



PROVINCIA REGIONALE DI RAGUSA

POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA

PROGETTO DEFINITIVO

CUP F520C05000070003

GRUPPO DI PROGETTAZIONE (ATI):

SIS S.r.l. (MANDATARIA)
A&S Engineering S.r.l.
BONIFICA ITALIA S.r.l.
CO.RE. INGEGNERIA
OMNISERVICE Engineering S.r.l.

RESPONSABILI DI PROGETTO:

Prof. Ing. Antonio Bevilacqua
Ordine Ingegneri di Palermo n. 4058
Dott. Ing. Franco Persio Bocchetto
Ordine Ingegneri di Roma n. 8664
Dott. Ing. Vincenzo Calzona
Ordine Ingegneri di Roma n. 16656
Dott. Ing. Pietro Agnello
Ordine Ingegneri di Agrigento n. 543

RESPONS. INTEG. PREST. SPECIALISTICHE
Prof. Ing. Antonio Bevilacqua



UFFICIO DEL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Dott. Ing. Vincenzo Corallo

ASSISTENTE
Dott. Ing. Salvatore Dipasquale

PROGETTO STRADALE - OPERE D'ARTE MINORI: OPERE DI SOSTEGNO Relazione tecnica e di calcolo

CODICE: PD-OM01-STR-RT01-B

SCALA:

-


DATA:

Ottobre 2010

NOME FILE:

PD-OM01-STR-RT01-B.DOC

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Visto	Approvato
A	Luglio 2010	EMISSIONE PROGETTO DEFINITIVO	SPINA	ALAGNA	BEVILACQUA
B	Ottobre 2010	REVISIONE GIUSTA NOTA PROV. RG PROT. 052241 DEL 02/09/2010	SPINA	ALAGNA	BEVILACQUA


 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	---	--

INDICE

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
2.1 SOFTWARE UTILIZZATI	2
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	2
3.1 ACCIAIO	3
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	3
5. DIMENSIONAMENTO E VERIFICA TERRE RINFORZATE	5
5.1 AZIONI SISMICHE	5
5.2 COMBINAZIONI DI CARICO	6
5.3 VERIFICHE DI STABILITÀ	8
5.3.1 Resistenza a rottura di esercizio dei rinforzi (geogriglie)	9
5.3.2 Resistenza allo sfilamento del rinforzo (pull-out)	10
5.3.3 Analisi di stabilità	11
5.3.4 Soluzione progettuale	12
5.3.5 Risultati analisi di stabilità	12
5.3.6 Valutazione dei cedimenti	17

ALLEGATI

- Allegato 1: Analisi di stabilità rilevati in terra rinforzata
- Allegato 2: Valutazione dei cedimenti rilevati in terra rinforzata cavalcavia 5+255
- Allegato 3: Valutazione dei cedimenti rilevati in terra rinforzata cavalcavia 8+906

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

1. PREMESSA

La presente relazione riporta la descrizione, le verifiche di stabilità globale dei rilevati stradali in terra rinforzata e l'analisi dei cedimenti di questi ultimi, relativamente al progetto definitivo dei lavori di "Potenziamento dei collegamenti stradali fra la S.S. n. 115 nel tratto Comiso – Vittoria, il nuovo Aeroporto di Comiso e la S.S. n. 514 Ragusa – Catania".

Le verifiche di stabilità globale e l'analisi dei cedimenti sono state condotte su tutti i vari rilevati presenti, in relazione sia all'altezza degli stessi che alla geomorfologia dei terreni di base e nella presente relazione si descrivono solo le sezioni trasversali del tracciato che risultano più rappresentative, o meglio più gravose.

In allegato a questi si riportano i relativi tabulati di calcolo.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- Decreto Ministeriale D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni"
- Eurocodice 2 "Progettazione delle strutture in calcestruzzo"


2.1 SOFTWARE UTILIZZATI

I software utilizzati per i calcoli delle opere in esame sono di seguito indicati:

- **Macstars W (Officine Maccaferri)**

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Salvo indicazioni diverse espressamente indicate negli elaborati grafici, per la realizzazione delle opere di sostegno in oggetto sono previsti i materiali di seguito descritti.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

3.1 ACCIAIO

Reti metalliche a doppia torsione

– Carico di rottura nominale:	50.11 kN/m
– Rapporto di scorrimento plastico:	2.00
– Coefficiente di scorrimento plastico:	1.10e-04 m ³ /kN
– Rigidezza estensionale :	500 kN/m


4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame ricade nel settore occidentale degli Iblei, ai piedi della Scarpata di Comiso, lungo il bordo occidentale dell'Altopiano calcareo s.s. (substrato), i cui affioramenti constano di sedimenti plio-quadernari di ambienti di deposizione che vanno dal marino al continentale, appartenenti ad un unico ciclo sedimentario oligo-miocenico, afferenti alla successione calcareo-calcarenitico-marnosa della Formazione Ragusa ed alla successione marnosa della Formazione Tellaro.

Il tracciato stradale in studio si sviluppa ai piedi della Scarpata di Comiso, all'interno del bacino idrografico del fiume Ippari, compreso tra le quote 340÷180 m s.l.m. circa e nel complesso ricade su un'area a debole pendenza che degrada di quota in direzione NE – SO da Contrada Coffa, territorio di Chiaramonte Gulfi, a Contrada Billona - Bosco Piano, territorio di Vittoria. Non si riscontrano quindi in sito situazioni di versanti in incipiente movimento, che in presenza di eventi sismici, possano causare fenomeni franosi.

Dal punto di vista tettonico strutturale l'area in esame ricade sull'Avampaese Ibleo, che rappresenta l'attuale margine emerso della placca africana, dove si distinguono una zona centro-orientale, l'Altopiano calcareo, ed una zona occidentale, detta Zona di Transizione o di Avanfossa esterna. Il tracciato stradale in progetto ricade proprio in questo settore di raccordo, tra l'Altipiano ragusano e la piana di Vittoria, in un'area che si configura come una depressione strutturale estesa da NE a SO.

La causa della sismicità di tale area è quindi da ricercare nell'assetto geologico-strutturale di tale settore di raccordo, dove la distribuzione degli epicentri dei terremoti ricade lungo i principali sistemi di faglie che lo interessano, quali la Linea di Scicli e le strutture tettoniche della Zona di

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

Transizione e dell'Avanfossa; lungo il tracciato di progetto non risultano quindi faglie o zone a frantumazione cataclastica che inducano ad ipotizzare fenomeni puntuali di movimentazione tettonica e quindi a condurre approfondimenti mirati.


Dall'analisi della carta geologica e geomorfologica dell'area e dalle relative sezioni geologiche, è possibile distinguere i litotipi prevalenti che il tracciato stradale in progetto incontra nel suo sviluppo:

- Alluvioni recenti ed attuali: si tratta di ciottoli calcarei eterometrici e di materiale sabbioso-limoso; affiorano lungo il Fiume Ippari ed lungo le altre incisioni torrentizie costituendo l'alveo di piena e di magra.
- Depositi palustri, Terre rosse, Limi fluvio-lacustri e Depositi travertinosi: i depositi palustri sono costituiti da sabbie e limi di colore bruno; le terre rosse sono costituite da limi argilloso-sabbiosi di colore rosso che derivano da processi di alterazione carsica di rocce carbonatiche e formano coperture residuali da sottili a spesse; i limi fluvio-lacustri e i depositi travertinosi consistono in limi biancastri, croste carbonatiche e depositi travertinosi torbosi, con spessori variabile da qualche metro a qualche decina di metri.
- Conglomerati - ghiaie e sabbie carbonatiche, Sabbie gialle con livelli arenacei: si tratta di conglomerati, ghiaie e sabbie varie che formano collinette dove gli spessori sembrano raggiungere e superare la decina di metri.
- Depositi limnici: sono calcari marnosi, marne, argille e silt biancastri, dall'aspetto talora brecciato o grumoso, affioranti lungo il corso del Torrente Fontana Volpe e del fiume Ippari.

I litotipi individuati dalla campagna di indagini 2009-2010 condotta relativamente alla progettazione definitiva, sono descritti e parametrizzati nella relazione geotecnica allegata al progetto.

Di seguito si descrivono i litotipi suddetti:

- Terreno vegetale (TV)
- Sabbie (S)
- Limi (L)
- Argille (A)
- Marne calcarenitiche sabbiose (MCS)

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

- Marne calcarenitiche argillose (MCA)
- Calcareniti grigie (CG)

5. DIMENSIONAMENTO E VERIFICA TERRE RINFORZATE

5.1 AZIONI SISMICHE

Il calcolo delle azioni sismiche, di seguito descritte, viene condotto nel rispetto delle “Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 14/01/2008” e s.m.i.

Per le analisi in condizioni sismiche dell'opera è stato fatto riferimento alla relazione sismica che fornisce in base alla progressiva in cui ricade l'opera la categoria di suolo, l'accelerazione massima attesa e i relativi coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica.


Nella tabella seguente si riportano le accelerazioni massime attese lungo il tracciato relativa alle opere d'arte minori:

	Progressive		Cat. suolo	$a_g(g)$ [m/s ²]	S_s	S_T	$a_{max}(g)$ [m/s ²]
	da	a					
TRATTO 1	Inizio	4+000.00	B	0.172	1.200	1.000	0.206
TRATTO 2	4+000.00	5+700.00	C	0.204	1.416	1.000	0.289
TRATTO 3	5+700.00	Fine	B	0.232	1.186	1.000	0.275

Tabella 1: Zonazione sismica del tracciato per opere d'arte minori

Per valutare i coefficienti di intensità sismica delle opere occorre moltiplicare l'accelerazione massima attesa per un coefficiente β_s che tiene conto del suolo sismico.

Nella tabella seguente si riporta il valore del coefficiente β_s in funzione dell'accelerazione attesa e della categoria di suolo.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

β_s tab 7.11.I, p.to 7.11.3.5.2 NTC D.M. 2008		
	Categoria di suolo	
	A	B, C, D, E
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tabella 2: Coefficiente β_s

Pertanto si possono determinare i coefficienti k_h e k_v con le seguenti espressioni:

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

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

In condizioni sismiche l'opera è soggetta alle forze di inerzia degli elementi strutturali e delle porzioni di terreno solidali con la struttura che valgono:

$$F_{hi} = k_h \cdot W$$


$$F_{vi} = k_v \cdot W$$

essendo W il peso dell'elemento o della porzione di terreno considerata. Tali forze sono applicate nel baricentro delle masse dell'elemento considerato.

5.2 COMBINAZIONI DI CARICO

La terra rinforzata è un'opera che deve garantire il contenimento e/o la stabilità delle scarpate e dei rilevati, sia in condizioni statiche che sismiche.

Le verifiche sono state condotte secondo le "Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 14/01/2008" e s.m.i., secondo cui le verifiche devono essere eseguite incrementando le azioni e riducendo le resistenze mediante opportuni coefficienti parziali γ . Nello specifico le azioni caratteristiche agenti sull'opera (permanenti e variabili) devono essere incrementate mediante dei coefficienti parziali γ_f , secondo 2 diversi set di valori (A) riportati in tabella 3, mentre i valori caratteristici dei parametri geotecnici di resistenza devono essere ridotti mediante i coefficienti parziali γ_m , in base ai 2 set di valori (M) riportati in tabella 4:

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

Parametro		Coefficiente parziale γ_f	
		A1	A2
Permanente sfavorevole	γ_G	1.40	1.00
Permanente favorevole		1.00	1.00
Variabile favorevole	γ_Q	1.50	1.30
Variabile sfavorevole		0.00	0.00

Tabella 3: Coefficienti parziali relativi alle azioni per le verifiche a SLU

Parametro		Coefficiente parziale γ_m	
		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\tan\phi'$	1.00	1.25
Coesione efficace	c'	1.00	1.25
Coesione non drenata	c_u	1.00	1.40
Peso specifico	γ	1.00	1.00

Tabella 4: Coefficienti parziali per i parametri del terreno


Stabiliti i set di coefficienti parziali A ed M, gli scenari da analizzare in riferimento agli S.L.U. risultano dalla combinazione di questi, per cui si individuano i seguenti approcci progettuali:

Combinazioni a S.L.U.	γ_f	γ_m
Approccio 1 Comb. 1	A1	M1
Approccio 1 Comb. 2	A2	M2

Tabella 5: Approcci progettuali

Per quanto concerne la combinazione sismica, le relative azioni devono essere combinate alle altre azioni di progetto in modo da definire una sollecitazione di progetto allo stato limite ultimo, in accordo con la normativa vigente:

La sollecitazione ultima di progetto dipende dai parametri di resistenza del terreno per cui quest'ultimi, nelle analisi di calcolo in condizione sismica, devono essere introdotti con i valori caratteristici ridotti dai coefficienti parziali γ_m del set M2.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

5.3 VERIFICHE DI STABILITÀ

Questa verifica consente di accertare che la geometria della sezione esaminata, in relazione alle caratteristiche di resistenza al taglio del materiale impiegato, assicuri un sufficiente fattore di sicurezza nei confronti della rottura.

Per l'analisi di stabilità è stato utilizzato il metodo di calcolo di Bishop, che permette di determinare il coefficiente di sicurezza alla rottura.

L'analisi di stabilità è stata condotta secondo il principio dell'equilibrio limite globale; tale verifica si conduce esaminando un certo numero di possibili superfici di scivolamento per ricercare quella che rappresenta il rapporto minimo tra la resistenza a rottura disponibile e quella effettivamente mobilitata; il valore di questo rapporto costituisce il coefficiente di sicurezza del pendio.

Scelta quindi una superficie di rottura si suddivide in conci la parte instabile, si studia dapprima l'equilibrio della singola striscia e poi si passa alla stabilità globale; qui di seguito sono riportate schematicamente le azioni agenti su di un singolo concio:

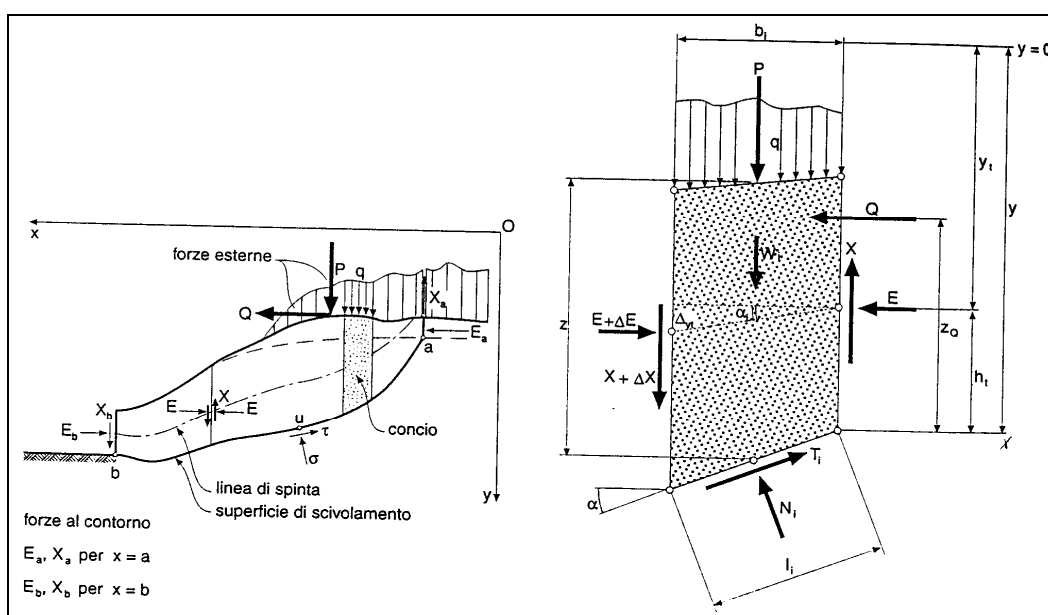



Figura 1. Forze agenti su un singolo concio

Per ogni concio sono disponibili per la risoluzione del sistema le tre equazioni della statica (equilibrio traslazione verticale, orizzontale ed equilibrio dei momenti), quindi per n conci si avranno $3n$ equazioni linearmente indipendenti; il contributo dei rinforzi viene introdotto nel calcolo solo se essi intersecano la superficie di scivolamento.

La resistenza a trazione nei rinforzi può mobilitarsi per l'aderenza tra il rinforzo stesso ed i

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

materiali (terreno o altri rinforzi) che si trovano sopra e/o sotto.

Tale contributo viene simulato con una forza stabilizzante diretta verso l'interno del rilevato applicata nel punto di contatto tra superficie di scorrimento e rinforzo stesso; il modulo di tale forza è determinata scegliendo il minore tra il valore della resistenza a rottura del rinforzo ed il valore della resistenza allo sfilamento del rinforzo nel tratto di ancoraggio o nel tratto interno alla porzione di terreno instabile (il minimo tra i due valori). La prima è costante ed assegnata mentre le seconde variano linearmente con la profondità.

Per tenere conto dell'effetto dei rinforzi è stato implementato un modello di comportamento rigido; in tale modello si ipotizza che un qualsiasi rinforzo, che attraversi la superficie di potenziale scorrimento analizzata, fornisca la forza di rottura del rinforzo penalizzata del relativo coefficiente di sicurezza, indipendentemente dai valori di rigidità dei rinforzi stessi.

Per ciascun rinforzo devono essere verificate le seguenti condizioni:

- deve essere garantito un ancoraggio minimo;
- deve essere garantita la resistenza allo sfilamento nella zona di ancoraggio.

Nel primo caso una lunghezza di ancoraggio inferiore al minimo stabilito comporta l'annullamento completo della trazione nel rinforzo; nel secondo caso la trazione nel rinforzo viene limitata al valore di sfilamento.

Nei paragrafi successivi si illustra la procedura di calcolo avendo ipotizzato rinforzi realizzati con materiali metallici (rete a doppia torsione).


5.3.1 Resistenza a rottura di esercizio dei rinforzi (geogriglie)

La resistenza di esercizio degli elementi di rinforzo (geogriglie) è stata determinata facendo riferimento alla *British Standard 8006:1995 "Code of practice for Strengthened/reinforced soils and fills"*. In accordo alla BS 8006, la resistenza di progetto T_{progetto} del rinforzo è determinata come segue:

$$T_{\text{progetto}} = T_{\text{rottura}} / (f_{\text{creep}} \times f_m)$$

dove

- T_{rottura} = carico di rottura nominale del rinforzo
- f_{creep} = fattore di creep del rinforzo a lungo termine
- f_m = fattore di sicurezza del rinforzo, pari a $f_{m11} \times f_{m12} \times f_{m21} \times f_{m22}$

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

- f_{m11} = procedure produttive (tolleranze)
- f_{m12} = valutazione qualità processi industriali e sviluppo prodotto
- f_{m21} = effetti dovuti al danneggiamento potenziali durante l'installazione
- f_{m22} = suscettibilità all'aggressione chimico fisica e biologica

Il fattore f_{creep} viene calcolato per una data deformazione massima ammissibile durante la vita di progetto, tenendo conto di eventuali fenomeni di creep che dovessero interessare i rinforzi; per le opere in terra rinforzata le deformazioni massime ammissibili nei rinforzi sono dell'ordine del 5%. Ciò significa che ad esempio per la rete metallica a doppia torsione, non subendo essa gli effetti di creep, avendo una resistenza a rottura con deformazioni inferiori al 5%, tale resistenza può essere assunta come resistenza a trazione nominale ($f_{creep} = 1.00$).

I fattori parziali di sicurezza che concorrono al valore di f_m per i rinforzi sono considerati all'interno del software a seconda del tipo di rinforzo e del terreno da armare mediante tali rinforzi.

5.3.2 Resistenza allo sfilamento del rinforzo (pull-out)

Il calcolo delle forze ultime di sfilamento viene eseguito con il seguente procedimento, che si basa sulla considerazione che in tutti i punti del rinforzo sia raggiunta la condizione ultima (τ_u).


La forza necessaria per lo sfilamento del rinforzo dal rilevato (F_{po}) è data dalla seguente relazione:

$$F_{po} = 2 \cdot \sigma_v \cdot L \cdot W \cdot \mu \cdot \tan \varphi$$

dove

- φ = angolo di attrito interno del materiale da rilevato
- μ = coefficiente di interazione tra materiale del rilevato e rinforzo
- W = larghezza del rinforzo
- L = lunghezza della zona di ancoraggio
- σ_v = tensione verticale agente sul rinforzo

I valori del coefficiente di interazione μ derivano da prove di laboratorio e variano a seconda del tipo di terreno che compone il rilevato. Per i rinforzi in rete metallica a doppia torsione sono stati assunti pari a:

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

Tipo di interazione	Valore di μ
Interazione rinforzo-rinforzo	0.30
Sfilamento rinforzo-ghiaia	0.90
Sfilamento rinforzo-sabbia	0.65
Sfilamento rinforzo-limo	0.50
Sfilamento rinforzo-argilla	0.30

Tabella 6: Valori del coefficiente di iterazione μ

Come è possibile dedurre per ogni livello di rinforzi all'interno della struttura il valore della resistenza a rottura rimane costante mentre ciò che varia è la resistenza allo sfilamento in quanto essa è direttamente correlata alla tensione normale agente a quella determinata profondità.


5.3.3 Analisi di stabilità

Un corretto dimensionamento di una struttura in terra rinforzata implica una scelta opportuna della lunghezza e della spaziatura verticale dei rinforzi, al fine di garantire la stabilità; l'analisi di stabilità è stata condotta distinguendola in due tipi:

Stabilità globale: verifica delle dimensioni della massa strutturale nei confronti di scivolamenti più esterni, che possano determinare fenomeni di instabilità più profondi negli strati di terreno; in questo caso, si è assunto che le superfici partano più a valle rispetto al piede dell'opera ed è stata individuata per tentativi la posizione più critica del punto di partenza delle superfici di scivolamento, spostando tale punto verso valle.

Stabilità interna: verifica della lunghezza necessaria e della spaziatura degli elementi di rinforzo tale da garantire che il rilevato rinforzato sia sufficientemente compatto e resistente alle azioni interne provocate dai carichi; si è assunto in questo caso che le superfici partano dal piede di valle dell'opera e si estendano verso monte fino ad incontrare il profilo del terreno, intersecando totalmente o anche solo parzialmente l'ammasso rinforzato. In quest'ultimo caso si è considerato che la superficie più critica, ossia con fattore di stabilità minimo, non necessariamente si svilupperà interamente all'interno dell'ammasso rinforzato.

Le analisi sono state condotte utilizzando superfici di rottura circolari e, ove ritenuto necessario (alcune verifiche di stabilità interna), superfici di rottura poligonali.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

Sono state effettuate altresì le verifiche di stabilità dei blocchi in terra rinforzata come muro di sostegno, andando pertanto a verificare il coefficiente di sicurezza allo scorrimento al ribaltamento e il coefficiente di sicurezza alla capacità portante, secondo le combinazioni previste dalla normativa vigente, DM 14.01.2008.

5.3.4 Soluzione progettuale

La soluzione progettuale è variabile a seconda della geometria della terra rinforzata. Infatti per rilevati con entrambe le scarpate in terre rinforzate è stato realizzato un blocco unico con inclinazione del paramento di 70° . A separare i moduli di altezza pari a 0.61 m viene posizionata una rete metallica a maglia esagonale a doppia torsione con carico a rottura nominale 50.11 kN/m.

Nel caso di rilevati con una sola scarpata in terra rinforzata, è prevista la realizzazione di un blocco singolo con terra rinforzata delle caratteristiche precedenti. La dimensioni dei singoli blocchi varia da sezione a sezione in ragione alle diverse altezze di rilevato.

Le diverse soluzioni progettuali si ritrovano pertanto negli elaborati grafici di riferimento e di seguito si riportano le verifiche di stabilità dei blocchi stessi nelle situazioni più gravose.


5.3.5 Risultati analisi di stabilità

Le verifiche di seguito riportate riguardano la verifica di stabilità globale, le verifiche di stabilità interna dei singoli blocchi, le verifiche allo scorrimento e alla capacità portante

Le opere sono state verificate secondo la combinazione più gravosa, che per le costruzioni di materiali sciolti risulta essere la combinazione A2 + M2 + Sisma; per la verifica a ribaltamento si considera la combinazione di carico di equilibrio di corpo rigido (EQU).

Il fattore di sicurezza nei confronti della stabilità globale, della stabilità interna e dello scorrimento risulta pari a 1.10; il fattore di sicurezza minimo nei confronti della capacità portante risulta pari a 1.80

Esaminando tutte le sezioni stradali del progetto, sia asse principale che viabilità secondaria, la sezione più significativa, sia in termini di altezza di rilevato che in termini di caratteristiche geotecniche del terreno di base, risulta la sezione SP2 in corrispondenza del cavalcavia alla progressiva 5+255.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

Il rilevato in esame ricade all'interno di un'area in cui la stratigrafia risulta abbastanza omogenea dove per i primi 4 m è presente uno strato di sabbie (S) caratterizzate con i seguenti parametri geotecnici caratteristici (vedi "Relazione Geotecnica"):

- Peso dell'unità di volume $\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$;
- Coesione drenata $c' = 10 \text{ kPa}$;
- Angolo di resistenza al taglio $\phi' = 32^\circ$.

I successivi metri sono costituiti da marna calcarenitica argillosa (MCA), caratterizzata con i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

- Peso dell'unità di volume $\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$;
- Coesione drenata $c' = 40 \text{ kPa}$;
- Angolo di resistenza al taglio $\phi' = 20^\circ$.

Il rilevato e la bonifica si suppongono, a vantaggio di sicurezza, costituiti da materiale di cava, in quanto privi di coesione al contrario di un terreno stabilizzato a calce. I parametri geotecnici caratteristici del rilevato stradale (RS) sono:

- Peso dell'unità di volume $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$;
- Coesione drenata $c' = 0 \text{ kPa}$;
- Angolo di resistenza al taglio $\phi' = 36^\circ$.


Le ipotesi fatte per le verifiche di stabilità sono di movimento rotazionale con superficie di scorrimento circolare avente origine nel piede della scarpata. La verifica è stata condotta allo S.L.U. considerando l'azione sismica in quanto i rilevati sono definitivi.

Tenuto conto che la sezione in esame ricade nel tratto 2 della zonazione sismica definita nella "Relazione Sismica" di progetto, l'accelerazione sismica vale $a_{\max}(g) = 0.289 \text{ m/s}$ per cui i coefficienti di spinta sismica orizzontale e verticale risultano:

$$k_h = 0.069$$

$$k_v = 0.035$$

Di seguito si riporta un grafico con rappresentata la superficie di scorrimento più gravosa ed il relativo fattore di sicurezza.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

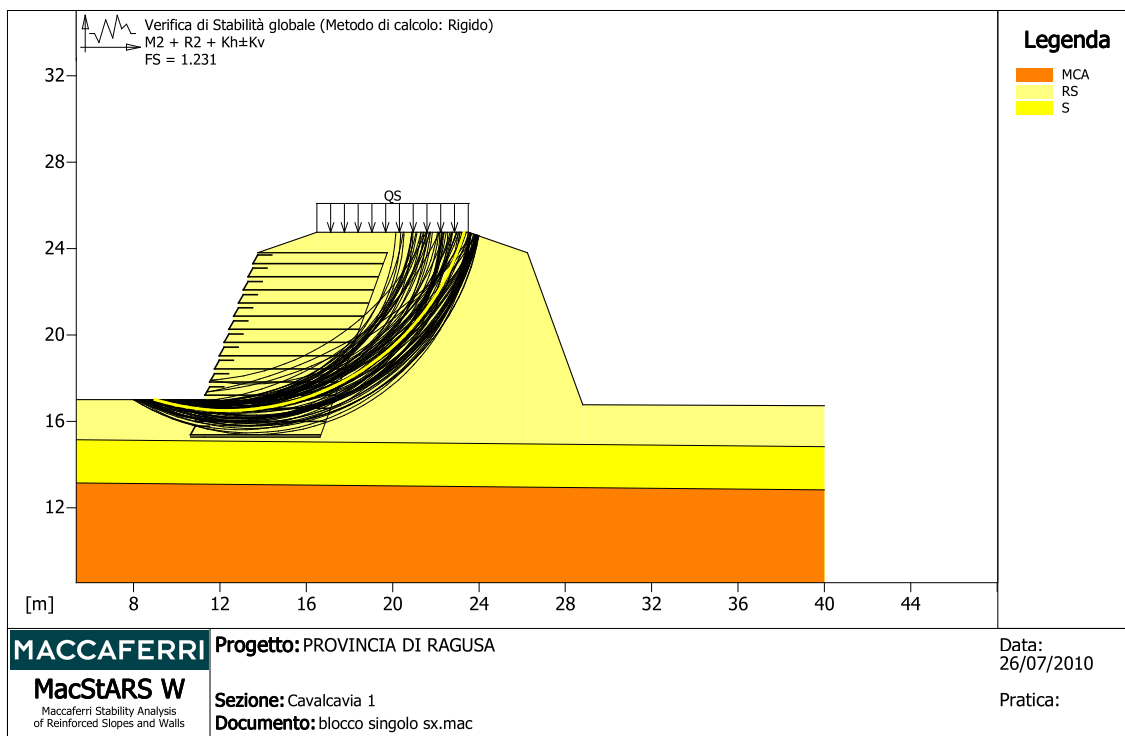



Figura 2: Verifica di stabilità globale

Come si evince dalla figura, il fattore di sicurezza alla stabilità globale del rilevato, con l'abbattimento dei parametri geotecnici prescritti da normativa, risulta maggiore di 1.00, in quanto il coefficiente 1.10 del set dei coefficienti R2 previsto dalla normativa è già incluso nel coefficiente 1.231. Pertanto la verifica risulta soddisfatta.

Sullo stesso blocco sono state effettuate tutte le altre verifiche previste per le opere in oggetto che sono riportate di seguito.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

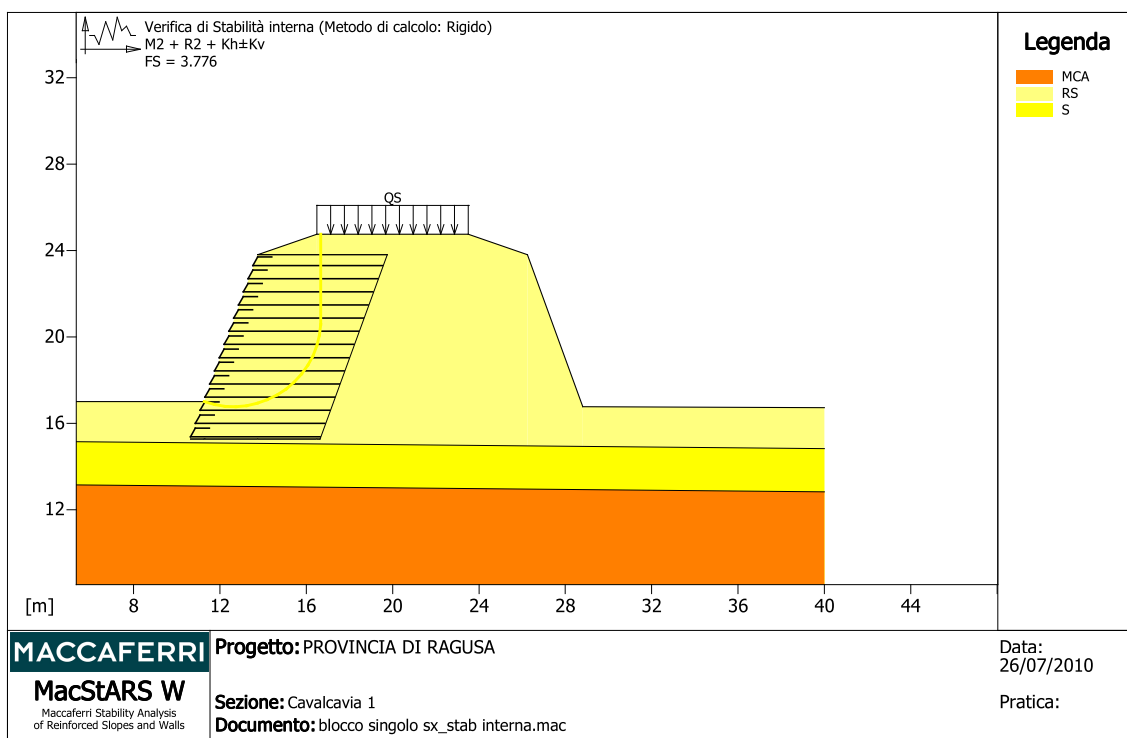


Figura 3: Verifica di stabilità interna

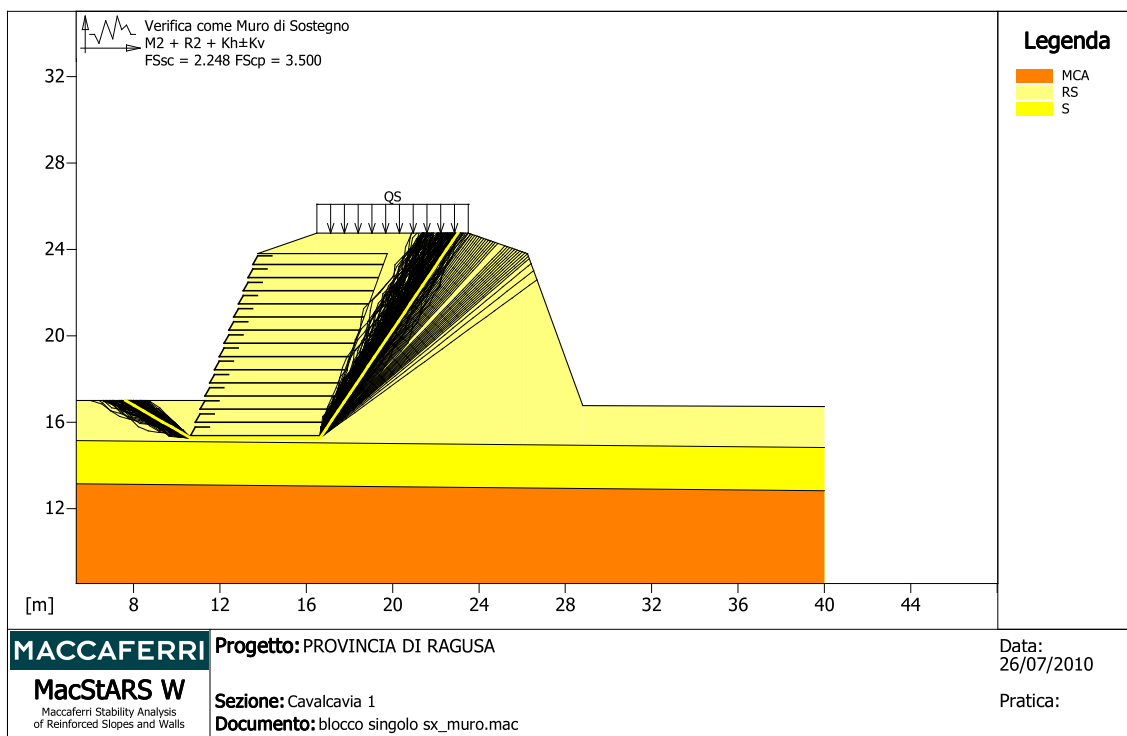



Figura 4: Verifica di capacità portante e scorrimento

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

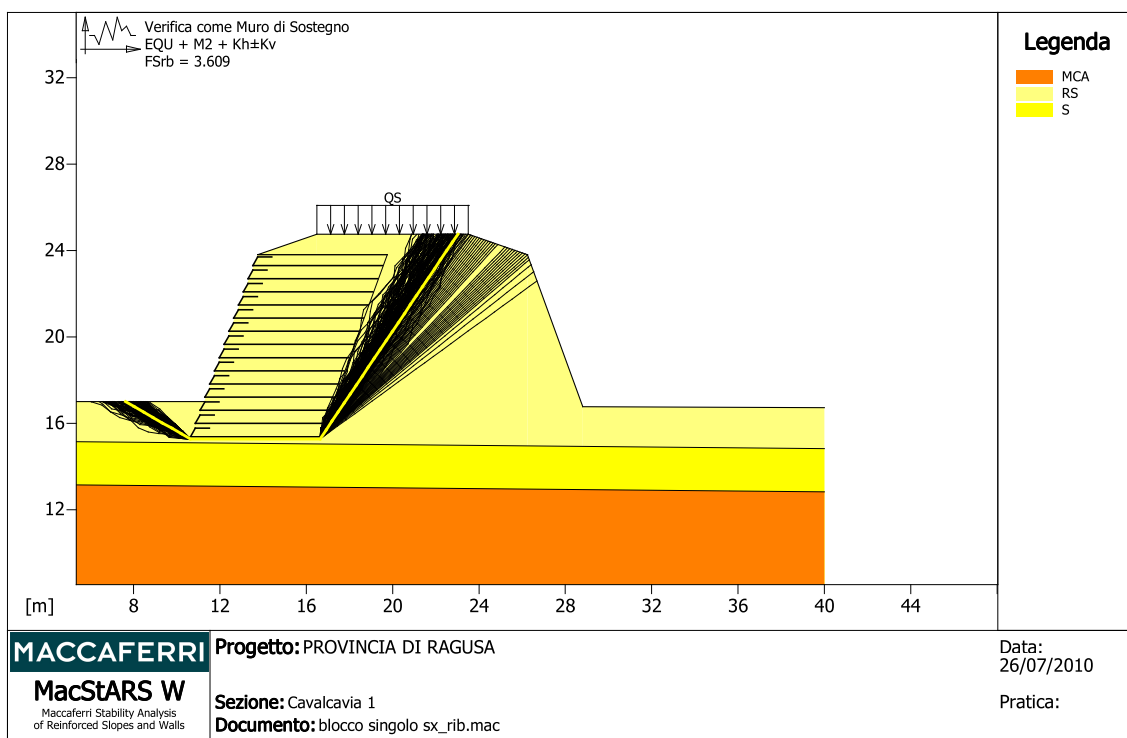



Figura 5: Verifica al ribaltamento

Dagli output riportati sopra, si evince che verifiche di stabilità interna, ribaltamento scorrimento e capacità portante sono tutte soddisfatte.

I dettagli di calcolo sono riportati nell'Allegato 1.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

5.3.6 Valutazione dei cedimenti

Per completare lo studio dei rilevati in terra rinforzata, dopo aver analizzato la stabilità globale del complesso rilevato-terreno attraverso i metodi dell'equilibrio limite, si procede ad analizzare il comportamento del rilevato sotto i carichi di esercizio e quindi verificare la sua funzionalità attraverso l'analisi dei cedimenti.

L'analisi dei cedimenti viene condotta separatamente per terreni incoerenti e per terreni coesivi, poiché presentano un comportamento diverso sotto l'azione di carichi applicati.

Terreni incoerenti

La valutazione dei cedimenti viene effettuata attraverso la "teoria dell'elasticità". Il terreno di fondazione del rilevato viene suddiviso in n strati di spessore Δh_i :

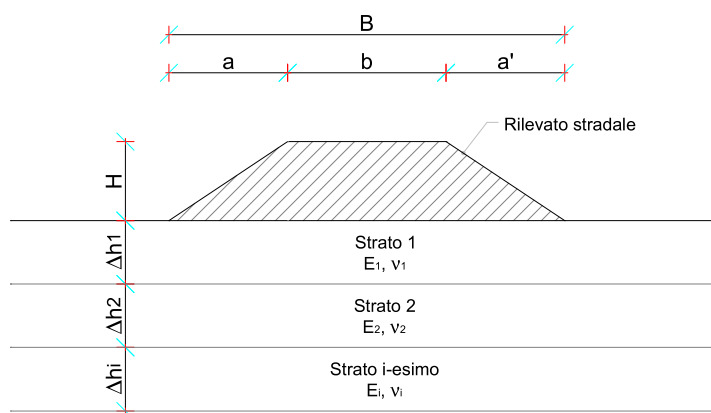



Figura 6: Schema di calcolo del cedimento elastico in condizioni drenate

ed il cedimento complessivo, noti i valori di deformabilità, è pari alla somma dei cedimenti dei singoli strati, valutati secondo l'espressione seguente:

$$w_{tot} = \sum_i w_i = \sum_i \frac{\Delta \sigma_{zi}}{E_i} \cdot \Delta h_i$$

dove:

- $\Delta \sigma_{zi}$ = Incremento di tensione verticale indotto dal carico alla profondità z_i
- z_i = Profondità media dal piano di carico dello strato i-esimo considerato

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

- E_i = Modulo elastico dello strato i-esimo considerato
- ΔH_i = Spessore dello strato i-esimo considerato

L'incremento di tensione indotto dal carico $\Delta\sigma_z$ viene valutato mediante la teoria del semispazio elastico di Boussinesq, in particolare si fa uso dell'abaco di Steinbrenner (1934) valido per i casi generali di carico distribuito uniforme su di un'area rettangolare di lati B ed L ($L > B$) che consentono di valutare le tensioni lungo la verticale passante per il vertice dell'area di carico:

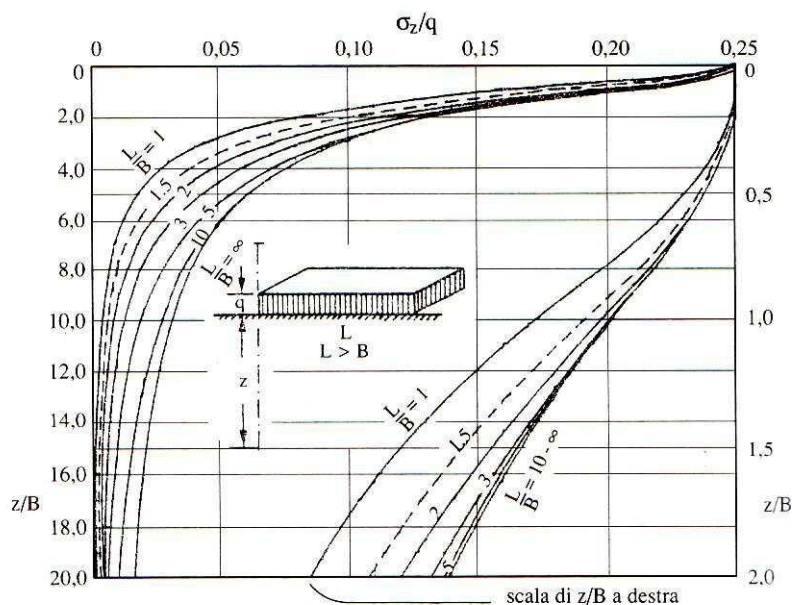



Figura 7: Abaco di Steinbrenner

Da esse, con semplici operazioni di sovrapposizione degli effetti, è possibile risalire alle tensioni indotte lungo una verticale qualsiasi di un'area di carico rettangolare o comunque scomponibile in rettangoli. L'espressione analitica della tensione è la seguente:

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\arctan \frac{L \cdot B}{c \cdot z} + \frac{L \cdot B \cdot z}{c} \cdot \left(\frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2} \right) \right]$$

dove:

- q = carico distribuito uniforme:
- $m^2 = L^2 + z^2$

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

$$- \quad n^2 = B^2 + Z^2$$

$$- \quad c = \sqrt{L^2 + B^2 + Z^2}$$

Nei terreni incoerenti, per la loro elevata permeabilità, il processo di consolidazione è molto rapido per cui i cedimenti distorsionali e volumetrici avvengono contemporaneamente, all'atto di applicazione dei carichi. Per cui tali cedimenti vengono definiti "immediati (w_{imm})".

Terreni coesivi


Nei terreni a grana fine soggetti all'applicazione di un carico, i cedimenti avvengono in parte all'atto stesso del carico, per deformazioni a volume costante dell'insieme scheletro solido-acqua (cedimento immediato o non drenato w_0), ed in parte gradualmente nel tempo a seguito dell'espulsione dell'acqua e della conseguente dissipazione delle sovrappressioni neutre (cedimento di consolidazione w_c). In corrispondenza di un generico tempo t può porsi:

$$w_{tot} = w_0 + U \cdot w_c$$

dove U è il grado di consolidazione e varia nel tempo tra 0 e 1.

Per il calcolo di tale cedimento w_{tot} si applica la teoria della consolidazione monodimensionale di Terzaghi.

Tale teoria si basa sulle determinazioni sperimentali di una prova ad espansione laterale impedita (prova edometrica) in cui le deformazioni avvengono solo in direzione verticale senza contrazioni o espansioni orizzontali. Tale ipotesi edometrica risulta tanto migliore quanto più ridotto è il valore del rapporto tra lo spessore dello strato deformabile e la larghezza dell'area di impronta del carico. Il terreno di fondazione del rilevato viene suddiviso in n strati di spessore Δh_i :

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

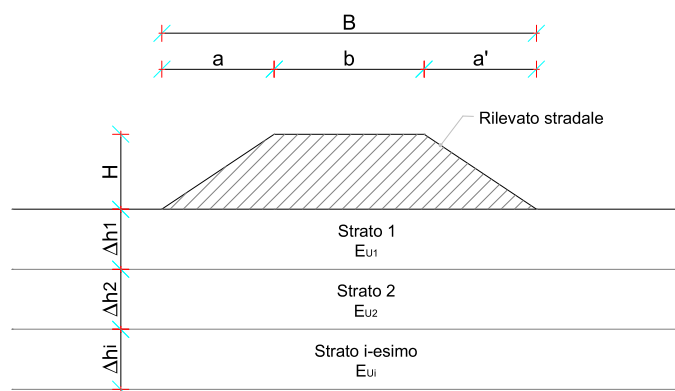


Figura 8: Schema di calcolo del cedimento edometrico in condizioni non drenate

ed il cedimento complessivo è pari alla somma dei cedimenti dei singoli strati:

$$w_{ed} = \sum_i w_{edi}$$

La relazione si presenta in forma diversa in relazione ai parametri di deformabilità noti. In particolare, noto il modulo edometrico del terreno di fondazione, allora risulta:

$$w_{edi} = \frac{\Delta\sigma_{zi}}{E_{ed}} \cdot \Delta H_i$$

dove:


- $\Delta\sigma_{zi}$ = Incremento di tensione verticale indotto dal carico alla profondità z_i
- z_i = Profondità media dal piano di carico dello strato i-esimo considerato
- E_{ed} = Modulo edometrico dello strato i-esimo considerato
- ΔH_i = Spessore dello strato i-esimo considerato
- w_{ed} = cedimento edometrico

L'incremento di tensione verticale indotta dal carico $\Delta\sigma_{zi}$ viene valutato mediante gli abachi di Steinbrenner (1934), come descritto al punto precedente.

Altra espressione per il calcolo del cedimento edometrico è il seguente:

$$w_{edi} = \Delta H_i \cdot \left(RR \cdot \log \frac{\sigma'_{pi}}{\sigma'_{v0i}} + CR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0i} + \Delta\sigma_{zi}}{\sigma'_{pi}} \right) \quad \text{per } \sigma'_{v0} = \sigma'_p$$

$$w_{edi} = \Delta H_i \cdot RR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0i} + \Delta\sigma_{zi}}{\sigma'_{v0i}} \quad \text{per } \sigma'_{v0} + \Delta\sigma_z < \sigma'_p$$

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

$$w_{ed} = \Delta H_i \cdot CR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0i} + \Delta \sigma_{zi}}{\sigma'_{v0i}} \quad \text{per } \sigma'_{v0} + \Delta \sigma_z > \sigma'_p$$

Padfield e Sharrock (1983), dopo un ampio esame delle evidenze sperimentali, forniscono le seguenti indicazioni:

per terreni sovraconsolidati:

$$w_0 = (0.5 \div 0.6) \cdot w_{ed}$$

$$w_c = (0.4 \div 0.5) \cdot w_{ed}$$

$$w_{tot} = w_{ed}$$

per terreni normalconsolidati:

$$w_0 = 0.1 \cdot w_{ed}$$

$$w_c = w_{ed}$$

$$w_{tot} = 1.1 \cdot w_{ed}$$

Noto il cedimento totale w_{tot} è possibile risalire al valore del cedimento al tempo t $w(t)$ attraverso la relazione già descritta $w_{tot} = w_0 + U \cdot w_c$.

Il grado di consolidazione è funzione del fattore di tempo adimensionale T_v , che assume la seguente espressione:

$$T_v = \frac{c_v \cdot t}{H^2}$$

funzione del tempo t , del coefficiente di consolidazione primaria e del massimo percorso di drenaggio H che dipende dalle condizioni al contorno:

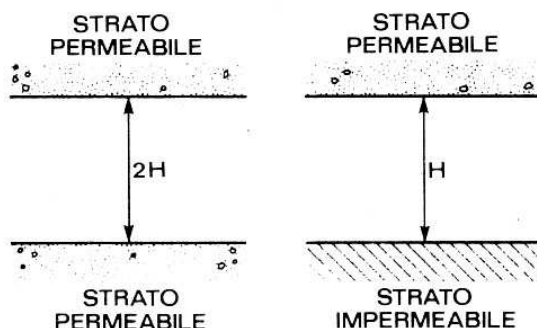



Figura 9: Condizioni di drenaggio al contorno

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

Infatti, nel caso in cui lo strato oggetto del processo di consolidazione presenti un singolo contorno drenante, il massimo percorso di drenaggio H coincide con l'intero spessore dello strato. Nei casi, invece, in cui lo strato presenti due contorni drenanti, sia a tetto che a letto dello strato in consolidazione, allora il massimo percorso di drenaggio H è pari alla metà dello spessore dello strato.

Per valutare il valore del grado di consolidazione si fa uso della relazione di Sivaram e Swamee (1977):

$$U_m = \frac{(4 \cdot T_v / \pi)^{0.5}}{\left[1 + \left(\frac{4 \cdot T_v}{\pi} \right)^{2.8} \right]^{0.179}}$$

dove U_m è il grado di consolidazione medio.

La verifica dei cedimenti di un rilevato consiste nel valutare i cedimenti residui a partire dalla fine della fase di costruzione del rilevato, in modo da evitare in fase di esercizio abbassamenti dannosi per l'opera infrastrutturale presente.


In sede di analisi si è fatto riferimento alle indicazioni sul capitolato speciale d'appalto del P.D., in cui si stabilisce definisce per i rilevati un cedimento massimo totale di 15 cm, oltre il quale è necessario prevedere un opportuno piano di monitoraggio degli assestamenti nel tempo. Per quanto concerne invece i cedimenti residui, si limitano al 10% del cedimento di consolidazione risultante a fine lavori, che in sede di progettazione è stato considerato 18 mesi.

L'analisi dei cedimenti è stata condotta su 2 sezioni trasversali in quanto presentano le maggiori altezze e le situazioni geotecniche del terreno in fondazione differenti.

Sez. SP2 – cavalcavia 5+255

La sezione si trova lungo la viabilità secondaria riguardante i tronchi 14 e 15 alla progressiva 144.40 in cui il rilevato stradale presenta una altezza media di circa 7.00 m con la seguente successione stratigrafica:

- bonifica da 0÷1.90 m dal p.c.
- sabbie (S) da 1.90÷3.90 m dal p.c.
- marne calcarenitiche argillose (MCA) da 3.90÷9.10 m dal p.c.
- argilla (A) da 9.10÷22.10 m dal p.c.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

- marne calcarenitiche argillose (MCA) ≥ 22.10 dal p.c.

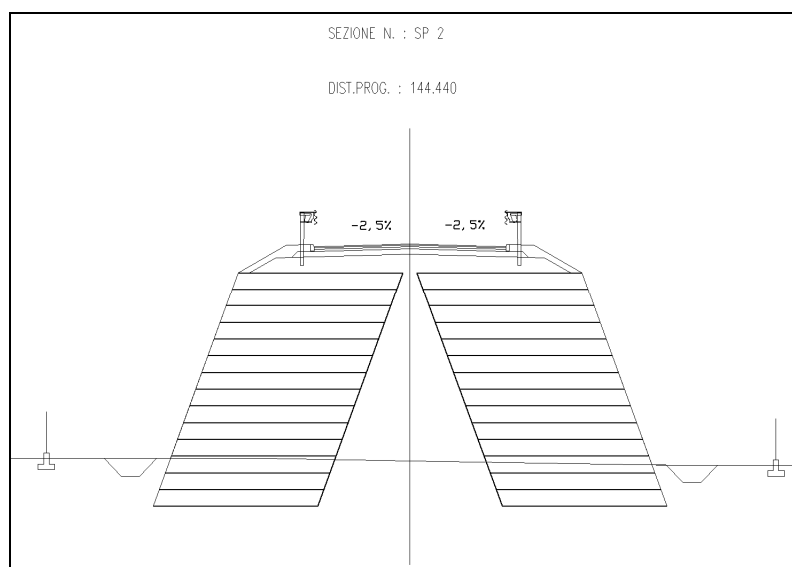



Figura 10: Sezione stradale SP2 – cavalcavia 1

Allo scopo di creare uno strato drenato di separazione tra il rilevato e il terreno di base, è prevista una bonifica sotto la base dei moduli in terra rinforzata con materiale drenante, granulare ed arido.

La posizione della falda si attesta a quota 10.50 m dal p.c.; ciò implica che per gli strati di natura coesiva che si trovano al di sotto di tale quota dovrà essere condotta la verifica in condizione non drenata, mentre per tutti gli altri strati si può condurre la verifica in condizioni drenate.

Pertanto i cedimenti che si generano a costruzione del rilevato ultimata, presentano un cedimento immediato di circa 3.58 cm, con un cedimento di consolidazione di circa 3.58 cm; il cedimento residuo a 18 mesi, data di ultimazione lavori, risulta pari a 0.30 cm, inferiore al 10% dell'intero cedimento di consolidazione, come prescritto da capitolato.

Pertanto gli abbassamenti indotti dal rilevato stradale non compromettono la funzionalità dell'infrastruttura.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

I dettagli del calcolo sono riportati nell'Allegato 2.

Sez. 7 – cavalcavia 8+906

La sezione si trova sulla viabilità secondaria, tronco 26 alla progressiva 140,00 in cui il rilevato stradale presenta una altezza media di circa 6.80 m con la seguente successione stratigrafica:

- bonifica da 0÷2.10 m dal p.c.
- marne calcarenitiche argillose (MCA) da 2.10÷4.80 m dal p.c.
- sabbie (S) da 4.80÷15.45 m dal p.c.
- marne calcarenitiche argillose (MCA) ≥ 15.45 m dal p.c.

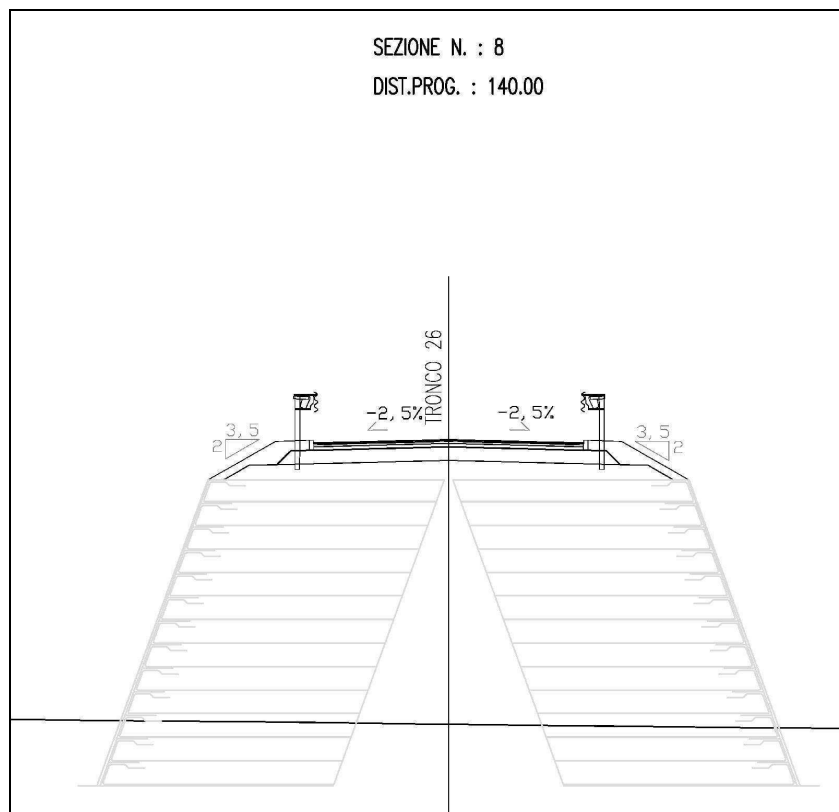



Figura 11: Sezione stradale n. 8 – cavalcavia 4

Allo scopo di creare uno strato drenato di separazione tra il rilevato e il terreno di base, è prevista una bonifica sotto l'inizio dei moduli in terra rinforzata con materiale drenante, granulare ed arido.


 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--	--	--

Non essendo presente la falda, si effettuano le verifiche in condizioni drenate. Per tale ragione si avranno solamente cedimenti di tipo immediato.

I cedimenti che si generano a costruzione del rilevato ultimata, presentano un cedimento immediato di circa 7.17 cm.

Pertanto gli abbassamenti indotti dal rilevato stradale non compromettono la funzionalità dell'infrastruttura.

I dettagli del calcolo sono riportati nell'Allegato 3.

 Provincia Regionale di Ragusa	<p>POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione tecnica e di calcolo terre rinforzate</p>	<p>SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.</p>
--	---	---

ALLEGATI

ALLEGATO 1

MacStARS W – Rel. 3.0

Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls
Officine Maccaferri S.p.A. - Via Kennedy 10 - 40069 Zola Predosa (Bologna)
Tel. 051.6436000 - Fax 051.236507

Progetto____: PROVINCIA DI RAGUSA

Sezione____: Cavalcavia 1

Località____:

Pratica____:

File_____: blocco singolo sx_stab.mac

Data_____: 26/07/2010

Verifiche condotte in accordo alla normativa : Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14/01/2008
Verifiche nei confronti dello SLU

SOMMARIO

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI	2
PROFILI STRATIGRAFICI	2
BLOCCHI RINFORZATI	3
Blocco : DB_TMESH	3
CARICHI.....	3
PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI	3
VERIFICHE.....	5
Verifica di stabilità globale :	5
Verifica di stabilità interna :	6
Verifica come muro di sostegno COMBINAZIONE A2+M2+R2 + SISMA:	6
Verifica come muro di sostegno COMBINAZIONE EQU:	7

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Terreno : MCA

Descrizione : Marne calcarenitiche argillose

Classe coesione.....: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione.....[kN/m²].....: 40.00
Classe d'attrito.....: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito.....[°].....: 20.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00
Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda.....[kN/m³].....: 18.50
Peso specifico in falda.....[kN/m³].....: 18.50

Modulo elastico.....[kN/m²].....: 30000.00
Coefficiente di Poisson.....: 0.35

Terreno : RS

Descrizione : Rilevato Stradale

Classe coesione.....: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione.....[kN/m²].....: 0.00
Classe d'attrito.....: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito.....[°].....: 36.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00
Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda.....[kN/m³].....: 19.00
Peso specifico in falda.....[kN/m³].....: 19.00

Modulo elastico.....[kN/m²].....: 30000.00
Coefficiente di Poisson.....: 0.30

Terreno : S

Descrizione : Sabbia

Classe coesione.....: Coeff. Parziale - Coesione efficace
Coesione.....[kN/m²].....: 10.00
Classe d'attrito.....: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
Angolo d'attrito.....[°].....: 32.00
Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00
Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
Peso specifico sopra falda.....[kN/m³].....: 18.50
Peso specifico in falda.....[kN/m³].....: 18.50

Modulo elastico.....[kN/m²].....: 25000.00
Coefficiente di Poisson.....: 0.30

PROFILI STRATIGRAFICI

Strato: MCA

Descrizione: Marna calcarenitica argillosa

Terreno : MCA

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0.00	13.20	40.00	12.82				

Strato: RS

Descrizione:

Terreno : RS

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0.00	17.00	11.27	17.00	13.75	23.81	16.50	24.76
23.50	24.76	26.25	23.81	28.81	16.77	40.00	16.72

Strato: S

Descrizione: Sabbia

Terreno : S

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0.00	15.20	40.00	14.82				

BLOCCHI RINFORZATI**Blocco : DB_TMESH**

Dati principali.....[m].....: Larghezza.....= 6.00 Altezza.....= 8.54
 Coordinate Origine.....[m].....: Ascissa.....= 10.64 Ordinata.....= 15.27
 Inclinazione paramento.....[°].....: 20.00

Rilevato strutturale - materiale tipo.....: Ghiaia
 Rilevato strutturale.....: RS
 Terreno di riempimento a tergo.....: RS
 Terreno di copertura.....: RS
 Terreno di fondazione.....: RS

Rinforzi :

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 8/2.7P - 0.61

Lunghezza.....[m].....= 6.00

Interasse.....[m].....= 0.61

Risvolto.....[m].....= 0.65

CARICHI**Pressione : QS**

Descrizione : Carico stradale

Classe : Variabile - sfavorevole

Intensità.....[kN/m²]..= 20.00 Inclinazione.....[°]...= 0.00

Ascissa.....[m] : Da = 16.50 To = 23.50

Sisma :

Classe : Sisma

Accelerazione.....[m/s²]...: Orizzontale.....= 0.69 Verticale.....= 0.35

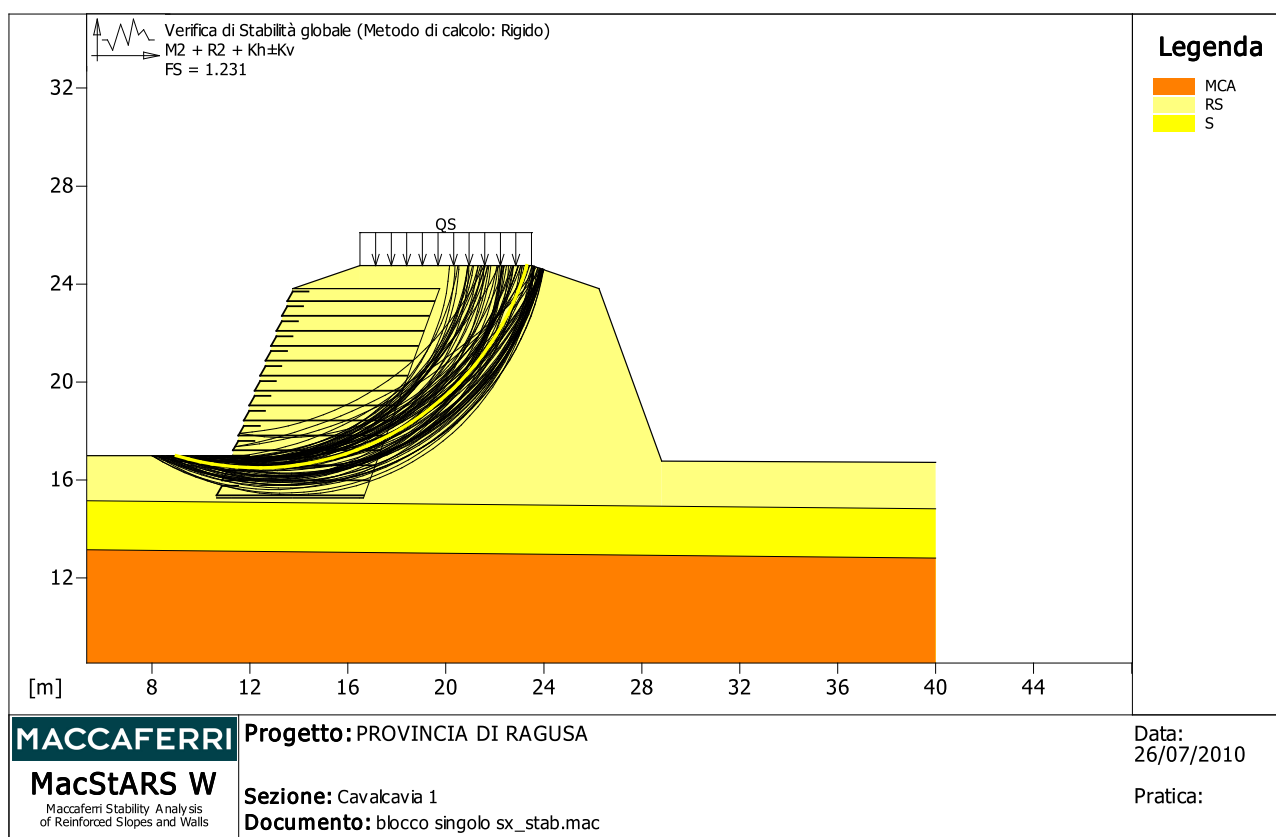
PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 8/2.7P - 0.61

Carico di rottura Nominale.....[kN/m].....:	50.11
Rapporto di Scorrimento plastico.....:	2.00
Coefficiente di Scorrimento elastico.....[m³/kN].....:	1.10e-04
Rigidezza estensionale.....[kN/m].....:	500.00
Lunghezza minima di ancoraggio.....[m].....:	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia).....:	1.44
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia).....:	1.30
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo).....:	1.30
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....:	1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla).....:	1.30
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....:	1.00

Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo	:	0.30
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia.....	:	0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia.....	:	0.65
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo.....	:	0.50
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla.....	:	0.30

VERIFICHE



Verifica di stabilità globale :

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.231

Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di partenza, ascisse [m]		Segmento di arrivo, ascisse [m]	
Primo punto	Secondo punto	Primo punto	Secondo punto
14.00	24.00	8.00	12.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:		21	
Numero totale superfici di prova.....:		210	
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....:		0.50	
Angolo limite orario..... [°].....:		0.00	
Angolo limite antiorario..... [°].....:		0.00	

Blocco : DB_TMESH

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 8/2.7P - 0.61

Rapporto forza/resistenza nei rinforzi

Y [m]	Fmax
1.83	0.694

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.25	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.25	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.40	Coeff. Parziale - Resistenza non drenata

1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.10	Coeff. Parziale R - Stabilità

Verifica di stabilità interna :

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 3.776

Blocco DB_TMESH	Intervallo di ricerca delle superfici Segmento di arrivo, ascisse [m]	
	Primo punto 12.00	Secondo punto 16.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:	1	
Numero totale superfici di prova.....:	100	
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....:	0.50	
Angolo limite orario..... [°].....:	0.00	
Angolo limite antiorario..... [°].....:	0.00	

Blocco : DB_TMESH
Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 8/2.7P - 0.61
Rapporto forza/resistenza nei rinforzi

Y [m]	Fmax
0.61	0.694
1.22	0.694
1.83	0.694
2.44	0.694
3.05	0.694
3.66	0.694
4.27	0.694
4.88	0.694
5.49	0.694
6.10	0.694
6.71	0.694
7.32	0.694
7.93	0.694

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.25	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.25	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.40	Coeff. Parziale - Resistenza non drenata
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.10	Coeff. Parziale R - Stabilità

Verifica come muro di sostegno COMBINAZIONE A2+M2+R2 + SISMA:

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : DB_TMESH

Forza Stabilizzante.....[kN/m].....: 636.45

Forza Instabilizzante.....[kN/m].....: 283.10

Classe scorrimento.....: Coeff. parziale R - Scorrimento

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento.....: 2.248

Pressione Ammissibile.....[kN/m²] : 659.75
Pressione massima agente.....[kN/m²] : 188.50
Classe pressione.....: Coeff. parziale R - Capacità portante
Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante.....: 3.500

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.25	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.25	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.40	Coeff. Parziale - Resistenza non drenata
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.00	Coeff. parziale R - Scorrimento
1.00	Coeff. parziale R - Capacità portante

Verifica come muro di sostegno COMBINAZIONE EQU:

Combinazione di carico : EQU + M2 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : DB_TMESH

Momento Stabilizzante.....[kN*m/m] : 5484.80

Momento Instabilizzante.....[kN*m/m] : 1519.80

Classe momento.....: Coeff. parziale R - Ribaltamento

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento.....: 3.609

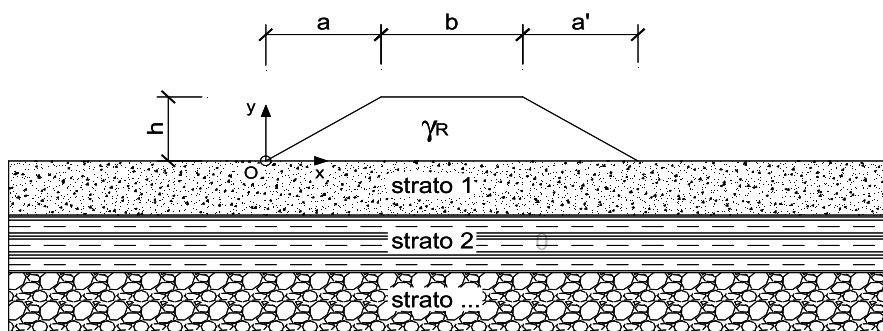
Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.25	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.25	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.40	Coeff. Parziale - Resistenza non drenata
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.00	Coeff. parziale R - Ribaltamento

CALCOLO DEI CEDIMENTI DEL RILEVATO STRADALE

OPERA: PROVINCIA DI RAGUSA
OGGETTO: RILEVATO STRADALE SEZ. cavalcavia 1

1. Caratteristiche geometriche del rilevato stradale

Altezza del rilevato:	$h =$	7.06 m
Larghezza scarpata sinistra:	$a =$	2.56 m
Larghezza scarpata destra:	$a' =$	2.56 m
Larghezza coronamento del rilevato:	$b =$	12.50 m
Peso di unità di volume del rilevato:	$\gamma_r =$	20.00 kN/m ³



2. Inputi geotecnico del terreno di base del rilevato

Profondità del piano di posa dal p.c.:	$D =$	1.50 m
Profondità della falda dal piano campagna:	$z_w =$	10.50 m
Numero di strati di fondazione:	$n_s =$	6

N° Strato: 1

Denominazione:

Terra rinforzata

Tipologia stratigrafica:

Drenato

Profondità iniziale dal p.c.:

$ZI =$ 0.00 m

Profondità finale dal p.c.:

$ZF =$ 1.80 m

Spessore strato:

$\Delta z =$ 1.80 m

Peso specifico:

$\gamma =$ 18.50 kN/m³

Peso specifico saturo:

$\gamma_{sat} =$ 18.50 kN/m³

Modulo elastico:

$E =$ 25000 kN/m²

Modulo edometrico:

$E_{ed} =$ 30000 kN/m²

Rapporto di compressione:

$CR =$ 0.10000

Rapporto di ricomprensione:

$RR =$ 0.02500

Coefficiente di consolidazione primaria:

$c_v =$ 9.1E-07 m²/s

Grado di sovraconsolidazione:

$OCR =$ 1.0

Coefficiente di Poisson:

$\nu =$ 0.35

N° Strato: 2

Denominazione:		Bonifica
Tipologia stratigrafica:		Drenato
Profondità iniziale dal p.c.:	ZI =	1.80 m
Profondità finale dal p.c.:	ZF =	1.90 m
Spessore strato:	Δz =	0.10 m
Peso specifico:	γ =	18.50 kN/m ³
Peso specifico saturo:	γ_{sat} =	18.50 kN/m ³
Modulo elastico:	E =	25000 kN/m ²
Modulo edometrico:	Eed =	30000 kN/m ²
Rapporto di compressione:	CR =	0.10000
Rapporto di ricomprensione:	RR =	0.02500
Coefficiente di consolidazione primaria:	cv =	9.1E-07 m ² /s
Grado di sovraconsolidazione:	OCR =	1.0
Coefficiente di Poisson:	v =	0.35

N° Strato: 3

Denominazione:		Sabbie
Tipologia stratigrafica:		Drenato
Profondità iniziale dal p.c.:	ZI =	1.90 m
Profondità finale dal p.c.:	ZF =	3.90 m
Spessore strato:	Δz =	2.00 m
Peso specifico:	γ =	18.50 kN/m ³
Peso specifico saturo:	γ_{sat} =	18.50 kN/m ³
Modulo elastico:	E =	25500 kN/m ²
Modulo edometrico:	Eed =	35000 kN/m ²
Rapporto di compressione:	CR =	0.10000
Rapporto di ricomprensione:	RR =	0.02500
Coefficiente di consolidazione primaria:	cv =	9.1E-07 m ² /s
Grado di sovraconsolidazione:	OCR =	1.0
Coefficiente di Poisson:	v =	0.35

N° Strato: 4

Denominazione:	Marne calcarenitiche argillose
Tipologia stratigrafica:	Drenato
Profondità iniziale dal p.c.:	ZI = 3.90 m

Profondità finale dal p.c.:	ZF =	9.10 m
Spessore strato:	Δz =	5.20 m
Peso specifico:	γ =	18.50 kN/m ³
Peso specifico saturo:	γ_{sat} =	18.50 kN/m ³
Modulo elastico:	E =	30000 kN/m ²
Modulo edometrico:	Eed =	40000 kN/m ²
Rapporto di compressione:	CR =	0.10000
Rapporto di ricomprensione:	RR =	0.02500
Coefficiente di consolidazione primaria:	cv =	8.7E-07 m ² /s
Grado di sovraconsolidazione:	OCR =	3.0
Coefficiente di Poisson:	ν =	0.35

N° Strato: 5

Denominazione:	Argille	
Tipologia stratigrafica:	Non Drenato (Eed)	
Profondità iniziale dal p.c.:	ZI =	9.10 m
Profondità finale dal p.c.:	ZF =	22.10 m
Spessore strato:	Δz =	13.00 m
Peso specifico:	γ =	18.50 kN/m ³
Peso specifico saturo:	γ_{sat} =	18.50 kN/m ³
Modulo elastico:	E =	25000 kN/m ²
Modulo edometrico:	Eed =	30000 kN/m ²
Rapporto di compressione:	CR =	0.10000
Rapporto di ricomprensione:	RR =	0.02500
Coefficiente di consolidazione primaria:	cv =	8.7E-07 m ² /s
Grado di sovraconsolidazione:	OCR =	1.0
Coefficiente di Poisson:	ν =	0.35

N° Strato: 6

Denominazione:	Marne calcarenitiche argillose	
Tipologia stratigrafica:	Non Drenato (Eed)	
Profondità iniziale dal p.c.:	ZI =	22.10 m
Profondità finale dal p.c.:	ZF =	30.00 m
Spessore strato:	Δz =	7.90 m
Peso specifico:	γ =	18.50 kN/m ³
Peso specifico saturo:	γ_{sat} =	18.50 kN/m ³
Modulo elastico:	E =	30000 kN/m ²
Modulo edometrico:	Eed =	40000 kN/m ²
Rapporto di compressione:	CR =	0.10000
Rapporto di ricomprensione:	RR =	0.02500
Coefficiente di consolidazione primaria:	cv =	9.1E-07 m ² /s
Grado di sovraconsolidazione:	OCR =	3.0
Coefficiente di Poisson:	ν =	0.35

3. Stratigrafia di calcolo

N° strato	Tipo strato	ZI (m)	ZF (m)	ΔZ (m)	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E (kPa)	Eed (kPa)	CR (-)	RR (-)	cv (m ² /s)	OCR
1	Drenato	0.00	1.80	1.80	18.50	18.50	25000	30000	0.10000	0.02500	9.12E-07	1.0
2	Drenato	1.80	1.90	0.10	18.50	18.50	25000	30000	0.10000	0.02500	9.12E-07	1.0
3	Drenato	1.90	3.90	2.00	18.50	18.50	25500	35000	0.10000	0.02500	9.12E-07	1.0
4	Drenato	3.90	9.10	5.20	18.50	18.50	30000	40000	0.10000	0.02500	8.72E-07	3.0
5	Non Drenato (Eed)	9.10	22.10	13.00	18.50	18.50	25000	30000	0.10000	0.02500	8.72E-07	1.0
6	Non Drenato (Eed)	22.10	30.00	7.90	18.50	18.50	30000	40000	0.10000	0.02500	9.12E-07	3.0

Legenda:

ZI = Profondità iniziale strato dal p.c.

ZF = Profondità finale strato dal p.c.

 ΔZ = Spessore dello strato γ' = peso specifico efficace strato γ_{sat} = peso specifico strato

E = Modulo elastico

Eed = Modulo elastico non drenato

CR = Rapporto di compressione

RR = Rapporto di ricomprensione

cv = Coefficiente di consolidazione primaria

OCR = Grado di sovraconsolidazione

Rapporto $\Delta\sigma_z / \sigma'_{v0}$: $\alpha = 0.20$

Profondità di influenza del carico:

 $Z_{infl} = 22.81 \text{ m}$ (affinchè $\Delta\sigma_z < \alpha \sigma'_{v0}$)

Peso del rilevato stradale:

 $q = 120.69 \text{ kN/m}^2$ **4. Tabella di calcolo dei cedimenti**

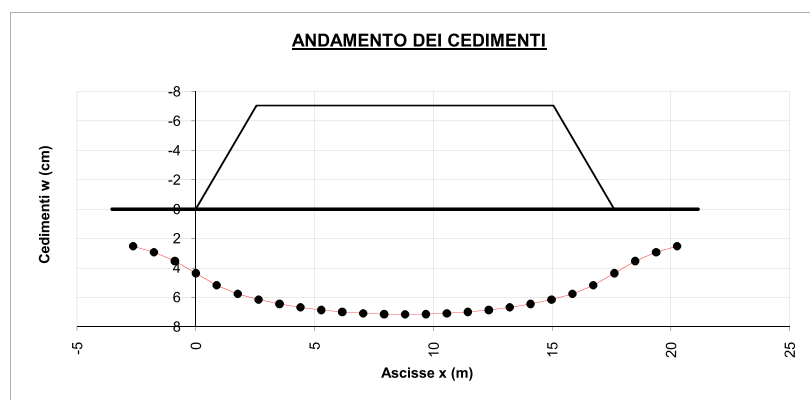
N° tratto	zfin con. dal p.p. (m)	zm con. dal p.p. (m)	n° strato	γ^* (kN/m ³)	σ'_{v0} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)	$\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_z$ (kN/m ²)	σ'_p (kN/m ²)	Drenato	Non drenato		
									Δw_{imm} (cm)	Δw_{ed} (cm)	Δw_{imm} (cm)	Δw_{tot} (cm)
1	1.14	0.57	3	18.50	38.30	120.50	158.80	38.30	0.54	-	-	-
2	2.28	1.71	3	18.50	59.40	120.12	179.52	59.40	0.54	-	-	-
3	3.42	2.85	4	18.50	80.50	118.74	199.24	241.49	0.45	-	-	-
4	4.56	3.99	4	18.50	101.60	116.59	218.19	304.79	0.44	-	-	-
5	5.70	5.13	4	18.50	122.70	113.28	235.97	368.09	0.43	-	-	-
6	6.84	6.27	4	18.50	143.80	109.30	253.10	431.39	0.42	-	-	-
7	7.98	7.41	4	18.50	164.90	104.71	269.60	494.69	0.40	-	-	-
8	9.12	8.55	5	18.50	185.99	99.86	285.85	185.99	-	0.38	0.04	0.42
9	10.26	9.69	5	8.50	195.69	95.13	290.81	195.69	-	0.36	0.04	0.40
10	11.41	10.83	5	8.50	205.38	90.43	295.81	205.38	-	0.34	0.03	0.38
11	12.55	11.98	5	8.50	215.08	85.73	300.80	215.08	-	0.33	0.03	0.36
12	13.69	13.12	5	8.50	224.77	81.03	305.80	224.77	-	0.31	0.03	0.34
13	14.83	14.26	5	8.50	234.47	77.24	311.71	234.47	-	0.29	0.03	0.32
14	15.97	15.40	5	8.50	244.16	73.54	317.70	244.16	-	0.28	0.03	0.31
15	17.11	16.54	5	8.50	253.85	69.84	323.69	253.85	-	0.27	0.03	0.29
16	18.25	17.68	5	8.50	263.55	66.21	329.76	263.55	-	0.25	0.03	0.28
17	19.39	18.82	5	8.50	273.24	63.81	337.05	273.24	-	0.24	0.02	0.27
18	20.53	19.96	5	8.50	282.94	61.41	344.34	282.94	-	0.23	0.02	0.26
19	21.67	21.10	6	8.50	292.63	59.01	351.64	292.63	-	0.17	0.02	0.17
20	22.81	22.24	6	8.50	302.33	56.61	358.93	302.33	-	0.16	0.02	0.16

Cedimento finale del terreno:

 $w_f = 7.16 \text{ cm}$ **Legenda:**

zfin = Profondità finale del tratto dal p.p.

zm = Profondità media del tratto dal p.p.

 γ^* = peso specifico effettivo del tratto σ'_{v0} = Tensione verticale efficace $\Delta\sigma_z$ = Variazione di carico σ'_p = Tensione di preconsolidamento Δw_{imm} = Cedimento immediato Δw_{ed} = Cedimento edometrico Δw_{tot} = Cedimento totale w_f = Cedimento finale del terreno di base del rilevato

5. Cedimenti di consolidazione

Tempo di riferimento =

t = 18.0 mesi
4.67E+07 sec

N° strato	Tipo strato	w _c (cm)	w _{imm} (cm)	w _{tot} (cm)	Drenaggio (1; 2)	Tv	Um	w(t) (cm)	w _{res} (cm)
3	Drenato	0.00	0.54	0.54	2	-	-	-	-
3	Drenato	0.00	0.54	0.54	2	-	-	-	-
4	Drenato	0.00	0.45	0.45	2	-	-	-	-
4	Drenato	0.00	0.44	0.44	2	-	-	-	-
4	Drenato	0.00	0.43	0.43	2	-	-	-	-
4	Drenato	0.00	0.42	0.42	2	-	-	-	-
4	Drenato	0.00	0.40	0.40	2	-	-	-	-
5	Non Drenato (Eed)	0.38	0.04	0.42	2	0.96	0.92	0.35	0.03
5	Non Drenato (Eed)	0.36	0.04	0.40	2	0.96	0.92	0.33	0.03
5	Non Drenato (Eed)	0.34	0.03	0.38	2	0.96	0.92	0.32	0.03
5	Non Drenato (Eed)	0.33	0.03	0.36	2	0.96	0.92	0.30	0.03
5	Non Drenato (Eed)	0.31	0.03	0.34	2	0.96	0.92	0.28	0.02
5	Non Drenato (Eed)	0.29	0.03	0.32	2	0.96	0.92	0.27	0.02
5	Non Drenato (Eed)	0.28	0.03	0.31	2	0.96	0.92	0.26	0.02
5	Non Drenato (Eed)	0.27	0.03	0.29	2	0.96	0.92	0.24	0.02
5	Non Drenato (Eed)	0.25	0.03	0.28	2	0.96	0.92	0.23	0.02
5	Non Drenato (Eed)	0.24	0.02	0.27	2	0.96	0.92	0.22	0.02
5	Non Drenato (Eed)	0.23	0.02	0.26	2	0.96	0.92	0.22	0.02
6	Non Drenato (Eed)	0.15	0.02	0.17	1	0.68	0.85	0.13	0.02
6	Non Drenato (Eed)	0.15	0.02	0.16	1	0.68	0.85	0.12	0.02
Somma =		3.58	3.58	7.16				3.28	0.30

Legenda:

Tv = Fattore di tempo adimensionalizzato

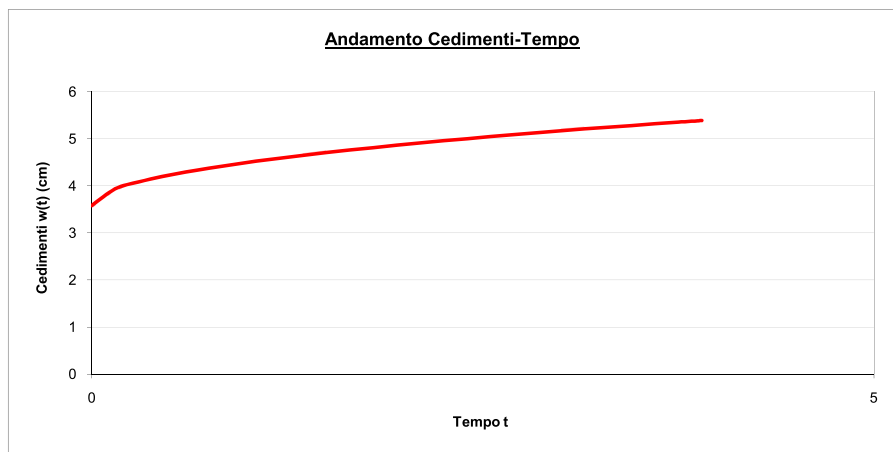
Um = Grado di consolidazione medio (formula di Sivaram e Swamee, 1977)

w_c = Cedimento di consolidazione

w(t) = Cedimento dello strato al tempo t

w_{res} = Cedimento residuo dello strato al tempo t

Drenaggio = Percorso di drenaggio (singolo o doppio lato drenante)

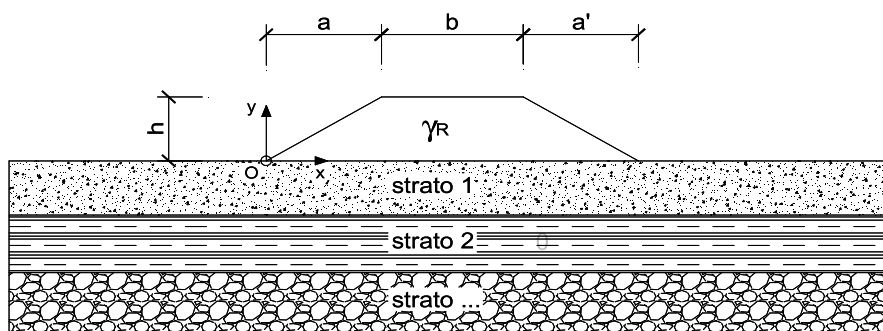


CALCOLO DEI CEDIMENTI DEL RILEVATO STRADALE

OPERA: PROVINCIA DI RAGUSA
OGGETTO: RILEVATO STRADALE TR CAVALCAVIA 4

1. Caratteristiche geometriche del rilevato stradale

Altezza del rilevato:	$h =$	6.60 m
Larghezza scarpata sinistra:	$a =$	2.40 m
Larghezza scarpata destra:	$a' =$	2.40 m
Larghezza coronamento del rilevato:	$b =$	12.50 m
Peso di unità di volume del rilevato:	$\gamma_r =$	19.00 kN/m ³



2. Inputi geotecnico del terreno di base del rilevato

Profondità del piano di posa dal p.c.:	$D =$	1.50 m
Profondità della falda dal piano campagna:	$z_w =$	20.00 m
Numero di strati di fondazione:	$n_s =$	5

N° Strato: 1

Denominazione:

Terra rinforzata

Tipologia stratigrafica:

Drenato

Profondità iniziale dal p.c.:

$ZI =$ 0.00 m

Profondità finale dal p.c.:

$ZF =$ 1.50 m

Spessore strato:

$\Delta z =$ 1.50 m

Peso specifico:

$\gamma =$ 18.50 kN/m³

Peso specifico saturo:

$\gamma_{sat} =$ 18.50 kN/m³

Modulo elastico:

$E =$ 25500 kN/m²

Modulo edometrico:

$E_{ed} =$ 35000 kN/m²

Rapporto di compressione:

$CR =$ 0.10000

Rapporto di ricomprensione:

$RR =$ 0.02500

Coefficiente di consolidazione primaria:

$c_v =$ 9.1E-07 m²/s

Grado di sovraconsolidazione:

$OCR =$ 1.0

Coefficiente di Poisson:

$\nu =$ 0.35

N° Strato: 2

Denominazione:	Bonifica
Tipologia stratigrafica:	Drenato
Profondità iniziale dal p.c.:	ZI = 1.50 m
Profondità finale dal p.c.:	ZF = 2.10 m
Spessore strato:	Δz = 0.60 m
Peso specifico:	γ = 18.50 kN/m ³
Peso specifico saturo:	γ_{sat} = 18.50 kN/m ³
Modulo elastico:	E = 25500 kN/m ²
Modulo edometrico:	Eed = 35000 kN/m ²
Rapporto di compressione:	CR = 0.10000
Rapporto di ricomprensione:	RR = 0.02500
Coefficiente di consolidazione primaria:	cv = 9.1E-07 m ² /s
Grado di sovraconsolidazione:	OCR = 1.0
Coefficiente di Poisson:	ν = 0.35

N° Strato: 3

Denominazione:	Marne calcarenitiche argillose
Tipologia stratigrafica:	Drenato
Profondità iniziale dal p.c.:	ZI = 2.10 m
Profondità finale dal p.c.:	ZF = 4.80 m
Spessore strato:	Δz = 2.70 m
Peso specifico:	γ = 18.50 kN/m ³
Peso specifico saturo:	γ_{sat} = 18.50 kN/m ³
Modulo elastico:	E = 30000 kN/m ²
Modulo edometrico:	Eed = 40000 kN/m ²
Rapporto di compressione:	CR = 0.10000
Rapporto di ricomprensione:	RR = 0.02500
Coefficiente di consolidazione primaria:	cv = 8.7E-07 m ² /s
Grado di sovraconsolidazione:	OCR = 3.0
Coefficiente di Poisson:	ν = 0.35

N° Strato: 4

Denominazione:	Sabbie
Tipologia stratigrafica:	Drenato
Profondità iniziale dal p.c.:	ZI = 4.80 m
Profondità finale dal p.c.:	ZF = 15.45 m
Spessore strato:	Δz = 10.65 m
Peso specifico:	γ = 18.50 kN/m ³
Peso specifico saturo:	γ_{sat} = 18.50 kN/m ³
Modulo elastico:	E = 25500 kN/m ²
Modulo edometrico:	Eed = 35000 kN/m ²
Rapporto di compressione:	CR = 0.10000
Rapporto di ricomprensione:	RR = 0.02500
Coefficiente di consolidazione primaria:	cv = 9.1E-07 m ² /s
Grado di sovraconsolidazione:	OCR = 1.0
Coefficiente di Poisson:	ν = 0.35

N° Strato: 5

Denominazione:

Marne calcarenitiche argillose

Tipologia stratigrafica:

Drenato

Profondità iniziale dal p.c.:

ZI = 15.45 m

Profondità finale dal p.c.:

ZF = **30.00** m

Spessore strato:

Δz = 14.55 m

Peso specifico:

γ = **18.50** kN/m³

Peso specifico saturo:

γ_{sat} = **18.50** kN/m³

Modulo elastico:

E = **30000** kN/m²

Modulo edometrico:

Eed = **40000** kN/m²

Rapporto di compressione:

CR = **0.10000**

Rapporto di ricomprensione:

RR = **0.02500**

Coefficiente di consolidazione primaria:

c_v = **8.7E-07** m²/s

Grado di sovraconsolidazione:

OCR = **3.0**

Coefficiente di Poisson:

ν = **0.35**

3. Stratigrafia di calcolo

N° strato	Tipo strato	ZI (m)	ZF (m)	ΔZ (m)	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E (kPa)	E _{ed} (kPa)	CR (-)	RR (-)	cv (m ² /s)	OCR
1	Drenato	0.00	1.50	1.50	18.50	18.50	25500	35000	0.10000	0.02500	9.12E-07	1.0
2	Drenato	1.50	2.10	0.60	18.50	18.50	25500	35000	0.10000	0.02500	9.12E-07	1.0
3	Drenato	2.10	4.80	2.70	18.50	18.50	30000	40000	0.10000	0.02500	8.72E-07	3.0
4	Drenato	4.80	15.45	10.65	18.50	18.50	25500	35000	0.10000	0.02500	9.12E-07	1.0
5	Drenato	15.45	30.00	14.55	18.50	18.50	30000	40000	0.10000	0.02500	8.72E-07	3.0

Legenda:

ZI = Profondità iniziale strato dal p.c.

ZF = Profondità finale strato dal p.c.

 ΔZ = Spessore dello strato γ' = peso specifico efficace strato γ_{sat} = peso specifico strato

E = Modulo elastico

E_{ed} = Modulo elastico non drenato

CR = Rapporto di compressione

RR = Rapporto di ricomprensione

cv = Coefficiente di consolidazione primaria

OCR = Grado di sovraconsolidazione

Rapporto $\Delta\sigma_z / \sigma'_{v0}$:

Profondità di influenza del carico:

Peso del rilevato stradale:

 $\alpha = 0.10$ $Z_{infl} = 26.65$ m (affinchè $\Delta\sigma_z < \alpha \sigma'_{v0}$)q = 108.00 kN/m²**4. Tabella di calcolo dei cedimenti**

N° tratto	zfin con. dal p.p. (m)	zm con. dal p.p. (m)	n° strato	γ^* (kN/m ³)	σ'_{v0} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)	$\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_z$ (kN/m ²)	σ'_p (kN/m ²)	Drenato	Non drenato		
									Δw_{imm} (cm)	Δw_{ed} (cm)	Δw_{imm} (cm)	Δw_{tot} (cm)
1	1.33	0.67	3	18.50	40.08	107.80	147.88	120.23	0.48	-	-	-
2	2.67	2.00	3	18.50	64.73	107.40	172.13	194.18	0.48	-	-	-
3	4.00	3.33	4	18.50	89.38	105.35	194.73	89.38	0.55	-	-	-
4	5.33	4.66	4	18.50	114.03	102.56	216.59	114.03	0.54	-	-	-
5	6.66	6.00	4	18.50	138.68	98.33	237.01	138.68	0.51	-	-	-
6	8.00	7.33	4	18.50	163.33	93.51	256.84	163.33	0.49	-	-	-
7	9.33	8.66	4	18.50	187.98	88.35	276.33	187.98	0.46	-	-	-
8	10.66	9.99	4	18.50	212.63	83.34	295.98	212.63	0.44	-	-	-
9	11.99	11.33	4	18.50	237.29	78.34	315.62	237.29	0.41	-	-	-
10	13.33	12.66	4	18.50	261.94	73.33	335.27	261.94	0.38	-	-	-
11	14.66	13.99	5	18.50	286.59	69.14	355.73	859.76	0.31	-	-	-
12	15.99	15.32	5	18.50	311.24	65.20	376.44	933.72	0.29	-	-	-
13	17.32	16.66	5	18.50	335.89	61.26	397.15	1007.67	0.27	-	-	-
14	18.66	17.99	5	18.50	360.54	58.04	418.58	1081.63	0.26	-	-	-
15	19.99	19.32	5	8.50	371.87	55.48	427.35	1115.60	0.25	-	-	-
16	21.32	20.65	5	8.50	383.19	52.93	436.12	1149.58	0.24	-	-	-
17	22.65	21.99	5	8.50	394.52	50.37	444.89	1183.56	0.22	-	-	-
18	23.99	23.32	5	8.50	405.85	47.82	453.66	1217.54	0.21	-	-	-
19	25.32	24.65	5	8.50	417.17	45.26	462.43	1251.52	0.20	-	-	-
20	26.65	25.98	5	8.50	428.50	42.73	471.23	1285.50	0.19	-	-	-

Cedimento finale del terreno:

 $w_f = 7.17$ cmLegenda:

zfin = Profondità finale del tratto dal p.p.

zm = Profondità media del tratto dal p.p.

 γ^* = peso specifico effettivo del tratto σ'_{v0} = Tensione verticale efficace $\Delta\sigma_z$ = Variazione di carico σ'_p = Tensione di preconsolidamento Δw_{imm} = Cedimento immediato Δw_{ed} = Cedimento edometrico Δw_{tot} = Cedimento totale w_f = Cedimento finale del terreno di base del rilevato