

RELAZIONE DI CALCOLO

La presente relazione è relativa alla verifica di pendii naturali, di scarpate per scavi e di opere in terra.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo, verifica e progettazione è costituita dalle *Norme Tecniche per le costruzioni* emanate con il D.M. 17/01/2018 pubblicato nel suppl. 8 G.U. 42 del 20/02/2018, nonché la Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti del 21 Gennaio 2019, n. 7 "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni".

Le verifiche sono state condotte rispetto agli stati limite di tipo geotecnico (GEO) applicando alle caratteristiche geotecniche del terreno i coefficienti parziali del gruppo M2 (Tab. 6.2.II NTC).

VERIFICHE DI STABILITÀ

I fenomeni franosi possono essere ricondotti alla formazione di una superficie di rottura lungo la quale le forze, che tendono a provocare lo scivolamento del pendio, non risultano equilibrate dalla resistenza a taglio del terreno lungo tale superficie.

La verifica di stabilità del pendio si riconduce alla determinazione di un coefficiente di sicurezza, relativo ad una ipotetica superficie di rottura, pari al rapporto tra la resistenza al taglio disponibile e la resistenza al taglio mobilitata.

Suddiviso il pendio in un determinato numero di conci di uguale ampiezza, per ogni concio si possono individuare:

- a) il peso;
- b) la risultante delle forze esterne agenti sulla superficie;
- c) le forze inerziali orizzontali e verticali;
- d) le reazioni normali e tangenziali mutue tra i conci;
- e) le reazioni normali e tangenziali alla base dei conci;
- f) le pressioni idrostatiche alla base.

Sotto l'ipotesi che la base di ciascun concio sia piana e che lungo la superficie di scorrimento valga il criterio della rottura alla *Mohr-Coulomb*, che correla tra loro le reazioni tangenziali e normali alla base, le incognite, per la determinazione dello equilibrio di ogni concio, risultano essere le reazioni laterali, i loro punti di applicazione, e la reazione normale alla base.

Per la determinazione di tutte le incognite, le equazioni di equilibrio risultano insufficienti, per cui il problema della stabilità dei pendii è, in via rigorosa, staticamente indeterminato. La risoluzione del problema va perseguita introducendo ulteriori condizioni sugli sforzi agenti sui conci. Tali ulteriori ipotesi differenziano sostanzialmente i diversi metodi di calcolo.

I casi in cui non è possibile stabilire un coefficiente di sicurezza per il pendio vengono segnalati attraverso le seguenti stringhe:

- *SCARTATA* : coefficiente di sicurezza minore di 0,1;
- *NON CONV.* : convergenza del metodo di calcolo non ottenuta;
- *ELEM.RIG.* : intersezione della superficie di scivolamento con un corpo rigido.

METODO DI BISHOP

Le ipotesi alla base dell'espressione di Bishop del coefficiente di sicurezza sono date da:

- a) superficie di scivolamento circolare;
- b) uguaglianza delle reazioni normali alle facce laterali dei conci.

$$(1) \quad F = \frac{\sum_{i=1}^N \left[c_i \cdot b + (W_i (1 - K_v) - u_i \cdot b) \tan(f_i) \right] \frac{\sec(a_i)}{1 + \tan(f_i) \tan(a_i)}}{\sum_{i=1}^N W_i \left[(1 - K_v) \sin(a_i) + \frac{K_h \cdot d h_i}{R} \right]}$$

dove:

- N = numero di conci in cui è suddiviso il pendio

- c_i = coesione alla base del concio i
- b = larghezza del concio
- W_i = peso del concio
- u_i = pressione interstiziale alla base
- f_i = angolo di attrito del terreno alla base del concio
- a_i = inclinazione della base del concio
- K_v = coefficiente sismico verticale
- K_h = coefficiente sismico orizzontale
- R = raggio del cerchio di scivolamento
- d_{hi} = distanza verticale del profilo superiore del concio dal centro della superficie di scivolamento

Tale espressione del coefficiente di sicurezza F risulta in forma implicita, pertanto viene risolta per via ITERATIVA.

- **SPECIFICHE DEI CAMPI DELLA TABELLA DI STAMPA**

Numero conci : *Numero di conci in cui è suddiviso il pendio*

Coefficiente sismico orizzontale : *Moltiplicatore del peso per la valutazione dell'inerzia sismica orizzontale*

Coefficiente sismico verticale : *Moltiplicatore del peso per la valutazione dell'inerzia sismica verticale*

Ascissa punto passaggio cerchio (m) : *Ascissa del punto di passaggio imposto per tutti i cerchi di scorrimento*

Ordinata punto passaggio cerchio (m) : *Ordinata del punto di passaggio imposto per tutti i cerchi di scorrimento*

Ascissa polo (m) : *Ascissa del primo punto centro del cerchio di scorrimento*

Ordinata polo (m) : *Ordinata del primo punto centro del cerchio di scorrimento*

Numero righe maglia : *Numero di punti lungo una linea verticale, centri di superfici di scorrimento*

Numero colonne maglia : *Numero di punti lungo una linea orizzontale, centri di superfici di scorrimento*

Passo direzione 'X' (m) : *Distanza in orizzontale tra i centri delle superficie di scorrimento circolari*

Passo direzione 'Y' (m) : *Distanza in verticale tra i centri delle superficie di scorrimento circolari*

- **SPECIFICHE DEI CAMPI DELLA TABELLA DI STAMPA**

La simbologia usata in tabella va interpretata secondo le descrizioni dei campi riportate di seguito:

Str. N.ro	: <i>Numero dello strato</i>
Descrizione strato	: <i>Descrizione sintetica dello strato</i>
Coesione	: <i>Coesione</i>
Ang. attr.	: <i>Angolo di attrito interno del terreno dello strato in esame</i>
Densità	: <i>Peso specifico del terreno in situ</i>
D. Saturo	: <i>Peso specifico del terreno saturo</i>
Vert. N.ro	: <i>Numero del vertice della poligonale che definisce lo strato</i>
Ascissa / Ordinata	: <i>Coordinate dei vertici dello strato</i>

- **SPECIFICHE DEI CAMPI DELLA TABELLA DI STAMPA**

La simbologia usata in tabella va interpretata secondo le descrizioni dei campi riportate di seguito:

Elem. N.ro	: <i>Numero identificativo dell'elemento rigido</i>
Densità	: <i>Densità apparente dell'elemento rigido</i>
Dens. terr	: <i>Densità del terreno rimosso per la presenza dell'elemento rigido</i>
Vert. N.ro	: <i>Numero identificativo del vertice del poligono rappresentante l'elemento rigido</i>
Ascissa e Ordinata	: <i>Coordinate del poligono</i>

- **SPECIFICHE DEI CAMPI DELLA TABELLA DI STAMPA**

La simbologia usata in tabella va interpretata secondo le descrizioni dei campi riportate di seguito:

h	: <i>altezza media del concio</i>
L	: <i>sviluppo larghezza alla base del concio</i>
α	: <i>inclinazione della base del concio</i>
c	: <i>coesione terreno alla base del concio</i>
ϕ	: <i>angolo di attrito interno alla base del concio</i>
W	: <i>peso del concio</i>
hw	: <i>altezza della falda dalla base del concio</i>
Qw	: <i>risultante delle pressioni interstiziali</i>
Tcn	: <i>Contributo elementi resistenti a taglio</i>
Tgg	: <i>Contributo geogriglie</i>

- **SPECIFICHE DEI CAMPI DELLA TABELLA DI STAMPA**

La simbologia usata in tabella va interpretata secondo le descrizioni dei campi riportate di seguito:

Ff : *risultante delle forze verticali concentrate*

Fq : *risultante delle forze verticali distribuite*

Fr : *forza verticale da contributo inerzia corpo rigido*

Fs : *incremento sismico verticale di $W + Ff + Fq + Fr$*

Ftot : *risultante forze verticali $W + Ff + Fq + Fr + Fs$*

- **SPECIFICHE DEI CAMPI DELLA TABELLA DI STAMPA**

La simbologia usata in tabella va interpretata secondo le descrizioni dei campi riportate di seguito:

Hf	: <i>risultante delle forze orizzontali concentrate</i>
Hq	: <i>risultante delle forze orizzontali distribuite</i>
Hr	: <i>forza orizzontale da contributo inerzia corpo rigido</i>
Htot	: <i>risultante forze orizzontali, $H_f + H_q + H_r$, su profilo pendio</i>
Hs	: <i>azione sismica orizzontale di $W + F_f + F_q + F_r$</i>



Convenzione D.D. n°15 del 8/05/2019
tra la Città Metropolitana di Palermo
l'Unione dei Comuni "Madonie" e
l'Ufficio Speciale per la Progettazione

REGIONE SICILIANA
PRESIDENZA



UNIONE DEI COMUNI
"MADONIE"



CITTÀ METROPOLITANA DI
PALERMO



VISTI ED APPROVAZIONI

Città Metropolitana di Palermo
Area Viabilità-Edilizia-BB.CC.
Direzione Viabilità

VISTO:

Si convalida e si esprime parere
favorevole all'approvazione tecnica

n° _____ del _____

IL RUP

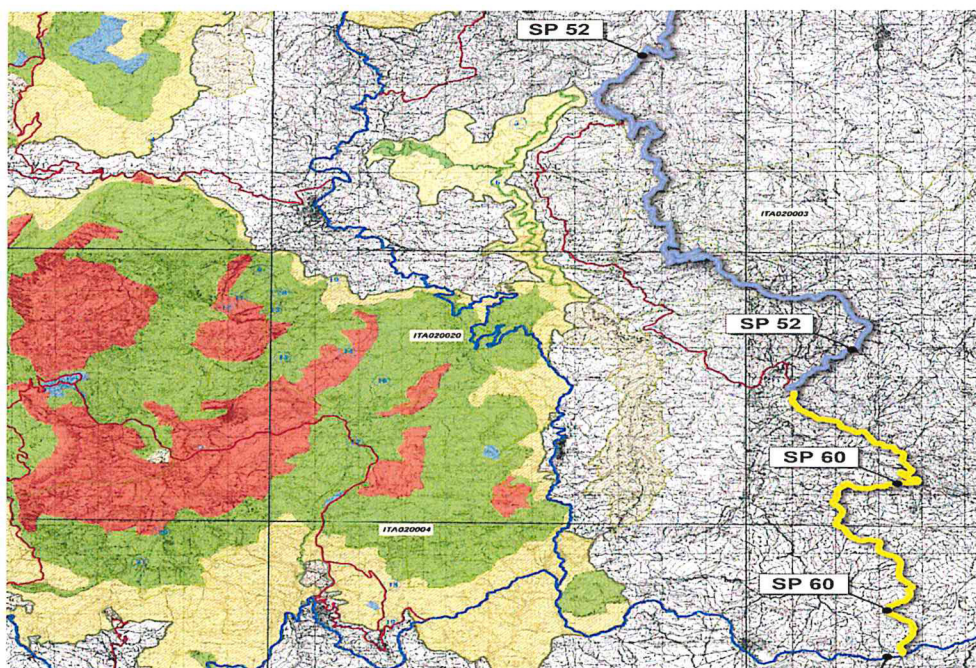
ing. Elio Venturella

PROGETTO ESECUTIVO

Lavori di sistemazione e messa in sicurezza in tratti saltuari del
piano viario nel tratto della S.P. n° 60 compreso tra Gangi fino al B°
Calabrò e nel tratto della S.P. n°52 compreso tra Borrello e Finale

CUP : D36G18000700006

CIG :



Palermo, li

D02.03 03
MURI

TABULATI VERIFICA STABILITA' PENDIO

REVISIONE

01

DATA

21 MAG. 2020

SCALA

Gruppo di Progettazione:

Progettista ing. Leonardo Santoro

Progettista ing. Raul Gavazzi

Coord. Sicurezza geom. Francesco Pio Sunseri

C.T.P. arch. Lorenzo La Mantia

C.T.P. geom. Salvatore Chiommino

C.T.P. geol. Francesco Manuli



- SPECIFICHE DEI CAMPI DELLA TABELLA DI STAMPA

La tabella di seguito esposta riporta le forze scambiate tra i vari conci secondo le teorie selezionate (*Bishop*, *Jambu* e *Bell*). La simbologia è da interpretarsi come appresso descritto:

Con. sx	: <i>Concio a sinistra della superficie di separazione tra i due conci</i>
Con. dx	: <i>Concio a destra della superficie di separazione tra i due conci</i>
F.or.	: <i>Risultante delle forze (orizzontali) scambiate tra i due conci ortogonalmente alla superficie (verticale) di separazione</i>
F.vert.	: <i>Risultante delle forze (verticali) scambiate tra i due conci parallelamente alla superficie (verticale) di separazione</i>

DATI GENERALI STABILITA' PENDIO		
DATI GENERALI DI VERIFICA		
Tipo di pendio		Artificiale
Tipo Stato Limite Calcolato		SLV
Vita Nominale (Anni)		50
Classe d' Uso		TERZA
Longitudine Est	(Grd)	14,245
Latitudine Nord	(Grd)	37,798
Categoria Suolo		C
Coeff. Condiz. Topogr.		1,200
Probabilita' Pvr		0,100
Periodo di Ritorno Anni		475,000
Accelerazione Ag/g		0,151
Fattore Stratigrafia 'S'		1,480
Coeff. Sismico Kh		0,000
Coeff. Sismico Kv		0,000
Numero conci :		20
Numero elementi rigidi:		1
Tipo Superficie di rottura :		CIRCOLARE PASSANTE PER UN PUNTO
COORDINATE PUNTO DI PASSAGGIO CERCHI DI ROTTURA		
Ascissa pto passaggio cerchio (m):		42,756
Ordinata pto passaggio cerchio (m):		15,053
PARAMETRI MAGLIA DEI CENTRI PER SUPERFICI DI ROTTURA CIRCOLARI		
Ascissa Polo (m):		30,320
Ordinata Polo (m):		19,410
Numero righe maglia :		5,0
Numero colonne maglia :		5,0
Passo direzione 'X' (m) :		3,00
Passo direzione 'Y' (m) :		3,00
Rotazione maglia (Grd) :		30,0
Peso specifico dell' acqua (t/mc) :		1,000
COEFFICIENTI PARZIALI GEOTECNICA TABELLA M2		
Tangente Resist. Taglio		1,25
Peso Specifico		1,00
Coesione Efficace (c'k)		1,25
Resist. a taglio NON drenata (cuk)		1,40
Coefficiente R2		1,00

DATI GEOTECNICI E STRATIGRAFIA								
Str. N.ro	Descrizione Strato	Coesione t/mq	Ang.attr Grd	Densita' t/mc	D.Saturo t/mc	Vert N.ro	Ascissa (m)	Ordinata (m)
	Profilo del pendio					1	0,00	10,00
						2	40,00	17,05
						3	40,46	21,15
						4	40,76	21,15
						5	80,76	21,15
1		0,000	21,00	1,600	1,800	1	34,15	15,77
						2	80,76	15,75
2		0,000	26,00	1,950	1,800	1	34,28	14,28
						2	80,76	14,25
3		0,200	26,00	2,100	1,800			

COORDINATE PROFILO FALDA								
Vert. N.ro	Ascissa (m)	Ordinata (m)	Dz Piez. (m)		Vert. N.ro	Ascissa (m)	Ordinata (m)	Dz Piez. (m)
1	5,73	11,15	0,00		2	40,00	11,15	0,00
3	40,76	13,15	0,00		4	80,76	13,15	0,00

DATI FORZE DISTRIBUITE VERTICALI					
Vert. N.ro	Asc. in. (m)	Int. iniz. (t/ml)	Asc. fin. (m)	Int. fin. (t/ml)	
1	40,77	1,300	80,76	1,300	

DATI ELEMENTI RIGIDI						
Elem. N.ro	Densita' t/mc	Dens.terr t/mc	Vert. N.ro	Ascissa (m)	Ordinata (m)	
1	2,50	1,60	1	40,76	21,15	
			2	40,76	16,65	
			3	42,76	16,65	

	4	42,76	15,15
	5	41,96	15,15
	6	41,96	15,75
	7	38,46	15,75
	8	38,46	16,65
	9	39,96	16,65
	10	40,46	21,15

COEFFICIENTI DI SICUREZZA DEL PENDIO											
N.ro Cerchio critico : 4											
Cerchi N.ro	Xc (m)	Yc (m)	Rc (m)	Bishop	Jambu	Bell	MP - Fx = C	MP - Fx=sin	MP-Fx=sin/2	Sarma	Spencer
1	30,3	19,4	13,2	ELEM.RIG.							
2	32,9	20,9	11,4	2,2366							
3	35,5	22,4	10,3	1,6206							
4	38,1	23,9	10,0	1,2426							
5	40,7	25,4	10,6	1,3693							
6	28,8	22,0	15,6	2,1946							
7	31,4	23,5	14,1	1,9822							
8	34,0	25,0	13,2	1,5923							
9	36,6	26,5	13,0	1,2808							
10	39,2	28,0	13,4	1,2523							
11	27,3	24,6	18,2	ELEM.RIG.							
12	29,9	26,1	16,9	1,8661							
13	32,5	27,6	16,2	1,5952							
14	35,1	29,1	16,0	1,3293							
15	37,7	30,6	16,4	1,2469							
16	25,8	27,2	20,8	1,8306							
17	28,4	28,7	19,8	1,7853							
18	31,0	30,2	19,2	1,608							
19	33,6	31,7	19,0	1,3688							
20	36,2	33,2	19,3	1,3037							
21	24,3	29,8	23,6	1,726							
22	26,9	31,3	22,7	1,7231							
23	29,5	32,8	22,1	1,6312							
24	32,1	34,3	22,0	1,4527							
25	34,7	35,8	22,3	1,3299							

CARATTERISTICHE CONCI										
Superficie di Scorrimento N.ro: 1										
Concio N.ro	h (m)	L (m)	α (°)	c (t/mq)	ϕ (°)	W (t)	hw (m)	Qw (t)	Tcn (t)	Tgg (t)
1	1,07	2,29	-57,33	0,16	21,3	2,79	0,0	0,00	0,00	0,00
2	2,95	1,86	-48,30	0,16	21,3	7,48	0,5	0,60	0,00	0,00
3	4,39	1,63	-40,71	0,16	21,3	10,77	1,7	2,12	0,00	0,00
4	5,56	1,49	-33,92	0,16	21,3	13,45	2,7	3,29	0,00	0,00
5	6,52	1,40	-27,64	0,16	21,3	15,66	3,4	4,20	0,00	0,00
6	7,30	1,33	-21,71	0,16	21,3	17,49	4,0	4,91	0,00	0,00
7	7,95	1,29	-16,02	0,16	21,3	19,00	4,4	5,43	0,00	0,00
8	8,46	1,26	-10,48	0,16	21,3	20,22	4,7	5,79	0,00	0,00
9	8,84	1,24	-5,05	0,16	21,3	21,16	4,9	6,00	0,00	0,00
10	9,11	1,24	0,34	0,16	21,3	21,84	4,9	6,06	0,00	0,00
11	9,26	1,24	5,73	0,16	21,3	22,26	4,8	5,98	0,00	0,00
12	9,30	1,26	11,18	0,16	21,3	22,42	4,7	5,76	0,00	0,00
13	9,21	1,29	16,72	0,16	21,3	22,30	4,3	5,38	0,00	0,00
14	8,99	1,34	22,44	0,16	21,3	21,32	3,9	4,83	0,00	0,00
15	8,61	1,41	28,41	0,16	21,3	20,44	3,3	4,10	0,00	0,00
16	8,07	1,50	34,74	0,16	21,3	19,17	2,6	3,16	0,00	0,00
17	7,31	1,65	41,61	0,16	21,3	17,42	1,6	1,95	0,00	0,00
18	8,81	1,90	49,34	0,16	21,3	19,80	1,1	1,33	0,00	0,00
19	8,57	2,38	58,64	0,16	21,3	18,44	0,6	0,71	0,00	0,00
20	3,78	7,66	80,71	0,00	17,1	7,48	0,0	0,00	0,00	0,00

FORZE VERTICALI CONCI						
Superficie di Scorrimento N.ro: 1						
Concio N.ro	Ff (t)	Fq (t)	Fr (t)	Fs (t)	Ftot (t)	
1	0,00	0,00	0,00	0,00	2,79	
2	0,00	0,00	0,00	0,00	7,48	
3	0,00	0,00	0,00	0,00	10,77	
4	0,00	0,00	0,00	0,00	13,45	
5	0,00	0,00	0,00	0,00	15,66	
6	0,00	0,00	0,00	0,00	17,49	
7	0,00	0,00	0,00	0,00	19,00	
8	0,00	0,00	0,00	0,00	20,22	
9	0,00	0,00	0,00	0,00	21,16	
10	0,00	0,00	0,08	0,00	21,92	
11	0,00	0,00	0,20	0,00	22,46	
12	0,00	0,00	0,33	0,00	22,75	
13	0,00	0,00	0,47	0,00	22,77	
14	0,00	0,00	0,63	0,00	21,95	
15	0,00	0,00	0,82	0,00	21,26	

16	ELRIG	ELRIG
17	ELRIG	ELRIG
18	ELRIG	ELRIG
19	ELRIG	ELRIG
20	ELRIG	ELRIG
	ELRIG	ELRIG

