

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO ESECUTIVO

Rampa Sud Cavalcavia Km 45+750

Tratto 0

Relazione geologica, geotecnica

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI	
Consorzio Cociv Ing. N. Meistro		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 4	E	C V	R O	I R 1 Q 0 0	0 0 3	A

Progettazione:

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima Emissione	M. Rinaldi 	15/05/2014	A. Nastasi 	15/05/2014	A. Palomba 	15/05/2014	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
A01	Aggiornamento Cartiglio	M. Rinaldi 	25/11/2015	A. Nastasi 	25/11/2015	A. Mancarella 	25/11/2015	
A02	Revisione per cambio lotto	M. Rinaldi 	22/03/2017	A. Nastasi 	22/03/2017	A. Mancarella 	22/03/2017	

n. Elab.:

File: IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02.DOCX

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica
	Foglio 3 di 51

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	4
2	PROFILO STRATIGRAFICO E STRATIGRAFIA DI PROGETTO	5
2.1	Inquadramento geologico.....	5
2.2	Indagini in sito considerate.....	7
2.3	Stratigrafia.....	7
2.4	Parametrizzazione geotecnica	8
2.5	Caratteristiche materiali geotecnici utilizzati nel calcolo geotecnico	9
3	IDROGEOLOGIA E LIVELLI DI FALDA.....	11
4	PERICOLOSITÀ SISMICA.....	12
5	MATERIALI E MODALITA' DI POSA IN OPERA DEL RILEVATO	13
6	VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE	15
6.1	PREMESSA	15
6.2	VERIFICHE DI STABILITÀ	15
6.3	Procedure e metodo di calcolo utilizzato.....	17
6.4	Ricerca delle superfici di scorrimento	20
6.5	Risultati dell'analisi.....	21
7	CARICO LIMITE	44
7.1	Azioni di calcolo sul terreno di fondazione	44
7.2	Verifiche di portanza rilevato alla pk 45+750	44
8	CALCOLO DEI CEDIMENTI	48
8.1	Criteri di calcolo del cedimento immediato.....	48
8.2	Cedimenti del rilevato alla pk45+750	49

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica	Foglio 4 di 51

1 INTRODUZIONE

La presente relazione ha per oggetto le verifiche geotecniche relative alla **WBS IR1Q che si sviluppa alla p.k. 45+750 della tratta A.V./A.C. Milano-Genova – Terzo Valico dei Giovi – IV16.**

Il presente documento riporta, inoltre, la sintesi degli studi ed indagini condotte nell'area di interesse caratterizzata da una certa uniformità nelle formazioni interessate dagli scavi.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica
	Foglio 5 di 51

2 PROFILO STRATIGRAFICO E STRATIGRAFIA DI PROGETTO

2.1 Inquadramento geologico

L'opera oggetto del presente rapporto è situata in un settore di pianura, caratterizzato dalla successione di depositi alluvionali del Bacino di Alessandria (Pleistocene inf- Olocene) che poggiano in discontinuità sulla successione sedimentaria post-messiniana, rappresentata in questo settore dalla Formazione delle argille Azzurre (Zancleano), dalle Sabbie d'Asti I.s. e dal Villafranchiano".

Dal punto di vista geologico l'area d'intervento ricade interamente nell'ambito dei depositi alluvionali del bacino alessandrino ed in particolare nell'unità dei depositi alluvionali recenti (fl3). I depositi alluvionali recenti sono posizionati in aree prossime all'alveo del T. Scrivia e sono delimitati a est dallo stesso corso d'acqua e a ovest dall'orlo di terrazzo di Novi Ligure - Formigaro ad orientazione Nord Ovest-Sud Est. Terrazzo alla cui base doveva posizionarsi un paleo-alveo dello Scrivia che dalla zona di Serravalle raggiungeva e attraversava l'attuale centro di Pozzolo e da qui proseguiva verso Ovest secondo un tracciato corrispondente all'attuale Rio di Castel Gazzo. Lo spostamento successivo dell'alveo a Est di Pozzolo e poi ancora verso Est sino al raggiungimento della posizione attuale ha conformato questo tratto di pianura che viene attribuito al fluviale recente. Fluviale recente che si eleva, rispetto all'alveo attuale dello Scrivia, di 20 m nel tratto di monte (zona di Serravalle-Novì) e di 5 metri nel tratto di valle (tra Rivalta Scrivia e Tortona).

Il fluviale recente (fl3) comprende terreni a granulometria grossolana con ghiaie nettamente prevalenti (70-80%) sulle sabbie (10-20%) e sulle parti più fini (limo+argilla) 10-20%.

La litofacies è distribuita su gran parte dell'area di pianura interessata dal tracciato del III Valico. Nel tratto meridionale, a ridosso dell'imbocco nord della Galleria di Serravalle, si evidenziano modesti spessori (circa 4 m) di ghiaie sabbioso-limose che ricoprono la formazione delle Argille Azzurre. Verso nord, in corrispondenza della progressiva 37+500 ca., si osserva un rapido incremento dello spessore dei sedimenti, che passa da 3-4 m a oltre 30 m; tale spessore aumenta ulteriormente verso nord. Le informazioni circa l'andamento delle unità nel sottosuolo sono state derivate dai sondaggi SI11, SI12, XA301R087, XA301R088, XA301R089, XA301R090, XA301R091, XA301R092, XA301R093, XA301R094, XA301R095, XA301R096, XA301R097, XA301R099, XA301R099, XA301R100, XA301R102, XA301R103, XA301R104, XA301R105, XA301R106.

Le unità litologiche che caratterizzano l'area d'intervento sono costituite dall'alto verso il basso da:

- materiali di riporto con spessore da 0.5 a 4 m, posti in corrispondenza dell'opera in progetto (ove è attualmente presente il rilevato della carreggiata autostradale). Vicino al rilevato è invece presente, come strato superficiale, terreno vegetale costituito da argilla con limo sabbioso di spessore variabile tra 0,5 e 2 m circa (questo livello non è comunque interessato dall'opera).
- depositi alluvionali del Fluviale Recente (fl3), costituiti da ghiaie con diametro medio-grosso poco addensate, sabbioso-siltose e locali lenti di limi argilloso-argillosi di colore ocreo. Lo spessore minimo misurato nei sondaggi, nel settore d'interesse, è variabile da 3 metri a 13 metri.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica

- depositi alluvionali del Fluviale Recente (fl3), costituiti da ghiaie poligeniche da addensate a molto addensate, con abbondante matrice sabbioso-siltosa-argillosa; lo spessore di tali depositi non è noto, anche se comunque è ubicato ad una profondità che i sondaggi realizzati in questo settore indicano essere maggiore del piano di posa dei pali di grosso diametro.

Dal punto di vista idrogeologico, il settore in cui ricade l'opera è caratterizzato dalla presenza di un acquifero superficiale a falda libera costituito da depositi alluvionali di pianura. Il substrato impermeabile o molto poco permeabile è invece costituito dalle Argille di Lugagnano; il limite con il substrato non è noto anche se i sondaggi indicano che esso si trovi a profondità maggiori di 40 m. L'orizzonte superiore dei depositi fluviali risulta essere maggiormente permeabile rispetto all'orizzonte inferiore.

Un'indicazione sui valori di permeabilità dell'orizzonte superiore dei depositi fl3 deriva dalle prove idrauliche eseguite per il Progetto Definitivo sui pozzi esplorativi eseguiti tra Pozzolo Formigaro e Tortona. Tali prove sono state effettuate in trincee scavate fino ad una profondità di 1.5 m da pc. Le prove realizzate indicano una permeabilità compresa tra 2×10^{-4} m/s e 8×10^{-4} m/s.

Per quanto riguarda il livello inferiore dei depositi fl3, le prove Lefranc eseguite nell'ambito del Progetto Definitivo definiscono un intervallo piuttosto ampio di valori, compresi tra 1×10^{-6} e 1×10^{-3} m/s. Le prove effettuate nel sondaggio SI11, prossimo alla WBS GA1N, hanno fornito le seguenti permeabilità:

- da 7.80 a 9.00 m da pc: 5.41×10^{-6} m/s;
- da 16.5 a 18.5 m da pc: 2.87×10^{-8} m/s;
- da 25.5 a 27.0 m da pc: 1.91×10^{-8} m/s.

In questo settore la direzione media di deflusso di falda è da S a N e il gradiente idraulico medio di è basso, dell'ordine di 5×10^{-3} . Un'indicazione sul livello di falda di riferimento e sull'entità delle oscillazioni piezometriche è possibile derivarla dai piezometri XA301C087 e XA301R077. Dai dati di monitoraggio piezometrico a disposizione è possibile definire i seguenti livelli di soggiacenza minima (i.e. falda di progetto) e massima da piano campagna:

- minima soggiacenza 4.5-9.4 m
- massima soggiacenza 10.45-14.80 m

Va rimarcato che il monitoraggio piezometrico ha interessato un periodo di tempo di pochi anni (da Marzo 2002 ad Agosto 2004) e pertanto non sia un riferimento sufficientemente rappresentativo della casistica delle possibili oscillazioni massime e minime del livello di falda. Comunque, sulla base dei dati a disposizione si ritiene che il discostamento non possa essere significativamente maggiore rispetto ai valori riportati in profilo (dell'ordine del $\pm 10\%$). In ogni caso la relazione geologica riporta come è possibile escludere che vi sia un'interferenza diretta con la falda acquifera e gli scavi per la realizzazione dell'opera in esame.

In conclusione non si ravvisa alcuna particolare criticità legata a possibili impatti connessi alla realizzazione dell'opera con le risorse idriche presenti nel settore.

2.2 Indagini in sito considerate

Nella zona in oggetto, sono stati eseguiti una serie di sondaggi geotecnici a carotaggio continuo. La denominazione dei sondaggi di cui sopra, nonché le rispettive profondità raggiunte, sono riportate nella tabella seguente.

Sondaggi a carotaggio		
Denominazione	Quota assoluta (m s.l.m.m.)	Lunghezza (m)
XA301R088	149.785	30
XA301R089	146.602	30
XA301R090	142.730	30
XA301R091	140.408	30
XA301R092	135.889	30

Tabella 1. Sondaggi nell'area d'interesse.

Nell'area è stata effettuata una campagna integrativa (2005) allo scopo di completare le informazioni geotecniche con un maggiore grado di dettaglio.

Sondaggio	Pk	Quota assoluta (m s.l.m.m.)	Lunghezza (m)
SI11	44+100	151.453	30
SI12	46+850	137.463	30

Tabella 2. Sondaggi campagna integrativa nell'area di realizzazione dell'opera.

La campagna ha visto la realizzazione di una serie di sondaggi geognostici, prove in sito in corrispondenza degli stessi (SPT e prove Lefranc, principalmente) ed il prelievo di campioni per prove di laboratorio.

2.3 Stratigrafia

Sulla base dei dati disponibili, la situazione stratigrafica del sito può essere così schematizzata:

A partire dal piano campagna locale e fino a profondità di circa 2/2.5 m si può incontrare uno strato superficiale di terreno di riporto/agricolo costituito da limo sabbioso marrone scuro, localmente inglobante clasti arrotondati (Formazione LS).

Al di sotto della Formazione LS e fino alle massime profondità indagate è presente un deposito di origine alluvionale postglaciale (Olocene) fl3 costituito da ghiaia medio grossa in matrice variabile da sabbiosa in superficie ad argillosa in profondità. In dettaglio la stratigrafia di tale deposito alluvionale può essere schematizzata nel modo seguente:

Al di sotto della Formazione LS e fino a profondità variabili fra i 8.5 - 14.5 m dal p.c. sono presenti ghiaie medio grosse grigiastre in matrice sabbiosa debolmente limosa (Formazione GS).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica

Foglio
8 di 51

Al di sotto della Formazione GS e fino a profondità variabili fra i 12.0 - 19.5 m dal p.c. sono presenti ghiaie medio grosse in matrice limosa debolmente argillosa (con la matrice argillosa crescente con la profondità) di colore marrone (Formazione GA).

Al di sotto della Formazione GA sono presenti ghiaie medio grosse in matrice sabbiosa e argillosa di colore marrone rossiccio, avente caratteristiche meccaniche superiori rispetto al deposito sovrastante (Formazione GS/GA). Tale strato risulta notevolmente più rigido rispetto agli strati sovrastanti.

Alla pk 48+542 è stata rilevata una lente dello spessore di 2 m circa, dalla profondità di 29 m dal p.c. a 31 m dal p.c. di limi argillosi e argille limose (L-LA/A e A/L). Allo stesso modo, dalla pk 51+546 a 52+521 sono presenti al di sotto della Formazione GA limi argillosi e argille limose dalla profondità di 19 m dal p.c a 59 m circa dal p.c.

Alla pk 52+294 è stata rilevata una lente di spessore di 1 m circa alla profondità di 37.3 m dal p.c di sabbie poco addensate.

2.4 Parametrizzazione geotecnica

Di seguito si forniscono i parametri di base per i materiali geotecnici nell'area in esame

Parametri	LS	GS	GA	GS/GA	L-LA/A A/L	S
Peso di volume γ (kN/m ³)	18	19 ÷ 20	19 ÷ 20	19 ÷ 20	21	19
Densità relativa D_r (%)	-	70 ÷ 95	40 ÷ 55	50 ÷ 75	30(3)	5(3)
Angolo di resistenza al taglio operativo ϕ' (°)	28	38 ÷ 40	34 ÷ 39	37 ÷ 42	22	29
Velocità delle onde di taglio V_s (m/s)(2)	-	180 ÷ 225 (1)	175 (1)	260 ÷ 295 (1)	-	
Modulo di taglio a piccole deformazioni G_0 per materiali granulari (MPa)	-	63.5 ÷ 100 (2)	50 ÷ 65 (2)	130 ÷ 170 (2)	50	25
Modulo di Young a piccole deformazioni E_0 per materiali granulari (MPa)	-	160 ÷ 255 (2)	135 ÷ 175 (2)	345 ÷ 440(2)	120	60

(1) Valori delle velocità delle onde di taglio ricavate dai dati SPT secondo la correlazione di Ohta e Goto.

(2) Valori crescenti con la profondità.

(3) Valori di coesione in kPa

Tabella 3. Caratteristiche di base dei materiali geotecnici

Per quanto sopra, la parametrizzazione dei terreni risulta come di seguito riportato.

2.5 Caratteristiche materiali geotecnici utilizzati nel calcolo geotecnico

Alla luce di quanto sopra la stratigrafia di progetto da utilizzarsi nelle verifiche geotecniche è riportata nella tabella seguente. Questa è stato dedotto dal profilo geotecnico-geologico lungo la tratta in esame.

Stratigrafia di calcolo	Da [m] (da p.c.)	A [m] (da p.c.)	Tipo di terreno
LS	p.c.	3.2	Limo sabbioso
GS	2	15	Ghiaia medio grossa in matrice sabbiosa
GA	15	19	Ghiaia medio grossa in matrice argillosa
GS/GA	19	In poi	Ghiaia medio grossa in matrice sabbiosa/argillosa

Tabella 4. Stratigrafia di progetto per l'area in esame

La stratigrafia di progetto che illustra i rapporti opere-terreni è stato dedotto dal profilo geotecnico-geologico lungo la tratta in esame.

Per il rilevato ferroviario vengono assunte le proprietà utilizzate tipicamente per tali tipologie di opere, dove:

$$\phi' = 35-38^\circ;$$

$$E = 15-50 \text{ MPa}$$

Pertanto con riferimento alla caratterizzazione geotecnica, si assumono i seguenti valori per il complesso geotecnico d'interesse, come di seguito riportato.

Terreno	Sigla	γ (kN/m ³)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)	G_{ur} (MPa)	G_{50} (MPa)
Rilevato	R	20	2*	35	62.5	6.25
Limo Sabbioso	LS	18	2.0*	28	-	-
Ghiaia sabbiosa	GS	20	0.0	38	63.5	6.35
Ghiaia Argillosa	GA	20	0.0	34	50	5
Ghiaia sabbiosa argillosa	GS/GL	20	0.0	37	130	13

Tabella 5. Caratteristiche di progetto dei materiali geotecnici utilizzati nel calcolo

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica
	Foglio 10 di 51

* = verrà posta solo nelle analisi di stabilità una coesione pari a 2 kPa per eliminare le superficie di scorrimento superficiali trascurabili e rendere, inoltre, le analisi più stabili dal punto di vista numerico
dove

γ = peso dell'unità di volume del terreno;

c' = coesione in termini di pressioni effettive;

ϕ' = angolo di attrito in termini di pressioni effettive;

E_{op} = modulo di deformabilità operativo in corrispondenza della curva di compressione vergine;

E_{UR} = modulo di deformabilità operativo in corrispondenza di cicli di scarico/carico (unloading/reloading).

3 IDROGEOLOGIA E LIVELLI DI FALDA

L'area in esame è stata indagata mediante una serie di prove in sito realizzate nei fori di sondaggio.

Dalle letture piezometriche si suppone che la superficie libera di falda al suo livello massimo possa essere posizionata a 8 m dal p.c.

Particolarmente numerose, le prove Lefranc hanno permesso di definire la permeabilità locale delle varie formazioni nel sottosuolo.

La figura sottostante riporta la sintesi delle indagini condotte, che hanno mostrato come la stratigrafia sia caratterizzata da una variazione delle permeabilità, ed in particolare una loro riduzione con l'aumento della profondità.

In particolare vengono a distinguersi:

- i valori di permeabilità determinati attraverso prove Lefranc (colore ciano);
- andamento livello piezometrico massimo gennaio 2003 (colore blu);
- andamento livello piezometrico minimo settembre / ottobre 2003 (colore viola).

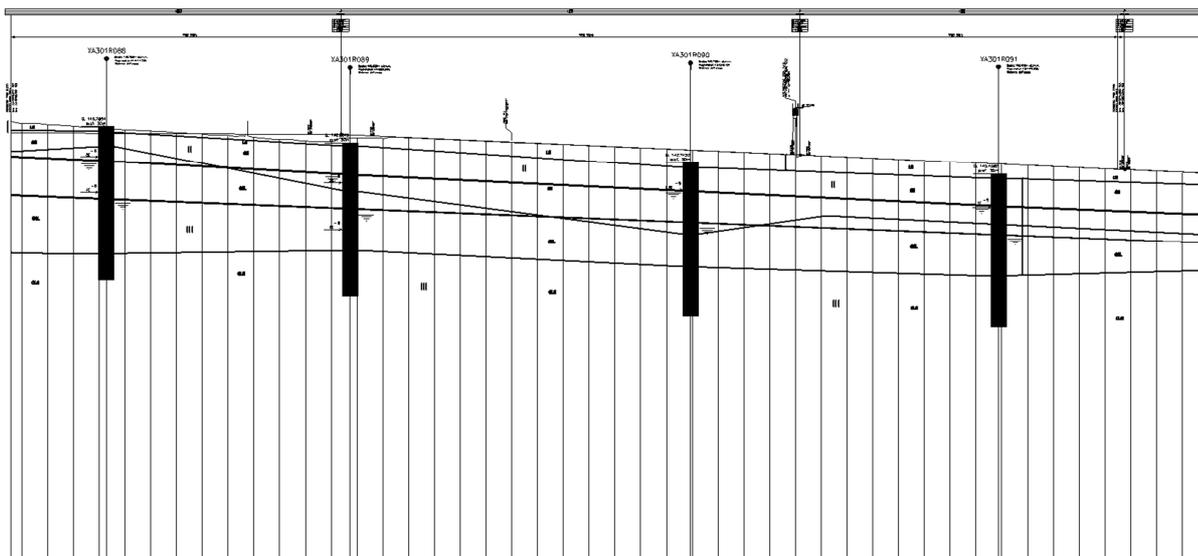


Figura 1. Caratteristiche idrogeologiche dell'area in esame

Nel dettaglio, è possibile osservare come:

- gli strati superficiali (LS, GS) sono caratterizzati da una permeabilità tipica dei materiali grossolani puliti, dell'ordine di 10^{-3} m/s. Tale valore può tuttavia essere inteso come limite superiore, determinato in corrispondenza di un'area che potrebbe essere stata oggetto di trasformazioni antropiche, in quanto la medesima formazione mostra lateralmente e a distanza non eccezionali dei valori significativamente inferiori;
- gli strati sottostanti risultano caratterizzati da una permeabilità inferiore, ad evidenziare la presenza di una componente fine costante lungo la verticale, che risulta dell'ordine di 10^{-5} m/s, ma con valori che possono lambire il valore di 10^{-3} m/s ($8.97 \cdot 10^{-4}$ m/s, per verticale di indagine SI12).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica</p>	<p>Foglio 12 di 51</p>

4 PERICOLOSITÀ SISMICA

La Carta della sismicità in Italia riporta 45.000 terremoti avvenuti tra il 1981 e il 2002 selezionati in base alla qualità della localizzazione, secondo parametri diversificati per a) terremoti crostali, b) terremoti sub-croscali o profondi (Chiarabba et al., 2005). Nell'intorno dell'area studiata la maggior parte dei sismi registrati presenta magnitudo inferiore a 4 e profondità ipocentrale compresa entro i primi 18 km, con un massimo di concentrazione intorno ai 12 km. I sismi registrati nell'area di interesse hanno quindi in generale un carattere prevalentemente superficiale.

Con riferimento alla sismicità storica dell'area, secondo le norme sismiche adottate (OPCM 3274/03), il tracciato in progetto ricade in zona 4; a vantaggio della sicurezza sono stati adottati nei calcoli strutturali e geotecnici i valori della zona 3, caratterizzati da un Coefficiente Sismico $S = 6$ ed accelerazione pari a 0,04 g.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica</p> <p style="text-align: right;">Foglio 13 di 51</p>

5 MATERIALI E MODALITA' DI POSA IN OPERA DEL RILEVATO

Nel seguito si descrivono le modalità di posa in opera dei materiali al fine di garantire i requisiti richiesti dalla normativa di riferimento.

Prima della formazione del rilevato, il terreno al di sotto del piano di campagna dovrà essere asportato per uno spessore minimo di 50 cm (scotico) e comunque per tutto lo strato di terreno vegetale. L'intervento dovrà avere larghezza pari all'ingombro del rilevato. Se la quota di progetto è superiore a quella dello scotico, la stessa dovrà essere raggiunta con l'apporto di materiale di caratteristiche analoghe a quelle del materiale utilizzato per la formazione del rilevato (descritte nel seguito).

Il piano di posa dovrà essere costipato mediante rullatura in modo da ottenere un valore della densità secca non inferiore al 90% della densità massima ottenuta con la prova di costipamento AASHTO modificata (CNR-BU n. 69). Il controllo del raggiungimento del richiesto grado di costipamento sarà effettuato con misure di densità in sito. Il modulo di deformazione, misurato mediante prova di carico su piastra al primo ciclo di carico nell'intervallo 0,05 MPa ÷ 0,15 MPa, non dovrà essere inferiore a 20 MPa; inoltre il rapporto dei moduli del 1° e 2° ciclo dovrà essere non inferiore a 0,60 (CNR-BU n. 146).

Dovrà essere prevista la bonifica del piano di posa ogni volta che nel corso dei lavori si dovessero trovare delle zone di terreno non idoneo (ad esempio in presenza di terreni altamente comprimibili, dotati di scadenti caratteristiche meccaniche o contenenti notevoli quantità di sostanze organiche) e/o comunque non conformi alle specifiche di progetto o alle prescrizioni contrattuali.

Sulla base di quanto si riscontrerà effettivamente in sito in fase di realizzazione dei rilevati, qualora localmente le caratteristiche del terreno presente sul fondo scavo non risultassero idonee o se le prove di accettazione non restituissero i valori prescritti, sarà necessario effettuare la bonifica sostituendo il materiale di scadenti caratteristiche con i seguenti materiali, con riferimento alla classificazione CNR-UNI 10006:

- A1, A2, A3 se proveniente da cave di prestito;
- A1, A2, A3, A4 e A6 se proveniente dagli scavi.

Il corpo del rilevato ferroviario sarà realizzato mediante l'impiego di terre provenienti da scavi di sbancamento appartenenti preferibilmente ai gruppi, in ordine di priorità, A1-A2-4. Se indispensabile potranno essere impiegati, in ordine di priorità, i terreni appartenenti ai A2-5, A3, A2-6, A2-7 e A4 ovvero terre provenienti da cave di prestito, appartenenti agli stessi gruppi. Non dovranno essere impiegate terre del gruppo A3 con coefficiente di disuniformità < 7. Non dovranno essere utilizzate terre A6 con indice di gruppo > 8. Se utilizzate dovranno essere stese con spessore finito non superiore a 30 cm.

I materiali dovranno essere messi in opera a strati di spessore non superiore a 50 cm (materiale sciolto) per le terre dei gruppi A1, A3 e non superiori a 30 cm (materiale sciolto) per i materiali dei gruppi A2-4, A2-5, A2-6, A2-7 e A4.

A costipamento avvenuto, i valori del modulo di deformazione e della densità secca dovranno essere non minori dei valori di riferimento per il piano di posa prima indicati

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica	Foglio 14 di 51

In ogni caso, il grado di uniformità dei materiali utilizzati, definito come il rapporto tra il passante al setaccio D60 e il passante al setaccio D10 dovrà essere ≥ 15 .

Su ciascuna sezione trasversale i materiali impiegati per ciascuno strato dovranno essere dello stesso gruppo o sottogruppo.

Ogni strato dovrà essere messo in opera con un contenuto d'acqua prossimo all'ottimale e dovrà essere costipato in modo da raggiungere in ogni punto un valore della densità secca almeno pari al 95% della densità massima AASHTO modificata. Il valore del modulo di deformazione dovrà risultare non inferiore a 20 MPa su ciascun strato e per tutta la superficie dello strato stesso. Tali valori dovranno essere determinati al primo ciclo di carico nell'intervallo 0,15 MPa – 0,25 MPa; in entrambi i casi, il rapporto tra i moduli del 1° e 2° ciclo non dovrà essere inferiore a 0,60.

In relazione alla difficoltà di ottenere i prescritti valori minimi della densità AASHTO modificata e del modulo di deformazione (minimo 40 MPa), sarà necessario porre particolare attenzione nell'utilizzo delle terre appartenenti ai gruppi A2-5 e A2-7, per le quali bisognerà effettuare preventivamente opportune prove (in situ e in laboratorio) che attestino la possibilità di raggiungere i prescritti parametri.

Il primo strato di rilevato sarà costituito dallo "strato anticapillare", posto al di sopra del piano di posa, con uno spessore di 50 cm e dovrà essere costituito da pietrischetto con dimensioni comprese tra 2 e 25 mm. Questo strato dovrà essere protetto sia inferiormente, che superiormente, con uno strato di geotessile.

In ogni caso, per quanto riguarda le caratteristiche dei materiali da porre in opera e le modalità esecutive, si dovrà fare riferimento a quanto prescritto nel Capitolato ITALFERR "SISTEMA ALTA VELOCITÀ".

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica
	Foglio 15 di 51

6 VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE

6.1 PREMESSA

Nell'ambito dello studio per la realizzazione della Linea A.V./A.C. Milano-Genova Terzo Valico Dei Giovi, sono state effettuate sulle sezioni di progetto ritenute più significative, delle verifiche di stabilità dei rilevati.

Tali verifiche sono state effettuate per il caso di sistemazione definitiva. Si è tenuto conto di un coefficiente sismico pari a 0.048 in quanto l'area in studio rientra nelle zone con grado di sismicità $S = 6$ e il coefficiente di protezione sismico è stato posto pari a 1.2.

6.2 VERIFICHE DI STABILITÀ

Le analisi di stabilità, sono state eseguite utilizzando il programma SSAP2010 "SlopeStability Analysis Program", sviluppato a partire dal 1991 dal Prof. Lorenzo Borselli, docente di geotecnica e geologia applicata presso "Universidad Autonoma de San Luis Potosi" in Messico.

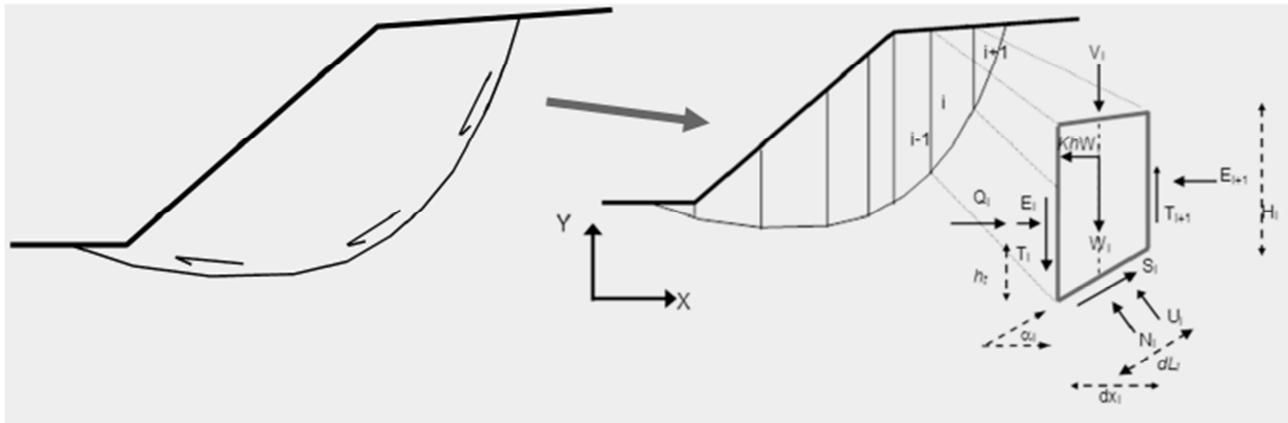
Il programma è in grado di fornire una soluzione generale ai problemi bidimensionali di stabilità dei pendii, analizzando superfici di scorrimento di forma qualsiasi. Il grado di stabilità viene valutato attraverso la determinazione di un coefficiente di sicurezza F_s . SSAP è un programma che si basa sui metodi all'equilibrio limite (LEM). In tale metodo il calcolo del coefficiente di sicurezza viene effettuato su una superficie di scivolamento definita entro un pendio. Tale superficie separa la parte di pendio stabile da quella potenzialmente instabile. La parte stabile inferiore rimane indeformata e non subisce rotture. Si suppone allo stesso modo, che anche la parte superiore fino al momento della rottura non subisca deformazioni. Viene quindi assunto un comportamento a rottura di tipo rigido perfettamente plastico. La condizione $F_s = 1$ rappresenta lo stato di incipiente rottura. Per ogni superficie potenziale di scivolamento si può quindi derivare lo sforzo di taglio totale mobilitato τ_{mob} (domanda) e la resistenza a taglio disponibile τ_f (capacità), di conseguenza è possibile definire F_s come:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_{mob}}$$

Se $F_s < 1$ siamo nelle condizioni di instabilità, mentre per $F_s > 1$ siamo in condizioni instabili dovuti a una generalizzato deficit di resistenza. Nel §G.3.2 del D.M.1988, si prescrive un coefficiente di sicurezza minimo nelle verifiche di stabilità dei fronti di scavo, in condizioni statiche, pari almeno a 1.3. In condizioni sismiche il D.M.1988 non prescrive un coefficiente di sicurezza minimo. Per gli argini, in base allo stesso D.M.1988, vale quanto previsto dalle norme tecniche per le dighe di ritenuta di materiali sciolti, che fissano per il coefficiente di sicurezza un valore pari a 1,4 in condizioni statiche e pari a 1,2 in condizioni sismiche. Pertanto in condizioni sismiche si farà riferimento ad un valore minimo del coefficiente di sicurezza paria a 1.15 (circa il rapporto fra 1.4/1.2).

Poiché il coefficiente di stabilità deve essere valutato entro una specifica zona, è necessario considerare potenziali superfici di scorrimento nella massa del pendio e valutare tutte le azioni agenti e resistenti su tali superfici. Le superfici sono in realtà infinite, ma introducendo certi limiti

geometrici e/o meccanici è possibile ridurre il numero di superfici da studiare. Le analisi conducono, quindi, all'individuazione di una superficie critica a cui corrisponde il coefficiente di sicurezza minimo. Per procedere al calcolo di F_s , la massa potenzialmente instabile viene suddivisa in strisce, delimitate da superficie verticali. Su ogni striscia, vengono valutate singolarmente le forze agenti e resistenti. Le forze agenti sulla singola striscia sono riportate nella figura seguente:



Dove:

W = peso proprio;

S = forza di taglio mobilitata alla base della striscia;

N = forza normale alla base della striscia;

U = sottospinta idraulica agente alla base della striscia;

T = forza verticale interstriscia;

E = forza orizzontale interstriscia.

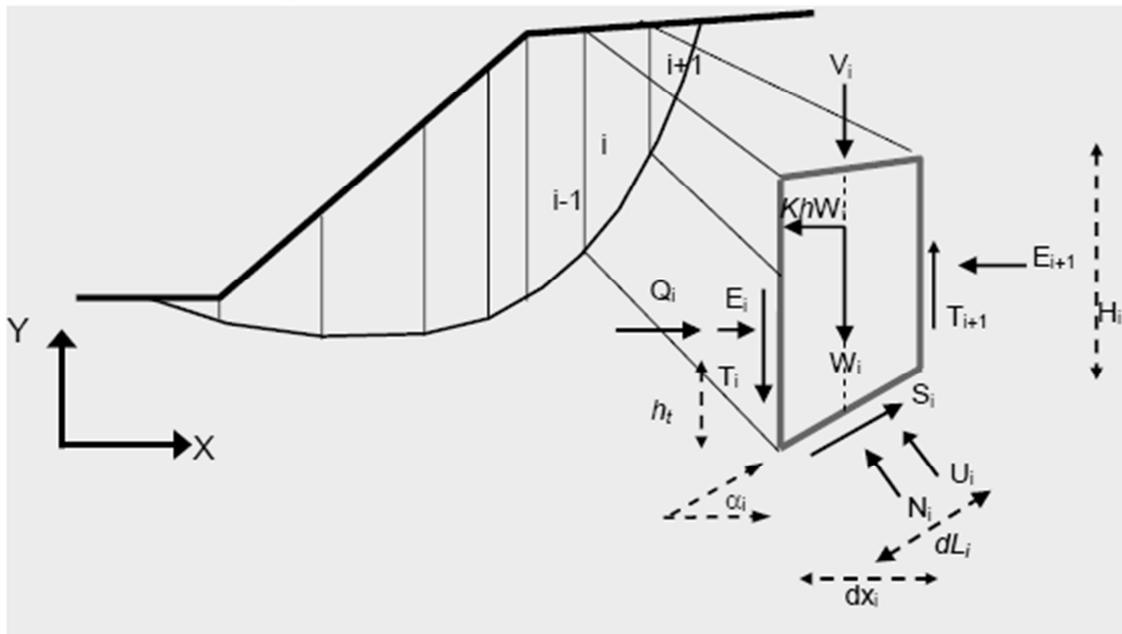
F_s può essere determinato, a secondo del metodo adottato; mediante gruppi di equazioni per l'equilibrio dei corpi rigidi, ovvero: equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale ed equilibrio alla rotazione rispetto ad un punto.

$$\begin{cases} \sum V_i = 0 \\ \sum H_i = 0 \\ \sum M_i = 0 \end{cases}$$

Quando tutti i parametri di interesse sono noti si può passare al calcolo di F_s . Il programma permette di eseguire lo studio secondo 6 metodi di calcolo diversi. Tali metodi si diversificano per il tipo di assunzioni e semplificazioni fatte per ridurre il numero di incognite del problema.

6.3 Procedure e metodo di calcolo utilizzato

Per le verifiche qui riportatesi è fatto uso del metodo di Morgenstern & Price (1965). L'approccio utilizzato è un metodo rigoroso in quanto il problema nel suo insieme risulta staticamente determinato (tale metodo non trascura le azioni verticali interstriscia T). Il calcolo del fattore di sicurezza relativo alla stabilità del versante viene condotto ripartendo in strisce verticali il corpo di scorrimento potenziale. Nell'immagine seguente è possibile visualizzare, più dettagliatamente, il sistema di forze che agisce sulla striscia i -esima.



Dove:

i = indice numerico della striscia;

α_i = angolo di inclinazione della base della striscia;

dL = lunghezza della base della striscia;

dx = larghezza della striscia;

H = altezza verticale della striscia;

h_t = altezza punto di applicazione delle forze interstriscia;

c = coesione terreno alla base della striscia;

φ' = angolo di attrito del terreno alla base della striscia;

W = forza peso agente alla base della striscia;

K_h = coefficiente sismico orizzontale;

U = pressione interstiziale agente alla base della striscia;

T = forza tangenziale interstriscia;

E = forza orizzontale interstriscia;

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica</p>	<p>Foglio 18 di 51</p>

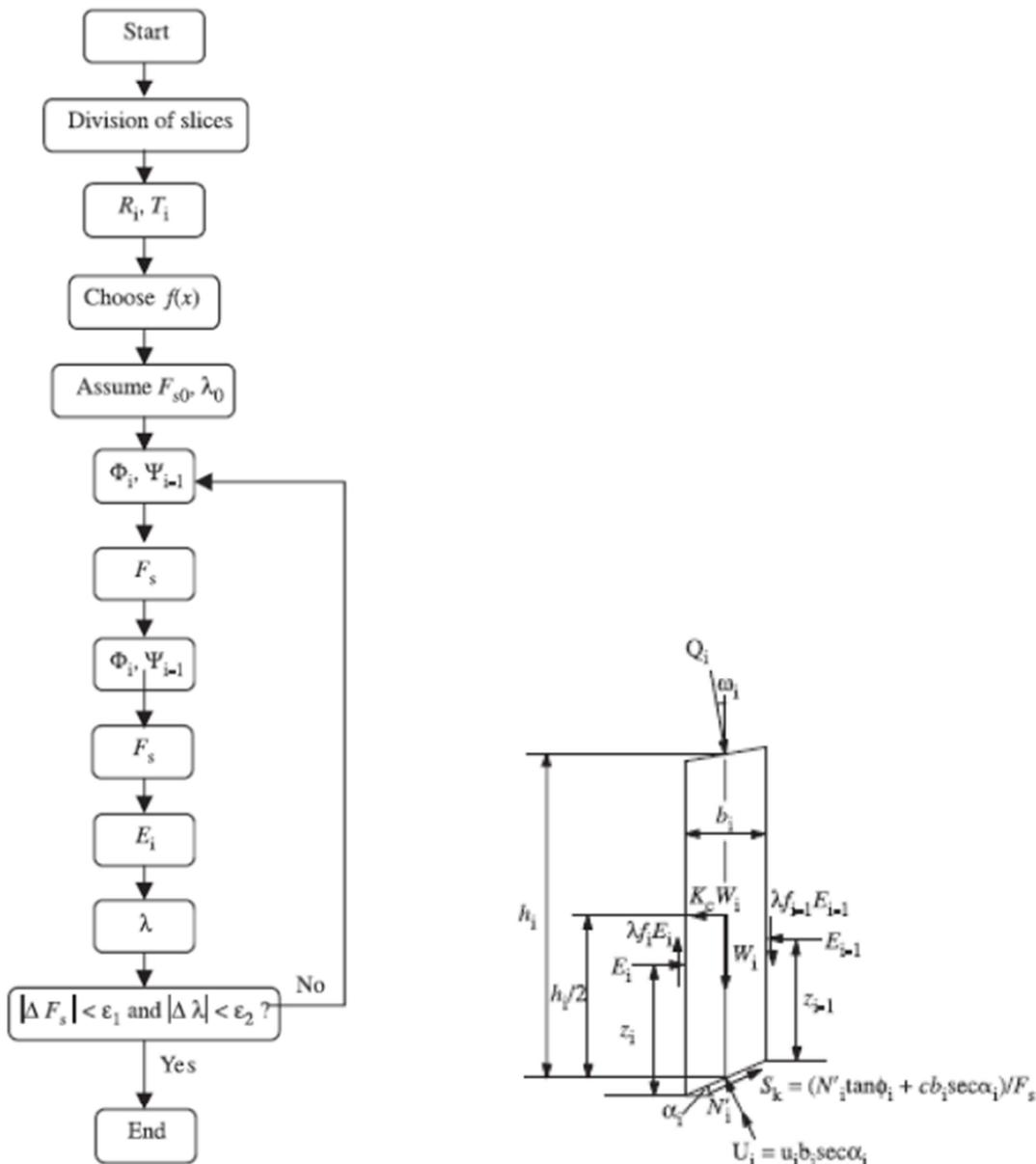
Q = risultante delle forze orizzontali esterne ad ogni concio (opere di sostegno; azioni sismiche, etc)

V = risultante delle azioni verticali esterne ad ogni concio (opere di sostegno, sovraccarichi, etc).

Per la determinazione di F_s è necessario risolvere il sistema di due equazioni non lineari:

$$\begin{cases} F_s = \frac{f(N_x, U_x, \alpha_x, T_x, V_x, dx_x, Q_x, F_s)}{f(\alpha_x, W_x, V_x, dx_x, T_x, \lambda)} \\ \lambda = \frac{f(dx_x, E_x, \alpha_x, W_x, V_x, Q_x)}{f(dx_x, T_x, \lambda)} \end{cases}$$

Questo viene risolto iterativamente, assumendo un valore di tentativo iniziale, sia per F_s che per λ , nel membro di destra di ogni equazione del sistema e ripetendo i calcoli fino a convergenza (scarto < 0.001). SSAP utilizza l'algoritmo proposto da Zhu et al. 2005, illustrato nella figura seguente.



Nelle verifiche che seguono si è fatto uso, come suddetto, del metodo di Morgenstern & Price (1965). In quest'ultimo si suppone una relazione tra le componenti normali (E_i) e tangenziali (T_i) delle forze di contatto tra le strisce del tipo:

$$T_i = \lambda f(x) E_i$$

in cui $f(x)$ è una funzione arbitraria nota (variabile tra 0.0 e 1.25). λ è una variabile ausiliaria incognita da determinare come parte della soluzione. L'ipotesi fondamentale alla base del metodo è che la soluzione finale in termini di F_s (fattore di sicurezza) non è influenzata in maniera sensibile dalla scelta di $f(x)$, purché questa dia luogo ad una soluzione accettabile. Infatti, una volta ottenuta la soluzione viene verificato che la stessa sia accettabile, in particolare si controlla che :

- la linea delle pressioni (thrust line) sia contenuta all'interno dei conci;

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica</p> <p style="text-align: right;">Foglio 20 di 51</p>

- I valori di T_i siano inferiori alla resistenza a taglio lungo le superfici di contatto tra i conci ($T_i \leq T_f(E_i)$);
- Le forze normali N_i e E_i siano ovunque di compressione.

In aggiunta, SSAP2010 è programmato per tener conto di terreni variamente stratificati, dell'eventuale falda idrica, della presenza di pressioni neutre diverse dalle idrostatiche e di sollecitazioni sismiche con il metodo pseudostatico. Inoltre consente di modellare l'effetto di opere di sostegno, quali muri di sostegno, tiranti o chiodature e palificate.

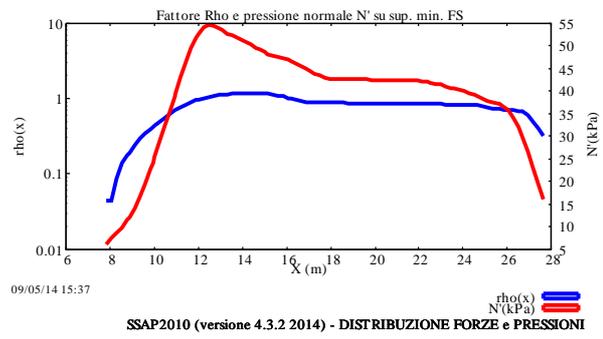
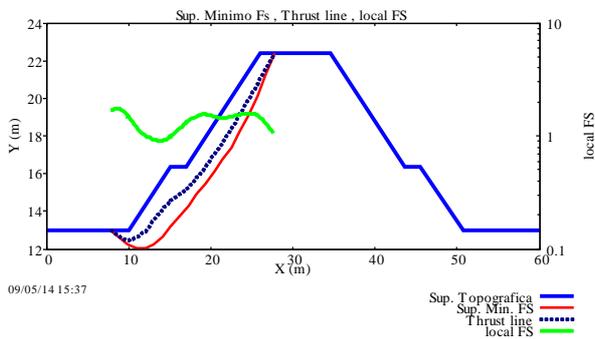
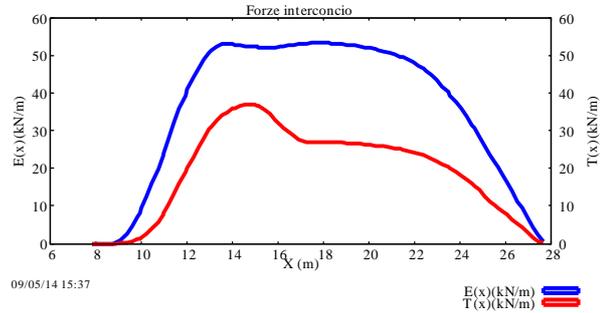
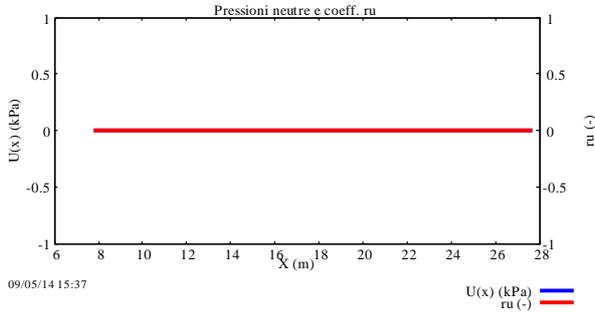
Nel metodo pseudostatico il sisma è modellato tramite un'azione inerziale pari al prodotto del peso del terreno individuato dalla superficie di scorrimento considerata per il coefficiente di intensità sismica (nel caso in esame, essendo zona con grado di sismicità $S = 6$, il coefficiente sismico è pari a 0.04).

6.4 Ricerca delle superfici di scorrimento

Il metodo utilizzato permette lo studio di superfici di forma qualunque (circolari e non). Il programma valuta la stabilità di un numero richiesto di superfici con caratteristiche predeterminate o, in alternativa, consente l'esame di una prefissata superficie singola.

Nel caso attuale lo studio è stato svolto utilizzando superfici poligonali imponendo determinate zone di passaggio delle superfici potenziali di scorrimento (zona di testa e zona al piede). Possono essere, infatti, assegnati gli intervalli di inizio e di chiusura delle superfici. In tal modo viene esplorata la fascia da essi individuata, generando un numero prefissato di superfici di tentativo. In questo studio ogni caso è stato esaminato mediante 5000 superfici, rappresentando graficamente le dieci più critiche.

Condizioni Statiche



SSAP2010 (versione 4.3.2 2014) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

Report elaborazioni

- SSAP 4.3.2 - Slope Stability Analysis Program -

by Dr. Geol. L.Borselli** - (1991,2014)

*UASLP, San Luis Potosi, Mexico

e-mail: lborselli@gmail.com

CV e WEB page personale: www.lorenzo-borselli.eu

** Gia' Ricercatore CNR-IRPI fino a Luglio 2011

File report: P:\LAVORI\14_PR_004_MI-GE-ITF_COCIV\03_LAVORO\MALTESE\IR1Q\IR1Q.txt

Data: 9/5/2014

Localita' :

Descrizione:

----- PARAMETRI DEL MODELLO DEL PENDIO -----

__ PARAMETRI GEOMETRICI - Coordinate X Y (in m) __

SUP T.		SUP 2		SUP 3		SUP 4	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0.00	13.00	10.00	13.00	0.00	9.80	-	-
10.00	13.00	50.75	13.00	60.00	9.80	-	-
15.05	16.38	-	-	-	-	-	-
17.05	16.38	-	-	-	-	-	-
26.05	22.38	-	-	-	-	-	-
34.55	22.38	-	-	-	-	-	-
43.55	16.38	-	-	-	-	-	-
45.55	16.38	-	-	-	-	-	-
50.75	13.00	-	-	-	-	-	-
60.00	13.00	-	-	-	-	-	-

SUP FALDA

X Y (in m)

0.00 5.00

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica
	Foglio 23 di 51

60.00 5.00

_____ GESTIONE ACQUIFERI _____

Strati esclusi da acquifero:

Esclusione sovraccarico pendio sommerso: NON ATTIVATA

Peso unitario fluido (kN/m³): 9.81

Parametri funzione dissipazione superficiale pressione dei fluidi:

Coefficiente A 0
Coefficiente K 0.000800
Pressione minima fluidi Uo_Min (kPa) 0.01

_____ PARAMETRI GEOMECCANICI _____

	fi`	C`	Cu	Gamm	Gamm_sat	STR_IDX	sgci	GSI	mi	D
STRATO 1	35.0	2.0	0.0	20.0	20.0	2.509	0.00	0.0	0.0	0.0
STRATO 2	28.0	0.0	0.0	18.0	18.0	1.664	0.00	0.0	0.0	0.0
STRATO 3	37.0	0.0	0.0	20.0	20.0	2.651	0.00	0.0	0.0	0.0

Note: fi` _____ Angolo di attrito interno efficace(in gradi)
C` _____ Coesione efficace (in Kpa)
Cu _____ Resistenza al taglio Non drenata (in Kpa)
Gamm _____ Peso di volume terreno fuori falda (in KN/m³)
Gamm_sat _____ Peso di volume terreno immerso (in KN/m³)
STR_IDX _____ Indice di resistenza (usato in solo in 'SNIFF SEARCH) (adimensionale)
---- Per ammassi Rocciosi - Parametri Criterio di Rottura di Hoek (2002)-
sigci _____ Resistenza Compressione Uniassiale Roccia Intatta (in MPa)
GSI _____ Geological Strenght Index ammasso(adimensionale)
mi _____ Indice litologico ammasso(adimensionale)
D _____ Fattore di disturbo ammasso(adimensionale)

_____ SOVRACCARICHI PRESENTI _____

SOVRACCARICO N.1

carico (Kpa): 20.00
posizione da m.: 26.05
a m.: 34.55

----- INFORMAZIONI GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM -----

*** PARAMETRI PER LA GENERAZIONE DELLE SUPERFICI

METODO DI RICERCA: CONVEX RANDOM - Chen (1992)
FILTRAGGIO SUPERFICI : ATTIVATO
COORDINATE X1,X2,Y OSTACOLO : 0.00 0.00 0.00
LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI (m): 2.4 (+/-) 50%
RANGE ASCISSE RANDOM STARTING POINT (Xmin .. Xmax): 0.00 10.00
LIVELLO MINIMO CONSIDERATO (Ymin): 2.25
RANGE ASCISSE AMMESSO PER LA TERMINAZIONE (Xmin .. Xmax): 27.00 58.80

*** TOTALE SUPERFICI GENERATE : 5000

----- INFORMAZIONI PARAMETRI DI CALCOLO -----

METODO DI CALCOLO : MORGENSTERN & PRICE (Morgenstern & Price, 1965)
COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kh : 0.000
COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kv (assunto Positivo): 0.000
FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE IN TESTA (kN/m): 0.00
FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE ALLA BASE (kN/m): 0.00

N.B. Le forze orizzontali addizionali in testa e alla base sono poste uguali a 0 durante le tutte le verifiche globali.
I valori >0 impostati dall'utente sono utilizzati solo in caso di verifica singola

----- RISULTATO FINALE ELABORAZIONI -----

* DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR Fs *



Fattore di sicurezza (FS) 1.356 - Min. - X Y Lambda= 0.705

7.81	13.00
8.86	12.62
9.91	12.25
10.96	12.02
12.01	12.01
13.06	12.24
14.11	12.68
15.16	13.21
16.21	13.75
17.26	14.31
18.31	14.90
19.36	15.50
20.41	16.12
21.46	16.74
22.51	17.41
23.56	18.19
24.61	19.10
25.66	20.14
26.71	21.25
27.76	22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.357 - N.2 -- X Y Lambda= 0.662

7.71	13.00
8.80	12.40
9.88	11.88
10.97	11.55
12.05	11.50
13.14	11.73
14.22	12.20
15.31	12.79
16.39	13.39
17.48	14.02
18.56	14.66
19.65	15.33
20.73	16.03
21.82	16.74
22.90	17.49
23.99	18.31
25.07	19.21
26.16	20.18
27.24	21.24
28.33	22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.357 - N.3 -- X Y Lambda= 0.700

8.26	13.00
9.30	12.61
10.33	12.28
11.37	12.09
12.40	12.10
13.44	12.32
14.47	12.72
15.50	13.21
16.54	13.74
17.57	14.32
18.61	14.92
19.64	15.55
20.68	16.20
21.71	16.84
22.75	17.53
23.78	18.31
24.82	19.21
25.85	20.23
26.88	21.30
27.92	22.38



Fattore di sicurezza (FS) 1.359 - N.4 -- X Y Lambda= 0.666

7.31	13.00
8.39	12.47
9.48	12.01
10.56	11.71
11.65	11.65
12.73	11.84
13.82	12.26
14.90	12.77
15.98	13.29
17.07	13.83
18.15	14.40
19.24	15.03
20.32	15.73
21.41	16.48
22.49	17.29
23.57	18.18
24.66	19.15
25.74	20.20
26.83	21.29
27.91	22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.360 - N.5 -- X Y Lambda= 0.674

8.19	13.00
9.22	12.47
10.25	12.00
11.28	11.70
12.31	11.64
13.34	11.84
14.37	12.27
15.40	12.79
16.43	13.31
17.46	13.83
18.49	14.37
19.52	14.99
20.55	15.70
21.58	16.47
22.61	17.32
23.64	18.24
24.67	19.21
25.69	20.25
26.72	21.31
27.75	22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.360 - N.6 -- X Y Lambda= 0.752

8.68	13.00
9.73	12.47
10.78	12.21
11.83	12.17
12.88	12.30
13.93	12.61
14.98	13.06
16.03	13.60
17.08	14.21
18.13	14.88
19.18	15.59
20.23	16.31
21.27	17.04
22.32	17.77
23.37	18.56
24.42	19.42
25.47	20.34
26.52	21.33
27.57	22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.360 - N.7 -- X Y Lambda= 0.652

7.46	13.00
------	-------



8.50 12.60
9.54 12.23
10.59 11.96
11.63 11.87
12.67 11.97
13.71 12.25
14.75 12.65
15.79 13.11
16.83 13.61
17.87 14.16
18.91 14.76
19.95 15.40
20.99 16.09
22.03 16.82
23.07 17.60
24.11 18.43
25.16 19.32
26.20 20.26
27.24 21.27
28.28 22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.360 - N.8 -- X Y Lambda= 0.676

8.68 13.00
9.70 12.57
10.72 12.22
11.74 12.00
12.76 11.99
13.78 12.19
14.80 12.57
15.82 13.06
16.84 13.58
17.86 14.15
18.88 14.77
19.90 15.41
20.92 16.09
21.94 16.78
22.96 17.52
23.98 18.34
25.00 19.23
26.02 20.21
27.03 21.26
28.05 22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.360 - N.9 -- X Y Lambda= 0.684

8.37 13.00
9.40 12.62
10.43 12.30
11.46 12.11
12.48 12.11
13.51 12.30
14.54 12.67
15.57 13.13
16.60 13.63
17.63 14.17
18.65 14.75
19.68 15.39
20.71 16.07
21.74 16.78
22.77 17.55
23.80 18.39
24.82 19.30
25.85 20.28
26.88 21.32
27.91 22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.361 - N.10 -- X Y Lambda= 0.688

7.83 13.00

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica
	Foglio 27 di 51

8.87 12.40
9.90 11.98
10.94 11.76
11.97 11.72
13.00 11.88
14.04 12.22
15.07 12.65
16.11 13.15
17.14 13.69
18.18 14.29
19.21 14.95
20.25 15.69
21.28 16.51
22.31 17.38
23.35 18.27
24.38 19.16
25.42 20.06
26.45 21.08
27.49 22.38

----- ANALISI DEFICIT DI RESISTENZA -----

DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR Fs *
Analisi Deficit in riferimento a FS(progetto) = 1.300

Sup N.	FS	FTR(kN/m)	FTA(kN/m)	Bilancio(kN/m)	ESITO
1	1.356	531.8	392.1	22.1	Surplus
2	1.357	621.5	458.0	26.0	Surplus
3	1.357	546.7	402.8	23.0	Surplus
4	1.359	584.1	429.9	25.2	Surplus
5	1.360	591.3	434.8	26.0	Surplus
6	1.360	477.5	351.1	21.1	Surplus
7	1.360	605.8	445.4	26.8	Surplus
8	1.360	587.5	431.9	26.0	Surplus
9	1.360	555.4	408.3	24.6	Surplus
10	1.361	562.3	413.1	25.2	Surplus

Esito analisi: SURPLUS di RESISTENZA!

Valore minimo di SURPLUS di RESISTENZA (kN/m): 21.1

Note: FTR --> Forza totale Resistente rispetto alla superficie di scivolamento (componente Orizzontale)

FTA --> Forza totale Agente rispetto alla superficie di scivolamento (componente Orizzontale)

IMPORTANTE! : Il Deficit o il Surplus di resistenza viene espresso in kN per metro di LARGHEZZA rispetto al fronte della scarpata

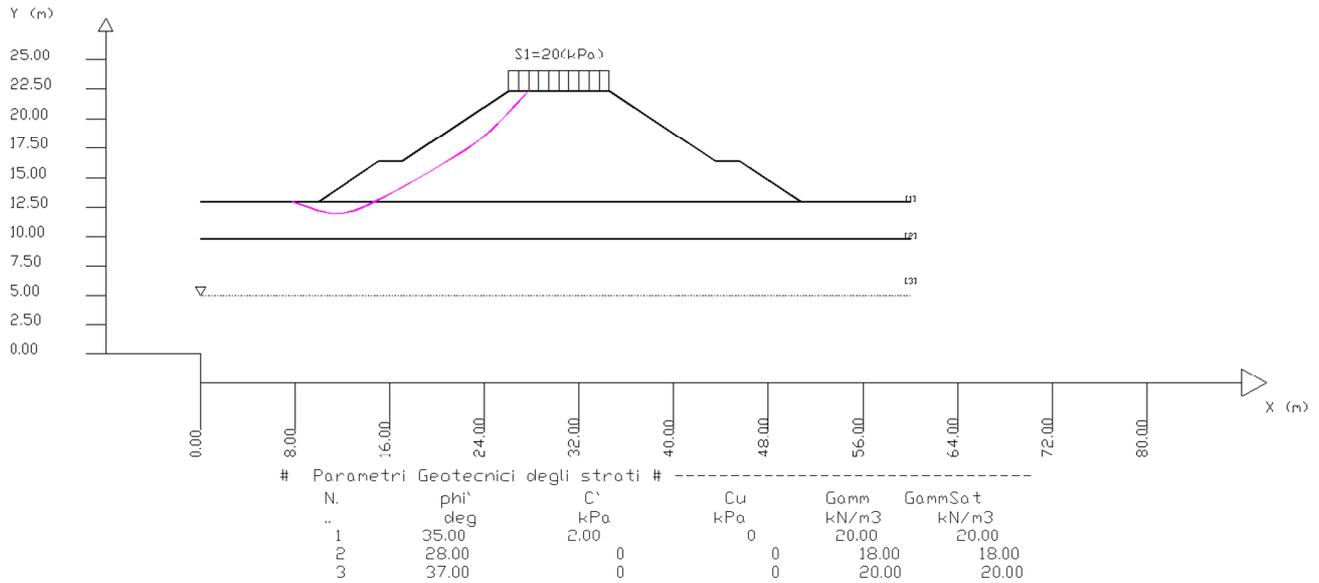
TABELLA PARAMETRI CONCI E DIAGRAMMA DELLE FORZE DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS-----

SSAP 4.3.2 (2014) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.2 (2013)

Data : 9/5/2014
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Sn --> Sovraccarico

Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)



DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.356
 Range Fs : 1.356 - 1.361
 Differenza % Range Fs : 0.3
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N: 5000
 Lunghezza media segmenti (m) : 2.4
 Range X inizio generazione : 0.0 - 10.0
 Range X termine generazione : 27.0 - 58.8
 Livello Y minimo considerato : 2.3

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA


 IG51-03-E-CV-RO-IR1Q-0-0-003-A01
 Relazione geologica, geotecnica

 Foglio
 29 di 51

X (m)	dx (m)	alpha (gradi)	W (kN/m)	ru (-)	U (kPa)	phi' (gradi)	c'/Cu (kPa)	ht (m)	yt (m)	yt' (-)	E(x) (kN/m)	T(x) (kN/m)	E' (kN)	rho(x) (-)	local_FS (-)
7.81	0.24	-19.96	0.18	0.00	0.00	28.00	0.00	0.00	13.00	-0.31	0.00	0.00	0.00	0.05	1.71
8.05	0.24	-19.96	0.55	0.00	0.00	28.00	0.00	0.01	12.93	-0.31	0.00	0.00	0.00	0.05	1.71
8.29	0.24	-19.96	0.91	0.00	0.00	28.00	0.00	0.03	12.85	-0.31	0.00	0.00	0.00	0.09	1.73
8.52	0.24	-19.96	1.27	0.00	0.00	28.00	0.00	0.04	12.78	-0.31	0.00	0.00	0.04	0.14	1.75
8.76	0.11	-19.96	0.69	0.00	0.00	28.00	0.00	0.05	12.71	-0.30	0.02	0.00	0.21	0.18	1.75
8.86	0.24	-19.29	1.79	0.00	0.00	28.00	0.00	0.06	12.68	-0.30	0.07	0.01	2.85	0.19	1.75
9.10	0.24	-19.29	2.14	0.00	0.00	28.00	0.00	0.07	12.61	-0.30	1.03	0.10	5.25	0.24	1.72
9.34	0.24	-19.29	2.50	0.00	0.00	28.00	0.00	0.08	12.54	-0.23	2.52	0.29	7.37	0.29	1.67
9.57	0.24	-19.29	2.85	0.00	0.00	28.00	0.00	0.13	12.50	-0.13	4.51	0.60	9.54	0.34	1.61
9.81	0.11	-19.29	1.39	0.00	0.00	28.00	0.00	0.19	12.48	-0.07	7.00	1.08	11.49	0.39	1.53
9.91	0.09	-12.60	1.18	0.00	0.00	28.00	0.00	0.22	12.47	0.00	8.26	1.35	12.24	0.42	1.50
10.00	0.24	-12.60	3.71	0.00	0.00	28.00	0.00	0.24	12.47	0.06	9.34	1.62	12.80	0.44	1.47
10.24	0.24	-12.60	4.72	0.00	0.00	28.00	0.00	0.31	12.49	0.11	12.52	2.61	14.08	0.48	1.40
10.47	0.24	-12.60	5.68	0.00	0.00	28.00	0.00	0.40	12.53	0.19	15.97	3.96	15.16	0.55	1.33
10.71	0.24	-12.60	6.65	0.00	0.00	28.00	0.00	0.51	12.58	0.21	19.69	5.73	16.37	0.62	1.26
10.94	0.02	-12.60	0.58	0.00	0.00	28.00	0.00	0.61	12.63	0.20	23.68	7.89	17.33	0.69	1.20
10.96	0.24	-0.29	7.59	0.00	0.00	28.00	0.00	0.61	12.63	0.22	24.01	8.08	17.37	0.70	1.19
11.20	0.24	-0.29	8.34	0.00	0.00	28.00	0.00	0.67	12.68	0.25	28.14	10.51	17.50	0.76	1.14
11.44	0.24	-0.29	9.09	0.00	0.00	28.00	0.00	0.74	12.75	0.31	32.20	13.20	16.74	0.82	1.09
11.67	0.24	-0.29	9.84	0.00	0.00	28.00	0.00	0.82	12.83	0.36	36.00	16.04	15.41	0.89	1.05
11.91	0.11	-0.29	4.66	0.00	0.00	28.00	0.00	0.91	12.92	0.39	39.47	18.97	14.10	0.94	1.02
12.01	0.24	12.27	10.82	0.00	0.00	28.00	0.00	0.95	12.96	0.47	40.94	20.23	13.52	0.97	1.01
12.25	0.24	12.27	11.35	0.00	0.00	28.00	0.00	1.02	13.08	0.51	43.96	23.01	12.07	1.01	0.98
12.49	0.24	12.27	11.87	0.00	0.00	28.00	0.00	1.09	13.21	0.55	46.61	25.66	10.39	1.05	0.97
12.72	0.24	12.27	12.40	0.00	0.00	28.00	0.00	1.17	13.34	0.56	48.85	28.11	8.50	1.08	0.95
12.96	0.11	12.27	5.73	0.00	0.00	28.00	0.00	1.25	13.47	0.56	50.62	30.29	6.49	1.11	0.93
13.06	0.24	22.64	13.06	0.00	0.00	28.00	0.00	1.29	13.53	0.56	51.26	31.11	5.60	1.12	0.93
13.30	0.24	22.64	13.39	0.00	0.00	28.00	0.00	1.32	13.66	0.56	52.34	32.77	3.56	1.14	0.92
13.53	0.24	22.64	13.72	0.00	0.00	28.00	0.00	1.36	13.80	0.56	52.92	34.06	1.40	1.15	0.91
13.77	0.24	22.64	14.05	0.00	0.00	28.00	0.00	1.39	13.93	0.54	53.05	35.00	-0.17	1.16	0.91
14.01	0.11	22.64	6.40	0.00	0.00	28.00	0.00	1.42	14.05	0.52	52.91	35.71	-0.87	1.17	0.91
14.11	0.24	26.68	14.48	0.00	0.00	28.00	0.00	1.43	14.10	0.49	52.82	35.98	-0.92	1.17	0.92
14.35	0.24	26.68	14.72	0.00	0.00	28.00	0.00	1.42	14.22	0.47	52.62	36.48	-0.75	1.18	0.92
14.58	0.17	26.68	10.70	0.00	0.00	28.00	0.00	1.41	14.32	0.44	52.45	36.80	-0.72	1.17	0.94

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA

IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02
Relazione geologica, geotecnicaFoglio
30 di 51

14.75	0.24	26.68	15.11	0.00	0.00	35.00	2.00	1.40	14.40	0.42	52.33	36.88	-0.64	1.16	0.95
14.99	0.06	26.68	3.94	0.00	0.00	35.00	2.00	1.37	14.49	0.40	52.20	36.75	-0.44	1.16	0.98
15.05	0.11	26.68	7.15	0.00	0.00	35.00	2.00	1.37	14.52	0.35	52.18	36.67	-0.39	1.16	0.98
15.16	0.24	27.27	14.69	0.00	0.00	35.00	2.00	1.35	14.55	0.35	52.14	36.43	-0.30	1.15	1.00
15.40	0.24	27.27	14.12	0.00	0.00	35.00	2.00	1.31	14.64	0.34	52.09	35.54	-0.12	1.13	1.03
15.63	0.24	27.27	13.55	0.00	0.00	35.00	2.00	1.27	14.71	0.33	52.08	34.34	0.04	1.10	1.07
15.87	0.24	27.27	12.97	0.00	0.00	35.00	2.00	1.22	14.79	0.32	52.12	32.93	0.28	1.06	1.11
16.11	0.11	27.27	5.63	0.00	0.00	35.00	2.00	1.18	14.87	0.32	52.23	31.41	0.65	1.02	1.16
16.21	0.24	28.40	12.13	0.00	0.00	35.00	2.00	1.15	14.90	0.32	52.30	30.83	0.81	1.00	1.18
16.45	0.24	28.40	11.53	0.00	0.00	35.00	2.00	1.10	14.98	0.34	52.52	29.62	1.01	0.96	1.22
16.68	0.24	28.40	10.92	0.00	0.00	35.00	2.00	1.06	15.06	0.36	52.76	28.54	0.96	0.93	1.26
16.92	0.13	28.40	5.80	0.00	0.00	35.00	2.00	1.02	15.15	0.37	52.96	27.67	0.74	0.90	1.30
17.05	0.21	28.40	9.25	0.00	0.00	35.00	2.00	1.00	15.20	0.39	53.05	27.30	0.60	0.89	1.33
17.26	0.24	29.19	10.47	0.00	0.00	35.00	2.00	0.97	15.28	0.42	53.16	26.96	0.43	0.88	1.36
17.50	0.24	29.19	10.59	0.00	0.00	35.00	2.00	0.94	15.38	0.45	53.24	26.92	0.22	0.88	1.40
17.73	0.24	29.19	10.71	0.00	0.00	35.00	2.00	0.92	15.49	0.48	53.26	26.94	0.02	0.87	1.43
17.97	0.24	29.19	10.83	0.00	0.00	35.00	2.00	0.90	15.61	0.50	53.25	26.93	-0.13	0.87	1.46
18.21	0.11	29.19	4.90	0.00	0.00	35.00	2.00	0.89	15.73	0.50	53.20	26.91	-0.24	0.87	1.49
18.31	0.24	29.90	11.00	0.00	0.00	35.00	2.00	0.88	15.78	0.53	53.18	26.89	-0.29	0.87	1.50
18.55	0.24	29.90	11.10	0.00	0.00	35.00	2.00	0.87	15.91	0.56	53.09	26.85	-0.42	0.87	1.52
18.78	0.24	29.90	11.20	0.00	0.00	35.00	2.00	0.87	16.04	0.58	52.98	26.79	-0.58	0.87	1.54
19.02	0.24	29.90	11.31	0.00	0.00	35.00	2.00	0.87	16.18	0.59	52.82	26.71	-0.73	0.87	1.55
19.25	0.11	29.90	5.10	0.00	0.00	35.00	2.00	0.88	16.32	0.59	52.64	26.62	-0.84	0.87	1.55
19.36	0.24	30.54	11.45	0.00	0.00	35.00	2.00	0.88	16.38	0.60	52.55	26.57	-0.87	0.87	1.55
19.60	0.24	30.54	11.53	0.00	0.00	35.00	2.00	0.88	16.52	0.61	52.33	26.47	-0.94	0.87	1.54
19.83	0.24	30.54	11.62	0.00	0.00	35.00	2.00	0.89	16.67	0.62	52.10	26.35	-1.03	0.86	1.53
20.07	0.24	30.54	11.70	0.00	0.00	35.00	2.00	0.90	16.82	0.61	51.84	26.22	-1.14	0.86	1.51
20.30	0.11	30.54	5.27	0.00	0.00	35.00	2.00	0.90	16.96	0.60	51.56	26.08	-1.27	0.86	1.49
20.41	0.24	30.55	11.82	0.00	0.00	35.00	2.00	0.90	17.02	0.62	51.42	26.01	-1.34	0.86	1.49
20.65	0.24	30.55	11.91	0.00	0.00	35.00	2.00	0.91	17.17	0.63	51.08	25.84	-1.54	0.86	1.47
20.88	0.24	30.55	11.99	0.00	0.00	35.00	2.00	0.92	17.32	0.64	50.69	25.64	-1.77	0.86	1.46
21.12	0.24	30.55	12.08	0.00	0.00	35.00	2.00	0.93	17.47	0.64	50.24	25.41	-2.04	0.86	1.46
21.35	0.11	30.55	5.44	0.00	0.00	35.00	2.00	0.94	17.62	0.63	49.73	25.15	-2.30	0.85	1.46
21.46	0.24	32.30	12.18	0.00	0.00	35.00	2.00	0.95	17.69	0.64	49.48	25.02	-2.42	0.85	1.46
21.70	0.24	32.30	12.22	0.00	0.00	35.00	2.00	0.95	17.84	0.66	48.87	24.72	-2.77	0.85	1.46
21.93	0.24	32.30	12.26	0.00	0.00	35.00	2.00	0.96	18.00	0.68	48.16	24.36	-3.25	0.85	1.47
22.17	0.24	32.30	12.29	0.00	0.00	35.00	2.00	0.97	18.16	0.68	47.33	23.94	-3.84	0.85	1.48
22.40	0.11	32.30	5.52	0.00	0.00	35.00	2.00	0.98	18.32	0.67	46.35	23.44	-4.48	0.84	1.49

22.51	0.24	36.66	12.29	0.00	0.00	35.00	2.00	0.99	18.39	0.69	45.86	23.19	-4.75	0.84	1.49
22.75	0.24	36.66	12.20	0.00	0.00	35.00	2.00	0.98	18.56	0.71	44.66	22.59	-5.38	0.84	1.50
22.98	0.24	36.66	12.11	0.00	0.00	35.00	2.00	0.97	18.73	0.74	43.32	21.91	-6.00	0.84	1.52
23.22	0.24	36.66	12.03	0.00	0.00	35.00	2.00	0.97	18.90	0.75	41.83	21.16	-6.59	0.83	1.53
23.45	0.11	36.66	5.36	0.00	0.00	35.00	2.00	0.97	19.08	0.74	40.21	20.34	-7.14	0.83	1.53
23.56	0.24	41.00	11.83	0.00	0.00	35.00	2.00	0.97	19.16	0.75	39.45	19.95	-7.37	0.83	1.54
23.80	0.24	41.00	11.61	0.00	0.00	35.00	2.00	0.94	19.34	0.76	37.65	19.04	-7.88	0.82	1.55
24.03	0.24	41.00	11.38	0.00	0.00	35.00	2.00	0.92	19.52	0.77	35.73	18.07	-8.38	0.82	1.56
24.27	0.24	41.00	11.16	0.00	0.00	35.00	2.00	0.89	19.70	0.77	33.70	17.04	-8.84	0.82	1.57
24.50	0.11	41.00	4.93	0.00	0.00	35.00	2.00	0.87	19.88	0.76	31.56	15.96	-9.23	0.81	1.58
24.61	0.24	44.70	10.76	0.00	0.00	35.00	2.00	0.86	19.96	0.76	30.58	15.47	-9.38	0.81	1.58
24.84	0.24	44.70	10.40	0.00	0.00	35.00	2.00	0.80	20.14	0.78	28.33	14.21	-9.66	0.79	1.58
25.08	0.24	44.70	10.04	0.00	0.00	35.00	2.00	0.76	20.33	0.79	26.02	12.64	-9.89	0.76	1.57
25.32	0.24	44.70	9.68	0.00	0.00	35.00	2.00	0.71	20.51	0.79	23.68	11.24	-9.98	0.74	1.56
25.55	0.11	44.70	4.22	0.00	0.00	35.00	2.00	0.66	20.70	0.81	21.32	10.07	-9.97	0.72	1.54
25.66	0.24	46.71	9.12	0.00	0.00	35.00	2.00	0.65	20.79	0.79	20.27	9.57	-10.00	0.72	1.53
25.89	0.16	46.71	5.80	0.00	0.00	35.00	2.00	0.58	20.97	0.77	17.89	8.45	-10.15	0.70	1.49
26.05	0.24	46.71	12.74	0.00	0.00	35.00	2.00	0.53	21.09	0.78	16.30	7.70	-10.32	0.69	1.47
26.29	0.24	46.71	11.56	0.00	0.00	35.00	2.00	0.47	21.27	0.77	13.83	6.53	-10.55	0.69	1.41
26.52	0.19	46.71	8.26	0.00	0.00	35.00	2.00	0.40	21.45	0.79	11.33	5.35	-10.64	0.69	1.35
26.71	0.24	47.03	9.44	0.00	0.00	35.00	2.00	0.35	21.61	0.75	9.33	4.33	-10.92	0.67	1.30
26.94	0.24	47.03	8.24	0.00	0.00	35.00	2.00	0.26	21.77	0.69	6.74	2.85	-10.92	0.60	1.23
27.18	0.24	47.03	7.05	0.00	0.00	35.00	2.00	0.17	21.93	0.70	4.26	1.55	-9.96	0.50	1.16
27.42	0.24	47.03	5.85	0.00	0.00	35.00	2.00	0.09	22.10	0.76	2.13	0.66	-7.97	0.40	1.10
27.65	0.11	47.03	2.24	0.00	0.00	35.00	2.00	0.02	22.29	0.83	0.53	0.14	-5.53	0.32	1.05

LEGENDA SIMBOLI

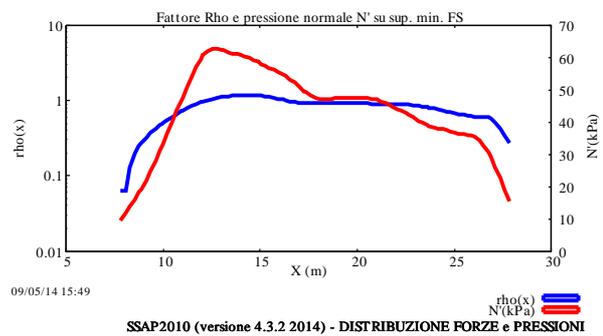
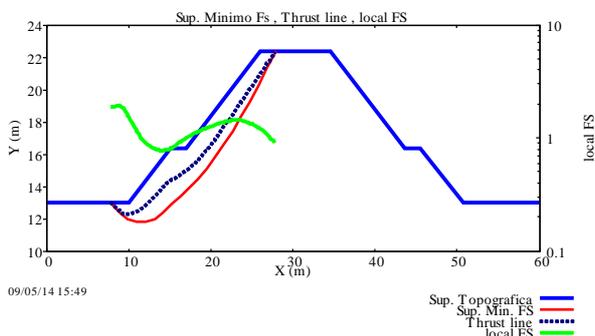
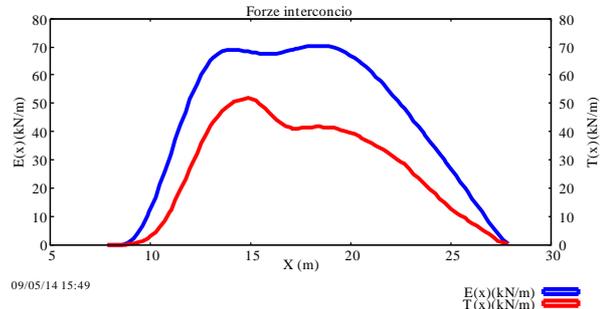
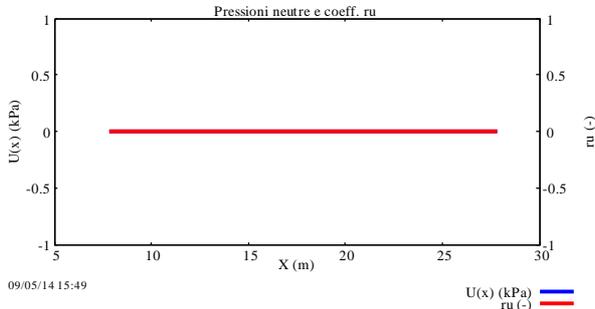
X(m)	: Ascissa sinistra concio
dx(m)	: Larghezza concio
alpha(gradienti)	: Angolo pendenza base concio
W(kN/m)	: Forza peso concio
ru(-)	: Coefficiente locale pressione interstiziale
U(kPa)	: Pressione totale dei pori base concio
phi'(gradienti)	: Angolo di attrito efficace base concio
c/Cu (kPa)	: Coesione efficace / Resistenza al taglio in condizioni non drenate
ht(m)	: Altezza linea di thrust da nodo sinistro base concio
yt(m)	: coordinata Y linea di thrust
yt'(-)	: gradiente pendenza locale linea di thrust
E(x)(kN/m)	: Forza Normale interconcio
T(x)(kN/m)	: Forza Tangenziale interconcio
E' (kN)	: derivata Forza normale interconcio

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica</p>	<p>Foglio 32 di 51</p>

Rho(x) (-) : fattore mobilizzazione resistenza al taglio verticale interconcozioZhU et al.(2003)

Fs(x) (-) : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X)

Condizioni Sismiche



SSAP2010 (versione 4.3.2 2014) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

Report elaborazioni

- SSAP 4.3.2 - Slope Stability Analysis Program -

by Dr. Geol. L.Borselli**, ** - (1991,2014)

*UASLP, San Luis Potosi, Mexico

e-mail: lborselli@gmail.com

CV e WEB page personale: www.lorenzo-borselli.eu

** Gia' Ricercatore CNR-IRPI fino a Luglio 2011

File report: P:\LAVORI\14_PR_004_MI-GE-ITF_COCIV\03_LAVOROMALTESE\IR1Q\IR1Q_sism.txt

Data: 9/5/2014

Localita' :

Descrizione:

----- PARAMETRI DEL MODELLO DEL PENDIO -----

__ PARAMETRI GEOMETRICI - Coordinate X Y (in m) __

SUP T.		SUP 2		SUP 3		SUP 4	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0.00	13.00	10.00	13.00	0.00	9.80	-	-
10.00	13.00	50.75	13.00	60.00	9.80	-	-
15.05	16.38	-	-	-	-	-	-
17.05	16.38	-	-	-	-	-	-
26.05	22.38	-	-	-	-	-	-
34.55	22.38	-	-	-	-	-	-
43.55	16.38	-	-	-	-	-	-
45.55	16.38	-	-	-	-	-	-
50.75	13.00	-	-	-	-	-	-
60.00	13.00	-	-	-	-	-	-

SUP FALDA

X Y (in m)

0.00	5.00
60.00	5.00

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica
	Foglio 34 di 51

_____ GESTIONE ACQUIFERI _____

Strati esclusi da acquifero:

Esclusione sovraccarico pendio sommerso: NON ATTIVATA

Peso unitario fluido (kN/m³): 9.81

Parametri funzione dissipazione superficiale pressione dei fluidi:

Coefficiente A	0
Coefficiente K	0.000800
Pressione minima fluidi Uo_Min (kPa)	0.01

_____ PARAMETRI GEOMECCANICI _____

	fi`	C`	Cu	Gamm	Gamm_sat	STR_IDX	sgci	GSI	mi	D
STRATO 1	35.0	2.0	0.0	20.0	20.0	2.509	0.00	0.0	0.0	0.0
STRATO 2	28.0	0.0	0.0	18.0	18.0	1.664	0.00	0.0	0.0	0.0
STRATO 3	37.0	0.0	0.0	20.0	20.0	2.651	0.00	0.0	0.0	0.0

Note: fi` _____ Angolo di attrito interno efficace(in gradi)

C` _____ Coesione efficace (in Kpa)

Cu _____ Resistenza al taglio Non drenata (in Kpa)

Gamm _____ Peso di volume terreno fuori falda (in KN/m³)

Gamm_sat _____ Peso di volume terreno immerso (in KN/m³)

STR_IDX _____ Indice di resistenza (usato in solo in 'SNIFF SEARCH') (adimensionale)

---- Per ammassi Rocciosi - Parametri Criterio di Rottura di Hoek (2002)-

sigci _____ Resistenza Compressione Uniassiale Roccia Intatta (in MPa)

GSI _____ Geological Strenght Index ammasso(adimensionale)

mi _____ Indice litologico ammasso(adimensionale)

D _____ Fattore di disturbo ammasso(adimensionale)

_____ SOVRACCARICHI PRESENTI _____

SOVRACCARICO N.1

carico (Kpa): 20.00
posizione da m.: 26.05
a m.: 34.55

----- INFORMAZIONI GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM -----

*** PARAMETRI PER LA GENERAZIONE DELLE SUPERFICI

METODO DI RICERCA: CONVEX RANDOM - Chen (1992)

FILTRAGGIO SUPERFICI : ATTIVATO

COORDINATE X1,X2,Y OSTACOLO : 0.00 0.00 0.00

LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI (m): 2.4 (+/-) 50%

RANGE ASCISSE RANDOM STARTING POINT (Xmin .. Xmax): 0.00 10.00

LIVELLO MINIMO CONSIDERATO (Ymin): 2.25

RANGE ASCISSE AMMESSO PER LA TERMINAZIONE (Xmin .. Xmax): 27.00 58.80

*** TOTALE SUPERFICI GENERATE : 5000

----- INFORMAZIONI PARAMETRI DI CALCOLO -----

METODO DI CALCOLO : MORGENSTERN & PRICE (Morgenstern & Price, 1965)

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kh : 0.048

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kv (assunto Positivo): 0.024

FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE IN TESTA (kN/m): 0.00

FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE ALLA BASE (kN/m): 0.00

N.B. Le forze orizzontali addizionali in testa e alla base sono poste uguali a 0 durante le tutte le verifiche globali.

I valori >0 impostati dall'utente sono utilizzati solo in caso di verifica singola

----- RISULTATO FINALE ELABORAZIONI -----

* DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR Fs *



Fattore di sicurezza (FS) 1.211 - Min. - X Y Lambda= 0.758

7.82	13.00
8.88	12.37
9.94	11.96
11.00	11.77
12.06	11.78
13.12	12.00
14.18	12.41
15.24	12.90
16.29	13.41
17.35	13.93
18.41	14.47
19.47	15.09
20.53	15.80
21.59	16.58
22.65	17.42
23.71	18.33
24.76	19.28
25.82	20.28
26.88	21.31
27.94	22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.212 - N.2 -- X Y Lambda= 0.783

7.57	13.00
8.64	12.40
9.71	11.97
10.78	11.74
11.85	11.74
12.92	11.98
13.99	12.43
15.06	12.98
16.13	13.56
17.20	14.18
18.27	14.81
19.34	15.48
20.41	16.18
21.48	16.90
22.55	17.65
23.62	18.46
24.69	19.32
25.76	20.23
26.83	21.23
27.90	22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.213 - N.3 -- X Y Lambda= 0.777

8.29	13.00
9.31	12.39
10.32	11.97
11.34	11.73
12.35	11.71
13.37	11.89
14.38	12.26
15.39	12.75
16.41	13.29
17.42	13.89
18.44	14.53
19.45	15.21
20.47	15.92
21.48	16.66
22.50	17.44
23.51	18.27
24.53	19.16
25.54	20.10
26.55	21.15
27.57	22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.214 - N.4 -- X Y Lambda= 0.816

8.28 13.00
9.31 12.48
10.34 12.18
11.37 12.07
12.40 12.15
13.44 12.41
14.47 12.84
15.50 13.36
16.53 13.92
17.56 14.53
18.59 15.16
19.63 15.83
20.66 16.51
21.69 17.21
22.72 17.94
23.75 18.73
24.79 19.58
25.82 20.48
26.85 21.43
27.88 22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.214 - N.5 -- X Y Lambda= 0.775
7.68 13.00
8.75 12.56
9.81 12.20
10.88 12.00
11.95 12.01
13.02 12.25
14.09 12.68
15.15 13.19
16.22 13.71
17.29 14.23
18.36 14.77
19.43 15.36
20.49 16.02
21.56 16.72
22.63 17.49
23.70 18.33
24.77 19.25
25.83 20.24
26.90 21.29
27.97 22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.215 - N.6 -- X Y Lambda= 0.783
8.34 13.00
9.40 12.55
10.46 12.17
11.53 11.96
12.59 11.99
13.65 12.24
14.72 12.69
15.78 13.20
16.84 13.76
17.91 14.36
18.97 14.99
20.03 15.66
21.10 16.36
22.16 17.09
23.22 17.92
24.29 18.89
25.35 19.98
26.41 21.16
27.48 22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.215 - N.7 -- X Y Lambda= 0.756
7.45 13.00
8.53 12.48



9.60 12.02
10.67 11.72
11.75 11.65
12.82 11.84
13.89 12.24
14.96 12.74
16.04 13.25
17.11 13.78
18.18 14.34
19.26 14.98
20.33 15.71
21.40 16.51
22.48 17.38
23.55 18.29
24.62 19.24
25.69 20.22
26.77 21.25
27.84 22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.216 - N.8 -- X Y Lambda= 0.774

8.22 13.00
9.28 12.49
10.34 12.16
11.40 12.01
12.46 12.04
13.52 12.27
14.58 12.67
15.64 13.17
16.70 13.72
17.76 14.33
18.82 14.97
19.88 15.65
20.94 16.37
22.00 17.11
23.06 17.88
24.12 18.71
25.18 19.58
26.24 20.49
27.30 21.44
28.36 22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.216 - N.9 -- X Y Lambda= 0.787

8.34 13.00
9.36 12.51
10.38 12.19
11.40 12.03
12.42 12.04
13.44 12.21
14.46 12.54
15.49 12.98
16.51 13.50
17.53 14.10
18.55 14.75
19.57 15.44
20.59 16.14
21.61 16.86
22.63 17.60
23.65 18.42
24.67 19.32
25.69 20.30
26.71 21.34
27.73 22.38

Fattore di sicurezza (FS) 1.216 - N.10 -- X Y Lambda= 0.791

8.27 13.00
9.33 12.56
10.39 12.14



11.45 11.88
12.51 11.90
13.57 12.17
14.63 12.66
15.69 13.22
16.75 13.81
17.81 14.44
18.87 15.09
19.93 15.75
20.99 16.41
22.05 17.10
23.11 17.89
24.17 18.83
25.23 19.92
26.29 21.12
27.35 22.38

----- ANALISI DEFICIT DI RESISTENZA -----

DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR Fs *

Analisi Deficit in riferimento a FS(progetto) = 1.150

Sup N.	FS	FTR(kN/m)	FTA(kN/m)	Bilancio(kN/m)	ESITO
1	1.211	580.9	479.5	29.4	Surplus
2	1.212	543.8	448.7	27.8	Surplus
3	1.213	565.1	465.8	29.5	Surplus
4	1.214	500.4	412.3	26.2	Surplus
5	1.214	548.3	451.5	29.1	Surplus
6	1.215	541.0	445.4	28.8	Surplus
7	1.215	578.2	476.0	30.8	Surplus
8	1.216	562.5	462.7	30.4	Surplus
9	1.216	538.9	443.3	29.1	Surplus
10	1.216	529.2	435.1	28.8	Surplus

Esito analisi: SURPLUS di RESISTENZA!

Valore minimo di SURPLUS di RESISTENZA (kN/m): 26.2

Note: FTR --> Forza totale Resistente rispetto alla superficie di scivolamento (componente Orizzontale)

FTA --> Forza totale Agente rispetto alla superficie di scivolamento (componente Orizzontale)

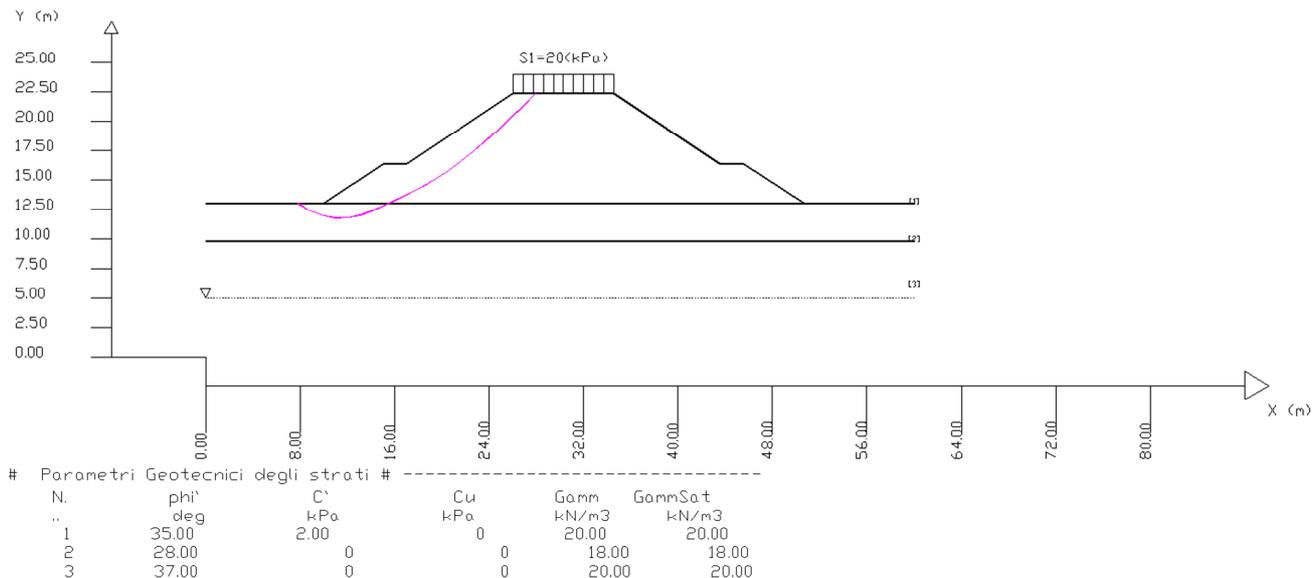
IMPORTANTE! : Il Deficit o il Surplus di resistenza viene espresso in kN per metro di LARGHEZZA rispetto al fronte della scarpata

SSAP 4.3.2 (2014) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DFX generator rel.1.2 (2013)

Data : 9/5/2014
 Località :
 Descrizione :
 [n] = N. strato a lente

Sn --> Sovraccarico

Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)



DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.211
 Range Fs : 1.211 1.216
 Differenza % Range Fs : 0.4
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.048

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N: 5000
 Lunghezza media segmenti (m) : 2.4
 Range X inizio generazione : 0.0 - 10.0
 Range X termine generazione : 27.0 - 58.8
 Livello Y minimo considerato : 2.3

GENERAL CONTRACTOR



Consorzio Collegamenti Integrati Veloci

ALTA SORVEGLIANZA



GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02
Relazione geologica, geotecnicaFoglio
40 di 51

X (m)	dx (m)	alpha (gradi)	W (kN/m)	ru (--)	U (kPa)	phi' (gradi)	c'/Cu (kPa)	ht (m)	yt (m)	yt' (--)	E(x) (kN/m)	T(x) (kN/m)	E' (kN)	rho(x) (--)	local_FS (--)
7.82	0.24	-30.81	0.31	0.00	0.00	28.00	0.00	0.00	13.00	-0.51	0.00	0.00	0.00	0.06	1.88
8.06	0.24	-30.81	0.93	0.00	0.00	28.00	0.00	0.02	12.88	-0.51	0.00	0.00	0.00	0.06	1.88
8.30	0.24	-30.81	1.55	0.00	0.00	28.00	0.00	0.04	12.76	-0.51	0.00	0.00	0.04	0.13	1.91
8.54	0.24	-30.81	2.16	0.00	0.00	28.00	0.00	0.06	12.64	-0.49	0.02	0.00	0.51	0.20	1.94
8.77	0.11	-30.81	1.21	0.00	0.00	28.00	0.00	0.10	12.53	-0.43	0.24	0.03	2.92	0.25	1.94
8.88	0.24	-21.02	2.96	0.00	0.00	28.00	0.00	0.12	12.49	-0.40	0.64	0.08	4.29	0.27	1.93
9.12	0.24	-21.02	3.36	0.00	0.00	28.00	0.00	0.11	12.39	-0.35	2.03	0.29	7.34	0.32	1.89
9.36	0.24	-21.02	3.76	0.00	0.00	28.00	0.00	0.14	12.33	-0.22	4.08	0.67	10.06	0.37	1.82
9.59	0.24	-21.02	4.16	0.00	0.00	28.00	0.00	0.19	12.29	-0.12	6.81	1.26	12.85	0.42	1.73
9.83	0.11	-21.02	2.06	0.00	0.00	28.00	0.00	0.27	12.27	-0.05	10.15	2.11	15.26	0.47	1.62
9.94	0.06	-10.17	1.13	0.00	0.00	28.00	0.00	0.31	12.27	0.02	11.88	2.58	16.18	0.49	1.57
10.00	0.24	-10.17	5.03	0.00	0.00	28.00	0.00	0.32	12.27	0.10	12.84	2.87	16.61	0.51	1.55
10.24	0.24	-10.17	6.02	0.00	0.00	28.00	0.00	0.39	12.30	0.14	16.96	4.34	18.03	0.54	1.45
10.47	0.24	-10.17	6.98	0.00	0.00	28.00	0.00	0.47	12.34	0.21	21.37	6.26	19.13	0.59	1.35
10.71	0.24	-10.17	7.94	0.00	0.00	28.00	0.00	0.57	12.40	0.24	26.05	8.70	20.37	0.66	1.26
10.95	0.05	-10.17	1.85	0.00	0.00	28.00	0.00	0.67	12.45	0.23	31.01	11.69	21.40	0.72	1.17
11.00	0.24	0.59	9.00	0.00	0.00	28.00	0.00	0.69	12.46	0.24	32.12	12.38	21.53	0.74	1.15
11.24	0.24	0.59	9.76	0.00	0.00	28.00	0.00	0.75	12.52	0.28	37.25	15.71	21.55	0.79	1.08
11.48	0.24	0.59	10.52	0.00	0.00	28.00	0.00	0.82	12.59	0.33	42.26	19.33	20.61	0.85	1.01
11.71	0.24	0.59	11.28	0.00	0.00	28.00	0.00	0.90	12.68	0.38	46.97	23.10	19.02	0.90	0.96
11.95	0.11	0.59	5.49	0.00	0.00	28.00	0.00	0.99	12.77	0.41	51.29	26.95	17.43	0.95	0.92
12.06	0.24	11.76	12.29	0.00	0.00	28.00	0.00	1.04	12.82	0.47	53.17	28.63	16.68	0.97	0.90
12.30	0.24	11.76	12.85	0.00	0.00	28.00	0.00	1.10	12.93	0.50	56.92	32.28	14.90	1.01	0.88
12.53	0.24	11.76	13.40	0.00	0.00	28.00	0.00	1.18	13.06	0.53	60.22	35.78	12.90	1.04	0.85
12.77	0.24	11.76	13.96	0.00	0.00	28.00	0.00	1.25	13.19	0.55	63.02	39.04	10.72	1.08	0.83
13.01	0.11	11.76	6.66	0.00	0.00	28.00	0.00	1.34	13.32	0.55	65.30	41.97	8.44	1.10	0.81
13.12	0.24	20.93	14.68	0.00	0.00	28.00	0.00	1.37	13.38	0.54	66.17	43.14	7.39	1.11	0.81
13.36	0.24	20.93	15.06	0.00	0.00	28.00	0.00	1.41	13.51	0.55	67.65	45.46	5.06	1.13	0.80
13.59	0.24	20.93	15.43	0.00	0.00	28.00	0.00	1.45	13.64	0.55	68.56	47.36	2.65	1.15	0.79
13.83	0.24	20.93	15.80	0.00	0.00	28.00	0.00	1.49	13.77	0.53	68.95	48.83	0.78	1.16	0.78
14.07	0.11	20.93	7.46	0.00	0.00	28.00	0.00	1.52	13.89	0.52	68.99	50.00	-0.29	1.18	0.78
14.18	0.24	24.78	16.31	0.00	0.00	28.00	0.00	1.54	13.94	0.49	68.95	50.44	-0.53	1.18	0.78
14.41	0.24	24.78	16.60	0.00	0.00	28.00	0.00	1.54	14.06	0.48	68.79	51.21	-0.75	1.18	0.78
14.65	0.24	24.78	16.90	0.00	0.00	28.00	0.00	1.54	14.17	0.46	68.58	51.70	-1.08	1.18	0.79
14.89	0.16	24.78	11.70	0.00	0.00	28.00	0.00	1.54	14.28	0.43	68.29	51.79	-1.35	1.17	0.80

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA

IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02
Relazione geologica, geotecnicaFoglio
41 di 51

15.05	0.19	24.78	13.33	0.00	0.00	28.00	0.00	1.53	14.34	0.39	68.06	51.56	-1.41	1.16	0.81
15.24	0.21	25.66	15.04	0.00	0.00	28.00	0.00	1.51	14.41	0.36	67.81	50.98	-1.30	1.15	0.82
15.45	0.24	25.66	16.14	0.00	0.00	35.00	2.00	1.49	14.49	0.35	67.56	49.86	-0.97	1.12	0.84
15.69	0.24	25.66	15.59	0.00	0.00	35.00	2.00	1.45	14.57	0.34	67.39	48.37	-0.42	1.09	0.86
15.92	0.24	25.66	15.04	0.00	0.00	35.00	2.00	1.42	14.65	0.32	67.36	46.74	0.17	1.06	0.89
16.16	0.13	25.66	8.18	0.00	0.00	35.00	2.00	1.38	14.72	0.31	67.49	45.05	0.90	1.02	0.92
16.29	0.24	26.22	14.16	0.00	0.00	35.00	2.00	1.35	14.76	0.31	67.63	44.21	1.29	1.01	0.93
16.53	0.24	26.22	13.60	0.00	0.00	35.00	2.00	1.31	14.83	0.32	68.00	42.82	1.79	0.97	0.96
16.77	0.24	26.22	13.03	0.00	0.00	35.00	2.00	1.27	14.91	0.33	68.45	41.82	1.92	0.95	0.98
17.01	0.04	26.22	2.37	0.00	0.00	35.00	2.00	1.24	14.99	0.34	68.89	41.21	1.77	0.93	1.00
17.05	0.24	26.22	12.74	0.00	0.00	35.00	2.00	1.23	15.01	0.36	68.97	41.14	1.73	0.93	1.01
17.29	0.07	26.22	3.56	0.00	0.00	35.00	2.00	1.20	15.09	0.36	69.36	41.02	1.58	0.92	1.03
17.35	0.24	27.23	12.98	0.00	0.00	35.00	2.00	1.19	15.12	0.40	69.46	41.09	1.55	0.92	1.04
17.59	0.24	27.23	13.16	0.00	0.00	35.00	2.00	1.17	15.21	0.43	69.82	41.29	1.41	0.92	1.06
17.83	0.24	27.23	13.33	0.00	0.00	35.00	2.00	1.15	15.32	0.46	70.12	41.48	1.15	0.92	1.08
18.06	0.24	27.23	13.51	0.00	0.00	35.00	2.00	1.14	15.43	0.48	70.35	41.61	0.73	0.92	1.10
18.30	0.11	27.23	6.33	0.00	0.00	35.00	2.00	1.13	15.55	0.50	70.46	41.67	0.18	0.92	1.12
18.41	0.24	30.26	13.73	0.00	0.00	35.00	2.00	1.13	15.61	0.54	70.46	41.68	-0.10	0.92	1.13
18.65	0.24	30.26	13.82	0.00	0.00	35.00	2.00	1.13	15.74	0.57	70.37	41.62	-0.72	0.92	1.15
18.89	0.24	30.26	13.92	0.00	0.00	35.00	2.00	1.13	15.88	0.60	70.12	41.47	-1.37	0.92	1.17
19.12	0.24	30.26	14.01	0.00	0.00	35.00	2.00	1.13	16.02	0.62	69.71	41.23	-2.04	0.92	1.19
19.36	0.11	30.26	6.53	0.00	0.00	35.00	2.00	1.14	16.17	0.63	69.15	40.90	-2.71	0.91	1.22
19.47	0.24	33.70	14.11	0.00	0.00	35.00	2.00	1.15	16.24	0.66	68.83	40.71	-3.01	0.91	1.23
19.71	0.24	33.70	14.11	0.00	0.00	35.00	2.00	1.15	16.40	0.68	68.05	40.25	-3.64	0.91	1.25
19.95	0.24	33.70	14.11	0.00	0.00	35.00	2.00	1.16	16.56	0.70	67.11	39.69	-4.28	0.91	1.26
20.18	0.24	33.70	14.11	0.00	0.00	35.00	2.00	1.16	16.73	0.69	66.01	39.05	-4.94	0.91	1.28
20.42	0.11	33.70	6.54	0.00	0.00	35.00	2.00	1.17	16.89	0.67	64.77	38.31	-5.56	0.91	1.30
20.53	0.24	36.38	14.07	0.00	0.00	35.00	2.00	1.16	16.96	0.68	64.14	37.94	-5.83	0.91	1.31
20.77	0.24	36.38	13.98	0.00	0.00	35.00	2.00	1.15	17.12	0.69	62.70	37.08	-6.34	0.90	1.33
21.00	0.24	36.38	13.90	0.00	0.00	35.00	2.00	1.14	17.29	0.71	61.14	36.16	-6.76	0.90	1.34
21.24	0.24	36.38	13.82	0.00	0.00	35.00	2.00	1.14	17.46	0.71	59.49	35.19	-7.16	0.90	1.36
21.48	0.11	36.38	6.39	0.00	0.00	35.00	2.00	1.13	17.62	0.70	57.75	34.15	-7.55	0.90	1.38
21.59	0.24	38.67	13.67	0.00	0.00	35.00	2.00	1.12	17.70	0.70	56.91	33.66	-7.72	0.90	1.38
21.83	0.24	38.67	13.51	0.00	0.00	35.00	2.00	1.10	17.87	0.72	55.03	32.55	-8.05	0.89	1.40
22.06	0.24	38.67	13.36	0.00	0.00	35.00	2.00	1.09	18.04	0.73	53.09	31.40	-8.31	0.89	1.41
22.30	0.24	38.67	13.21	0.00	0.00	35.00	2.00	1.07	18.21	0.73	51.10	30.22	-8.50	0.89	1.43
22.54	0.11	38.67	6.07	0.00	0.00	35.00	2.00	1.05	18.39	0.72	49.06	29.02	-8.65	0.88	1.44
22.65	0.24	40.45	12.95	0.00	0.00	35.00	2.00	1.04	18.46	0.72	48.11	28.44	-8.72	0.88	1.45

22.88	0.24	40.45	12.74	0.00	0.00	35.00	2.00	1.01	18.63	0.74	46.02	26.80	-8.85	0.87	1.45
23.12	0.24	40.45	12.52	0.00	0.00	35.00	2.00	0.98	18.81	0.75	43.91	25.15	-8.96	0.85	1.45
23.36	0.24	40.45	12.31	0.00	0.00	35.00	2.00	0.96	18.99	0.75	41.77	23.52	-9.04	0.83	1.45
23.60	0.11	40.45	5.64	0.00	0.00	35.00	2.00	0.93	19.17	0.73	39.62	21.89	-9.11	0.81	1.44
23.71	0.24	41.98	11.97	0.00	0.00	35.00	2.00	0.92	19.24	0.74	38.62	21.16	-9.13	0.80	1.44
23.94	0.24	41.98	11.70	0.00	0.00	35.00	2.00	0.88	19.42	0.75	36.44	19.55	-9.18	0.78	1.43
24.18	0.24	41.98	11.43	0.00	0.00	35.00	2.00	0.85	19.60	0.76	34.27	17.98	-9.17	0.76	1.41
24.42	0.24	41.98	11.16	0.00	0.00	35.00	2.00	0.81	19.78	0.75	32.10	16.44	-9.15	0.73	1.39
24.65	0.11	41.98	5.09	0.00	0.00	35.00	2.00	0.78	19.96	0.74	29.92	14.94	-9.23	0.71	1.36
24.76	0.24	43.35	10.74	0.00	0.00	35.00	2.00	0.76	20.04	0.74	28.90	14.27	-9.31	0.70	1.35
25.00	0.24	43.35	10.42	0.00	0.00	35.00	2.00	0.71	20.21	0.76	26.66	12.80	-9.54	0.67	1.33
25.24	0.24	43.35	10.10	0.00	0.00	35.00	2.00	0.67	20.40	0.76	24.38	11.45	-9.75	0.65	1.30
25.48	0.24	43.35	9.78	0.00	0.00	35.00	2.00	0.62	20.57	0.76	22.05	10.31	-9.84	0.64	1.28
25.71	0.11	43.35	4.43	0.00	0.00	35.00	2.00	0.58	20.76	0.78	19.71	9.22	-9.87	0.63	1.25
25.82	0.23	44.41	8.90	0.00	0.00	35.00	2.00	0.57	20.85	0.76	18.63	8.71	-9.88	0.62	1.24
26.05	0.24	44.41	13.43	0.00	0.00	35.00	2.00	0.51	21.01	0.76	16.38	7.66	-9.90	0.61	1.21
26.29	0.24	44.41	12.30	0.00	0.00	35.00	2.00	0.47	21.20	0.75	14.03	6.56	-9.90	0.61	1.17
26.52	0.24	44.41	11.17	0.00	0.00	35.00	2.00	0.41	21.37	0.72	11.69	5.47	-9.81	0.60	1.14
26.76	0.12	44.41	5.24	0.00	0.00	35.00	2.00	0.34	21.54	0.73	9.39	4.39	-9.73	0.60	1.10
26.88	0.24	45.17	9.45	0.00	0.00	35.00	2.00	0.32	21.63	0.65	8.21	3.71	-9.78	0.57	1.07
27.12	0.24	45.17	8.29	0.00	0.00	35.00	2.00	0.22	21.77	0.65	5.90	2.40	-9.58	0.50	1.03
27.36	0.24	45.17	7.13	0.00	0.00	35.00	2.00	0.15	21.94	0.70	3.73	1.30	-8.64	0.42	0.99
27.59	0.24	45.17	5.97	0.00	0.00	35.00	2.00	0.07	22.10	0.74	1.87	0.56	-6.90	0.34	0.95
27.83	0.11	45.17	2.38	0.00	0.00	35.00	2.00	0.02	22.29	0.80	0.48	0.12	-4.81	0.27	0.91

LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio
 dx(m) : Larghezza concio
 alpha(gradi) : Angolo pendenza base concio
 W(kN/m) : Forza peso concio
 ru(-) : Coefficiente locale pressione interstiziale
 U(kPa) : Pressione totale dei pori base concio
 phi'(gradi) : Angolo di attrito efficace base concio
 c/Cu (kPa) : Coesione efficace / Resistenza al taglio in condizioni non drenate
 ht(m) : Altezza linea di thrust da nodo sinistro base concio
 yt(m) : coordinata Y linea di thrust
 yt'(-) : gradiente pendenza locale linea di thrust
 E(x)(kN/m) : Forza Normale interconcio
 T(x)(kN/m) : Forza Tangenziale interconcio
 E' (kN) : derivata Forza normale interconcio
 Rho(x) (-) : fattore mobilizzazione resistenza al taglio verticale interconcio ZhU et al.(2003)

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02
Relazione geologica, geotecnica

Foglio
43 di 51

Fs(x) (-) : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica	Foglio 44 di 51

7 CARICO LIMITE

Viene eseguita una verifica nei confronti di un possibile meccanismo di rottura per raggiungimento del carico limite. Tale condizione provocherebbe lo sviluppo di una superficie di scorrimento al di sotto del rilevato con conseguente abbassamenti eccessivi del rilevato ferroviario e refluentamento laterale del terreno. Tale condizione interessa principalmente terreni sciolti e incoerenti. La normativa di riferimento, D.M. 88, specifica in condizioni statiche un coefficiente di sicurezza minimo pari a 3.0. In condizione sismiche, la normativa non prescrive un coefficiente di sicurezza minimo, la scelta è pertanto lasciata al progettista. In condizioni sismiche il coefficiente di sicurezza al carico verticale minimo vale 2.5. In condizioni sismiche deve essere verificata anche la sicurezza nei confronti dello scorrimento del rilevato sul piano di fondazione. La normativa D.M.1988 anche in questo caso non prescrive un coefficiente di sicurezza minimo. In questo caso il coefficiente di sicurezza minimo vale 1.5. La combinazione di carico sismica non prevede il carico mobile pertanto l'azione sismica verrà applicata alle sole masse del rilevato.

7.1 Azioni di calcolo sul terreno di fondazione

Pesi propri strutturali e sovraccarichi permanenti

Nella determinazione dei valori delle azioni dovute al peso proprio ed ai carichi permanenti è stato calcolato il volume geometrico del rilevato e sono stati adottati i seguenti parametri:

Caratteristiche dei materiali

$\gamma_t = 20.0 \text{ KN/m}^3$ peso per unità di volume del terreno di riporto.

$Q_{\text{stradale}} = 20 \text{ kPa/m}$.

$B_{\text{carr.}} = 4.25 \text{ m}$

$Q_{\text{stradale}} = 170 \text{ kN/m}$

$A_{\text{rilevato}} = 231.68 \text{ mq}$

$P.P = 4634 \text{ kN/m}$

7.2 Verifiche di portanza rilevato alla pk 45+750

Il calcolo del carico limite è stato condotto analiticamente, secondo diverse teorie. Il fattore di sicurezza è pari al rapporto fra il carico limite ammissibile e il carico di progetto. Le teorie utilizzate sono un'evoluzione della formula trinomia di Terzaghi (1955):

$$q_{lim} = N_q \gamma_1 D + N_c c + N_\gamma \gamma_2 \frac{B}{2}$$

Diversi autori oltre allo stesso Terzaghi hanno introdotto dei coefficienti correttivi, relativi a: forma della fondazione, carichi eccentrici, carichi inclinati, inclinazione del piano di pose e/o della superficie del terreno. Fra le diverse teorie, a favore di sicurezza, si è fatto uso di quella che minimizza il carico limite e di conseguenza il coefficiente di sicurezza. Indicativamente sono portati anche i coefficienti medi, minimi e massimi relativi ad altre teorie.

IR1Q_qlim.clf

IR1Q

Dati di input generale e geometria fondazione

Teoria statica: BR. HANSEN (1970)

Geometria fondazione	[B] Larghezza (dir y):	40.60 m	[L] Lunghezza (dir x):	1.00 m
			[D] Profondità (dir z):	0.50 m
[η] Angolo di inclinazione del piano di posa nella direzione di B:	0.0°		[β] Angolo di inclinazione del pendio:	0.0°
Carico permanente uniforme al piano campagna [q0]:	0.00 kPa		Profondità falda dal piano di campagna:	-8.00 m
Criterio di punzonamento:	NESSUNO		Condizione di verifica:	DRENATA

Stratigrafia del terreno

N.	y _{nat}	y _{sat}	φ	c'	c _u	H _{str}	E _{ed}	D _r
1	18.00	18.00	28.0	0.00	0.00	3.20	8000.00	0.30
2	20.00	20.00	37.0	0.00	0.00	11.80	15000.00	0.70
3	20.00	20.00	34.0	0.00	0.00	4.00	13500.00	0.40
4	20.00	20.00	37.0	0.00	0.00	200.00	3500.00	0.50
5	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Legenda

- N. : Numero strato dal piano di campagna verso il basso
- y_{nat} : Peso specifico contenuto naturale d'acqua (kN/m³)
- y_{sat} : Peso specifico condizioni di saturazione d'acqua (kN/m³)
- φ : angolo d'attrito interno (deg)
- c' : Coesione drenata (kPa)
- c_u : Coesione non drenata (kPa)
- H_{str} : Spessore dello strato (m)
- E_{ed} : Modulo edometrico (kPa)
- D_r : Densità relativa

Dati geotecnici di calcolo terreno equivalente

Medie ponderate svolte tra le quote 0.50 m e 81.70 m

y	φ	c'	c _u	E _{ed}	D _r
10.86	36.6	0.00		5813.42	0.52

Descrizione sommaria della teoria utilizzata

$$q_{ult} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c \cdot p_c \cdot e_c + q' \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q \cdot p_q \cdot e_q + 0.5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_y \cdot s_y \cdot d_y \cdot i_y \cdot b_y \cdot g_y \cdot p_y \cdot e_y \quad Q_{ult} = q_{ult} \cdot B' \cdot L'$$

Fattori di capacità portante

$$N_c = (N_q - 1) / \tan(\phi)$$

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\phi)} \cdot \tan^2(\pi/4 + \phi/2)$$

$$N_y = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi)$$

Fattori di forma (Direzione B - Set B)

$$s_c = s_{qB} \cdot (1 - s_{qB}) / (N_q - 1)$$

$$s_q = 1 + i_{qB} \cdot B' / L' \cdot \sin(\phi)$$

$$s_y = 1 - 0.4 \cdot i_{yB} \cdot B' / L' - \text{not effective if } < 0.6$$

Fattori di profondità (direzione B - Set B)

$$d_{cB} = d_{qB} \cdot (1 - d_{qB}) / (N_q - 1)$$

$$d_{qB} = 1 + 2 \cdot K \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \quad D < B \quad K = D/B, \quad D > B \quad K = \arctan(D/B)$$

$$d_{yB} = 1.0$$

Fattori di inclinazione dei carichi (direzione B - Set B)

$$i_{cB} = i_{qB} \cdot (1 - i_{qB}) / (N_q - 1)$$

$$i_{qB} = (1 - 0.5 \cdot V_y / (N + B' \cdot L' \cdot c' / \tan(\phi)))^5$$

$$i_{yB} = (1 - (0.7 - v/7.853816) \cdot V_y / (N + B' \cdot L' \cdot c' / \tan(\phi)))^5$$

Fattori di inclinazione base fondazione

$$b_c = b_{q-} \cdot (1 - b_{q-}) / (N_q - 1)$$

$$b_{q-} = e^{-2 \cdot \eta \cdot \tan(\phi)} \quad \eta \text{ angolo inclinazione base}$$

$$b_y = e^{-2.7 \cdot \eta \cdot \tan(\phi)}$$

Fattori di inclinazione pendio

$$g_c = g_q \cdot (1 - g_q) / (N_q - 1)$$

$$g_q = (1 - 0.5 \cdot \tan(\beta))^5 \quad \beta \text{ angolo inclinazione pendio}$$

$$g_y = (1 - 0.5 \cdot \tan(\beta))^5 \quad \beta \text{ angolo inclinazione pendio}$$

Fattori di forma (direzione L - Set L)

$$s_{cL} = s_{qL} \cdot (1 - s_{qL}) / (N_q - 1)$$

$$s_{qL} = 1 + i_{qL} \cdot L' / B' \cdot \sin(\phi)$$

$$s_{yL} = 1 - 0.4 \cdot i_{yL} \cdot L' / B' - \text{da non considerare se } < 0.6$$

Fattori di profondità (direzione L - Set L)

$$d_{cL} = d_{qL} \cdot (1 - d_{qL}) / (N_q - 1)$$

$$d_{qL} = 1 + 2 \cdot K \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \quad D < L' \quad K = D/L', \quad D > L' \quad K = \arctan(D/L')$$

$$d_{yL} = 1.0$$

Fattori di inclinazione dei carichi (direzione L - Set L)

$$i_{cL} = i_{qL} \cdot (1 - i_{qL}) / (N_q - 1)$$

$$i_{qL} = (1 - 0.5 \cdot V_x / (N + B' \cdot L' \cdot c' / \tan(\phi)))^5$$

$$i_{yL} = (1 - (0.7 - \eta/7.853816) \cdot V_x / (N + B' \cdot L' \cdot c' / \tan(\phi)))^5$$

Fattori di punzonamento

$p_c=1.0$ (punzonamento non ritenuto possibile)
 $p_q=1.0$ (punzonamento non ritenuto possibile)
 $p_y=1.0$ (punzonamento non ritenuto possibile)

Fattori riduttivi per sisma

$e_c=1.0$ (sisma non considerato)
 $e_q=1.0$ (sisma non considerato)
 $e_y=1.0$ (sisma non considerato)

q : pressione litostatica alla profondità D (0.50 m) di imposta fondazione: 9.00 kPa

I valori di γ , ϕ , c' sono i parametri geotecnici di calcolo del terreno equivalente (vedi tabella sopra riportata)

B' , L' : Dimensioni efficaci della fondazione ($B'=B-2 \cdot M_x/N$ - $L'=L-2 \cdot M_y/N$) (se $B'>L'$ le due dimensioni vengono scambiate tra loro)

π : valore di phi greco (3.14159...)

Se $s_{cB} \cdot d_{cB} \cdot i_{cB} < s_{cL} \cdot d_{cL} \cdot i_{cL}$ nel primo e nel secondo termine della equazione trinomia vengono utilizzati i fattori di forma, profondità, inclinazione del Set B. Altrimenti vengono utilizzati i fattori del Set L

Se $i_{yB} \cdot B' < i_{yL} \cdot L'$ nel terzo termine della equazione trinomia vengono utilizzati i fattori di forma, profondità, inclinazione del Set B. Altrimenti vengono utilizzati quelli del Set L, e nel terzo termine il valore di B' è scambiato con L'

Verifiche a scorrimento

$H = \text{rad}q(V_x^2 + V_y^2)$ - forza di scorrimento

$R_{\text{scorr}} = N' \cdot \tan(b \cdot \phi) / \gamma_m + a \cdot c' \cdot B' \cdot L'$ - resistenza allo scorrimento

$b=1.00$ - $b \cdot \phi$: angolo di attrito fondazione-terreno

$\gamma_m=1.00$ - fattore parziale di sicurezza applicato a $\tan(b \cdot \phi)$

$a=0.80$ - fattore riduttivo della coesione per ottenere l'adesione terreno-fondazione

$N' = N \cdot \cos(\alpha) + V_y \cdot \sin(\alpha)$ - $V'_y = -N \cdot \sin(\alpha) + V_y \cdot \cos(\alpha)$ - α angolo inclinazione base fondazione

Valori numerici dei dati che non si modificano ad ogni combinazione di carico

$N_c =$	53.464	$N_q =$	40.686	$N_y =$	44.187
$c' =$	0.00 kPa	$q =$	9.00 kPa	$\gamma =$	10.86 kN/m ³

Descrizione simbologia ed opzioni speciali

Riferimento globale: asse X parallelo ad L, Y parallelo a B, asse Z verticale

Riferimento locale: asse X parallelo ad L, Y parallelo a B, asse Z ortogonale alla base fondazione (eventualmente inclinata)

Combinazione di carico: 1

	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	V_x (kN)	V_y (kN)			
	4803.60					Riferimento globale	$B'=40.60$ m	
	4803.60					Riferimento locale	$L'=1.00$ m	
	Fattori s	Fattori d	Fattori i	Fattori b	Fattori g	Fattori p	Fattori e	Globali
c	1.015	1.124	1.000	1.000	1.000			1.141
q	1.015	1.121	1.000	1.000	1.000			1.138
y	0.990	1.000	1.000	1.000	1.000			0.990
$q_{\text{ult}} =$	654.06 kPa		$Q_{\text{ult}} =$	26555.03 kN		$R = Q_{\text{ult}}/N = 5.528 > R3=3.0$		
$H =$	0.00 kN		$R_{\text{scorr}} =$	3565.63 kN		$R = R_{\text{scorr}}/H = \text{Infinito} > R3=1.3$		

Combinazione di carico: 2 (sismica)

	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	V_x (kN)	V_y (kN)			
	4634.00				222.41	Riferimento globale	$B'=40.60$ m	
	4634.00				222.41	Riferimento locale	$L'=1.00$ m	
	Fattori s	Fattori d	Fattori i	Fattori b	Fattori g	Fattori p	Fattori e	Globali
c	1.013	1.124	0.883	1.000	1.000			1.006
q	1.013	1.121	0.886	1.000	1.000			1.006
y	0.988	1.000	1.000	1.000	1.000			0.988
$q_{\text{ult}} =$	605.37 kPa		$Q_{\text{ult}} =$	24578.20 kN		$R = Q_{\text{ult}}/N = 5.304 > R3=2.5$		
$H =$	222.41 kN		$R_{\text{scorr}} =$	3439.74 kN		$R = R_{\text{scorr}}/H = 15.466 > R3=1.3$		

Minimo coefficiente R

Combinazione di carico: 2 (Capacità portante)

 $q_{ult} = 605.37 \text{ kPa}$ $Q_{ult} = 24578.20 \text{ kN}$ $R = Q_{ult}/N = 5.304 > R3 = 3.0$

Combinazione di carico: 2 (Verifica a scorrimento)

 $H = 222.41 \text{ kN}$ $R_{scorr} = 3439.74 \text{ kN}$ $R = R_{scorr}/H = 15.466 > R3 = 1.3$

Teoria	$q_{lim} \text{ [kPa]}$	$q_{ult} \text{ [kPa]}$	F_s
Terzaghi '43	763.89	118.31	6.46
Vesic '75	750.67	118.31	6.34
Brinch Hansen '70	654.06	118.31	5.53
Meyerhof'63	704.14	118.31	5.95
Richards'93	674.5	118.31	5.70

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica	Foglio 48 di 51

8 CALCOLO DEI CEDIMENTI

Il calcolo dei cedimenti dei rilevati è stato effettuato secondo la teoria del cedimento elastico.

I rilevati sono schematizzati come strisce di carico aventi uno sviluppo longitudinale infinito, mentre la larghezza e il carico dipendono dalla geometria del rilevato alla progressiva di riferimento.

In particolare, considerando scarpate con pendenza 2:3 (V:H), si ha:

$$B_{calcolo} = B + 2 \cdot 3 \cdot H_{ril}/2$$

$$Q = \gamma_{ril} \cdot A_{ril}$$

in cui:

B : larghezza del rilevato a piano binario ;

A_{rij} : area sezione trasversale rilevato;

γ : peso di volume naturale del materiale da rilevato.

I cedimenti indotti dalla costruzione dei rilevati sono stati valutati solo a breve termine. In quanto le permeabilità misurate, i sondaggi e le prove di laboratorio, evidenziano che una risposta non drenata legata a basse permeabilità può essere esclusa.

8.1 Criteri di calcolo del cedimento immediato

Per il caso di materiale granulare, gli spostamenti verticali indotti sono calcolati mediante l'espressione:

$$s_t = \sum_i^n \frac{[\Delta\sigma_{z,i} - \nu'(\Delta\sigma_{x,i} + \Delta\sigma_{y,i})]h_i}{E'_i}$$

con:

s_t = cedimento totale;

$\Delta\sigma_{zi}$, $\Delta\sigma_{xi}$, $\Delta\sigma_{yi}$ = incrementi di sforzo indotti dal carico di rilevato nello strato i-esimo, calcolati mediante la teoria dell'elasticità, secondo le soluzioni di Boussinesq;

h_i = spessore dello strato i-esimo;

E'_i = modulo di Young dello strato i-esimo;

ν' = coefficiente di Poisson dello strato i-esimo = 0.25;

n = numero di strati, appartenenti al volume di terreno interessato dagli spostamenti.

La sommatoria viene estesa fino ad una profondità pari a circa $2B$, in quanto si ritiene che a questa profondità non si abbiano apprezzabili variazioni dello stato tensionale litostatico.

8.2 Cedimenti del rilevato alla pk45+750

Nel seguito si riportano i risultati del calcolo dei cedimenti del rilevato con riferimento alla sezione di calcolo alla pk45+750. Per la caratterizzazione geotecnica del terreno si è fatto riferimento a quanto riportato nella relazione geotecnica contenente i parametri geotecnici definiti a partire dai risultati delle indagini geognostiche. I parametri geotecnici assunti per il calcolo dei cedimenti sono i seguenti:

Tabella 8-1 Parametri di deformabilità per il calcolo dei cedimenti – Sezione pk45+750

Unità geotecnica	E_0' [MPa]	E_U [MPa]
LS	6	60
GS	15	150
GA	13.5	135
GS/GA	35	350

Lo strato limoso sabbioso risulta maggiormente deformabile rispetto agli strati sottostanti. In fase costruttiva si ritiene che gran parte di questo venga rimosso (spessore di circa 2 m). Pertanto i calcoli sono stati eseguiti assumendo che il piano di posa del rilevato coincida con lo strato di limo sabbioso, ma lo spessore di questo deve essere inferiore a 1.5 m.

Il cedimento totale ottenuto è dell'ordine di 7.3 cm se si ipotizza agente il solo peso proprio del rilevato. Tale cedimento è immediato e si svilupperà durante le fasi di messa in opera del rilevato, potrà quindi essere compensato in fase costruttiva dello stesso. Il cedimento incrementale dovuto al carico mobile (20 kPa) vale circa 0.35 cm.

Riepilogo calcolo:

FONDAZIONE NASTRIFORME	combinazione		
	B (m)	L (m)	N (kPa)
	40.90	1.00	114

Dove :

$$N = \gamma_{ril} \cdot \frac{A_{ril}}{B} = 114 \text{ KPa}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-04-E-CV-RO-IR1Q-00-003-A02 Relazione geologica, geotecnica		Foglio 50 di 51

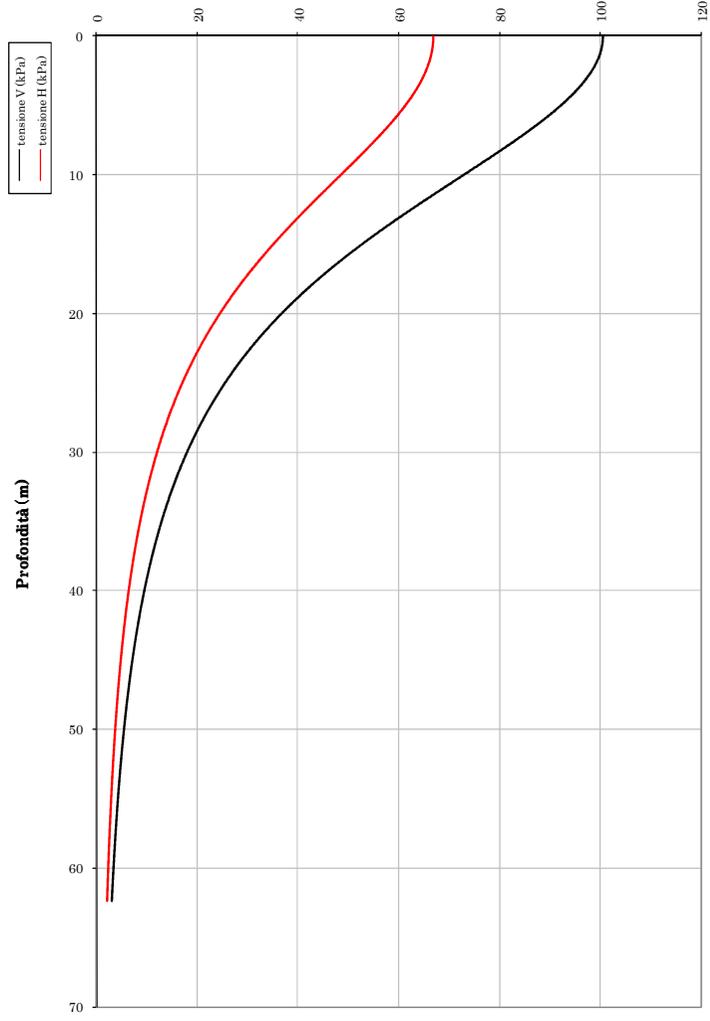
CALCOLO CEDIMENTI

PARAMETRI GEOTECNICI:	profondità (m)	spessore (m)	gamma t (kN/mc)	Eu (kPa)	E' (kPa)	Poisson u	Poisson'
Strato							
1 - Limo Sabbioso	0.00	3.20	18.00	60000	6000	0.25	0.25
2 - Ghiaia medio grossa sabbiosa	1.20	11.80	20.00	45000	15000	0.25	0.25
3 - Ghiaia medio grossa argillosa	13.00	4.00	20.00	40500	13500	0.25	0.25
4 - Ghiaia medio grossa sabbiosa/limosa	17.00	45.35	20.00	105000	35000	0.25	0.25
3 - Ghiaia medio grossa sabbiosa/limosa	62.35	-	20.00	105000	35000	0.25	0.25

TENSIONE LITOSTATICA:	
Gamma w (kN/mc):	0
Gamma t (kN/mc):	18.00
profondità falda (m):	8
profondità piano di posa dal p.c. (m):	0.5
Tensione verticale litostatica (kPa):	9.00

PARAMETRI GEOMETRICI:	
Larghezza fondazione secondo x (m):	40.90
Larghezza fondazione secondo y (m):	1.00
Carico verticale (kPa):	114
Momento x (kNm):	0
Momento y (kNm):	0
Eccentricità del carico in x (m):	0.000
Eccentricità del carico in y (m):	0.000
Base ridotta fondazione in x (m):	40.900
Base ridotta fondazione in y (m):	1.000
Carico assiale (kPa):	114.00
Carico netto (kPa):	105.00

Nel seguito è riportato l'andamento con la profondità delle curve di trasferimento di carico e l'andamento delle deformazioni verticali e orizzontali con la profondità nella condizione di soli pesi propri. Come si nota alla profondità indagata le deformazioni risultano praticamente nulle.

CURVE DI TRASFERIMENTO CARICHI IN
PROFONDITA'CURVE DI DEFORMAZIONE DEL
SOTTOSUOLO