

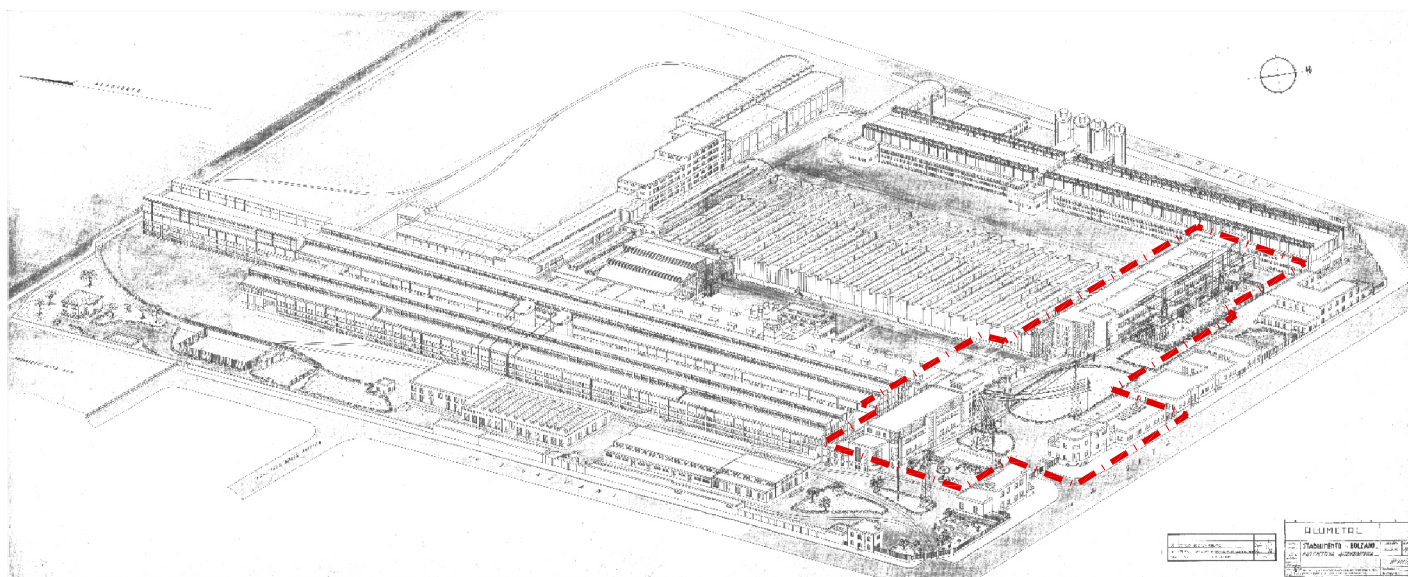


COSTRUZIONE DEL POLO  
SCIENTIFICO E TECNOLOGICO  
DI BOLZANO

RELAZIONE  
GEOLOGICA

ERRICHTUNG DES  
WISSENSCHAFTS- UND  
TECHNOLOGIEZENTRUM - BOZEN

GEOLOGISCHES  
GUTACHTEN



COMMITTENTE/BAUHERR

PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO  
AUTONOME PROVINZ BOZEN

CONTENUTO/PLANINHALT

FASCICOLO 2: Relazioni di calcolo

DATEI 2: Technischer Rechnungsbericht



Studio di geotecnica e  
geologia applicata alla  
protezione dell'ambiente  
Büro für Geo-technik  
und angewandte  
Umweltgeologie

dott. Alessandro Bozzani

ITALY - 39100 Bolzano - Bozen  
Via Comini, 8 - L. von Coministraße  
Tel: 0471 279949 - Fax: 0471 408442  
Mail: [info@ingeabz.it](mailto:info@ingeabz.it)

## **CALCOLO DELLE Q LIMITE**

## Calcolo della Q limite secondo il metodo di calcolo proposto da Terzaghi (1955)

$$q_{lim} = \gamma_1 D N_q + 0,5 \gamma_2 B N_\gamma$$

Dove:

$\gamma_1 = 1,9 \text{ t/mc}$	densità del terreno sopra la fondazione
$\gamma_2 = 1,9 \text{ t/m}$	densità del terreno sotto la fondazione
$D = 0,5$	incastro della fondazione
$B = 1,0 / 1,5 / 2,0$ m	Larghezza ipotizzate della fondazione
$N_q; N_\gamma;$	coefficienti di portanza

## Calcolo della Q limite secondo il metodo di calcolo proposto da Hansen (1970)

$$q_{ult} = c \times N_c \times s_c \times d_c + \gamma \times D \times N_q \times s_q \times d_q + 0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times s_\gamma \times d_\gamma$$

Dove:

$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$	$s_c = 1 + 0.2 k_p \frac{B}{L}$	per $\varphi > 10$
$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$	$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 k_p \frac{B}{L}$	per $\varphi = 0$
$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\varphi)$		

$K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$	$i_c = i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{90}\right)^2$	
	$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{\varphi}\right)^2$	per $\varphi > 0$
$d_c = 1 + 0.4 \frac{D}{B}$	$i_\gamma = 0$	per $\varphi = 0$

Per valori di  $D/B < 1$

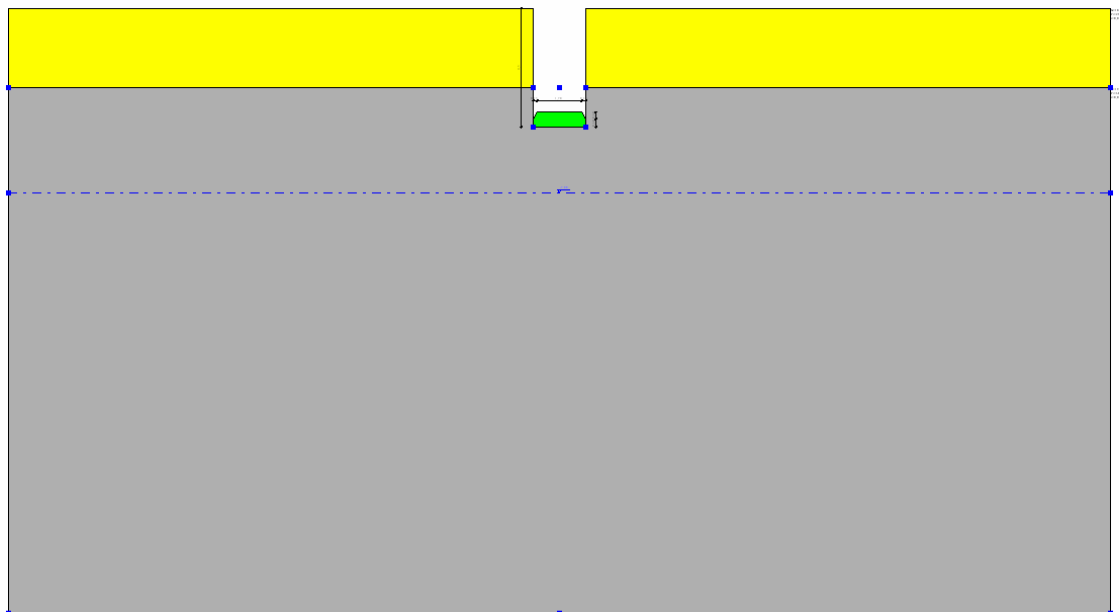
$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \frac{D}{B}$$

Per valori di  $D/B > 1$ :

$$d_c = 1 + 0.4 \tan^{-1} \frac{D}{B}$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \tan^{-1} \frac{D}{B}$$

## Plinto 1 -- Dimensioni 2x2 metri



### DATI GENERALI

Azione sismica	NTC 2008
Larghezza fondazione	2,0 m
Lunghezza fondazione	2,0 m
Profondità piano di posa	4,5 m
Altezza di incastro	0,3 m
Profondità falda	7,0

### STRATIGRAFIA TERRENO

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH [m]	Gam [kN/m³]	Gams [kN/m³]	Fi [°]	Fi Corr. [°]	c [kN/m²]	c Corr. [kN/m²]	cu [kN/m²]	Ey [kN/m²]	Ed [kN/m²]	Ni	Cv [cmq/s]	Cs
3,0	18,0	21,0	29,0	29	0,0	0,0	0,0	17000,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20,0	19,0	21,0	38,0	38	0,0	0,0	0,0	44000,0	0,0	0,0	0,0	0,0

### Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione e	Pressione normale di progetto [kN/m²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	690,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	Sisma	690,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	690,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	690,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef.Rid.Ca pacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2,3	1,1
2	Si	1	1	1	1	1	2,3	1,1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: HANSEN (1970)

Carico limite [Qult]	1269,4 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto[Rd]	551,91 kN/m <sup>2</sup>
Tensione [Ed]	690,77 kN/m <sup>2</sup>
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	1,84
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Non verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 50775,92 kN/m<sup>3</sup>

**A1+M1+R3**

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	48,93
Fattore [Nc]	61,35
Fattore [Ng]	56,17
Fattore forma [Sc]	1,8
Fattore profondità [Dc]	1,46
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,78
Fattore profondità [Dq]	1,27
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0
Fattore forma [Sg]	0,6
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

Carico limite	1269,4 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	551,91 kN/m <sup>2</sup>

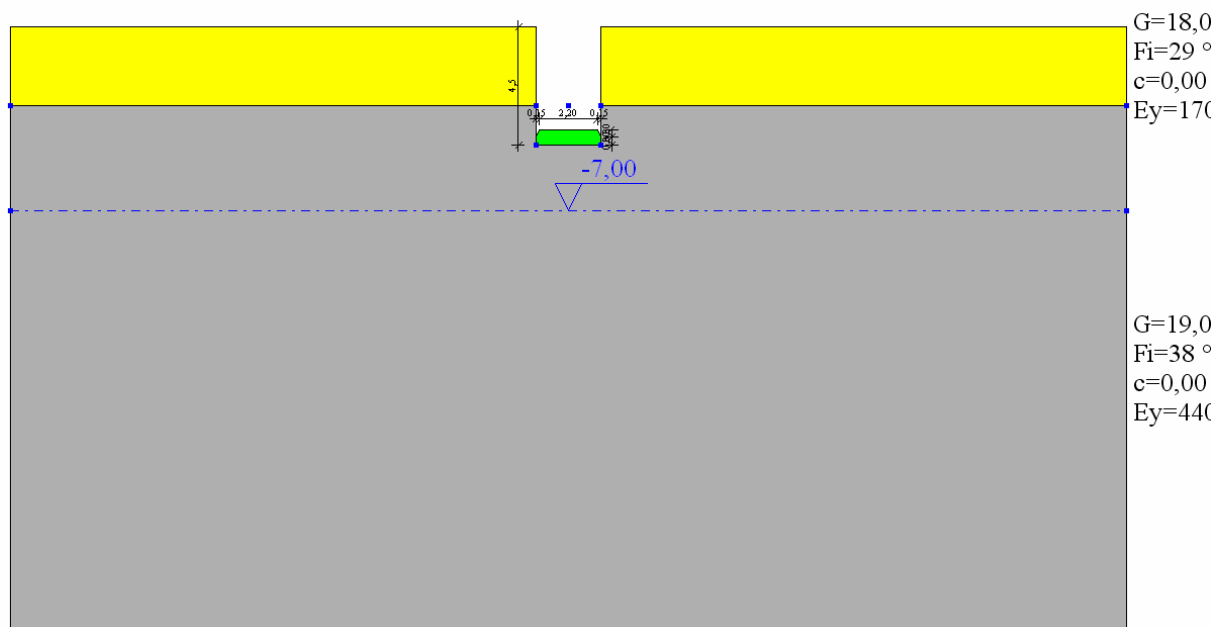
Condizione di verifica [Ed<=Rd] Non verificata

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	61,55
Fattore [Nc]	77,5
Fattore [Ng]	73,47
Fattore forma [Sc]	1,3

Fattore forma [Sg]	0,8
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
<hr/>	
Carico limite	1467,48 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	638,04 kN/m <sup>2</sup>
<hr/>	
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Non verificata
<hr/>	

## **Plinto 2 -- Dimensioni 2,5x2,5 metri**



### **DATI GENERALI**

Azione sismica	NTC 2008
Larghezza fondazione	2,5 m
Lunghezza fondazione	2,5 m
Profondità piano di posa	4,5 m
Altezza di incastro	0,3 m
Profondità falda	7,0

### **STRATIGRAFIA TERRENO**

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH [m]	Gam [kN/m³]	Gams [kN/m³]	Fi [°]	Fi Corr. [°]	c [kN/m²]	c Corr. [kN/m²]	cu [kN/m²]	Ey [kN/m²]	Ed [kN/m²]	Ni	Cv [cmq/s]	Cs
3,0	18,0	21,0	29,0	29	0,0	0,0	0,0	17000,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20,0	19,0	21,0	38,0	38	0,0	0,0	0,0	44000,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	473,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	Sisma	473,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	473,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	473,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef.Rid.Ca pacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2,3	1,1
2	Si	1	1	1	1	1	2,3	1,1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: HANSEN (1970)

Carico limite [Qult] 1419,11 kN/m²  
Resistenza di progetto[Rd] 617,0 kN/m²  
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 56764,2 kN/m³

**A1+M1+R3**

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	48,93
Fattore [Nc]	61,35
Fattore [Ng]	56,17
Fattore forma [Sc]	1,8
Fattore profondità [Dc]	1,43
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,78
Fattore profondità [Dq]	1,25
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0
Fattore forma [Sg]	0,6
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

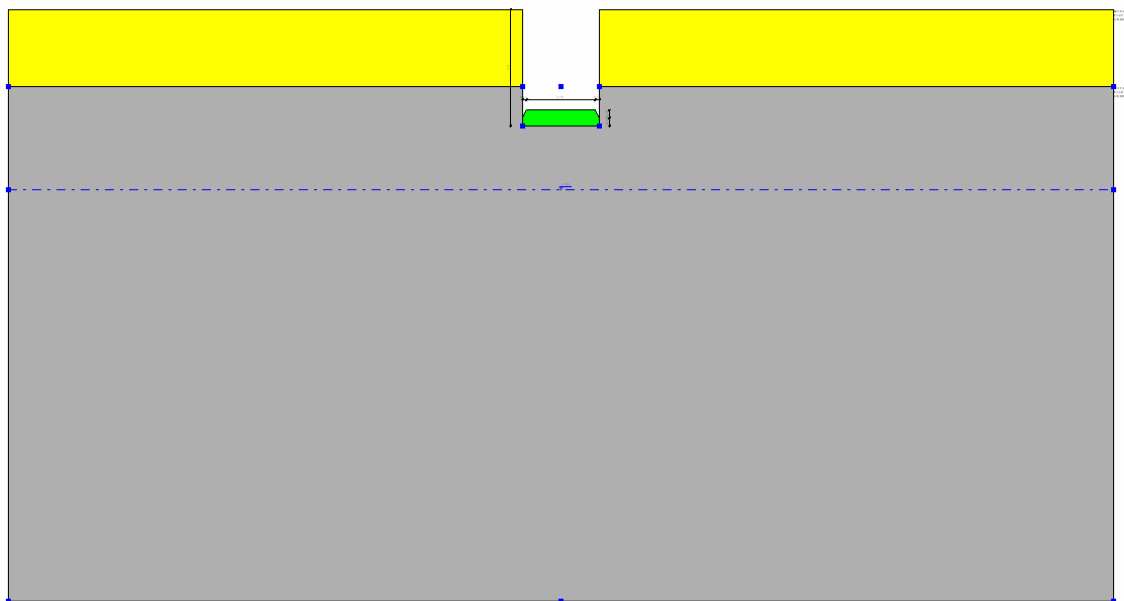
Carico limite	1419,11 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	617,0 kN/m <sup>2</sup>

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	61,55
Fattore [Nc]	77,5
Fattore [Ng]	73,47
Fattore forma [Sc]	1,3
Fattore forma [Sg]	0,8
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

Carico limite	1746,3 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	759,26 kN/m <sup>2</sup>

## **Plinto 3 -- Dimensioni 3x3 metri**



### **STRATIGRAFIA TERRENO**

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH [m]	Gam [kN/m <sup>3</sup> ]	Gams [kN/m <sup>3</sup> ]	Fi [°]	Fi Corr. [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	c Corr. [kN/m <sup>2</sup> ]	cu [kN/m <sup>2</sup> ]	Ey [kN/m <sup>2</sup> ]	Ed [kN/m <sup>2</sup> ]	Ni	Cv [cmq/s]	Cs
3,0	18,0	21,0	29,0	29	0,0	0,0	0,0	17000,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20,0	19,0	21,0	38,0	38	0,0	0,0	0,0	44000,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	518,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	Sisma	518,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	518,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	518,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Ca pacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2,3	1,1
2	Si	1	1	1	1	1	2,3	1,1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: HANSEN (1970)

Carico limite [Qult]	1556,3 kN/m²
Resistenza di progetto [Rd]	676,65 kN/m²
Tensione [Ed]	518,77 kN/m²
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	3,0
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 62252,11 kN/m³

**A1+M1+R3**

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	48,93
Fattore [Nc]	61,35
Fattore [Ng]	56,17
Fattore forma [Sc]	1,8
Fattore profondità [Dc]	1,39
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,78
Fattore profondità [Dq]	1,23
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0
Fattore forma [Sg]	0,6
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
Carico limite	1556,3 kN/m²
Resistenza di progetto	676,65 kN/m²

Condizione di verifica  $[Ed \leq Rd]$  Verificata

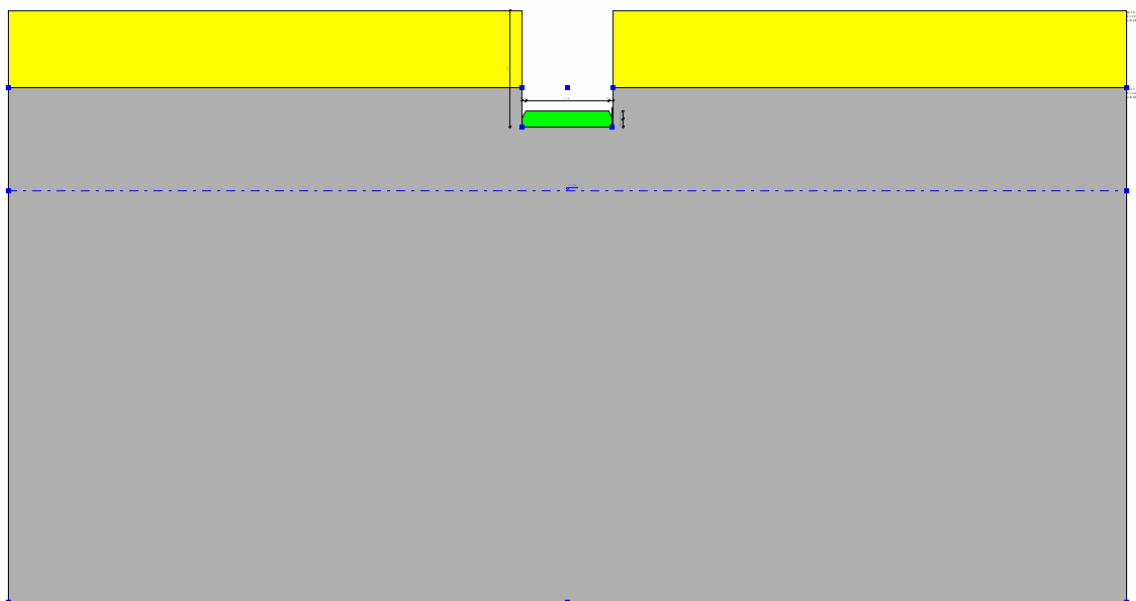
Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

Fattore $[N_q]$	61,55
Fattore $[N_c]$	77,5
Fattore $[N_g]$	73,47
Fattore forma $[S_c]$	1,3
Fattore forma $[S_g]$	0,8
Fattore correzione sismico inerziale $[z_q]$	1,0
Fattore correzione sismico inerziale $[z_g]$	1,0
Fattore correzione sismico inerziale $[z_c]$	1,0

Carico limite	2001,72 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	870,31 kN/m <sup>2</sup>

Condizione di verifica  $[Ed \leq Rd]$  Verificata

## **Plinto 4 -- Dimensioni 3,5x3,5 metri**



### **DATI GENERALI**

Azione sismica	NTC 2008
Larghezza fondazione	3,5 m
Lunghezza fondazione	3,5 m
Profondità piano di posa	4,5 m
Altezza di incastro	0,3 m
Profondità falda	7,0

### **STRATIGRAFIA TERRENO**

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH [m]	Gam [kN/m <sup>3</sup> ]	Gams [kN/m <sup>3</sup> ]	Fi [°]	Fi Corr. [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	c Corr. [kN/m <sup>2</sup> ]	cu [kN/m <sup>2</sup> ]	Ey [kN/m <sup>2</sup> ]	Ed [kN/m <sup>2</sup> ]	Ni	Cv [cmq/s]	Cs
3,0	18,0	21,0	29,0	29	0,0	0,0	0,0	17000,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20,0	19,0	21,0	38,0	38	0,0	0,0	0,0	44000,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m <sup>2</sup> ]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	518,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	Sisma	518,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	518,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	518,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Ca pacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2,3	1,1
2	Si	1	1	1	1	1	2,3	1,1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: HANSEN (1970)

Carico limite [Qult]	1679,5 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto [Rd]	730,22 kN/m <sup>2</sup>
Tensione [Ed]	518,77 kN/m <sup>2</sup>
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	3,24
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 67179,97 kN/m<sup>3</sup>

**A1+M1+R3**

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	48,93
Fattore [Nc]	61,35
Fattore [Ng]	56,17
Fattore forma [Sc]	1,8
Fattore profondità [Dc]	1,36
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,78
Fattore profondità [Dq]	1,21
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0

Fattore forma [Sg]	0,6
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
<hr/>	
Carico limite	1679,5 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	730,22 kN/m <sup>2</sup>
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata
<hr/>	

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	61,55
Fattore [Nc]	77,5
Fattore [Ng]	73,47
Fattore forma [Sc]	1,3
Fattore forma [Sg]	0,8
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
<hr/>	
Carico limite	2231,15 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	970,06 kN/m <sup>2</sup>
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata
<hr/>	

# **CALCOLO DEI CEDIMENTI**

## Cedimenti elastici

I cedimenti di una fondazione rettangolare di dimensioni  $B \times L$  posta sulla superficie di un semispazio elastico si possono calcolare in base ad una equazione basata sulla teoria dell'elasticità (Timoshenko e Goodier (1951)):

$$\Delta H = q_0 \cdot B' \cdot \frac{1 - \mu^2}{E_s} \left( I_1 + \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} I_2 \right) I_F$$

dove:

$q_0$  è intensità della pressione di contatto;

$B'$  è la minima dimensione dell'area reagente;

$E$  e  $\mu$  sono i parametri elastici del terreno;

$I_i$  sono i coefficienti di influenza dipendenti da:  $L'/B'$ , spessore dello strato  $H$ , coefficiente di Poisson  $\mu$ , profondità del piano di posa  $D$ .

I coefficienti  $I_1$  e  $I_2$  si possono calcolare utilizzando le equazioni fornite da Steinbrenner (1934) (V. Bowles), in funzione del rapporto  $L'/B'$  ed  $H/B$ , utilizzando  $B'=B/2$  e  $L'=L/2$  per i coefficienti relativi al centro e  $B'=B$  e  $L'=L$  per i coefficienti relativi al bordo.

Il coefficiente di influenza  $I_F$  deriva dalle equazioni di Fox (1948), che indicano il cedimento si riduce con la profondità in funzione del coefficiente di Poisson e del rapporto  $L/B$ .

In modo da semplificare l'equazione (1-2) si introduce il coefficiente  $I_S$ :

$$I_S = I_1 + \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} I_2$$

Il cedimento dello strato di spessore  $H$  vale:

$$\Delta H = q_0 \cdot B' \cdot \frac{1 - \mu^2}{E_s} I_S \cdot I_F$$

Per meglio approssimare i cedimenti si suddivide la base di appoggio in modo che il punto si trovi in corrispondenza di uno spigolo esterno comune a più rettangoli. In pratica si moltiplica per un fattore pari a 4 per il calcolo dei cedimenti al centro e per un fattore pari a 1 per i cedimenti al bordo.

Nel calcolo dei cedimenti si considera una profondità del bulbo delle tensioni pari a  $5B$ , se il substrato roccioso si trova ad una profondità maggiore.

A tal proposito viene considerato substrato roccioso lo strato che ha un valore di  $E$  pari a 10 volte dello strato soprastante.

Il modulo elastico per terreni stratificati viene calcolato come media pesata dei moduli elastici degli strati interessati dal cedimento immediato.

## Cedimenti secondo Burland e Burbidge

Qualora si disponga di dati ottenuti da prove penetrometriche dinamiche per il calcolo dei cedimenti è possibile fare affidamento al metodo di Burland e Burbidge (1985), nel quale viene correlato un indice di compressibilità  $I_c$  al risultato  $N$  della prova penetrometrica dinamica. L'espressione del cedimento proposta dai due autori è la seguente:

$$S = f_s \cdot f_H \cdot f_t \cdot \left[ \sigma'_{v0} \cdot B^{0.7} \cdot I_c / 3 + (q' - \sigma'_{v0}) \cdot B^{0.7} \cdot I_c \right]$$

nella quale:

$q'$  è la pressione efficace lorda;

$\sigma'_{v0}$  è la tensione verticale efficace alla quota d'imposta della fondazione;

$B$  è la larghezza della fondazione;

$I_c$  è l'indice di compressibilità;

$f_s$ ,  $f_H$ ,  $f_t$  sono fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, dello spessore dello strato compressibile e del tempo, per la componente viscosa.

L'indice di compressibilità  $I_c$  è legato al valore medio  $N_{AV}$  di  $N_{spt}$  all'interno di una profondità significativa  $z$ :

$$I_c = \frac{1.076}{N_{AV}^{1.4}}$$

Per quanto riguarda i valori di  $N_{spt}$  da utilizzare nel calcolo del valore medio  $N_{AV}$  va precisato che i valori vanno corretti, per sabbie con componente limosa sotto falda e  $N_{spt} > 15$ , secondo l'indicazione di Terzaghi e Peck (1948)

$$N_C = 15 + 0.5(N_{spt} - 15)$$

Le espressioni dei fattori correttivi  $f_s$ ,  $f_H$  ed  $f_t$  sono rispettivamente:

$$f_s = \left( \frac{1.25 \cdot L/B}{L/B + 0.25} \right)^2 \quad f_H = \frac{H}{z_i} \left( 2 - \frac{H}{z_i} \right) \quad f_t = \left( 1 + R_3 + R \cdot \log \frac{t}{3} \right)$$

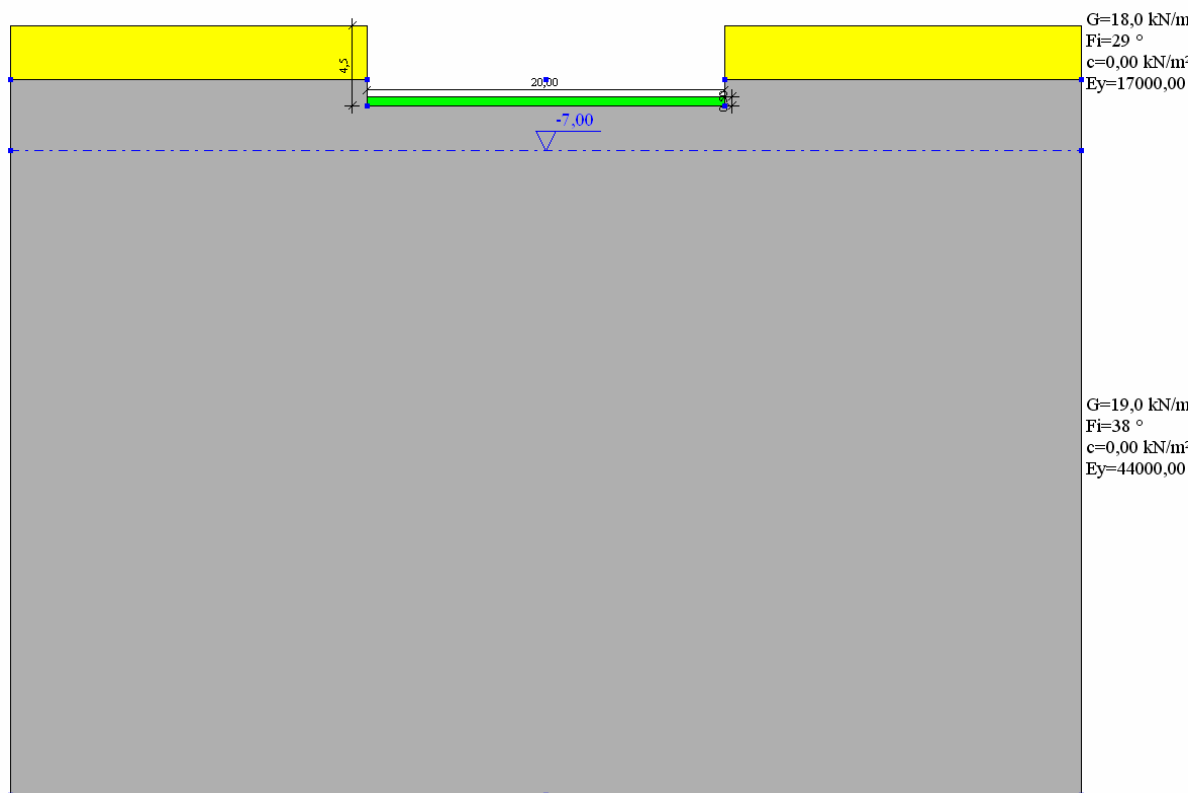
con:

$t$  = tempo in anni  $> 3$ ;

$R_3$  = costante pari a 0.3 per carichi statici e 0.7 per carichi dinamici;

$R$  = 0.2 nel caso di carichi statici e 0.8 per carichi dinamici.

## **Platea -- Dimensioni 40x20 metri**



### **CEDIMENTI ELASTIC I**

Pressione normale di progetto	100,0 kN/m <sup>2</sup>
Spessore dello strato	40,0 m
Profondità substrato roccioso	0,0 m
Modulo Elastico	0,0 kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	0,0

Coefficiente di influenza I1	0,03
Coefficiente di influenza I2	0,08
Coefficiente di influenza Is	0,08

Cedimento al centro della fondazione	0,98 mm
--------------------------------------	---------

Coefficiente di influenza I1	0,01
Coefficiente di influenza I2	0,05
Coefficiente di influenza Is	0,04
Cedimento al bordo	0,23 mm

### **CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE**

Pressione normale di progetto	100,0 kN/m <sup>2</sup>
Tempo	5,0
Profondità significativa Zi (m)	41
Media dei valori di Nspt all'interno di Zi	28,5
Fattore di forma fs	1,235
Fattore strato compressibile fh	1
Fattore tempo ft	1,344
Indice di compressibilità	0,016
Cedimento	9,532 mm

## **Plinto 1 -- Dimensioni 2x2 metri**

### **CEDIMENTI ELASTICI**

Pressione normale di progetto	350,0 kN/m <sup>2</sup>
Spessore dello strato	80,0 m
Profondità substrato roccioso	100,0 m
Modulo Elastico	44000,0 kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	0,3

Coefficiente di influenza I1	0,55
Coefficiente di influenza I2	0,0
Coefficiente di influenza Is	0,55

Cedimento al centro della fondazione	6,6 mm
--------------------------------------	--------

Coefficiente di influenza I1	0,55
Coefficiente di influenza I2	0,0
Coefficiente di influenza Is	0,55
Cedimento al bordo	3,26 mm

### **CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE**

Pressione normale di progetto	350,0 kN/m <sup>2</sup>
Tempo	5,0
Profondità significativa Zi (m)	15
Media dei valori di N <sub>spt</sub> all'interno di Zi	28,5
Fattore di forma fs	1
Fattore strato compressibile fh	1
Fattore tempo ft	1,344
Indice di compressibilità	0,016
Cedimento	10,099 mm

## **Plinto 2 -- Dimensioni 2,5x2,5 metri**

### **CEDIMENTI ELASTICI**

Pressione normale di progetto	300,0 kN/m <sup>2</sup>
Spessore dello strato	80,0 m
Profondità substrato roccioso	100,0 m
Modulo Elastico	0,0 kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	0,0

Coefficiente di influenza I1	0,55
Coefficiente di influenza I2	0,0
Coefficiente di influenza Is	0,55

Cedimento al centro della fondazione	7,24 mm
--------------------------------------	---------

Coefficiente di influenza I1	0,54
Coefficiente di influenza I2	0,0
Coefficiente di influenza Is	0,54
Cedimento al bordo	3,56 mm

#### **CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE**

Pressione normale di progetto	300,0 kN/m <sup>2</sup>
Tempo	5,0
Profondità significativa Zi (m)	15
Media dei valori di Nspt all'interno di Zi	28,5
Fattore di forma fs	1
Fattore strato compressibile fh	1
Fattore tempo ft	1,344
Indice di compressibilità	0,016
Cedimento	9,805 mm

### **Plinto 3 -- Dimensioni 3x3 metri**

#### **CEDIMENTI ELASTIC I**

Pressione normale di progetto	280,0 kN/m <sup>2</sup>
Spessore dello strato	80,0 m
Profondità substrato roccioso	100,0 m
Modulo Elastico	44000,0 kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	0,3

Coefficiente di influenza I1	0,55
Coefficiente di influenza I2	0,0
Coefficiente di influenza Is	0,55

Cedimento al centro della fondazione	8,01 mm
--------------------------------------	---------

Coefficiente di influenza I1	0,54
Coefficiente di influenza I2	0,01
Coefficiente di influenza Is	0,54
Cedimento al bordo	3,93 mm

#### **CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE**

Pressione normale di progetto	280,0 kN/m <sup>2</sup>
Tempo	5,0
Profondità significativa Zi (m)	15
Media dei valori di Nspt all'interno di Zi	28,5
Fattore di forma fs	1
Fattore strato compressibile fh	1
Fattore tempo ft	1,344
Indice di compressibilità	0,016
Cedimento	10,23 mm

## **Plinto 4 -- Dimensioni 3,5x3,5 metri**

### **CEDIMENTI ELASTIC I**

Pressione normale di progetto	250,0 kN/m <sup>2</sup>
Spessore dello strato	80,0 m
Profondità substrato roccioso	100,0 m
Modulo Elastico	44000,0 kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	0,3

Coefficiente di influenza I1	0,55
Coefficiente di influenza I2	0,0
Coefficiente di influenza Is	0,55

Cedimento al centro della fondazione	8,38 mm
--------------------------------------	---------

Coefficiente di influenza I1	0,53
Coefficiente di influenza I2	0,01
Coefficiente di influenza Is	0,54
Cedimento al bordo	4,1 mm

### **CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE**

Pressione normale di progetto	250,0 kN/m <sup>2</sup>
Tempo	5,0
Profondità significativa Zi (m)	15
Media dei valori di Nspt all'interno di Zi	28,5
Fattore di forma fs	1
Fattore strato compressibile fh	1
Fattore tempo ft	1,344
Indice di compressibilità	0,016
Cedimento	9,876 mm

Progetto: Nuovo polo Tecnologico  
Ditta: Provincia Autonoma di Bolzano  
Comune: Bolzano  
Progettista: Ingea  
Direttore dei Lavori:  
Impresa:

## RELAZIONE DI CALCOLO CASO A

### Normative di riferimento

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

## Descrizione metodo di calcolo

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a **1.10**. Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate. Nella descrizione dei metodi di calcolo si adotterà la seguente simbologia:

$l$	lunghezza della base della striscia
$\alpha$	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
$b$	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
$\phi$	angolo di attrito lungo la base della striscia
$c$	coesione lungo la base della striscia
$\gamma$	peso di volume del terreno
$u$	pressione neutra
$W$	peso della striscia
$N$	sfuerzo normale alla base della striscia
$T$	sfuerzo di taglio alla base della striscia
$E_s, E_d$	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
$X_s, X_d$	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
$E_a, E_b$	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
$\Delta X$	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
$\Delta E$	variazione delle forze normali sulla striscia $\Delta E = E_d - E_s$

### Metodo di Fellenius (metodo svedese)

Il coefficiente di sicurezza fornito da **Fellenius** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + [W_i \cos \alpha_i - u_i l_i] \tan \phi_i \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i_{esima}$  rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i_{esima}$  e  $c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre  $u_i$  ed  $l_i$  rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ( $l_i = b_i / \cos \alpha_i$ ).

Quindi, assunto un cerchio di tentativo lo si suddivide in  $n$  strisce e dalla formula precedente si ricava  $F$ . Questo procedimento viene eseguito per il numero di centri prefissato e viene assunto come coefficiente di sicurezza del pendio il minimo dei coefficienti così determinati.

### Metodo di Bishop

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Bishop semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \tan \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine  $m$  è espresso da

$$m = \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{F} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i_{esima}$  rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i_{esima}$ ,  $c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed  $u_i$  è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Bishop semplificato** contiene al secondo membro il termine  $m$  che è funzione di  $F$ . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $F$  da inserire nell'espressione di  $m$  ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

### Metodo di Janbu (semplificato)

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Janbu semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum [ c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i ]}{\sum [ W_i \tan \alpha_i ]}$$

dove il termine  $N_i$  è espresso da

$$N_i = [ W_i - c_i l_i \sin \alpha_i / \eta + u_i l_i \tan \phi \sin \alpha_i / F ] / m$$

dove il termine  $m$  è espresso da

$$m = \cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi) / F$$

In questa espressione  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i_{esima}$  rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i_{esima}$ ,  $c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed  $u_i$  è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Janbu semplificato** contiene al secondo membro il termine  $m$  che è funzione di  $F$ . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $F$  da inserire nell'espressione di  $m$  ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

La semplificazione del metodo rispetto al procedimento completo consiste nel trascurare le forze tangenziali di interstriscia.

## Descrizione terreno

### Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
$\gamma_w$	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
$\phi$	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
$c$	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm <sup>2</sup>
$\phi_u$	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
$c_u$	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm <sup>2</sup>

Nr.	Descrizione	$\gamma$	$\gamma_w$	$\phi'$	$c'$	$\phi_u$	$c_u$
1	Terreno 1	1800	2000	24.00	0,080	24.00	0,000
2	Terreno 2	1900	2000	32.00	0,080	32.00	0,000

## Profilo del piano campagna

### Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

Nr.	X [m]	Y [m]
1	1,00	2,00
2	4,00	2,00
3	5,80	4,50
4	8,00	7,50
5	18,00	7,50

## Descrizione stratigrafia

### Simbologia e convenzioni di segno adottate

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno tipo 2 (Terreno 2)

Coordinate dei vertici dello strato

N°	X[m]	Y[m]
1	5,80	4,50
2	4,00	2,00
3	1,00	2,00
4	1,00	0,90
5	18,00	0,90
6	18,00	4,50

Strato N° 2 costituito da terreno tipo 1 (Terreno 1)

Coordinate dei vertici dello strato

N°	X[m]	Y[m]
1	5,80	4,50
2	18,00	4,50
3	18,00	7,50
4	8,00	7,50

## Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo :

Metodo di FELLENIUS (F)

Metodo di BISHOP (B)

Metodo di JANBU (J)

### Impostazioni analisi

Normativa :

- D.M. 11/03/1988

- D.M. 16/01/1996

### Sisma

Coefficiente sismico orizzontale (percento) 7.00

Coefficiente sismico verticale (percento) 0.00

Coefficiente di sicurezza richiesto 1.10

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

### Impostazioni delle superfici di rottura

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia [m]:  $X_0 = 1,00$   $Y_0 = 6,65$

Passo maglia [m]:  $dX = 0,25$   $dY = 0,25$

Numero passi :  $N_x = 20$   $N_y = 20$

Raggio [m]:  $R = 5,70$

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=0,10$  [m] ed un numero di incrementi pari a 10

Si considerano le superfici passanti per i punti P1(4,20, 2,15) e P2(9,00, 7,40)

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1,00 m

- freccia inferiore a 0,50 m

- volume inferiore a 2,00 mc

Numero di superfici analizzate 1705

Coefficiente di sicurezza minimo 1.117

Superficie con coefficiente di sicurezza minimo 1

## Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS <sub>min</sub>	S <sub>min</sub>	FS <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
FELLENIUS	1705	1.172	1	1.875	1705
BISHOP	1705	1.175	1	1.952	1691
JANBU	1705	1.117	1	1.903	1705

**Caratteristiche delle superfici analizzate**  
**(relative ai 10 fattori di sicurezza più bassi)**

*Simbologia adottata*

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

C<sub>x</sub> ascissa x del centro [m]

C<sub>y</sub> ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x<sub>v</sub>, y<sub>v</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x<sub>m</sub>, y<sub>m</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso m<sup>3</sup>

C<sub>s</sub> coefficiente di sicurezza

N°	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	R	x <sub>v</sub>	y <sub>v</sub>	x <sub>m</sub>	y <sub>m</sub>	V	C <sub>s</sub>
1	2,75	8,65	6,60	4,14	2,20	9,25	7,50	8,93	1.172 (F) 1.175 (B) 1.117 (J)
2	3,00	8,65	6,60	4,10	2,14	9,50	7,50	10,27	1.177 (F) 1.186 (B) 1.119 (J)
3	2,85	8,20	6,20	4,09	2,13	9,01	7,50	8,61	1.179 (F) 1.181 (B) 1.131 (J)
4	3,00	8,40	6,30	4,15	2,21	9,24	7,50	9,18	1.181 (F) 1.187 (B) 1.127 (J)
5	2,94	8,12	6,10	4,09	2,13	9,01	7,50	8,72	1.181 (F) 1.185 (B) 1.135 (J)
6	2,50	8,65	6,60	4,20	2,27	9,00	7,50	7,62	1.182 (F) 1.177 (B) 1.130 (J)
7	3,00	8,65	6,50	4,19	2,26	9,40	7,50	9,47	1.182 (F) 1.188 (B) 1.124 (J)
8	3,00	8,15	6,10	4,11	2,15	9,07	7,50	8,87	1.183 (F) 1.187 (B) 1.135 (J)
9	2,75	8,65	6,50	4,23	2,32	9,15	7,50	8,17	1.183 (F) 1.181 (B) 1.128 (J)
10	3,03	8,04	6,00	4,09	2,13	9,01	7,50	8,83	1.185 (F) 1.189 (B) 1.140 (J)

## Analisi della superficie critica

### Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X <sub>s</sub>	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>ss</sub>	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>si</sub>	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X <sub>g</sub>	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y <sub>g</sub>	ordinata del baricentro della striscia espressa in m
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
L	sviluppo della base della striscia espressa in m (L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
W	peso della striscia espresso in kg
Q	carico applicato sulla striscia espresso in kg
N	sforzo normale alla base della striscia espresso in kg
T	sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg
U	pressione neutra alla base della striscia espressa in kg
E <sub>s</sub> , E <sub>d</sub>	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X <sub>s</sub> , X <sub>d</sub>	forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg

### Analisi della superficie 1

Numero di strisce		21
Coordinate del centro	X[m]= 2,75	Y[m]= 8,65
Raggio del cerchio		R[m]= 6,60
Intersezione a valle con il profilo topografico	Xv([m])= 4,14	Yv([m])= 2,20
Intersezione a monte con il profilo topografico	Xm[m]= 9,25	Ym[m]= 7,50
Coefficiente di sicurezza		C <sub>s</sub> = 1.117

### Geometria e caratteristiche strisce

N°	X <sub>s</sub>	Y <sub>ss</sub>	Y <sub>si</sub>	X <sub>d</sub>	Y <sub>ds</sub>	Y <sub>di</sub>	X <sub>g</sub>	Y <sub>g</sub>	L	α	φ	c
1	4,14	2,20	2,20	4,38	2,53	2,25	4,30	2,33	0,24	13,24	32.00	0,08
2	4,38	2,53	2,25	4,62	2,86	2,32	4,51	2,50	0,25	15,36	32.00	0,08
3	4,62	2,86	2,32	4,85	3,18	2,39	4,74	2,70	0,25	17,50	32.00	0,08
4	4,85	3,18	2,39	5,09	3,51	2,48	4,98	2,90	0,25	19,67	32.00	0,08
5	5,09	3,51	2,48	5,33	3,84	2,57	5,21	3,11	0,26	21,87	32.00	0,08
6	5,33	3,84	2,57	5,56	4,17	2,68	5,45	3,32	0,26	24,10	32.00	0,08
7	5,56	4,17	2,68	5,80	4,50	2,80	5,68	3,54	0,26	26,38	32.00	0,08
8	5,80	4,50	2,80	6,04	4,83	2,93	5,92	3,76	0,28	28,73	32.00	0,08
9	6,04	4,83	2,93	6,29	5,17	3,08	6,17	3,99	0,29	31,18	32.00	0,08
10	6,29	5,17	3,08	6,53	5,50	3,24	6,41	4,23	0,29	33,70	32.00	0,08
11	6,53	5,50	3,24	6,78	5,83	3,42	6,66	4,48	0,30	36,29	32.00	0,08
12	6,78	5,83	3,42	7,02	6,17	3,62	6,90	4,75	0,31	38,97	32.00	0,08
13	7,02	6,17	3,62	7,27	6,50	3,84	7,15	5,02	0,33	41,76	32.00	0,08
14	7,27	6,50	3,84	7,51	6,83	4,08	7,39	5,30	0,34	44,68	32.00	0,08
15	7,51	6,83	4,08	7,76	7,17	4,35	7,63	5,60	0,36	47,75	32.00	0,08
16	7,76	7,17	4,35	8,00	7,50	4,65	7,88	5,92	0,39	51,01	28.02	0,08
17	8,00	7,50	4,65	8,25	7,50	5,00	8,12	6,16	0,43	54,57	24.00	0,08
18	8,25	7,50	5,00	8,50	7,50	5,41	8,37	6,35	0,48	58,52	24.00	0,08
19	8,50	7,50	5,41	8,75	7,50	5,90	8,62	6,57	0,55	62,98	24.00	0,08
20	8,75	7,50	5,90	9,00	7,50	6,53	8,86	6,84	0,68	68,30	24.00	0,08
21	9,00	7,50	6,53	9,25	7,50	7,50	9,08	7,18	1,00	75,60	24.00	0,08

**Forze applicate sulle strisce [FELLENIOUS]**

N°	W	Q	N	T	U	E <sub>s</sub>	E <sub>d</sub>	X <sub>s</sub>	X <sub>d</sub>
1	61	0	59	197	0	0	0	0	0
2	182	0	172	259	0	0	0	0	0
3	299	0	278	318	0	0	0	0	0
4	411	0	377	372	0	0	0	0	0
5	518	0	467	423	0	0	0	0	0
6	621	0	549	470	0	0	0	0	0
7	718	0	621	511	0	0	0	0	0
8	833	0	703	565	0	0	0	0	0
9	914	0	749	594	0	0	0	0	0
10	989	0	784	619	0	0	0	0	0
11	1056	0	807	637	0	0	0	0	0
12	1115	0	818	650	0	0	0	0	0
13	1165	0	815	658	0	0	0	0	0
14	1205	0	797	660	0	0	0	0	0
15	1233	0	765	656	0	0	0	0	0
16	1248	0	717	591	0	0	0	0	0
17	1202	0	628	533	0	0	0	0	0
18	1032	0	477	508	0	0	0	0	0
19	830	0	325	499	0	0	0	0	0
20	579	0	176	528	0	0	0	0	0
21	219	0	40	701	0	0	0	0	0

**Forze applicate sulle strisce [BISHOP]**

N°	W	Q	N	T	U	E <sub>s</sub>	E <sub>d</sub>	X <sub>s</sub>	X <sub>d</sub>
1	61	0	21	177	0	0	163	0	0
2	182	0	125	233	0	163	342	0	0
3	299	0	222	287	0	342	528	0	0
4	411	0	315	339	0	528	712	0	0
5	518	0	403	388	0	712	886	0	0
6	621	0	486	435	0	886	1041	0	0
7	718	0	564	480	0	1041	1170	0	0
8	833	0	655	538	0	1170	1269	0	0
9	914	0	720	577	0	1269	1326	0	0
10	989	0	779	614	0	1326	1335	0	0
11	1056	0	833	649	0	1335	1292	0	0
12	1115	0	882	683	0	1292	1190	0	0
13	1165	0	924	714	0	1190	1026	0	0
14	1205	0	959	744	0	1026	796	0	0
15	1233	0	985	771	0	796	499	0	0
16	1248	0	1062	746	0	499	55	0	0
17	1202	0	1084	704	0	55	-504	0	0
18	1032	0	892	664	0	-504	-991	0	0
19	830	0	627	612	0	-991	-1329	0	0
20	579	0	210	539	0	-1329	-1365	0	0
21	219	0	-721	411	0	-1365	-581	0	0

**Forze applicate sulle strisce [JANBU]**

N°	W	Q	N	T	U	E <sub>s</sub>	E <sub>d</sub>	X <sub>s</sub>	X <sub>d</sub>
1	61	0	20	185	0	0	171	0	0
2	182	0	122	244	0	171	362	0	0
3	299	0	218	300	0	362	561	0	0
4	411	0	310	353	0	561	760	0	0
5	518	0	396	404	0	760	952	0	0
6	621	0	477	453	0	952	1126	0	0
7	718	0	554	499	0	1126	1277	0	0
8	833	0	643	559	0	1277	1400	0	0
9	914	0	706	599	0	1400	1483	0	0
10	989	0	763	637	0	1483	1521	0	0
11	1056	0	816	673	0	1521	1507	0	0
12	1115	0	862	707	0	1507	1436	0	0
13	1165	0	902	739	0	1436	1305	0	0
14	1205	0	934	769	0	1305	1111	0	0
15	1233	0	958	796	0	1111	851	0	0
16	1248	0	1032	770	0	851	445	0	0
17	1202	0	1052	728	0	445	-74	0	0
18	1032	0	858	684	0	-74	-521	0	0
19	830	0	592	630	0	-521	-820	0	0
20	579	0	175	553	0	-820	-818	0	0
21	219	0	-753	419	0	-818	0	0	0

Progetto: Nuovo polo Tecnologico  
Ditta: Provincia Autonoma di Bolzano  
Comune: Bolzano  
Progettista: Ingea  
Direttore dei Lavori:  
Impresa:

## RELAZIONE DI CALCOLO CASO B

### Normative di riferimento

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.  
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.  
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. 16 Gennaio 1996  
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.  
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.  
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

## Descrizione metodo di calcolo

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a **1.10**. Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate. Nella descrizione dei metodi di calcolo si adotterà la seguente simbologia:

$l$	lunghezza della base della striscia
$\alpha$	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
$b$	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
$\phi$	angolo di attrito lungo la base della striscia
$c$	coesione lungo la base della striscia
$\gamma$	peso di volume del terreno
$u$	pressione neutra
$W$	peso della striscia
$N$	sfuerzo normale alla base della striscia
$T$	sfuerzo di taglio alla base della striscia
$E_s, E_d$	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
$X_s, X_d$	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
$E_a, E_b$	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
$\Delta X$	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
$\Delta E$	variazione delle forze normali sulla striscia $\Delta E = E_d - E_s$

### Metodo di Fellenius (metodo svedese)

Il coefficiente di sicurezza fornito da **Fellenius** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + [W_i \cos \alpha_i - u_i l_i] \tan \phi_i \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i_{esima}$  rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i_{esima}$  e  $c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre  $u_i$  ed  $l_i$  rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ( $l_i = b_i / \cos \alpha_i$ ).

Quindi, assunto un cerchio di tentativo lo si suddivide in  $n$  strisce e dalla formula precedente si ricava  $F$ . Questo procedimento viene eseguito per il numero di centri prefissato e viene assunto come coefficiente di sicurezza del pendio il minimo dei coefficienti così determinati.

### Metodo di Bishop

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Bishop semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \tan \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine  $m$  è espresso da

$$m = \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{F} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i_{esima}$  rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i_{esima}$ ,  $c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed  $u_i$  è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Bishop semplificato** contiene al secondo membro il termine  $m$  che è funzione di  $F$ . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $F$  da inserire nell'espressione di  $m$  ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

### Metodo di Janbu (semplificato)

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Janbu semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum [ c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i ]}{\sum [ W_i \tan \alpha_i ]}$$

dove il termine  $N_i$  è espresso da

$$N_i = [ W_i - c_i l_i \sin \alpha_i / \eta + u_i l_i \tan \phi \sin \alpha_i / F ] / m$$

dove il termine  $m$  è espresso da

$$m = \cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi) / F$$

In questa espressione  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i_{esima}$  rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i_{esima}$ ,  $c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed  $u_i$  è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Janbu semplificato** contiene al secondo membro il termine  $m$  che è funzione di  $F$ . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $F$  da inserire nell'espressione di  $m$  ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

La semplificazione del metodo rispetto al procedimento completo consiste nel trascurare le forze tangenziali di interstriscia.

## Descrizione terreno

### Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
$\gamma_w$	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
$\phi$	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
$c$	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm <sup>2</sup>
$\phi_u$	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
$c_u$	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm <sup>2</sup>

Nr.	Descrizione	$\gamma$	$\gamma_w$	$\phi'$	$c'$	$\phi_u$	$c_u$
1	Terreno 1	1800	2000	24.00	0,080	24.00	0,000

## Profilo del piano campagna

### Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

Nr.	X [m]	Y [m]
1	1,00	3,40
2	5,00	3,40
3	5,80	4,50
4	8,00	7,50
5	18,00	7,50

## Descrizione stratigrafia

### Simbologia e convenzioni di segno adottate

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno tipo 1(Terreno 1)

Coordinate dei vertici dello strato

N°	X[m]	Y[m]
1	5,00	3,40
2	1,00	3,40
3	1,00	0,90
4	18,00	0,90
5	18,00	4,50
6	18,00	7,50
7	8,00	7,50
8	5,80	4,50

## Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo :

Metodo di FELLENIUS (F)

Metodo di BISHOP (B)

Metodo di JANBU (J)

### Impostazioni analisi

Normativa :

- D.M. 11/03/1988

- D.M. 16/01/1996

### Sisma

Coefficiente sismico orizzontale (percento) 7.00

Coefficiente sismico verticale (percento) 0.00

Coefficiente di sicurezza richiesto 1.10

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

### Impostazioni delle superfici di rottura

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia [m]:  $X_0 = 1,00$   $Y_0 = 7,00$

Passo maglia [m]:  $dX = 0,25$   $dY = 0,25$

Numero passi :  $N_x = 20$   $N_y = 20$

Raggio [m]:  $R = 6,30$

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=0,10$  [m] ed un numero di incrementi pari a 10

Si considerano le superfici passanti per i punti P1(5,00, 3,40) e P2(9,00, 7,50)

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1,00 m

- freccia inferiore a 0,50 m

- volume inferiore a 2,00 mc

Numero di superfici analizzate 914

Coefficiente di sicurezza minimo 1.197

Superficie con coefficiente di sicurezza minimo 1

## Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS <sub>min</sub>	S <sub>min</sub>	FS <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
FELLENIUS	914	1.197	1	1.854	914
BISHOP	914	1.192	1	1.937	898
JANBU	914	1.154	1	1.800	914

**Caratteristiche delle superfici analizzate**  
**(relative ai 10 fattori di sicurezza più bassi)**

*Simbologia adottata*

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

C<sub>x</sub> ascissa x del centro [m]

C<sub>y</sub> ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x<sub>v</sub>, y<sub>v</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x<sub>m</sub>, y<sub>m</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso m<sup>3</sup>

C<sub>s</sub> coefficiente di sicurezza

N°	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	R	x <sub>v</sub>	y <sub>v</sub>	x <sub>m</sub>	y <sub>m</sub>	V	C <sub>s</sub>
1	4,00	9,75	6,30	5,11	3,55	9,88	7,50	7,14	1.197 (F) 1.192 (B) 1.154 (J)
2	4,25	9,75	6,30	5,08	3,50	10,13	7,50	8,13	1.200 (F) 1.200 (B) 1.155 (J)
3	3,75	10,50	7,10	5,09	3,53	10,19	7,50	7,72	1.205 (F) 1.199 (B) 1.162 (J)
4	3,75	9,75	6,30	5,15	3,61	9,63	7,50	6,16	1.205 (F) 1.196 (B) 1.164 (J)
5	4,00	10,25	6,80	5,10	3,54	10,22	7,50	7,97	1.209 (F) 1.205 (B) 1.164 (J)
6	4,50	9,75	6,30	5,05	3,47	10,38	7,50	9,13	1.213 (F) 1.217 (B) 1.164 (J)
7	4,00	10,50	7,10	5,06	3,48	10,44	7,50	8,72	1.211 (F) 1.207 (B) 1.165 (J)
8	3,75	10,25	6,80	5,14	3,59	9,97	7,50	6,99	1.209 (F) 1.201 (B) 1.166 (J)
9	4,00	10,00	6,50	5,15	3,60	10,00	7,50	7,23	1.211 (F) 1.205 (B) 1.167 (J)
10	3,50	10,50	7,10	5,14	3,59	9,94	7,50	6,74	1.210 (F) 1.200 (B) 1.168 (J)

## Analisi della superficie critica

### Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X <sub>s</sub>	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>ss</sub>	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>si</sub>	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X <sub>g</sub>	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y <sub>g</sub>	ordinata del baricentro della striscia espressa in m
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
L	sviluppo della base della striscia espressa in m (L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
W	peso della striscia espresso in kg
Q	carico applicato sulla striscia espresso in kg
N	sforzo normale alla base della striscia espresso in kg
T	sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg
U	pressione neutra alla base della striscia espressa in kg
E <sub>s</sub> , E <sub>d</sub>	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X <sub>s</sub> , X <sub>d</sub>	forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg

### Analisi della superficie 1

Numero di strisce	21	
Coordinate del centro	X[m]= 4,00	Y[m]= 9,75
Raggio del cerchio	R[m]= 6,30	
Intersezione a valle con il profilo topografico	Xv[m]= 5,11	Yv[m]= 3,55
Intersezione a monte con il profilo topografico	Xm[m]= 9,88	Ym[m]= 7,50
Coefficiente di sicurezza	C <sub>s</sub> = 1.197	

### Geometria e caratteristiche strisce

N°	X <sub>s</sub>	Y <sub>ss</sub>	Y <sub>si</sub>	X <sub>d</sub>	Y <sub>ds</sub>	Y <sub>di</sub>	X <sub>g</sub>	Y <sub>g</sub>	L	α	φ	c
1	5,11	3,55	3,55	5,34	3,87	3,59	5,26	3,67	0,24	11,20	24,00	0,08
2	5,34	3,87	3,59	5,57	4,18	3,65	5,47	3,83	0,24	13,35	24,00	0,08
3	5,57	4,18	3,65	5,80	4,50	3,71	5,69	4,02	0,24	15,51	24,00	0,08
4	5,80	4,50	3,71	6,02	4,80	3,78	5,91	4,20	0,23	17,65	24,00	0,08
5	6,02	4,80	3,78	6,24	5,10	3,86	6,13	4,39	0,23	19,76	24,00	0,08
6	6,24	5,10	3,86	6,46	5,40	3,95	6,35	4,58	0,24	21,91	24,00	0,08
7	6,46	5,40	3,95	6,68	5,70	4,05	6,57	4,78	0,24	24,08	24,00	0,08
8	6,68	5,70	4,05	6,90	6,00	4,16	6,79	4,98	0,25	26,29	24,00	0,08
9	6,90	6,00	4,16	7,12	6,30	4,28	7,01	5,19	0,25	28,55	24,00	0,08
10	7,12	6,30	4,28	7,34	6,60	4,41	7,23	5,40	0,26	30,85	24,00	0,08
11	7,34	6,60	4,41	7,56	6,90	4,55	7,45	5,62	0,26	33,21	24,00	0,08
12	7,56	6,90	4,55	7,78	7,20	4,71	7,67	5,84	0,27	35,64	24,00	0,08
13	7,78	7,20	4,71	8,00	7,50	4,88	7,89	6,07	0,28	38,14	24,00	0,08
14	8,00	7,50	4,88	8,24	7,50	5,09	8,12	6,24	0,31	40,83	24,00	0,08
15	8,24	7,50	5,09	8,47	7,50	5,31	8,35	6,35	0,33	43,73	24,00	0,08
16	8,47	7,50	5,31	8,71	7,50	5,56	8,59	6,47	0,34	46,78	24,00	0,08
17	8,71	7,50	5,56	8,94	7,50	5,84	8,82	6,60	0,37	50,01	24,00	0,08
18	8,94	7,50	5,84	9,18	7,50	6,16	9,06	6,75	0,40	53,47	24,00	0,08
19	9,18	7,50	6,16	9,41	7,50	6,53	9,29	6,92	0,44	57,25	24,00	0,08
20	9,41	7,50	6,53	9,65	7,50	6,96	9,52	7,11	0,49	61,48	24,00	0,08
21	9,65	7,50	6,96	9,88	7,50	7,50	9,73	7,32	0,59	66,40	24,00	0,08

**Forze applicate sulle strisce [FELLENIOUS]**

N°	W	Q	N	T	U	E <sub>s</sub>	E <sub>d</sub>	X <sub>s</sub>	X <sub>d</sub>
1	56	0	55	178	0	0	0	0	0
2	167	0	160	218	0	0	0	0	0
3	274	0	259	257	0	0	0	0	0
4	357	0	333	278	0	0	0	0	0
5	447	0	410	309	0	0	0	0	0
6	532	0	480	337	0	0	0	0	0
7	614	0	543	363	0	0	0	0	0
8	692	0	599	387	0	0	0	0	0
9	765	0	647	408	0	0	0	0	0
10	835	0	687	427	0	0	0	0	0
11	899	0	718	443	0	0	0	0	0
12	958	0	739	456	0	0	0	0	0
13	1011	0	752	467	0	0	0	0	0
14	1067	0	758	490	0	0	0	0	0
15	976	0	658	463	0	0	0	0	0
16	875	0	554	436	0	0	0	0	0
17	762	0	449	412	0	0	0	0	0
18	635	0	342	392	0	0	0	0	0
19	490	0	236	379	0	0	0	0	0
20	321	0	133	379	0	0	0	0	0
21	114	0	38	408	0	0	0	0	0

**Forze applicate sulle strisce [BISHOP]**

N°	W	Q	N	T	U	E <sub>s</sub>	E <sub>d</sub>	X <sub>s</sub>	X <sub>d</sub>
1	56	0	24	167	0	0	155	0	0
2	167	0	123	205	0	155	315	0	0
3	274	0	218	242	0	315	470	0	0
4	357	0	291	264	0	470	608	0	0
5	447	0	369	295	0	608	730	0	0
6	532	0	443	325	0	730	828	0	0
7	614	0	514	354	0	828	899	0	0
8	692	0	583	382	0	899	935	0	0
9	765	0	648	410	0	935	932	0	0
10	835	0	711	437	0	932	885	0	0
11	899	0	770	464	0	885	788	0	0
12	958	0	827	491	0	788	638	0	0
13	1011	0	880	517	0	638	430	0	0
14	1067	0	929	556	0	430	168	0	0
15	976	0	841	533	0	168	-96	0	0
16	875	0	738	507	0	-96	-348	0	0
17	762	0	618	477	0	-348	-568	0	0
18	635	0	471	442	0	-568	-729	0	0
19	490	0	286	399	0	-729	-787	0	0
20	321	0	37	345	0	-787	-677	0	0
21	114	0	-333	270	0	-677	-272	0	0

**Forze applicate sulle strisce [JANBU]**

N°	W	Q	N	T	U	E <sub>s</sub>	E <sub>d</sub>	X <sub>s</sub>	X <sub>d</sub>
1	56	0	23	172	0	0	160	0	0
2	167	0	122	211	0	160	326	0	0
3	274	0	216	249	0	326	490	0	0
4	357	0	289	271	0	490	636	0	0
5	447	0	366	303	0	636	766	0	0
6	532	0	439	334	0	766	875	0	0
7	614	0	510	364	0	875	956	0	0
8	692	0	578	393	0	956	1004	0	0
9	765	0	642	422	0	1004	1014	0	0
10	835	0	704	449	0	1014	981	0	0
11	899	0	762	477	0	981	899	0	0
12	958	0	818	503	0	899	765	0	0
13	1011	0	870	530	0	765	573	0	0
14	1067	0	917	570	0	573	330	0	0
15	976	0	828	546	0	330	84	0	0
16	875	0	726	519	0	84	-151	0	0
17	762	0	605	488	0	-151	-354	0	0
18	635	0	458	451	0	-354	-498	0	0
19	490	0	273	407	0	-498	-542	0	0
20	321	0	24	352	0	-542	-418	0	0
21	114	0	-344	275	0	-418	0	0	0