

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA**

**U.O. PRODUZIONE CENTRO NORD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA–CATENANUOVA**  
**Soppressione PL al km 3+639**

Relazione

Relazione di verifica stabilità dei rilevati

SCALA:

-
---

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

RS0N    00    D    26    RB    NV0100    001    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	G. Grimaldi <i>Giuseppe Grimaldi</i>	Marzo 2015 <i>2015</i>	Malcangi <i>Malcangi</i>	Marzo 2015 <i>2015</i>	P. Carlesimo <i>P. Carlesimo</i>	Marzo 2015	F. Arduini <i>F. Arduini</i>	Marzo 2015

ITALFERR S.p.A.  
 Direzione Tecnica  
 Centro Progetti  
 Ing. Arduini

n. Elab.:

**31**



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  
SOPPRESSIONE PL al km 3+639

Relazione verifica stabilità rilevati

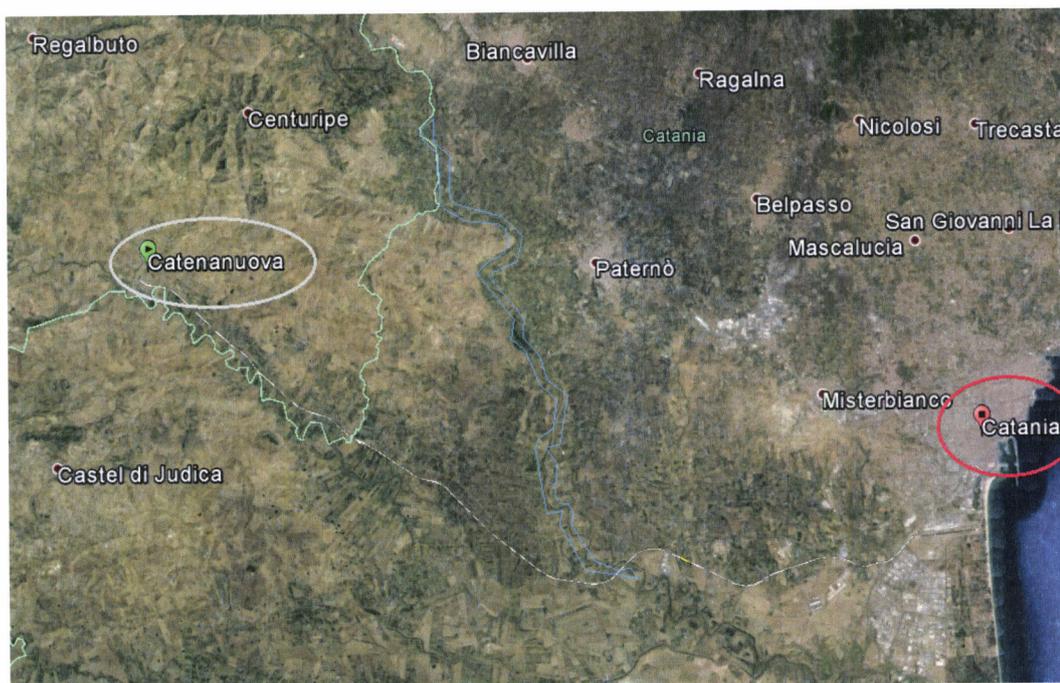
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS0N	00	D 26 RB	NV 01 00 001	A	2 di 32

## SOMMARIO

1	PREMESSA.....	3
2	NORME E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO .....	4
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	4
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	6
5	VERIFICA DI STABILITÀ .....	7
1.1	RIFERIMENTI TEORICI.....	8
1.2	VERIFICA DI STABILITÀ .....	13
6	CALCOLO DEI CEDIMENTI .....	19
7	CALCOLO DEL QLIM.....	24

## 1 PREMESSA

La presente relazione di verifica stabilità dei rilevati è stata redatta nell'ambito della progettazione preliminare del cavalcavia ferroviario IV01 al Km 3 + 639 lungo il nuovo collegamento Palermo Catania Tratta Catenanuova – Bicocca.



**Fig 1– Inquadramento geografico**

Di seguito la relazione si articolerà in questo modo:

- inquadramento geologico dell'area in esame;
- inquadramento geotecnico;
- calcolo della stabilità del rilevato stradale
- calcolo qlim rilevato stradale
- calcolo cedimenti rilevato stradale



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  
SOPPRESSIONE PL al km 3+639

Relazione verifica stabilità rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS0N	00	D 26 RB	NV 01 00 001	A	4 di 32

## 2 NORME E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO

La progettazione è conforme alle normative vigenti.

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

Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008);

Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;

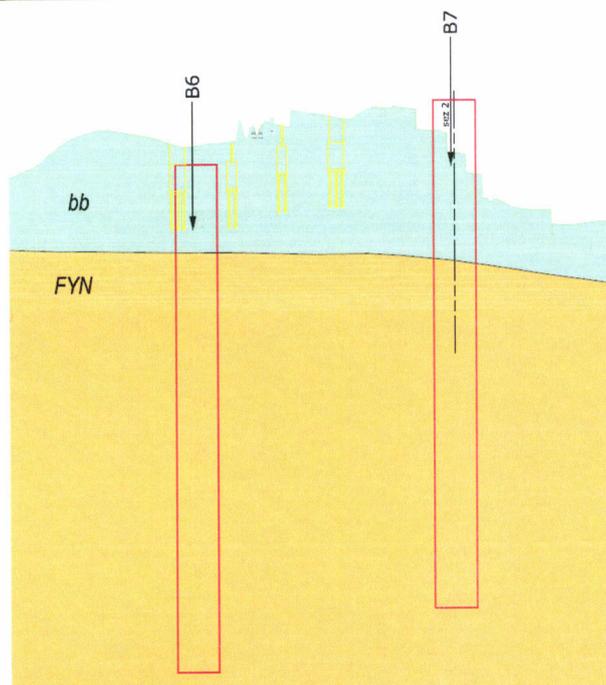
DM 6/5/2008 – Integrazione al D.M. 14-01-2008 di approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni;

Specifica RFI del 21/12/11 per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie.

## 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il tratto in esame attraversa in termini litologici dei depositi alluvionali recenti costituiti generalmente da terreni prevalentemente sabbiosi e sabbie limose, a luoghi, come nel tratto in esame da terreni argillo limosi e limo argillosi.

Il substrato geologico dell'area è costituito dal Flysh Numidico caratterizzato da marne argillose ed argille marnose.



**bb**

**Depositi alluvionali recenti**

Ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, talora con blocchi angolosi, con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio e giallastro, a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate e rari blocchi angolosi, Depositi di canale fluviale, argille e conolde alluvionale. Argille limose e limi argillosi di colore grigio e nocciola, a struttura indistinta o laminata, con locali passaggi sabbioso-limosi grigiastri, rare ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate e locali livelli di torbe e terreni organici nerastri. Depositi di plana inondabile, lago di meandro e canale in fase di abbandono.

**FYN**

Marne argillose di colore nerastro, a struttura prevalentemente indistinta, passanti verso l'alto ad argille marnose di colore grigio e grigio-verdastro, a struttura scagliosa o indistinta, con frequenti livelli di sabbie limose grigie e locali intercalazioni di quarzareniti medio-fini grigie e giallastre, in strati da sottili a medi. A luoghi si rinvencono porzioni costituite da quarzareniti medio-fini di colore grigio, in grossi banchi generalmente gradati, con frequenti intercalazioni di argille marnose di colore grigio e bruno, in strati da molto sottili a medi. Spessore fino a 400 m. Depositi di scarpata, base scarpata e conolde torbida.

Oligocene superiore - Burdigalliano

**Fig 2 Formazioni geologiche individuate nel progetto**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA SOPPRESSIONE PL al km 3+639					
	Relazione verifica stabilità rilevati	COMMESSA RS0N	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RB	DOCUMENTO NV 01 00 001	REV. A

#### 4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Come indicato nella relazione geotecnica RS0N00D26RBGE0000001A l'area in esame è caratterizzata dalle unità geotecniche così inquadrare:

- 0 - 8 m unità bb costituita da argilla limosa e limi argillosi
- 8 - 30 m unità FYN costituita da argilla limosa marnosa

UNITA' bb: da p.c. a 8.00m limi argillosi e argille limose

- Peso per unità di volume  $\gamma_{nat} = 20.00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\phi' = 25^\circ$
- Coesione non drenata  $c_u = 110 \text{ kPa}$
- Modulo di Young operativo  $E' = 10 \text{ MPa}$
- Modulo Eu  $E_u = 48 \text{ MPa}$

UNITA' FYN: da 8.00 a 30.00 argille marnose

- Peso per unità di volume  $\gamma_{nat} = 20.00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\phi' = 35^\circ$
- Coesione non drenata  $c_u > 225 \text{ kPa}$
- Modulo di Young operativo  $E' = 30 \text{ MPa}$

In accordo con le indicazioni dei rilievi piezometrici eseguiti direttamente in foro si desume che nella zona in esame la falda sia posizionata a 102 m.slm



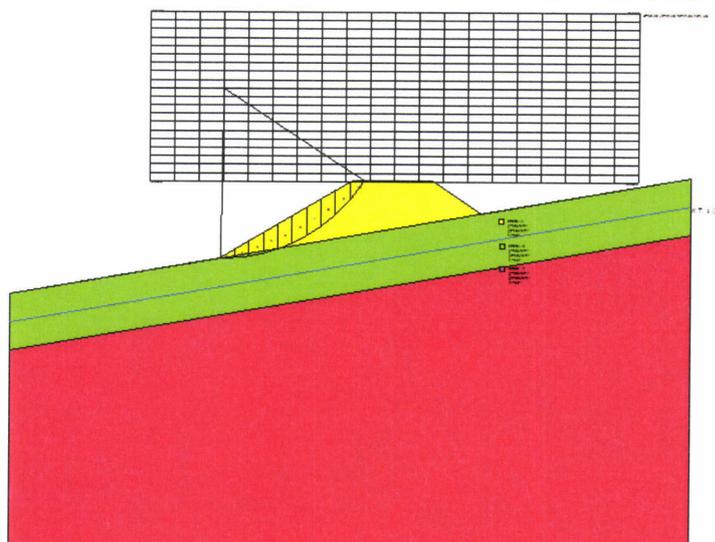


Figura 2 Modello di calcolo

### 1.1 Riferimenti teorici

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

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

1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

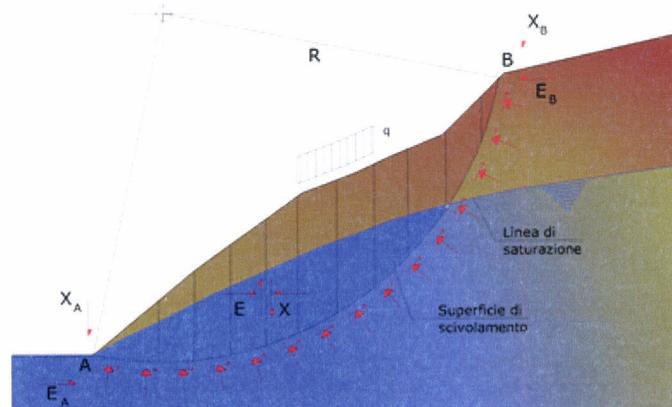
### Metodo equilibrio limite (LEM)

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

$$F = \tau_f / \tau$$

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

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



### Metodo dei conci

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



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  
SOPPRESSIONE PL al km 3+639

Relazione verifica stabilità rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS0N	00	D 26 RB	NV 01 00 001	A	10 di 32

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

Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ .

Mentre le equazioni a disposizione sono:

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

Totale numero di equazioni  $4n$ .

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

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

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

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

### Metodo di Morgenstern e Price (1965)

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo  $X = \lambda f(x)E$ , dove  $\lambda$  è un fattore di scala e  $f(x)$ , funzione della posizione di E e di X, definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione  $f(x)$  è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale,

Relazione verifica stabilità rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS0N	00	D 26 RB	NV 01 00 001	A	11 di 32

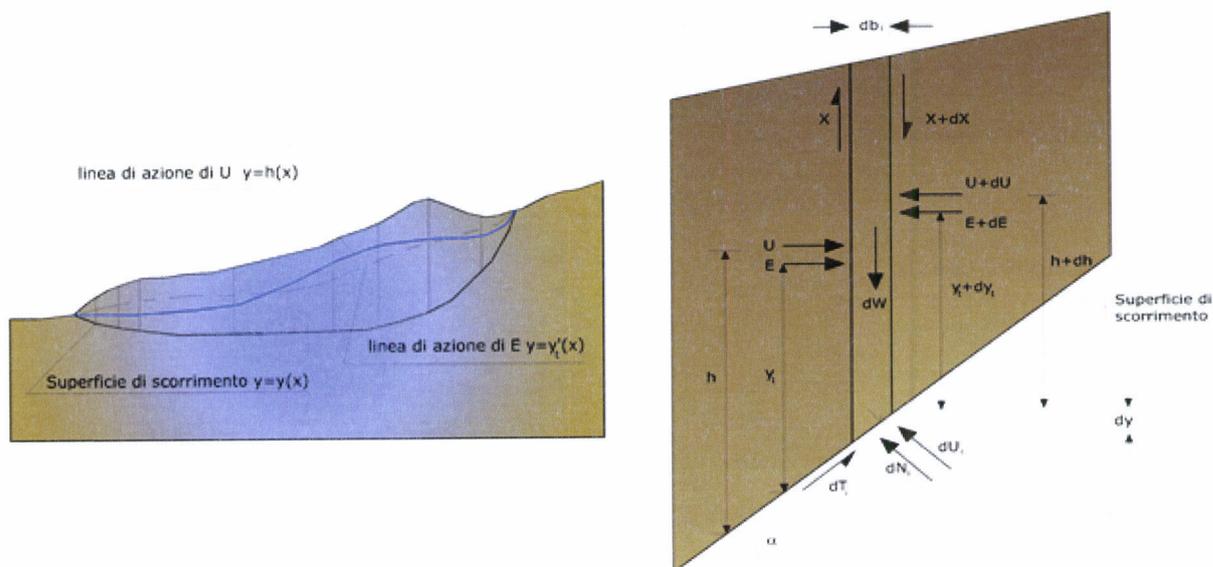
semisinusoide, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

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

Si ottiene la cosiddetta “**equazione delle forze**”:

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

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



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

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

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA SOPPRESSIONE PL al km 3+639					
	COMMESSA <b>RS0N</b>	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RB	DOCUMENTO NV 01 00 001	REV. A	FOGLIO 12 di 32
Relazione verifica stabilità rilevati						

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

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

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

### Valutazione dell'azione sismica

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

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- **F<sub>H</sub>** e **F<sub>V</sub>** rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- **W** peso concio;
- **K<sub>x</sub>** coefficiente sismico orizzontale;
- **K<sub>y</sub>** coefficiente sismico verticale.

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

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

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  
SOPPRESSIONE PL al km 3+639

Relazione verifica stabilità rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<b>RS0N</b>	00	D 26 RB	NV 01 00 001	A	13 di 32

## 1.2 Verifica di stabilità

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

---

---

Normativa	NTC 2008
Numero di strati	4.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

---

---

### Maglia dei Centri

---

---

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	20.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	46.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	90.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	70.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  
 SOPPRESSIONE PL al km 3+639

Relazione verifica stabilità rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS0N	00	D 26 RB	NV 01 00 001	A	14 di 32

Numero di celle lungo y

20.0

Coefficiente azione sismica orizzontale

0.04

Coefficiente azione sismica verticale

0.02

### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	30.0
2	30.0	35.1
3	49.08	46.17
4	60.5	46.17
5	67.53	41.47
6	97.53	46.57
7	97.53	0.0

### Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	26.0
2	97.53	42.57

### Vertici strato .....1

N	X	y
---	---	---



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  
 SOPPRESSIONE PL al km 3+639

Relazione verifica stabilità rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<b>RS0N</b>	00	D 26 RB	NV 01 00 001	A	15 di 32

	(m)	(m)
--	-----	-----

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	30.0
2	97.53	46.57

**Vertici strato .....3**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	22.0
2	97.53	38.57
3	97.53	0.0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

---



---

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

---



---

**Stratigrafia**

Strato	Coazione	Coazione non drenata	Angolo resistenza al	Peso unità di volume	Peso saturo	Litologia



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  
 SOPPRESSIONE PL al km 3+639

Relazione verifica stabilità rilevati

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 RS0N 00 D 26 RB NV 01 00 001 A 16 di 32

	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	taglio (°)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )			
1	5		38	20	20			
2	0	225	35	20	20			
3	0	110	25	20	20			

### Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

---



---

Fs minimo individuato	1.38
Ascissa centro superficie	30.5 m
Ordinata centro superficie	59.2 m
Raggio superficie	24.03 m

---



---

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

$$x_c = 30.50 \quad y_c = 59.20 \quad R_c = 24.033 \quad F_s = 1.377$$

$$\text{Lambda} = 0.531$$

Nr.	B	Alfa	Li	Wi
-----	---	------	----	----

Relazione verifica stabilità rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<b>RS0N</b>	00	D 26 RB	NV 01 00 001	A	17 di 32

	m	(°)	m	(kN)
1	2.06	1.55	2.06	24.32
2	2.06	6.47	2.07	67.5
3	2.06	11.44	2.1	103.29
4	2.06	16.51	2.15	131.35
5	2.06	21.71	2.21	151.18
6	2.06	27.1	2.31	161.94
7	2.06	32.78	2.45	162.38
8	2.06	38.84	2.64	150.55
9	2.06	45.49	2.93	123.23
10	2.06	53.08	3.43	60.51

**Sforzi sui conci**

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	12.82	24.12	0.0	0.0	12.61	16.07	0.0
2	30.03	56.53	12.82	24.12	54.66	33.49	0.0
3	45.87	86.34	30.03	56.53	92.83	49.39	0.0
4	56.64	106.61	45.87	86.34	122.4	61.83	0.0
5	60.22	113.35	56.64	106.61	140.2	69.54	0.0
6	55.79	105.03	60.22	113.35	144.23	71.71	0.0
7	43.87	82.59	55.79	105.03	133.62	68.05	0.0
8	26.49	49.87	43.87	82.59	108.84	58.86	0.0



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  
SOPPRESSIONE PL al km 3+639

Relazione verifica stabilità rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<b>RS0N</b>	00	D 26 RB	NV 01 00 001	A	18 di 32

9	7.91	14.89	26.49	49.87	72.67	45.48	0.0
10	0.0	0.0	7.91	14.89	27.99	29.64	0.0

## 6 CALCOLO DEI CEDIMENTI

Si riportano a seguire le valutazioni del comportamento dei terreni di fondazione dei rilevati stradali sotto carichi di esercizio al fine di verificarne la funzionalità attraverso analisi dei cedimenti. La sezione di calcolo è indicata in Figura 1.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA SOPPRESSIONE PL al km 3+639  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di verifica stabilità dei rilevati	COMMESSA <b>RS0N</b>	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO NV0100001	REV. A

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

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

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

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

Di seguito il calcolo del cedimento a breve termine attraverso la seguente formulazione

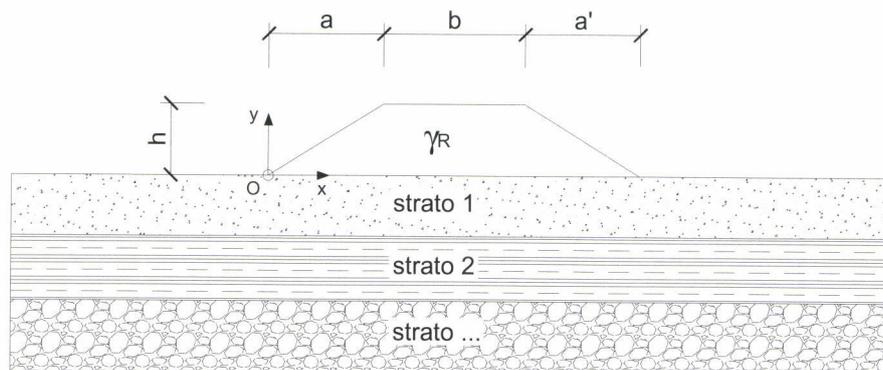
$$w_0 = \frac{qB}{E_u I_w} = 3.3 \text{ cm}$$

$E_u$  stimato a partire da cui assume un valore di circa 48 MPa,  $I_w=1$  dipendente dalla profondità  $D=0$  e dallo spessore  $H$  dello strato deformabile.

Di seguito il calcolo del cedimento di lungo termine

**CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO**

LAVORO: Bicocca



**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO**

h (altezza del rilevato):	5.86	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	19.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	7.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	11.40	(m)
$\gamma_R$ (peso di unità di volume del rilevato):	21.00	(kN/m <sup>3</sup> )

**CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO**

n (numero degli strati) (max 5):	2	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ :	1	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	4.00	(m)

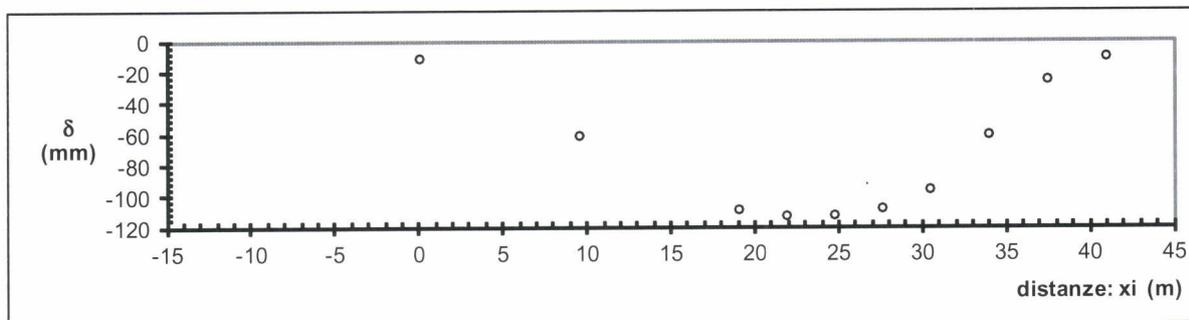
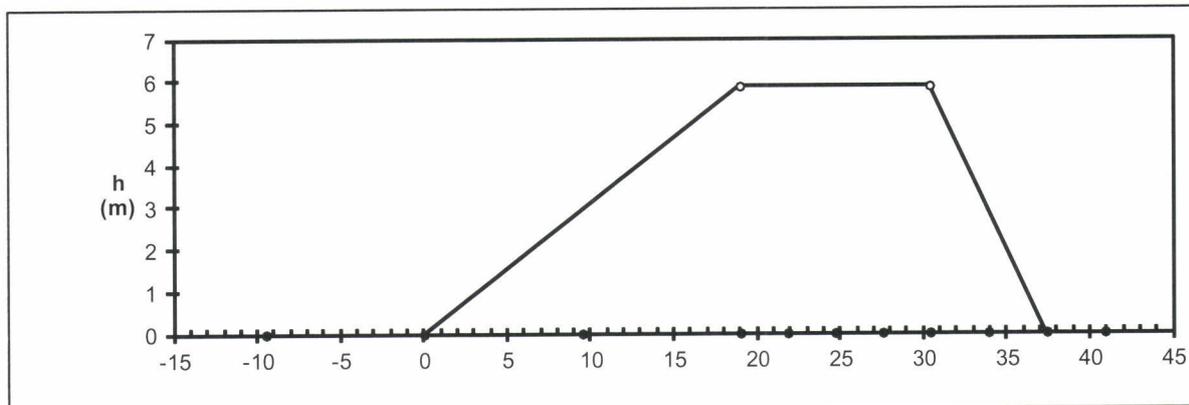
Strato	Z <sub>iniziale</sub>	Z <sub>finale</sub>	Spessore	$\Delta z_i$	E	v	$\varphi'$	$\gamma$	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m <sup>3</sup> )	
1	0.00	8.00	8.00	1.0	10.0	0.30	25.0	20.00	bb
2	8.00	30.00	22.00	1.0	30.0	0.30	35.0	20.00	FYN
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	

**ASCISSE DI CALCOLO**

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-9.50	0.00	9.50	19.00	21.85	24.70	27.55	30.40	33.90	37.40	40.90

(automatico)  
(manuale)

**RISULTATI DELLE ANALISI**



**ASCISSE DI CALCOLO**

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-9.50	0.00	9.50	19.00	21.85	24.70	27.55	30.40	33.90	37.40	40.90

**CEDIMENTI**

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
0.06	-1.07	-6.07	-10.83	-11.23	-11.19	-10.75	-9.54	-6.04	-2.50	-1.02



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  
SOPPRESSIONE PL al km 3+639  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di verifica stabilità dei rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<b>RS0N</b>	00	D 26 RH	NV0100001	A	23 di 32

I cedimenti totali sono pari a circa 11 cm.

Non essendo disponibili gli esiti delle prove di laboratorio, che permetterebbero una più completa caratterizzazione dei terreni in sito, soprattutto con riferimento allo strato superficiale di alluvione recente, non è possibile stimare il tempo in cui tale cedimento si potrebbe sviluppare.

Nella successiva fase progettuale verranno effettuate valutazioni più precise sul valore dei cedimenti e sul tempo necessario per il loro sviluppo.

Se gli esiti di queste verifiche dovessero essere tali da mettere in discussione la stabilità dell'intervento, in progetto esecutivo verranno valutati opportuni interventi di trattamento del terreno in sito al fine di stabilizzare l'opera, nei tratti dove il rilevato ha una altezza superiore ai 6m circa.

	<p>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  SOPPRESSIONE PL al km 3+639</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>Relazione di verifica stabilità dei rilevati</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>RS0N</b></td> <td>00</td> <td>D 26 RH</td> <td>NV0100001</td> <td>A</td> <td>24 di 32</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	<b>RS0N</b>	00	D 26 RH	NV0100001	A	24 di 32
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
<b>RS0N</b>	00	D 26 RH	NV0100001	A	24 di 32								

## 7 CALCOLO DEL QLIM

La verifica a Qlim è stata svolta in condizione non drenate, secondo l'approccio 2 della combinazione 1 A2+M2+R2.

Verifica in tensioni totali

$$q_{lim} = c_u \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q$$

D = Profondità del piano di appoggio

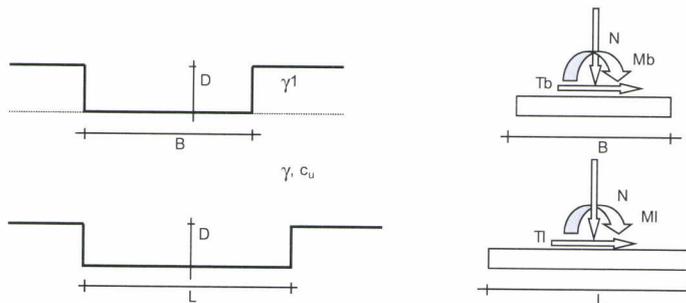
$e_B$  = Eccentricità in direzione B ( $e_B = Mb/N$ )

$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = MI/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

$L^*$  = Lunghezza fittizia della fondazione ( $L^* = L - 2 \cdot e_L$ )

Metodo di calcolo	coefficienti parziali					
	azioni		proprietà del terreno	resistenze		
	permanenti	temporanee variabili	$c_u$	$q_{lim}$	scorr	
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	☑	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M2+R2	☑	1.00	1.30	1.40	1.80
	SISMA	☑	1.00	1.00	1.40	1.80
	A1+M1+R3	☑	1.30	1.50	1.00	2.30
	SISMA	☑	1.00	1.00	1.00	2.30
Tensioni Ammissibili	☑	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00
Definiti dal Progettista	☑	1.10	1.10	1.00	3.00	3.00



(Per fondazioni nastriformi  $L=100$  m)

B = 24.40 (m)  
L = 100.00 (m)  
D = 0.00 (m)



**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	3002.66		3002.66
Mb [kNm]			0.00
MI [kNm]			0.00
Tb [kN]			0.00
TI [kN]			0.00
H [kN]	0.00	0.00	0.00

3002.664

*Peso unità di volume del terreno*

$$\gamma_1 = 20.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 20.00 \quad (\text{kN/mc})$$

*Valore caratteristico di resistenza del terreno*

$$c_u = 110.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$e_B = 0.00 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

*Valore di progetto*

$$c_u = 78.57 \quad (\text{kN/mq})$$

$$B^* = 24.40 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1.00 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 0.00 \quad (\text{kN/mq})$$

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$$\gamma = 20.00 \quad (\text{kN/mc})$$

**Nc : coefficiente di capacità portante**

$$N_c = 2 + \pi$$

$$N_c = 5.14$$

**s<sub>c</sub> : fattori di forma**

$$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$$

$$s_c = 1.00$$

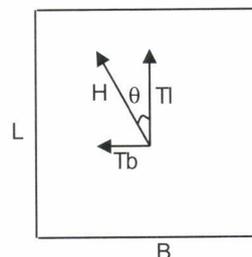
**i<sub>c</sub> : fattore di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 0.00$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 0.00$$

$$\theta = \arctg(T_b/TI) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m = 2.00$$





NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  
 SOPPRESSIONE PL al km 3+639

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di verifica stabilità dei rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS0N	00	D 26 RH	NV0100001	A	27 di 32

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u^* N_c))$$

$$i_c = 1.00$$

**$d_c$  : fattore di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 D / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$

$$d_c = 1.00$$

**$b_c$  : fattore di inclinazione base della fondazione**

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2))$$

$$\beta_f + \beta_p = 0.00$$

$$\beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1.00$$

**$g_c$  : fattore di inclinazione piano di campagna**

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2))$$

$$\beta_f + \beta_p = 0.00$$

$$\beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 403.86 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 123.06 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 224.37 \geq q = 123.06 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica in tensioni efficaci**

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma}$$

D = Profondità del piano di appoggio

$e_B$  = Eccentricità in direzione B ( $e_B = Mb/N$ )

$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = MI/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

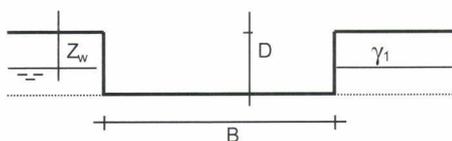
$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

$L^*$  = Lunghezza fittizia della fondazione ( $L^* = L - 2 \cdot e_L$ )

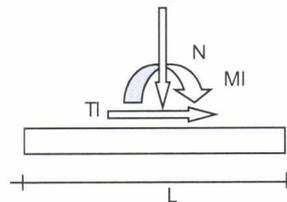
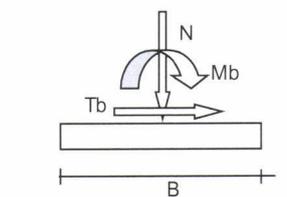
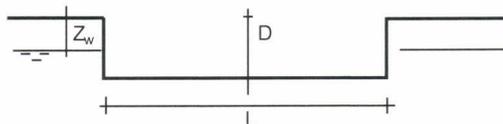
(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

**coefficienti parziali**

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze		
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \phi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr	
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	☑	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M2+R2	☑	1.00	1.30	1.25	1.25	1.80
	SISMA	☑	1.00	1.00	1.25	1.25	1.80
	A1+M1+R3	☑	1.30	1.50	1.00	1.00	2.30
	SISMA	☑	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30
Tensioni Ammissibili	☑		1.00	1.00	1.00	1.00	3.00
Definiti dal Progettista	☑		1.35	1.50	1.00	1.00	1.40



$\gamma, c', \phi'$



(Per fondazione nastriforme  $L = 100$  m)

B = 24.00 (m)  
L = 100.00 (m)  
D = 0.00 (m)



$\beta_f = 0.00$  (°)



$\beta_p = 0.00$  (°)

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo	
	permanenti	temporanee		
N [kN]	2953.44		2953.44	2953.44
Mb [kNm]			0.00	
MI [kNm]			0.00	
Tb [kN]			0.00	
TI [kN]			0.00	
H [kN]	0.00	0.00	0.00	

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1 = 20.00$  (kN/mc)

$\gamma = 20.00$  (kN/mc)

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$c' = 0.00$  (kN/mq)

$\varphi' = 25.00$  (°)

*Valori di progetto*

$c' = 0.00$  (kN/mq)

$\varphi' = 20.46$  (°)

*Profondità della falda*

$Z_w = 4.00$  (m)

$e_B = 0.00$  (m)

$e_L = 0.00$  (m)

$B^* = 24.00$  (m)

$L^* = 1.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 0.00$  (kN/mq)

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$\gamma = 11.67$  (kN/mc)

**Nc, Nq, N $\gamma$  : coefficienti di capacità portante**

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$

$N_q = 6.70$

$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi'$

$N_c = 15.27$

$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$

$N_\gamma = 5.74$

Relazione di verifica stabilità dei rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS0N	00	D 26 RH	NV0100001	A	30 di 32

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : fattori di forma**

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_c = 1.00$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L^*$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B^* / L^*$$

$$s_\gamma = 1.00$$

**$i_c, i_q, i_\gamma$  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 0.00 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 0.00 \quad m = 2.00 \quad (-)$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

$$i_q = (1 - H/(N + B^* L^* c' \cotg \varphi'))^m$$

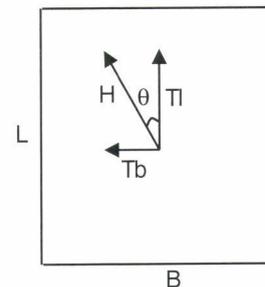
$$i_q = 1.00$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1)$$

$$i_c = 1.00$$

$$i_\gamma = (1 - H/(N + B^* L^* c' \cotg \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 1.00$$



**$d_c, d_q, d_\gamma$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

$$\text{per } D/B^* \leq 1; d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 / B^*$$

$$\text{per } D/B^* > 1; d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B^*)$$

$$d_q = 1.00$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$d_c = 1.00$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  
SOPPRESSIONE PL al km 3+639

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di verifica stabilità dei rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS0N	00	D 26 RH	NV0100001	A	31 di 32

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  
 $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u^* N_c))$$

$$i_c = 1.00$$

**$d_c$  : fattore di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 D / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$

$$d_c = 1.00$$

**$b_c$  : fattore di inclinazione base della fondazione**

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2))$$

$$\beta_f + \beta_p = 0.00$$

$$\beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1.00$$

**$g_c$  : fattore di inclinazione piano di campagna**

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2))$$

$$\beta_f + \beta_p = 0.00$$

$$\beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 403.86 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 123.06 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 224.37 \geq q = 123.06 \quad (\text{kN/m}^2)$$



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  
SOPPRESSIONE PL al km 3+639

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di verifica stabilità dei rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS0N	00	D 26 RH	NV0100001	A	32 di 32

**$b_c, b_q, b_\gamma$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_f \tan\varphi')^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_\gamma$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 804.04 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 123.06 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 446.69 \geq q = 123.06 \quad (\text{kN/m}^2)$$