizzati sono definiti nella stratigrafia di progetto;
- E' stata considerata la presenza della falda a quota -1.6 m da p.c..

Nella seguente figura si riporta la geometria della sezione analizzata:

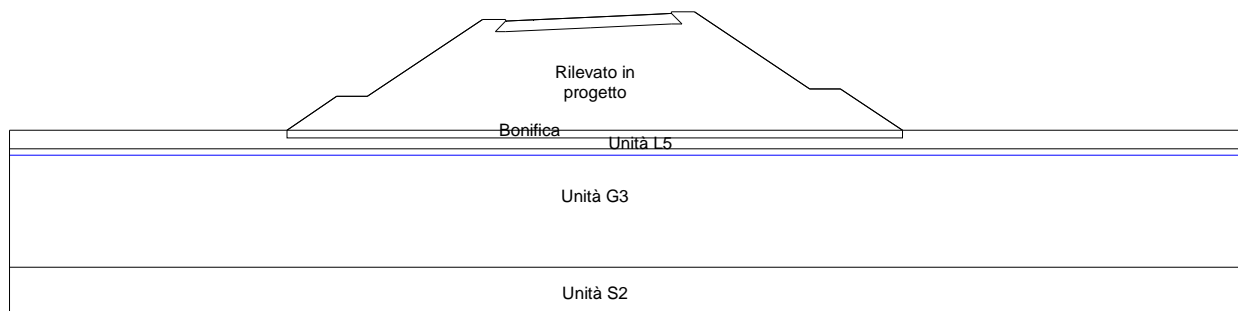


Figura 6.1.1.a – Schematizzazione sezione analizzata

La verifica è stata condotta secondo la combinazione A2+M2+R2 utilizzando i coefficienti parziali definiti nei paragrafi precedenti.

Nelle seguenti Figure 6.1.1.b si riporta la superficie critica di scorrimento più gravosa ed il minimo coefficiente di sicurezza F_S .

Si ottiene il seguente coefficiente di sicurezza minimo:

$$\gamma_r = 1.392 > 1.10$$

coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza

La verifica è soddisfatta.

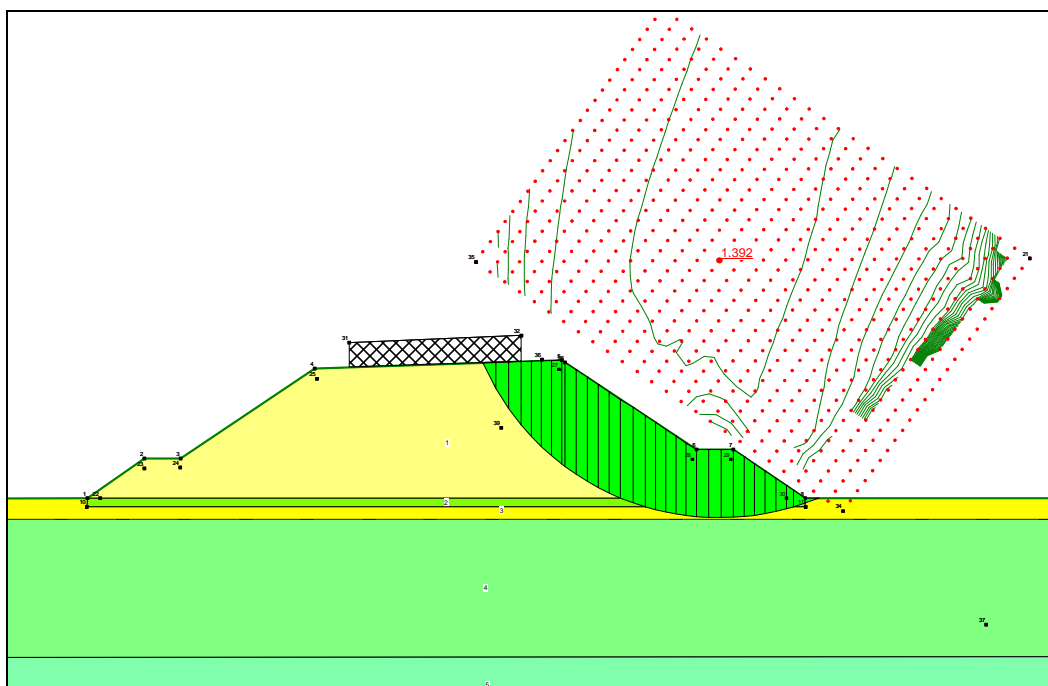


Figura 6.1.1.b – Analisi statica della situazione più gravosa – Breve termine

6.1.2 Condizioni sismiche

Le ipotesi e condizioni di calcolo adottate nell'analisi sono di seguito riportate:

- Pendenza scarpata come da disegno di progetto;
- Sovraccarico stradale pari a 20 kPa applicato in corrispondenza della strada in progetto;
- Coefficienti sismici $k_H = 0.015$ $k_H = 0.008$
- Parametri geotecnici utilizzati sono definiti nella stratigrafia di progetto;
- E' stata considerata la presenza della falda a quota -1.6 m da p.c..

Nella seguente figura si riporta la geometria della sezione analizzata:

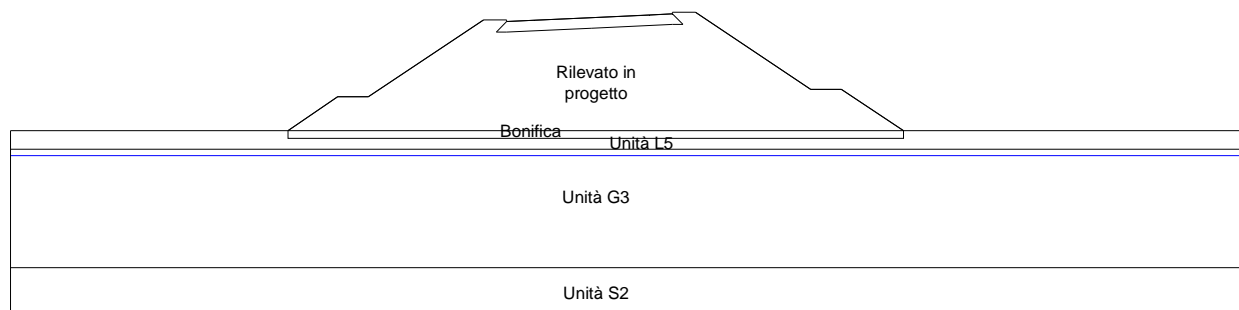


Figura 6.1.1.a – Schematizzazione sezione analizzata

La verifica è stata condotta secondo la combinazione A2+M2+R2 considerando valori unitari per i coefficienti parziali M2 ed utilizzando i coefficienti parziali definiti nei paragrafi precedenti.

Nelle seguenti Figure 6.1.2.a e c si riporta la superficie critica di scorrimento più gravosa ed il minimo coefficiente di sicurezza FS.

Si ottiene il seguente coefficiente di sicurezza minimo:

$$\gamma_r = 1.344 > 1.10 \quad \text{coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza}$$

La verifica è soddisfatta.

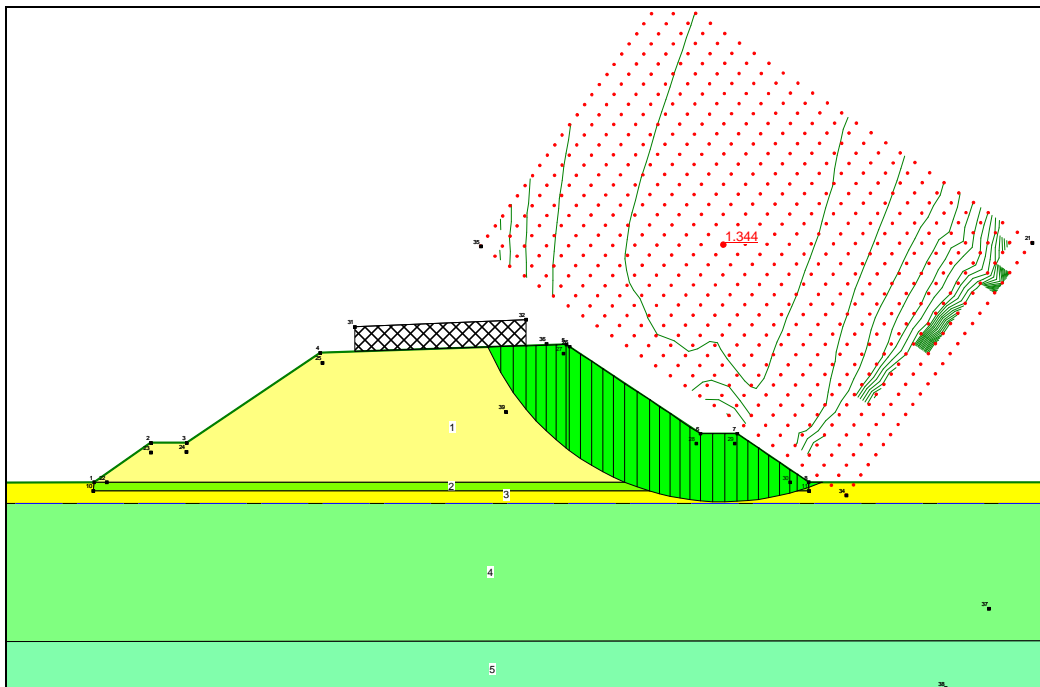


Figura 6.1.2.a – Analisi statica della situazione più gravosa – Breve termine

Varese, 05/12/2014

Ing. Marta Sartorelli



Dott. Ing.
MARTA
SARTORELLI
N° 2931
ORDINE INGEGNERI DELLA PROV.
VARESE