

Lavori di risanamento movimenti franosi in atto lungo la
S.P.N.94 "CASALDUNI"
e la
S.P.N.95 "CASALDUNI - ZINGARA MORTA"

PROGETTO ESECUTIVO

Elenco allegati:

- SP94-95_RL_01 Relazione tecnica-descrittiva
- SP94-95_RL_02 Relazione sui materiali impiegati
- SP94-95_PM_01 Piano di manutenzione dell'opera
- SP94-95_VR_01 Verifica di conformità del software
- S.P.94 "CASALDUNI"
- SP94_EG_01 Inquadramento area di intervento
- SP94_EG_02 Elaborato grafico di progetto
- SP94_EG_03.1 Elaborato grafico strutturale Paratia Frana A
- SP94_EG_03.2 Elaborato grafico strutturale Paratia Frana B
- SP94_FC_01 Fascicolo di calcolo Paratia Frana A
- SP94_FC_02 Fascicolo di calcolo Paratia Frana B
- S.P.95 "CASALDUNI - ZINGARA MORTA"
- SP95_EG_01 Inquadramento area di intervento
- SP95_EG_02 Elaborato grafico di progetto
- SP95_EG_03 Elaborato grafico strutturale
- SP95_FC_01 Fascicolo di calcolo

Allegato

SP94
FC_02

Progetto Strutturale
S.P.94 "CASALDUNI"
FASCICOLO DI CALCOLO PARATIA FRANA B
- Relazione di calcolo
- Relazione geotecnica
- Relazione di stabilità globale del pendio

scala

Il Progettista Strutturale

Ing. Sabatino Cecere



Il R.U.P.

Studio di Ingegneria
Sabatino Cecere "Ing. Civile Edile"
Via Della Concordia 7
82021 Apice (BN)
Tel./Fax 0824922516 cell.3397432061
Part. I.V.A. 00 995 610 623
e-mail ing.innocencere@alice.it
p.e.c. sabatino.cecere@ingpec.eu

Data Ottobre 2017

Revisione

Aggiornamento

Protocollo

RELAZIONE DI CALCOLO

PARATIA

Introduzione.

Le paratie sono opere di ingegneria civile che trovano molta applicazione in problemi legati alla stabilizzazione di versanti o al sostegno di rilevati di terreno. Tuttavia è anche facile sentire parlare di paratie che sono utilizzate per l'ormeggio di grandi imbarcazioni, o per puntellare pareti di trincee e altri scavi o per realizzare cassoni a tenuta stagna per lavori subacquei. Come si può quindi intuire grande importanza deve essere data alla progettazione di una simile opera, soprattutto per quanto riguarda il progetto strutturale e geotecnico. Per quanto riguarda l'aspetto del calcolo vale la pena sottolineare che non esistono, ad oggi, metodi esatti, e questo è anche dovuto alla complessa interazione tra la profondità di scavo, la rigidità del materiale costituente la paratia e la resistenza dovuta alla pressione passiva. In ogni caso, i metodi correntemente utilizzati possono essere classificati in due categorie:

1. Metodi che si basano su una discretizzazione del modello di paratia (si parla di differenze finite o di elementi finiti);
2. Metodi che si basano su congetture di tipo semplicistico, al fine di poter affrontare il problema con il semplice studio dell'equilibrio di un corpo rigido.

Tra le due classi di metodi esposti all'elenco precedente, quello degli elementi finiti è quello che più di tutti risulta razionale, in quanto basato su considerazioni che coinvolgono sia la statica del problema (equilibrio) sia la cinematica (congruenza).

Tipi di paratie.

I tipi di paratie maggiormente utilizzate allo stato attuale possono essere classificati come segue:

1. Paratie in calcestruzzo armato, costruite per mezzo di pali o per mezzo di setti (entrambi armati);
2. Paratie di legno;
3. Paratie in acciaio.

Analisi della paratia.

Alcune considerazioni preliminari.

Gli elementi che concorrono al calcolo di una paratia sono vari. Si coinvolgono infatti concetti legati alla flessibilità dei pali, al calcolo della spinta del terrapieno, alla rigidità del terreno ecc. Si osservi la seguente figura:

Come accennato in uno dei paragrafi precedenti, deve in ogni caso essere effettuato il calcolo della spinta attiva e passiva. Si espone quindi in questa sezione il calcolo delle spinte con il metodo di Coulomb.

Calcolo delle spinte.

Si vede che le pressioni laterali che sono chiamate a concorrere nell'equilibrio sono la pressione attiva sviluppata a tergo della paratia e la pressione passiva che si sviluppa nella parte anteriore della paratia (Parte di valle della paratia). Il calcolo, sia nell'ambito dei metodi semplificati che nell'ambito di metodi numerici, della spinta a tergo ed a valle della paratia viene solitamente condotto sia con il metodo di Rankine che con il metodo di Coulomb. Si rileva però che il metodo di Coulomb fornisce risultati più accurati in quanto essendo la paratia un'opera solitamente flessibile, e manifestando quindi spostamenti maggiori si generano fenomeni di attrito all'interfaccia paratia-terreno che possono essere tenuti in conto solo attraverso i coefficienti di spinta di Coulomb. Nell'utilizzo del metodo degli elementi finiti si deve calcolare anche un coefficiente di reazione del terreno k_s , oltre che la spinta attiva e passiva del terreno. Se si parla di analisi in condizioni non drenate è inoltre necessario conoscere il valore della coesione non drenata. E' inoltre opportuno considerare che se si vuole tenere debitamente in conto l'attrito tra terreno e opera si deve essere a conoscenza dell'angolo di attrito tra terreno e opera (appunto). In conclusione i parametri (in termini di proprietà del terreno) di cui si deve disporre per effettuare l'analisi sono i seguenti:

1. Angolo di attrito interno del terreno;
2. Coesione del terreno;
3. Peso dell'unità di volume del terreno;
4. Angolo di attrito tra il terreno ed il materiale che costituisce l'opera.

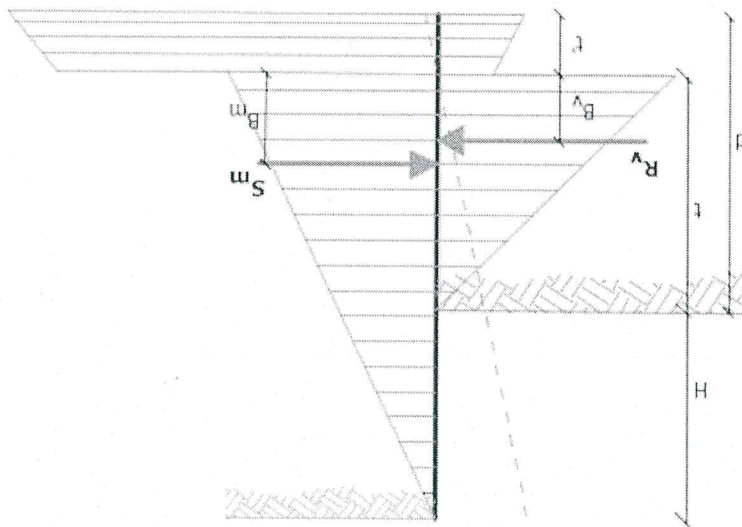


Figura 1: Schema delle pressioni agenti sulla paratia

Calcolo della spinta attiva.

La spinta attiva calcolata con il metodo di Coulomb o alternativamente utilizzando la Teoria di Caquot.

Metodo di Coulomb.

Il metodo di Coulomb è capace di tenere in conto le variabili più significative, soprattutto con riguardo al fenomeno attritivo che si genera all'interfaccia paratia-terreno. Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione (valutata alla profondità z):

$$\sigma_h(z) = k_a \cdot \gamma_1 \cdot z$$

La spinta totale, che è l'integrale della relazione precedente su tutta l'altezza, è applicata ad $1/3$ di H e si calcola con la seguente espressione:

$$S_1(z) = \frac{1}{2} k_a \cdot \gamma_1 \cdot H^2$$

Avendo indicato con k_a il valore del coefficiente di pressione attiva, determinabile con la seguente relazione:

$$k_a = \frac{\sin^2(\phi + \beta)}{\sin^2(\phi - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \varepsilon)}{\sin(\beta - \delta) \cdot \sin(\beta + \varepsilon)}} \right]} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{con } \delta > (\beta - \phi - \varepsilon) \text{ secondo Muller-Breslau} \\ \text{con } \delta < (\beta - \phi - \varepsilon) \text{ secondo Muller-Breslau} \end{array} \right.$$

γ_1 = Peso unità di volume del terreno;

β = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

ϕ = Angolo di resistenza al taglio del terreno;

δ = Angolo di attrito terreno-paratia positivo se antiorario;

ε = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale positiva se antioraria;

Metodo di Caquot.

Il metodo di Coulomb risulta essere un metodo sufficientemente accurato per la valutazione dei coefficienti di pressione allo stato limite. Tuttavia soffre dell'ipotesi riguardante la planarità della superficie di scorrimento. Tale ipotesi è rimossa applicando la teoria di Caquot la quale si basa sull'utilizzo di una superficie di scorrimento a forma di spirale logaritmica. Secondo questa teoria il coefficiente di pressione attiva si determina utilizzando la seguente formula:

$$K_a^{\text{Coulomb}} = p \cdot K_a^{\text{Caquot}}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

- K_a^{Coulomb} è il coefficiente di pressione attiva calcolato con la teoria di Coulomb;

- p è un coefficiente moltiplicativo calcolato con la seguente formula:

$$p = \left[1 - 0.9 \cdot \lambda_2 - 0.1 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_3 \right] \cdot \left[1 - 0.3 \cdot \lambda_3 \right]^{-n}$$

Dove i simboli sono calcolati con le seguenti formule:

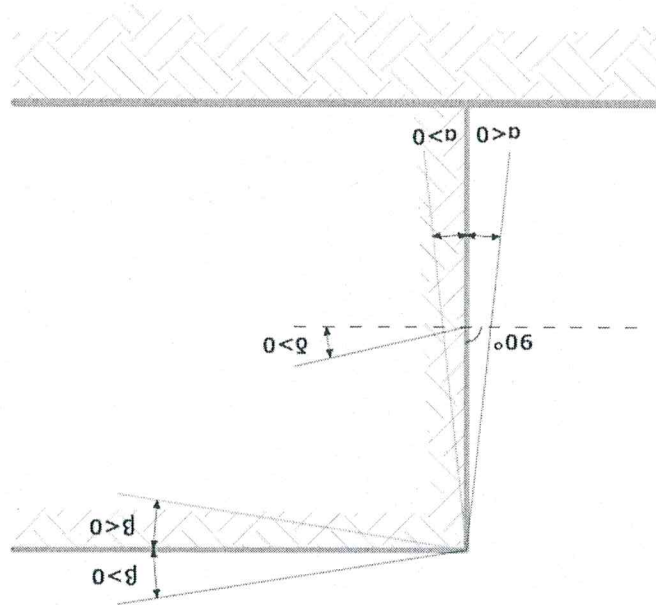
Integrando la tensione riportata alla formula precedente si ottiene la spinta totale dovuta al sovraccarico:

$$\sigma^b(z) = k_a \cdot Q \cdot \frac{\sin(\beta)}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Un carico Q , uniformemente distribuito sul piano campagna induce delle pressioni costanti pari:

Carico uniforme sul terrapieno

Figura 2: Convenzione utilizzata per il calcolo del coefficiente di pressione secondo la teoria di Caquot



- δ è l'angolo di attrito all'interfaccia opera-terreno;
- ϕ è l'angolo di attrito interno del terreno spingente;
- β è l'inclinazione del profilo di monte misurata rispetto all'orizzontale;

Dove i simboli hanno il seguente significato (vedere anche Figura seguente):

$$\Gamma = \sin^{-1} \left(\frac{\sin(\phi)}{\sin(\beta)} \right)$$

$$\Delta = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{1 + \cos(\phi)}{|\cot(\delta)| - \sqrt{\cot^2(\delta) - \cot^2(\phi)}} \right)$$

$$\lambda = \frac{4 \cdot \phi - 2 \cdot \pi \cdot (\Delta + \beta - \Gamma)}{\Delta + \beta - \Gamma}$$

$$\begin{aligned}
 E &= \text{sen}^2\theta_1 - \text{sen}^2\theta_2 \\
 D &= 4 \cdot \log[\text{sen}\theta_1 / \text{sen}\theta_2] \\
 T &= \text{Intensità del carico [F/L}^2]
 \end{aligned}$$

$$\sigma_x = \frac{2\pi \times (D - 2E)}{t}$$

Striscia di carico tangenziale al p.c.

Per integrazione si ottiene la risultante ed il relativo braccio.

$$\begin{aligned}
 \Theta_2 &= \arctg(z/x_2) \\
 \Theta_1 &= \arctg(z/x_1) \\
 B &= \cos(2\theta_1) - \cos(2\theta_2) \\
 A &= \text{sen}(2\theta_1) - \text{sen}(2\theta_2) \\
 \Delta\theta &= \theta_1 - \theta_2
 \end{aligned}$$

Con:

$$\begin{aligned}
 \sigma^q(z) &= \frac{2\pi \times (2\Delta\theta + A)}{Q} \\
 \tau_{xz} &= -\frac{2\pi B}{Q}
 \end{aligned}$$

come segue:

Un carico ripartito in modo parziale di ascissa iniziale x_1 ed ascissa finale x_2 genera un diagramma di pressioni sulla parete i cui valori sono stati determinati secondo la formulazione di Terzaghi, che esprime la pressione alla generica profondità z

Striscia di carico ortogonale al piano di azione

Il carico agente viene decomposto in un carico ortogonale ed in uno tangenziale al terrapieno, le pressioni indotte sulla parete saranno calcolate come illustrato nei due paragrafi che seguono.

Striscia di carico su pc inclinato

$$\begin{aligned}
 k_a &= \text{Coefficiente di pressione attiva calcolato al paragrafo precedente} \\
 \varepsilon &= \text{Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale positiva se antioraria} \\
 \beta &= \text{Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede}
 \end{aligned}$$

il seguente significato:

Con punto di applicazione ad $H/2$ (essendo la distribuzione delle tensioni costante). Nelle precedenti formule i simboli hanno

$$S^q = k_a \cdot Q \cdot \frac{\sin(\beta)}{\sin(\beta + \varepsilon)} \cdot H$$

Linee di carico sul terrapieno

Le linee di carico generano un incremento di pressioni sulla parete che secondo BOUSSINESQ, alla profondità z , possono essere espresse come segue:

$$\sigma_x(x, z) = \frac{\pi \cdot x^2 \cdot z \cdot (x^2 + z^2)^{-3/2}}{2V}$$

$$\tau_{xz}(x, z) = \frac{\pi \cdot x \cdot z^2 \cdot (x^2 + z^2)^{-3/2}}{2V}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

V = Intensità del carico espessa in [F/L];

X = Distanza, in proiezione orizzontale, del punto di applicazione del carico dalla parete;

Se il piano di azione è inclinato di ε viene ruotato il sistema di riferimento xz in XZ , attraverso la seguente trasformazione:

$$\begin{cases} X = x \cdot \cos(\varepsilon) - z \cdot \sin(\varepsilon) \\ Z = z \cdot \cos(\varepsilon) + x \cdot \sin(\varepsilon) \end{cases}$$

Spinta in presenza di falda acquifera

La falda con superficie distante H_w dalla base della struttura, induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z sono espresse come segue:

$$u(z) = \gamma_w \cdot z$$

La spinta idrostatica totale si ottiene per integrazione su tutta l'altezza della relazione precedente:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

Avendo indicato con H l'altezza totale di spinta e con γ_w il peso dell'unità di volume dell'acqua. La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo γ_t con $\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$, peso specifico del materiale immerso in acqua. In condizioni sismiche la sovraspinta esercitata dall'acqua viene valutata nel seguente modo:

$$\Delta S_w = \frac{12}{7} \gamma_w \cdot H_w^2 \cdot C$$

applicata a 2/3 dell'altezza della falda H_w [Matsuo O'Hara (1960) Geotecnica, R. Lancellotta]

Effetto dovuto alla presenza di coesione

La coesione induce delle pressioni negative costanti pari a:

$$P_c = -\frac{\sqrt{k_a} \cdot c}{2}$$

Non essendo possibile stabilire a priori quale sia il decremento indotto dalla spinta per effetto della coesione. E' stata calcolata l'altezza critica Z_c come segue:

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{\gamma^{\text{sat}}}{k_h} \frac{1 \pm k_v}{\gamma^{\text{sat}} - \gamma^w}$$

Per terreni impermeabili la spinta idrodinamica $E_{\text{wd}} = 0$, ma viene effettuata una correzione sulla valutazione dell'angolo β della formula di Mononobe & Okabe così come di seguito:

E_{wd} = spinta idrodinamica.

E_{ws} = spinta idrostatica dell'acqua

K = coefficienti di spinta attiva totale (statico + dinamico) (vedi Mononobe & Okabe)

γ = peso per unità di volume del terreno

k_v = coefficiente sismico verticale

H = altezza di scavo

Dove i simboli hanno il seguente significato:

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma \cdot (1 \pm k_v) (KH^2 + E_{\text{ws}} + E_{\text{wd}})$$

In presenza di sisma la forza di calcolo esercitata dal terrapieno sulla parete è data da:

Spinta attiva in condizioni sismiche

Sisma

Dove si è indicata con il simbolo H l'altezza totale di spinta.

$$S_c = P_c \cdot H$$

segue:

Nel caso in cui si verifichi la circostanza che la Z_c , calcolata con la formula precedente, sia minore di zero è possibile sovrapporre direttamente gli effetti dei diagrammi, imponendo un decremento al diagramma di spinta originario valutato come

k_a = Coefficiente di pressione attiva, come calcolato ai passi precedenti

C = Coesione del materiale

ε = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale positiva se antioraria

β = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede

γ_t = Peso unità di volume del terreno

Q = Carico agente sul terrapieno eventualmente presente.

Dove i simboli hanno il seguente significato

$$Z_c = \frac{\gamma_t \cdot \sqrt{k_a}}{2c} \left[\frac{Q \cdot \sin(\beta + \varepsilon)}{\sin \beta} \right] \gamma_t$$

Coefficient of passive earth pressure K_p for $\delta = -\phi$		α [°]	ϕ [°]	K_p when $\delta = -\phi$									
				0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
				1,17	1,41	1,53							
				1,30	1,70	1,92	2,08						
				1,71	2,08	2,42	2,71	2,92					
				2,14	2,81	2,98	3,88	4,22	4,43				
-30	30	2,78	3,42	4,18	5,01	5,98	8,94	7,40					
	35	3,75	4,73	5,87	7,21	8,78	10,80	12,50	13,80				
	40	5,31	8,87	8,77	11,00	13,70	17,20	24,80	25,40	28,40			

Il metodo di Cagnot differisce dal metodo di Coulomb per il calcolo del coefficiente di pressione allo stato limite passivo. Il coefficiente di pressione passiva viene calcolato, con questo metodo, interpolando i valori della seguente tabella:

Metodo di Cagnot

con valori limite pari a: $\delta < \beta - \phi - \varepsilon$ (Muller-Breslau).

$$K_p = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2(\phi + \varepsilon) \left[\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi + \varepsilon)}{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\beta + \varepsilon)} - 1 \right] \sqrt{\frac{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta + \varepsilon)}{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi + \varepsilon)}}}$$

con $\delta < \beta - \phi - \varepsilon$ secondo Muller - Breslau

Avendo indicato al solito con H l'altezza di spinta, γ_1 il peso dell'unità di volume di terreno e con k_p il coefficiente di pressione passiva (in condizioni di stato limite passivo). Il valore di questo coefficiente è determinato con la seguente formula:

$$S_1 = \frac{1}{2} k_p \cdot \gamma_1 \cdot H^2$$

Ancora una volta integrando la precedente relazione sull'altezza di spinta (che per le paratie deve essere valutata attentamente) si ottiene la spinta passiva totale:

$$\sigma_p(z) = k_p \cdot \gamma_1 \cdot z$$

Per terreno omogeneo il diagramma delle pressioni in condizioni di stato limite passivo risulta lineare con legge del tipo del tipo:

Metodo di Coulomb

Anche per il calcolo della resistenza passiva si possono utilizzare i due metodi usati nel calcolo della pressione allo stato limite attivo (metodo di Coulomb e metodo di Cagnot).

Resistenza passiva

Con H l'altezza del livello di falda (riportata nella sezione relativa al calcolo della spinta idrostatica).

$$E^{wd} = \frac{12}{7} k_h \gamma_w H^2$$

Nei terreni ad elevata permeabilità in condizioni dinamiche continua a valere la correzione di cui sopra, ma la spinta idrodinamica assume la seguente espressione:

	45	8,05	10,70	14,20	18,40	23,80	90,60	38,90	49,10	60,70	69,10
	10	1,36	1,58	1,70							
	15	1,68	1,97	2,20	2,38						
	20	2,13	2,52	2,92	3,22	3,51					
	25	2,78	3,34	3,99	4,80	5,29	5,57				
-20	30	3,78	4,81	8,58	8,81	7,84	9,12	9,77			
	35	5,38	8,89	8,28	10,10	12,20	14,80	17,40	19,00		
	40	8,07	10,40	12,00	18,50	20,00	25,50	38,50	37,80	42,20	
	45	13,2	17,50	22,90	29,80	38,30	48,90	82,30	78,80	97,30	111,04
	10	1,52	1,72	1,83							
	15	1,95	2,23	2,57	2,88						
	20	2,57	2,98	3,42	3,75	4,09					
	25	3,50	4,14	4,90	5,82	8,45	8,81				
-10	30	4,98	8,01	7,19	8,51	10,10	11,70	12,80			
	35	7,47	9,24	11,30	13,80	18,70	20,10	23,70	26,00		
	40	12,0	15,40	19,40	24,10	29,80	37,10	53,20	55,10	61,80	
	45	21,2	27,90	38,50	47,20	80,80	77,30	908,20	124,00	153,00	178,00
	10	1,84	1,81	1,93							
	15	2,19	2,46	2,73	2,91						
	20	3,01	3,44	3,91	4,42	4,66					
	25	4,28	5,02	5,81	8,72	7,71	8,16				
0	30	8,42	7,69	9,19	10,80	12,70	14,80	15,90			
	35	10,2	12,60	15,30	18,80	22,30	28,90	31,70	34,90		
	40	17,5	22,30	28,00	34,80	42,90	53,30	78,40	79,10	88,70	
	45	33,5	44,10	57,40	74,10	94,70	120,00	153,00	174,00	240,00	275,00
	10	1,73	1,87	1,98							
	15	2,40	2,65	2,93	3,12						
	20	3,45	3,90	4,40	4,96	5,23					
10	25	5,17	5,99	6,90	7,95	9,11	9,67				
	30	8,17	9,69	11,40	13,50	15,90	18,50	19,90			
	35	13,8	16,90	20,50	24,80	29,80	35,80	42,30	46,60		
	40	25,5	32,20	40,40	49,90	61,70	76,40	110,00	113,00	127,00	
	45	52,9	69,40	90,90	116,00	148,00	188,00	239,00	303,00	375,00	431,00
	10	1,78	1,891	2,01							
	15	2,58	2,821	3,11	3,30						
	20	3,90	4,38	4,92	5,53	5,83					
	25	6,18	7,12	8,17	9,39	10,70	11,40				
20	30	10,4	12,30	14,40	16,90	20,00	23,20	25,00			

B_m = braccio di S_m rispetto alla base della paratia;
 t = profondità di infissione calcolata;
 H = altezza terreno da sostenere;
 S_m = componente orizzontale spinta attiva;

Dove i simboli hanno il seguente significato:

$$S_m \cdot (H+t-B_m) - R_v \cdot (H+t-B_v-t_m) = 0$$

rotazione sull'origine del tirante indicato B1
 La paratia deve essere sufficientemente corta e rigida. La lunghezza di infissione, sarà determinata imponendo l'equilibrio alla
 La stabilità dell'opera è assicurata anche dai tiranti ancorati sulla paratia. Per utilizzare lo schema di calcolo ad estremo libero,

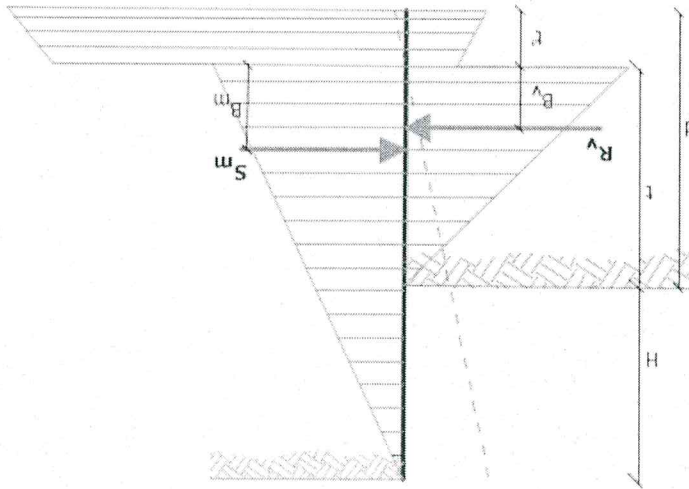
Paratia tirantata ad estremo libero: calcolo della profondità d'infissione limite

$$S_m \cdot B_m - \frac{R_v}{F} \cdot B_v = 0$$

La lunghezza d'infissione d come sopra determinata è relativa alla condizione limite di incipiente collasso, tramite un coefficiente F . E' possibile introdurre un margine di sicurezza sulle resistenze passive; la riduzione si effettua come segue:

Coefficiente di sicurezza sulla resistenza passiva

Figura 32: Schema di riferimento per il calcolo dell'equilibrio della paratia



$$t' = a \cdot t \cdot d = t \cdot (1+a) \text{ dove } a = 0.2 \text{ (Metodo di Blum)}$$

Nota t , si determinano S_m ed R_v ed il relativo sforzo del tirante.

B_v = braccio di R_v .

R_v = componente orizzontale della resistenza passiva;

P_m = ordinata del punto di applicazione del tirante a monte;

Coefficiente di sicurezza F sulle resistenze passive

La lunghezza d'infissione sarà ulteriormente aumentata per avere margine di sicurezza in condizioni di esercizio tramite il coefficiente di sicurezza F :

$$S_m \cdot (H + t - B_m - t_m) - \frac{F}{R_v} \cdot (H + t - B_v - t_m) = 0$$

Paratia tirantata ad estremo fisso: calcolo della profondità d'infissione limite

Se la sezione più profonda della paratia non trasla e non ruota può essere assimilata ad un incastro, in tal caso la paratia si definisce ad estremo fisso. Un procedimento elaborato da B.L.U.M. consente di ricavare la profondità d'infissione ($t+t'$), imponendo le condizioni cinematiche di spostamenti nulli alla base dell'opera ed all'origine del tirante ($B1$), e le condizioni statiche di momento e taglio nullo alla base della paratia. Si perviene ad una equazione di 5° grado in ($t+t'$) che può essere risolta in modo agevole.

Coefficiente di sicurezza F sulle resistenze

Per aumentare il fattore di sicurezza sono stati introdotti negli sviluppi numerici, valori delle resistenze passive ridotte.

Metodo degli elementi finiti (FEM)

Il metodo degli elementi finiti è il metodo che più di tutti si fonda su basi teoriche solide e razionali. Di fatti tutto il metodo presuppone che il problema sia affrontato tenendo in conto sia l'aspetto statico (e quindi l'equilibrio del problema, sia l'aspetto cinematico (e quindi la congruenza degli spostamenti o meglio delle deformazioni). In questo approccio la paratia è modellata come un insieme di travi, con vincolo di continuità tra loro (elementi beam) vincolati al terreno mediante molle elastiche, la cui rigidità è valutata in funzione delle proprietà elastiche del terreno. Nella figura che segue è mostrato schematicamente il modello utilizzato per l'analisi ad elementi finiti:

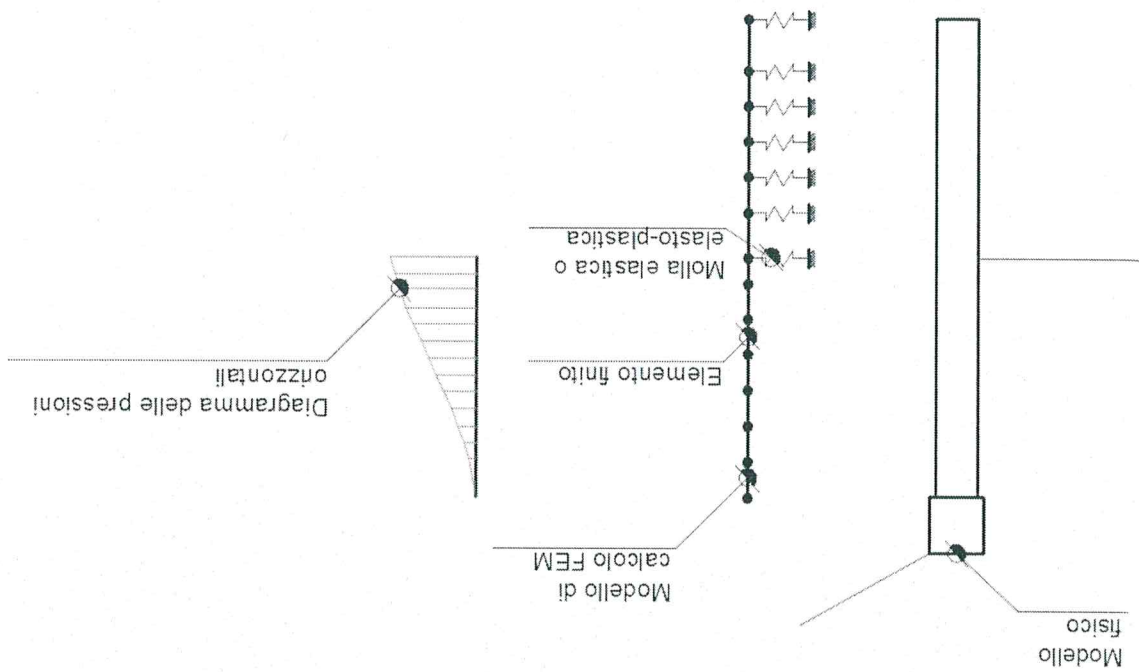


Figura 4: Schematizzazione della paratia ad elementi finiti

Vari aspetti hanno importanza centrale in questo metodo di calcolo. Si riportano nel seguito gli aspetti essenziali.

Calcolo del modulo di rigidità K_s del terreno

Come già detto in precedenza, il terreno viene schematizzato con delle molle di rigidità K_s applicate sui nodi dei conci compresi tra il nodo di fondo scavo e l'estremità di infissione. La stima della rigidità K_s è stata effettuata sulla base della capacità portante delle fondazioni secondo la seguente formula:

$$K_s = A_s + B_s \cdot z^n$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

A_s = costante, calcolata come segue $A_s = C \cdot (c \cdot N_c + 0,5 \cdot G \cdot B \cdot N_g)$

B_s = coefficiente funzione della profondità $B_s = C \cdot G \cdot N_q$

Z = Profondità in esame

C = 40 nel sistema internazionale SI

n = $\pi \cdot \tan \phi$

Verifica di sollevamento del fondo scavo.

Nel caso di un diaframma infilso nel terreno, la presenza della falda in posizioni tali da innescare un moto di filtrazione comporta l'instaurarsi di una forza di filtrazione che, se diretta verso l'alto, può annullare il peso del terreno il quale, in assenza di coesione, può essere trascinato dal flusso dell'acqua e compromettere la stabilità dell'opera. Il fenomeno della stabilità del fondo scavo, analogo a quello del sifonamento, è stato affrontato per la prima volta da Terzaghi (1943). A differenza del sifonamento, che è un fenomeno localizzato nel punto di sbocco della prima linea di flusso, quello del sollevamento del fondo scavo si estende per una profondità pari a quella d'infiltrazione della paratia per una larghezza pari a metà di tale infiltrazione.

Il margine di sicurezza è definito come rapporto tra i_c ed i_e , se $i_e < i_c$ la paratia è stabile.

i_e = Gradiente Idraulico in condizioni di esercizio;

i_c = Gradiente Idraulico critico;

$F_{SIF} = 3,5-4$ Indicando con:

le pressioni passive efficaci, con la conseguente perdita di resistenza del terreno. Si assume di norma un fattore di sicurezza nell'intorno del volume resistente. Si verifica quando, per una elevata pressione idrodinamica o di infiltrazione, si annullano

Il sifonamento è un fenomeno che in una fase iniziale si localizza al piede della paratia, e poi rapidamente si estende

Sifonamento

$$F = \frac{A \cdot E}{S \cdot L} \cdot \cos(\beta)$$

I tiranti vengono schematizzati come elementi elastici, con sezione trasversale di area pari ad A modulo di elasticità E e lunghezza L . Per un tratto di paratia di larghezza unitaria, l'azione dei tiranti inclinati di un angolo β vale:

Tiranti

$$\begin{aligned} N_g &= 1,5 \cdot (Nq-1) \cdot \tan\phi \\ N_c &= (Nq-1) \cdot \cot\phi \\ N_q &= \exp[n \cdot (\tan^2(45^\circ + \phi/2))] \end{aligned}$$

$$N^p = N'; M^p = M'; T^p = T';$$

Verifica delle sezioni e calcolo armature
 Il calcolo delle armature e le verifiche a presso-flessione e taglio della paratia soggetta alle sollecitazioni N, M e T , si effettuano sulla sezione maggiormente sollecitata. Le sollecitazioni di calcolo sono ottenute come prodotto tra le sollecitazioni ottenute con un calcolo a metro lineare e l'interasse tra i pali (o larghezza dei setti se la paratia è costituita da setto):

$$F_s = \frac{S_w}{W'} = \frac{H_c \cdot \gamma_w \cdot \frac{D}{2}}{\gamma' \cdot \frac{D}{2}} = \frac{H_c \cdot \gamma_w}{\gamma' \cdot D}$$

Le condizioni limite di stabilità vengono raggiunte quando S_w uguaglia il peso efficace del blocco, pertanto il fattore di sicurezza a sollevamento del fondo scavo si definisce come il rapporto tra il peso efficace del blocco e la forza di filtrazione:

$$S_w = H_c \cdot \gamma_w \cdot \frac{D}{2}$$

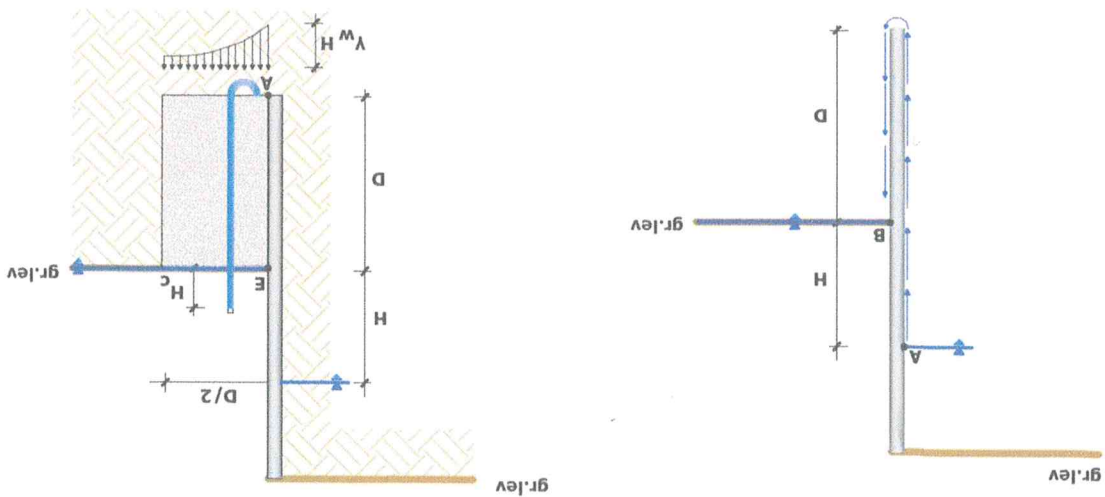
La forza di filtrazione S_w che tende a sollevare il blocco di terreno coinvolto è pari a:

$$H_c = \frac{H \cdot D}{H + 2D}$$

Da cui si ottiene:

$$i_E = \frac{D}{H} = \frac{H + 2D}{H}$$

Per semplificare il problema della determinazione dell'effettivo andamento della pressione interstiziale nel punto A, si assume che il valore della sovrappressione al piede del diaframma sia costante sulla lunghezza $D/2$ e pari a $\gamma_w \cdot H_c$. Per determinare H_c si ricorre all'espressione del gradiente di efflusso i_E :



Nr.	1	21,5	21,7	0,0	13,0	8,6	0,0	0,0	0,0	6,5	22,4
Peso specifico [kN/m ³]											
Peso specifico saturo [kN/m ³]											
Coessione [kN/m ²]											
Angolo attrito [°]											
O.C.R.											
Modulo edometri [kN/m ²]											
Attrito terra monte [°]											
Attrito muro valle [°]											
Spessore [m]											
Inclinazione [°]											
Descrizione											

Fase: 1

Stratigrafia

Massimo spostamento lineare terreno	7,5 cm
Fattore tolleranza spostamento	0,03 cm
Lineare	
Massimo numero di iterazioni	10
Fattore riduzione molla fondo scavo	1
Profondità infissione iniziale	9 m
Incremento profondità infissione	0,2 m
Numero di elementi	36
Numero nodo di fondo scavo	16

Dati generali FEM

Sezione	Circolare Barre
Calcestruzzo	C25/30
Acciaio	B450C
Nome	CIRC 1/1=1,2
Diametro	1 m
Disposizione	Singola fila
Interasse ly	1,2 m

GEOMETRIA SEZIONE

Nr.	1	2	3	4	5	6
Classe acciaio	B450C	B450C*	S235H	S275H	S355H	C1860
Es [MPa]	200000	200000	210000	210000	210000	200205
fyk [MPa]	450	450	235	275	355	1600
fyd [MPa]	391,3	391,3	204,35	239,13	308,7	1116
fk [MPa]	540	540	360	430	510	1860
fd [MPa]	391,3	450	204,35	239,13	308,7	1116
ep_tk	.075	.05	0,05	0,05	0,05	0,05
epd_ult	.0675	.04	0,04	0,04	0,04	0,04
B1*B2 in.	1	1	1	1	1	1
B1*B2 fin.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Acciaio:

Nr.	1	2	3	4
Classe calcestruzzo	C20/25	C25/30	C28/35	C40/50
Ec [MPa]	25	30	35	50
fk_cubi [MPa]	29960	31470	32300	35220
fk [MPa]	20	25	28	40
fed [MPa]	11,33	14,16	15,86	19,83
ftd [MPa]	1,03	1,19	1,28	1,49
ftm [MPa]	2,21	2,56	2,76	3,2

CONGLOMERATI

Archivio materiali

Dove M', M'', T' rappresentano il momento il taglio e lo sforzo normale relativi ad una striscia unitaria di calcolo mentre i è l'interasse tra i pali per paratia costituita da pali o micropali (o larghezza setti per paratia costituita da setti).

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali terreno
1	Tangente angolo resistenza taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti parziali terreno

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1,3
3	Spinta falda	1,5
4	Spinta sismica x	1,5
5	Spinta sismica y	1
6	azioni variabili da traffico	1
7	massiccata stradale	1
8	car. ecc. auto in svio	1

Altezza scavo
 Tipo:
 Nome:
 Coefficienti sismici:
 Coefficienti parziali azioni

6,5 [m]
 S.L.U. [STR]
 A1+M1+R1
 $K_h = 0, K_v = 0$

Fase: I Analisi geotecnica Fase: I - Combinazione: I

Analisi Paratia Metodo calcolo: FEM
 Profondità massima di infissione
 9,2 [m]

Descrizione	Tipo	Xi [m]	Xf [m]	Yi [m]	Yf [m]	Profondità [m]	Valore [kN]-[kPa]
azioni variabili da traffico	Strisce	1	10	0	0	0	20
massiccata stradale	Strisce	1	10	0	0	0	9
car. ecc. auto in svio	Strisce	1	3,6	0	0	0	13,69

Fase: I

Carichi

2	21,5	21,7	32,07	22,0	8,6	0,0	0,0	0,0	23,5	22,4
---	------	------	-------	------	-----	-----	-----	-----	------	------

Profondità di infissione
Pressione massima terreno
Momento massimo
Taglio massimo

9,20 [m]
314,97 [kPa]
1370,45 [kNm/m]
406,32 [kN/m]

Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m³]
0,43	20,48	36,37	-1,19	-11,25	5,5227	--
0,87	29,05	43,33	-6,15	-23,54	5,2206	--
1,30	36,31	50,28	-16,41	-39,93	4,9186	--
1,73	43,13	57,23	-33,54	-58,36	4,6168	--
2,17	49,83	64,19	-58,82	-80,14	4,3156	--
2,60	56,56	71,14	-93,36	-104,51	4,0152	--
3,03	63,34	78,09	-138,77	-131,44	3,7162	--
3,47	70,18	85,05	-195,83	-162,05	3,4193	--
3,90	77,10	92,00	-265,95	-195,82	3,1252	--
4,33	84,08	98,95	-350,84	-232,07	2,8351	--
4,77	91,13	105,91	-451,46	-271,47	2,5502	--
5,20	98,23	112,86	-569,14	-313,91	2,2718	--
5,63	105,38	119,81	-705,23	-359,78	2,0018	--
6,07	112,57	126,77	-861,18	-406,32	1,7422	--
6,50	119,81	133,72	-1037,24	-402,21	1,4951	3144,40
6,94	--	140,75	-1213,34	-248,41	1,2607	30161,07
7,38	-314,97	147,78	-1322,12	-110,25	1,0443	30161,07
7,81	-255,58	154,81	-1370,45	1,85	0,8474	30161,07
8,25	-202,22	161,84	-1369,66	90,51	0,6708	30161,07
8,69	-155,19	168,87	-1329,99	158,45	0,5145	30161,07
9,13	-114,02	175,90	-1260,53	208,45	0,3780	30161,07
9,57	-78,50	182,93	-1169,20	242,83	0,2603	30161,07
10,00	-48,23	189,96	-1062,81	263,96	0,1599	30161,07
10,44	-22,73	196,99	-947,17	273,93	0,0754	30161,07
10,88	-1,48	204,02	-827,16	274,57	0,0049	30161,07
11,32	16,04	211,05	-706,87	267,55	-0,0532	30161,07
11,76	30,38	218,08	-589,66	254,23	-0,1007	30161,07
12,20	42,07	225,11	-478,29	235,81	-0,1395	30161,07
12,63	51,61	232,14	-374,98	213,17	-0,1711	30161,07
13,07	59,44	239,17	-281,60	187,15	-0,1971	30161,07
13,51	66,01	246,20	-199,61	158,21	-0,2188	30161,07
13,95	71,66	253,22	-130,30	126,86	-0,2376	30161,07
14,39	76,72	260,25	-74,71	93,19	-0,2544	30161,07
14,82	81,44	267,28	-33,88	57,51	-0,2700	30161,07
15,26	85,98	274,31	-8,68	19,80	-0,2851	30161,07

Fase: 1 - Combinazione: 2

Altezza scavo

Tipo:

Nome:

Coefficienti sismici:

Coefficienti parziali azioni

Nr.

1	Azioni	Peso proprio	1
2		Spinta terreno	2
1,3	Fattori combinazione		1,3

6,5 [m]

ST.U. [GEO]

A2+M2+R1

Kh = 0, Kv = 0

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m ³]
0,43	21,34	36,37	-1,46	-11,14	7,4851	--
0,87	30,78	43,33	-6,35	-25,52	7,0992	--
1,30	38,90	50,28	-17,06	-42,42	6,7133	--
1,73	46,58	57,23	-35,33	-61,94	6,3277	--
2,17	54,16	64,19	-62,05	-86,32	5,9427	--
2,60	61,74	71,14	-99,03	-112,96	5,5586	--
3,03	69,39	78,09	-148,11	-141,69	5,1759	--
3,47	77,10	85,05	-209,62	-175,70	4,7955	--
3,90	84,88	92,00	-285,89	-212,52	4,4181	--
4,33	92,73	98,95	-377,90	-253,16	4,0450	--
4,77	100,64	105,91	-487,39	-296,47	3,6774	--
5,20	108,60	112,86	-615,85	-343,39	3,3169	--
5,63	116,61	119,81	-764,55	-394,39	2,9655	--
6,07	124,67	126,77	-935,30	-445,75	2,6253	--
6,50	132,78	133,72	-1128,43	-447,13	2,2989	2292,78
6,94	--	140,75	-1324,36	-295,26	1,9855	18861,36
7,38	-319,09	147,78	-1453,71	-155,55	1,6917	18861,36
7,81	-267,74	154,81	-1521,96	-38,48	1,4195	18861,36
8,25	-220,65	161,84	-1538,85	58,02	1,1698	18861,36
8,69	-177,86	168,87	-1513,42	135,82	0,9430	18861,36
9,13	-139,32	175,90	-1453,92	196,81	0,7386	18861,36

Sollecitazioni

Profondità di infissione
Pressione massima terreno
Momento massimo
Taglio massimo

9,20 [m]
319,09 [kPa]
1538,85 [kNm/m]
447,13 [kN/m]

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenti
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Coefficienti resistenti capacità portante verticale

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali terreno
1	Tangente angolo resistenza taglio	1,25
2	Coesione efficace	1,25
3	Resistenza non drenata	1,4
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti parziali terreno

3	Spinta falda	1,3
4	Spinta sismica x	1,3
5	Spinta sismica y	1
6	azioni variabili da traffico	1
7	massicciata stradale	1
8	car. ecc. auto in svio	1

Z	Nome sezione	N	M	T	Nr.Barre	Nu	Mu	Cond. Verifica	Ver.
[m]	sezione	[kN]	[kNm]	[kN]	Diametro	[kN]	[kNm]	Flessione	Flessione
0,43	CIRC	43,65	-1,43	-13,496	10024	43,65	-745,90	523,13	Verificata
0,87	CIRC	51,99	-7,38	-28,250	10024	52,00	-748,91	101,49	Verificata
1,30	CIRC	60,34	-19,69	-47,922	10024	60,33	-751,90	38,18	Verificata
1,73	CIRC	68,68	-40,25	-70,029	10024	68,69	-754,89	18,75	Verificata
2,17	CIRC	77,02	-70,59	-96,173	10024	77,02	-757,87	10,74	Verificata
2,60	CIRC	85,37	-112,03	-125,416	10024	85,36	-760,85	6,79	Verificata
3,03	CIRC	93,71	-166,53	-157,730	10024	93,72	-763,84	4,59	Verificata
3,47	CIRC	102,06	-234,99	-194,456	10024	102,05	-766,82	3,26	Verificata
3,90	CIRC	110,40	-319,14	-234,979	10024	110,41	-769,80	2,41	Verificata
4,33	CIRC	118,74	-421,01	-278,484	10024	118,74	-772,75	1,84	Verificata
4,77	CIRC	127,09	-541,75	-325,767	10024	127,10	-775,71	1,43	Verificata
5,20	CIRC	135,43	-682,97	-376,686	10024	135,43	-778,66	1,14	Verificata
5,63	CIRC	143,78	-846,28	-431,741	11024	143,77	-853,71	1,01	Verificata
6,07	CIRC	152,12	-1033,42	-487,588	14024	152,12	-1042,20	1,01	Verificata
6,50	CIRC	160,46	-1244,69	-482,653	18024	160,47	-1290,82	1,04	Verificata
6,94	CIRC	168,90	-1456,00	-298,091	21024	168,89	-1475,97	1,01	Verificata

Fase: I - Combinazione: 1

Fase: I Risultati analisi strutturale

Risultati analisi strutturale

9,57	-104,85	182,93	-1367,69	-1261,37	242,73	0,5559	18861,36
10,00	-74,21	189,96	-1261,37	-1140,83	275,17	0,3935	18861,36
10,44	-47,12	196,99	-1140,83	-1011,26	295,78	0,2498	18861,36
10,88	-23,23	204,02	-1011,26	-877,23	305,93	0,1232	18861,36
11,32	-2,19	211,05	-877,23	-742,79	306,88	0,0116	18861,36
11,76	16,39	218,08	-742,79	-611,50	299,70	-0,0869	18861,36
12,20	32,88	225,11	-611,50	-486,51	285,33	-0,1743	18861,36
12,63	47,65	232,14	-486,51	-370,64	264,49	-0,2526	18861,36
13,07	61,04	239,17	-370,64	-266,45	237,83	-0,3236	18861,36
13,51	73,39	246,20	-266,45	-176,31	205,69	-0,3891	18861,36
13,95	84,98	253,22	-176,31	-102,54	168,37	-0,4506	18861,36
14,39	96,07	260,25	-102,54	-47,17	126,45	-0,5094	18861,36
14,82	106,86	267,28	-47,17	-12,33	79,62	-0,5666	18861,36
15,26	117,51	274,31	-12,33		28,17	-0,6230	18861,36

Z	[m]	Def.Max	calcestruzzo	Def.Max	acciaio	Asse neutro	[cm]	Passo staffe	[cm]	Resistenza	taglio	kn	Misura	sicurezza	OK<=1	Verifica a	taglio	Angolo	inclinazione	puntoni	[°]	
0,43		3,50E-03		-1,61E-02		-32,84		24,9Ø10		Calcestruzzo	Staffe=480, =1430,79	04	0,03			Verificata		21,80				
0,87		3,50E-03		-1,60E-02		-32,76		24,9Ø10		Calcestruzzo	Staffe=480, =1431,86	04	0,06			Verificata		21,80				
1,30		3,50E-03		-1,59E-02		-32,68		24,9Ø10		Calcestruzzo	Staffe=480, =1432,92	04	0,10			Verificata		21,80				

7,38	CIRC	177,33	-1586,54	-132,305	23Ø24	177,33	-1603,82	1,01	Verificata
7,81	CIRC	185,77	-1644,54	2,219	24Ø24	185,76	-1660,95	1,01	Verificata
8,25	CIRC	194,21	-1643,59	108,614	24Ø24	194,21	-1663,02	1,01	Verificata
8,69	CIRC	202,64	-1595,98	190,245	23Ø24	202,64	-1610,76	1,01	Verificata
9,13	CIRC	211,08	-1512,64	250,134	22Ø24	211,08	-1549,96	1,02	Verificata
9,57	CIRC	219,51	-1403,04	291,400	20Ø24	219,51	-1430,88	1,02	Verificata
10,00	CIRC	227,95	-1275,37	316,757	18Ø24	227,94	-1310,59	1,03	Verificata
10,44	CIRC	236,38	-1136,60	328,715	16Ø24	236,39	-1190,83	1,05	Verificata
10,88	CIRC	244,82	-992,59	329,489	13Ø24	244,82	-1005,82	1,01	Verificata
11,32	CIRC	253,26	-848,24	321,059	11Ø24	253,25	-888,50	1,05	Verificata
11,76	CIRC	261,69	-707,59	305,076	10Ø24	261,70	-822,86	1,16	Verificata
12,20	CIRC	270,13	-573,95	282,976	10Ø24	270,13	-825,77	1,44	Verificata
12,63	CIRC	278,56	-449,98	255,806	10Ø24	278,56	-828,66	1,84	Verificata
13,07	CIRC	287,00	-337,91	224,576	10Ø24	286,99	-831,56	2,46	Verificata
13,51	CIRC	295,43	-239,53	189,857	10Ø24	295,43	-834,46	3,48	Verificata
13,95	CIRC	303,87	-156,36	152,231	10Ø24	303,88	-837,36	5,36	Verificata
14,39	CIRC	312,31	-89,66	111,832	10Ø24	312,30	-840,25	9,37	Verificata
14,82	CIRC	320,74	-40,66	69,007	10Ø24	320,74	-843,14	20,74	Verificata
15,26	CIRC	329,18	-10,41	23,757	10Ø24	329,18	-846,01	81,26	Verificata

21,80	Verificata	0,15	Calcestruzzo Staffe=480, =1433,99 04	24,9010	-32,61	-1,58E-02	3,50E-03	1,73
21,80	Verificata	0,20	Calcestruzzo Staffe=480, =1435,06 04	24,9010	-32,53	-1,57E-02	3,50E-03	2,17
21,80	Verificata	0,26	Calcestruzzo Staffe=480, =1436,13 04	24,9010	-32,45	-1,56E-02	3,50E-03	2,60
21,80	Verificata	0,33	Calcestruzzo Staffe=480, =1437,20 04	24,9010	-32,37	-1,56E-02	3,50E-03	3,03
21,80	Verificata	0,41	Calcestruzzo Staffe=480, =1438,27 04	24,9010	-32,29	-1,55E-02	3,50E-03	3,47
21,80	Verificata	0,49	Calcestruzzo Staffe=480, =1439,34 04	24,9010	-32,22	-1,54E-02	3,50E-03	3,90
21,80	Verificata	0,58	Calcestruzzo Staffe=480, =1440,41 04	24,9010	-32,14	-1,53E-02	3,50E-03	4,33
21,80	Verificata	0,68	Calcestruzzo Staffe=480, =1441,48 04	24,9010	-32,06	-1,52E-02	3,50E-03	4,77
21,80	Verificata	0,78	Calcestruzzo Staffe=480, =1442,55 04	24,9010	-31,98	-1,52E-02	3,50E-03	5,20
21,80	Verificata	0,90	Calcestruzzo Staffe=477, =1470,39 31	24,9010	-30,69	-1,39E-02	3,50E-03	5,63
21,80	Verificata	0,99	Calcestruzzo Staffe=490, =1497,19 29	24,1010	-29,35	-1,28E-02	3,50E-03	6,07
21,80	Verificata	1,00	Calcestruzzo Staffe=484, =1546,19 47	24,1010	-26,86	-1,10E-02	3,50E-03	6,50
21,80	Verificata	0,64	Calcestruzzo Staffe=466, =1569,35 07	24,9010	-25,48	-1,02E-02	3,50E-03	6,94
21,80	Verificata	0,29	Calcestruzzo Staffe=463, =1591,09 24	24,9010	-24,41	-9,63E-03	3,50E-03	7,38

21,80	Verificata	0,00	Calcestruzzo Staffe=463, =1592,28 24	24,9010	-24,02	-9,43E-03	3,50E-03	7,81
21,80	Verificata	0,23	Calcestruzzo Staffe=463, =1593,47 24	24,9010	-23,97	-9,41E-03	3,50E-03	8,25
21,80	Verificata	0,41	Calcestruzzo Staffe=463, =1594,66 24	24,9010	-24,23	-9,54E-03	3,50E-03	8,69
21,80	Verificata	0,54	Calcestruzzo Staffe=463, =1575,22 24	24,9010	-24,80	-9,84E-03	3,50E-03	9,13
21,80	Verificata	0,63	Calcestruzzo Staffe=466, =1576,39 07	24,9010	-25,46	-1,02E-02	3,50E-03	9,57
21,80	Verificata	0,68	Calcestruzzo Staffe=468, =1555,44 91	24,9010	-26,38	-1,07E-02	3,50E-03	10,00
21,80	Verificata	0,70	Calcestruzzo Staffe=468, =1556,60 91	24,9010	-27,24	-1,13E-02	3,50E-03	10,44
21,80	Verificata	0,69	Calcestruzzo Staffe=474, =1509,50 54	24,9010	-29,36	-1,28E-02	3,50E-03	10,88
21,80	Verificata	0,68	Calcestruzzo Staffe=474, =1510,62 54	24,9010	-29,81	-1,31E-02	3,50E-03	11,32
21,80	Verificata	0,64	Calcestruzzo Staffe=477, =1485,78 31	24,9010	-30,79	-1,40E-02	3,50E-03	11,76
21,80	Verificata	0,59	Calcestruzzo Staffe=477, =1486,88 31	24,9010	-30,71	-1,39E-02	3,50E-03	12,20
21,80	Verificata	0,54	Calcestruzzo Staffe=474, =1513,98 54	24,9010	-30,63	-1,38E-02	3,50E-03	12,63
21,80	Verificata	0,47	Calcestruzzo Staffe=474, =1515,10 54	24,9010	-30,55	-1,38E-02	3,50E-03	13,07
21,80	Verificata	0,40	Calcestruzzo Staffe=474, =1516,22 54	24,9010	-30,47	-1,37E-02	3,50E-03	13,51

13,95	3,50E-03	-1,36E-02	-30,39	24,9010	Calcestruzzo =1517,34 Staffe=474, 54	0,32	Verificata	21,80
14,39	3,50E-03	-1,36E-02	-30,31	24,9010	Calcestruzzo =1518,46 Staffe=474, 54	0,24	Verificata	21,80
14,82	3,50E-03	-1,35E-02	-30,23	24,9010	Calcestruzzo =1519,58 Staffe=474, 54	0,15	Verificata	21,80
15,26	3,50E-03	-1,34E-02	-30,15	24,9010	Calcestruzzo =1520,70 Staffe=474, 54	0,05	Verificata	21,80

TRAVE DI COLLEGAMENTO**DATI GEOMETRI DELLA TRAVE DI COLLEGAMENTO**

Diametro	1 m
Interasse X	1,2 m
Lunghezza complessiva	25 m
Modulo elasticità	2,06E+08 KN/m ²
Modulo Poisson	0,4
Area sezione	0,64 m ²
Momento inerzia	0,034 m ⁴

MODELLO DI CALCOLO E SCHEMA DELLE FORZE

Carico sulla trave	1
Posizione	0 m
Forza applicata	0 kN
Appoggio fisso	0 kN/m
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m
Carico sulla trave	2
Posizione	0,6 m
Forza applicata	-10 kN
Appoggio cedevole	0 kN/m
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m
Carico sulla trave	3
Posizione	1,2 m
Forza applicata	0 kN
Appoggio fisso	0 kN/m
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m
Carico sulla trave	4
Posizione	1,8 m
Forza applicata	-10 kN
Appoggio cedevole	0 kN/m
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m
Carico sulla trave	5
Posizione	2,4 m
Forza applicata	0 kN
Appoggio fisso	0 kN/m
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m
Carico sulla trave	6
Posizione	3 m
Forza applicata	-10 kN
Appoggio cedevole	0 kN/m
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m
Carico sulla trave	7
Posizione	3,6 m
Forza applicata	0 kN
Appoggio fisso	0 kN/m
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m
Carico sulla trave	8
Posizione	4,2 m

0 kN/m	Costante elastica vincolo cedevole (ks)
0 kN	Appoggio fisso
9,6 m	Forza applicata
17	Posizione
0 kN/m	Carico sulla trave
0 kN/m	Costante elastica vincolo cedevole (ks)
-10 kN	Appoggio cedevole
9 m	Forza applicata
16	Posizione
0 kN/m	Carico sulla trave
0 kN/m	Costante elastica vincolo cedevole (ks)
0 kN	Appoggio fisso
8,4 m	Forza applicata
15	Posizione
0 kN/m	Carico sulla trave
0 kN/m	Costante elastica vincolo cedevole (ks)
-10 kN	Appoggio cedevole
7,8 m	Forza applicata
14	Posizione
0 kN/m	Carico sulla trave
0 kN/m	Costante elastica vincolo cedevole (ks)
0 kN	Appoggio fisso
7,2 m	Forza applicata
13	Posizione
0 kN/m	Carico sulla trave
0 kN/m	Costante elastica vincolo cedevole (ks)
-10 kN	Appoggio cedevole
6,6 m	Forza applicata
12	Posizione
0 kN/m	Carico sulla trave
0 kN/m	Costante elastica vincolo cedevole (ks)
0 kN	Appoggio fisso
6 m	Forza applicata
11	Posizione
0 kN/m	Carico sulla trave
0 kN/m	Costante elastica vincolo cedevole (ks)
-10 kN	Appoggio cedevole
5,4 m	Forza applicata
10	Posizione
0 kN/m	Carico sulla trave
0 kN/m	Costante elastica vincolo cedevole (ks)
0 kN	Appoggio fisso
4,8 m	Forza applicata
9	Posizione
0 kN/m	Carico sulla trave
0 kN/m	Costante elastica vincolo cedevole (ks)
-10 kN	Appoggio cedevole
	Forza applicata

18	10,2 m	-10 kN	0 kN/m	Carico sulla trave
				Posizione
				Forza applicata
				Appoggio cedevole
				Costante elastica vincolo cedevole (ks)
19	10,8 m	0 kN	0 kN/m	Carico sulla trave
				Posizione
				Forza applicata
				Appoggio fisso
				Costante elastica vincolo cedevole (ks)
20	11,4 m	-10 kN	0 kN/m	Carico sulla trave
				Posizione
				Forza applicata
				Appoggio cedevole
				Costante elastica vincolo cedevole (ks)
21	12 m	0 kN	0 kN/m	Carico sulla trave
				Posizione
				Forza applicata
				Appoggio fisso
				Costante elastica vincolo cedevole (ks)
22	12,6 m	-10 kN	0 kN/m	Carico sulla trave
				Posizione
				Forza applicata
				Appoggio cedevole
				Costante elastica vincolo cedevole (ks)
23	13,2 m	0 kN	0 kN/m	Carico sulla trave
				Posizione
				Forza applicata
				Appoggio fisso
				Costante elastica vincolo cedevole (ks)
24	13,8 m	-10 kN	0 kN/m	Carico sulla trave
				Posizione
				Forza applicata
				Appoggio cedevole
				Costante elastica vincolo cedevole (ks)
25	14,4 m	0 kN	0 kN/m	Carico sulla trave
				Posizione
				Forza applicata
				Appoggio fisso
				Costante elastica vincolo cedevole (ks)
26	15 m	-10 kN	0 kN/m	Carico sulla trave
				Posizione
				Forza applicata
				Appoggio cedevole
				Costante elastica vincolo cedevole (ks)
27	15,6 m	0 kN/m	0 kN/m	Carico sulla trave
				Posizione

Forza applicata	0 kN	Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m
Appoggio fisso			
Carico sulla trave	28		
Posizione	16,2 m		
Forza applicata	-10 kN		
Appoggio cedevole			
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m		
Carico sulla trave	29		
Posizione	16,8 m		
Forza applicata	0 kN		
Appoggio fisso			
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m		
Carico sulla trave	30		
Posizione	17,4 m		
Forza applicata	-10 kN		
Appoggio cedevole			
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m		
Carico sulla trave	31		
Posizione	18 m		
Forza applicata	0 kN		
Appoggio fisso			
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m		
Carico sulla trave	32		
Posizione	18,6 m		
Forza applicata	-10 kN		
Appoggio cedevole			
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m		
Carico sulla trave	33		
Posizione	19,2 m		
Forza applicata	0 kN		
Appoggio fisso			
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m		
Carico sulla trave	34		
Posizione	19,8 m		
Forza applicata	-10 kN		
Appoggio cedevole			
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m		
Carico sulla trave	35		
Posizione	20,4 m		
Forza applicata	0 kN		
Appoggio fisso			
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m		
Carico sulla trave	36		
Posizione	21 m		
Forza applicata	-10 kN		
Appoggio cedevole			
Costante elastica vincolo cedevole (ks)	0 kN/m		

ARMATURA		Ferre longitudinali di calcolo		Staffe	
20/34	cm	20/34	cm	10/10	cm
VERIFICA SEZIONE					
820,84	kNm	0,14	kN	2499,52	kN
				1512,72	kN
SOLECCIAZIONI					
1,74	kNm	1,74	kNm	-1,56	kNm
				-0,25	kN
				-10	kN
2,82E-08	cm	2,82E-08	cm	-2,36E-07	cm
ARMATURA					
Ferre longitudinali di calcolo					
Staffe					
20/34 cm					
10/10 cm					
VERIFICA SEZIONE					
Momento ultimo (Mu)					
Sforzo normale ultimo (Nu)					
Resistenza a taglio conglomerato (Vrdd)					
Resistenza a taglio staffe (Vwd)					
SOLECCIAZIONI					
Carico sulla trave					
Posizione					
Forza applicata					
Appoggio fisso					
Costante elastica vincolo cedevole (ks)					
37	m	21,6	m	0	kN
				0	kN
				0	kN/m
38	m	22,2	m	-10	kN
				0	kN/m
39	m	22,8	m	0	kN
				0	kN/m
40	m	23,4	m	-10	kN
				0	kN/m
41	m	24	m	0	kN
				0	kN/m
42	m	24,6	m	-10	kN
				0	kN/m
42	m	24,6	m	-10	kN
				0	kN/m
42	m	24,6	m	-10	kN
				0	kN/m

RELAZIONE DI STABILITÀ? GLOBALE DEL PENDIO

Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Introduzione all'analisi di stabilità

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 (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

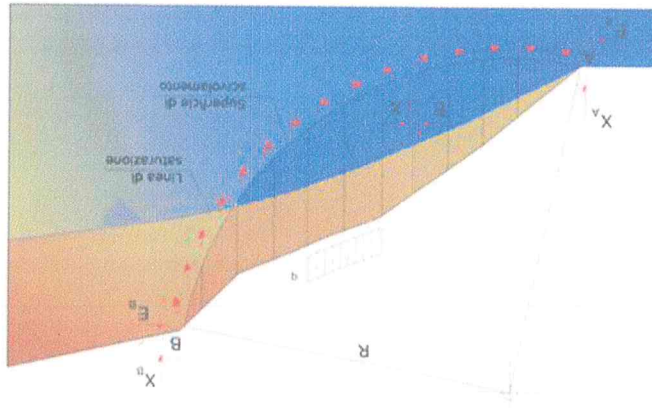
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

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 (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_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:

- 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 conci;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- 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 Fellenius (1927)

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

- n valori delle forze normali N_i ;
- n valori delle forze da taglio T_i ;
- 1 fattore di sicurezza.

Le equazioni a disposizione sono:
Incognite $(2n+1)$.

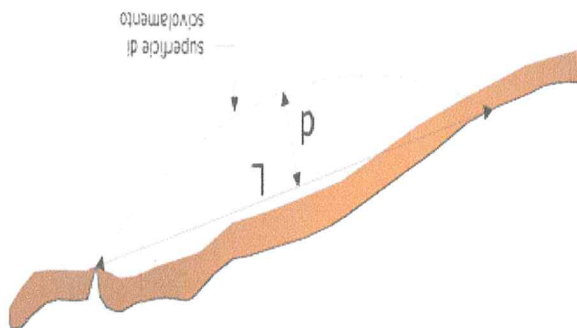
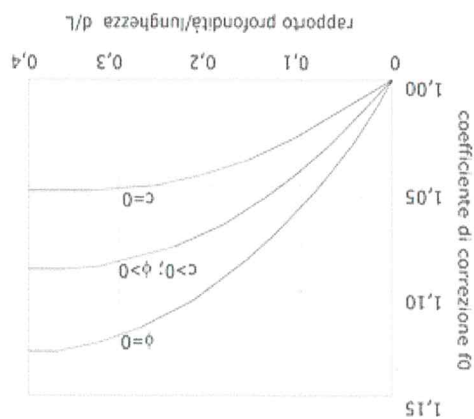
- n equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;
- n equazioni relative al criterio di rottura;
- equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \phi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

dove F_0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

$$F_{\text{corretto}} = F_0 \cdot F$$



Metodo di Bell (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno, W , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali $K^X W$ e $K^Z W$, le forze orizzontali e verticali X e Z applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio σ e τ agenti sulla superficie potenziale di scivolamento. Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori u che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace. In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor. In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell'1-esimo conico è data da:

$$T_1 = \frac{F}{c_1 L_1 + (N_1 - u_1 L_1) \tan \Phi_1}$$

in cui:
F = il fattore di sicurezza;
c = la coesione efficace (o totale) alla base dell'*i*-esimo concio;
φ = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell'*i*-esimo concio;
L_i = la lunghezza della base dell'*i*-esimo concio;
u_i = la pressione dei pori al centro della base dell'*i*-esimo concio.
 L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.
 Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[C_1(1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci}) \right]$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$$W_i \cos \alpha_i / L_i = \text{valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei concii}$$

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left(\frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

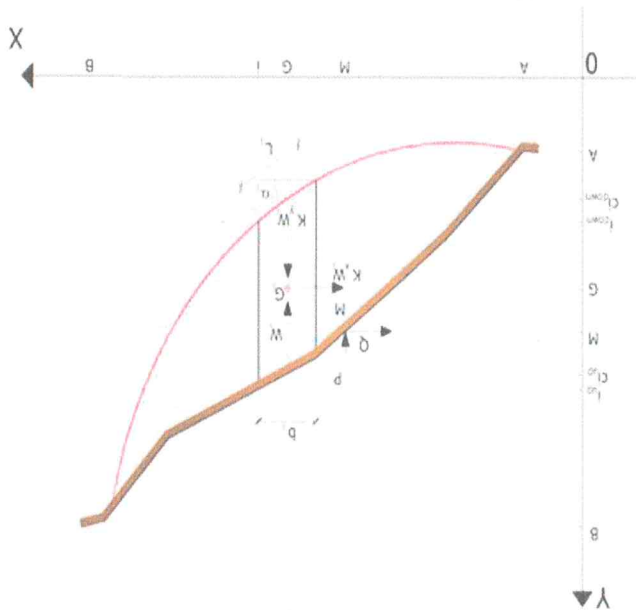
dove **x₀** ed **x_n** sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre **x_{ci}** rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio *i*-esimo.
 Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno **K_Z** può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore (1 - **K_Z**).
 Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza **F**, sostituendo l'espressione di **N_i** e moltiplicando ciascuna termine della coesione per un coefficiente arbitrario **C₃**. Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.
 Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

Metodo di Sarma (1973)

Il metodo di Sarma è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal



profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica K_c) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in n strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_i agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i = W_i - \Delta X_i$$

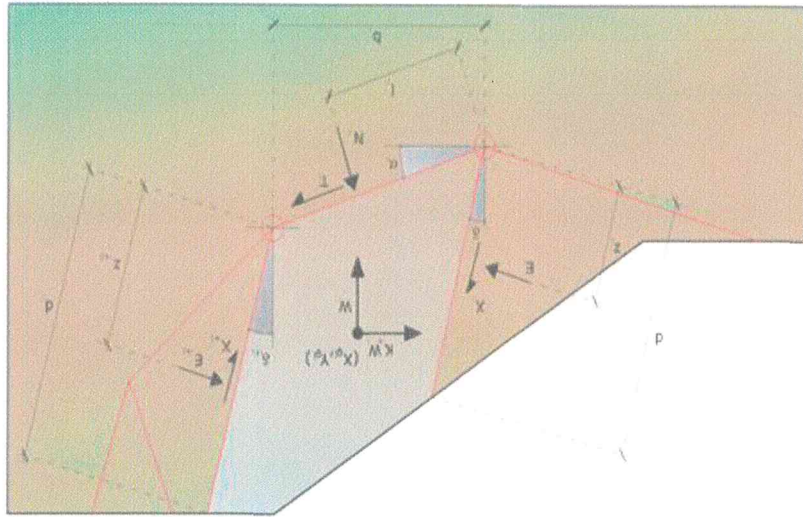
$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = K W_i + \Delta E_i$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\sum \Delta E_i = 0$$

$$\sum \Delta X_i = 0$$

dove E_i e X_i rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia i -esima del concio generico i . L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel **metodo di Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:



Azioni sull'iesimo concio, metodo di Sarma

$$\sum \Delta X_i \cdot \left[(y_{mi} - y_G) \cdot \text{tg}(\psi_i - \alpha_i) + (x_i - x_G) \right] = \sum W_i \cdot (x_i - x_G) + \sum \Delta E_i \cdot (y_{mi} - y_G)$$

$$\sum \Delta X_i \cdot \text{tg}(\psi_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta E_i - K \cdot \sum W_i$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di **K** (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione **K** corrispondente al fattore di sicurezza $F = 1$, ossia l'accelerazione critica. Si ha pertanto:

$$K=Kc \quad \text{Accelerazione critica se } F=1$$

$$F=F_s \quad \text{Fattore di sicurezza in condizioni statiche se } K=0$$

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne X_i ed E_i tale da verificare l'equilibrio globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura. E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze X_i :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove Q_i è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla i-esima faccia del concio i , e λ rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di K_c , λ e F_s , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interfraccia.

Metodo di Spencer (1967)

Il metodo è basato sull'assunzione:

1. le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli concii sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo θ ;
2. tutti i momenti sono nulli $M_i = 0$ con $i=1, \dots, n$.

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale amethodo di Morgenstern e Price quando la funzione $f(x) = 1$. Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$1) \quad \sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

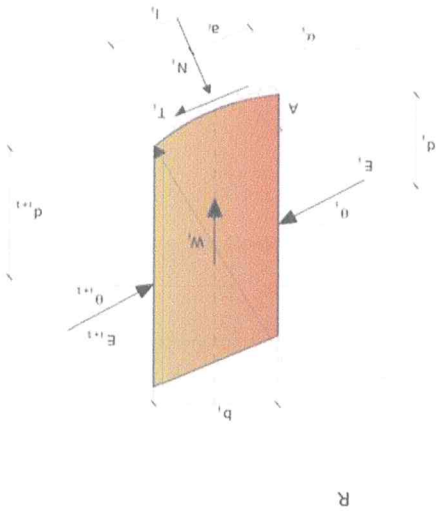
$$Q_i = \frac{F_s}{c} (W \cos \alpha - \gamma^w h l \sec \alpha) \frac{F_s}{F_s} - W \sec \alpha \left[\frac{F_s}{F_s + \text{tg} \phi \text{tg}(\alpha - \theta)} \cos(\alpha - \theta) \right]$$

forza d'interazione fra i concii;
R = raggio dell'arco di cerchio;
 θ = angolo d'inclinazione della forza Q_i rispetto all'orizzontale.
 Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0$$

$$\sum (Q_i \sin \theta) = 0$$

Con l'assunzione delle forze Q_i parallele fra loro, si può anche scrivere:



$$\sum Q_i = 0 \quad 2)$$

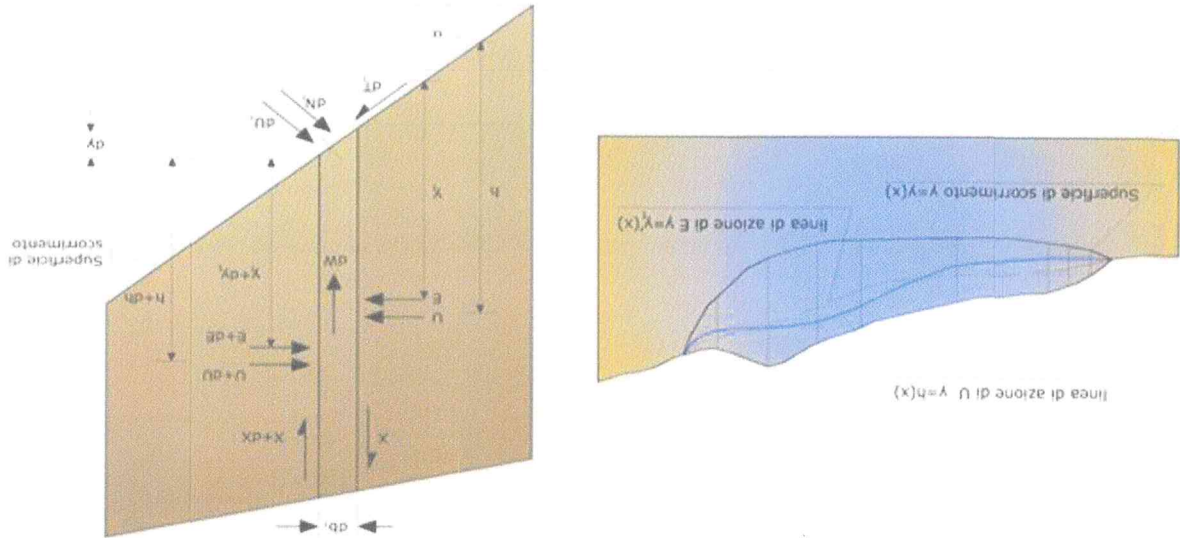
Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo (F_{sm}) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo (F_{sf}) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo θ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia:

$$F_{sm} = F_{sf}$$

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 λ 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, semisinusoidale, trapezoidale, 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 rotazione 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 neutre alla base dU . Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

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



Azioni sul conico 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 mezzerta della base:

$$X = \frac{d(E \lambda)}{dE} - \lambda \frac{dx}{dx}$$

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 qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

Metodo di Zeng e Liang (2002)

Zeng e Liang hanno effettuato una serie di analisi parametriche su un modello bidimensionale sviluppato con codice agli elementi finiti, che riproduce il caso di pali immersi in un terreno in movimento (drilled shafts). Il modello bidimensionale riproduce un striscia di terreno di spessore unitario e ipotizza che il fenomeno avvenga in condizioni di deformazione piana nella direzione parallela all'asse dei pali. Il modello è stato utilizzato per indagare l'influenza sulla formazione dell'effetto arco di alcuni parametri come l'interasse fra i pali, il diametro e la forma dei pali, e le proprietà meccaniche del terreno. Gli autori individuano nel rapporto tra l'interasse e il diametro dei i pali (s/d) il parametro adimensionale determinante per la formazione dell'effetto arco. Il problema risulta essere staticamente indeterminato, con grado di indeterminazione pari a (8n-4), ma nonostante ciò è possibile ottenere una soluzione riducendo il numero delle incognite e assumendo quindi delle ipotesi semplificative, in modo da rendere determinato il problema.

Le assunzioni che rendono il problema determinato sono:

- Ky sono assunte orizzontali per ridurre il numero totale delle incognite da (n-1) a (7n-3);
- Le forze normali alla base della striscia agiscono nel punto medio, riducendo le incognite da n a (6n-3);
- La posizione delle spinte laterali è ad un terzo dell'altezza media dell'inter-striscia e riduce le incognite da (n-1) a (5n-2);
- Le forze (P1-1) e P1 si assumono parallele all'inclinazione della base della striscia (ai), riducendo il numero di incognite da (n-1) a (4n-1);
- Si assume un'unica costante di snervamento per tutte le strisce, riducendo le incognite da (n) a (3n-1);

Il numero totale di incognite quindi è ridotto a (3n), da calcolare utilizzando il fattore di trasferimento di carico. Inoltre si deve tener presente che la forza di stabilizzazione trasmessa sul terreno a valle dei pali risulta ridotta di una quantità R, chiamato Fattore di riduzione, calcolabile come:

$$R = \frac{1}{1} \frac{p/d}{1} + \left(1 - \frac{s/d}{1}\right) \cdot R_p$$

Il fattore R dipende quindi dal rapporto fra l'interasse presente fra i pali e il diametro dei pali stessi e dal fattore Rp che tiene conto dell'effetto arco.

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:

$$F_H = K_x \cdot W$$

$$F_V = K_y \cdot W$$

Essendo:

- FH e FV rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del cono;
- W peso cono;
- Kx coefficiente sismico orizzontale;
- Ky 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 $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

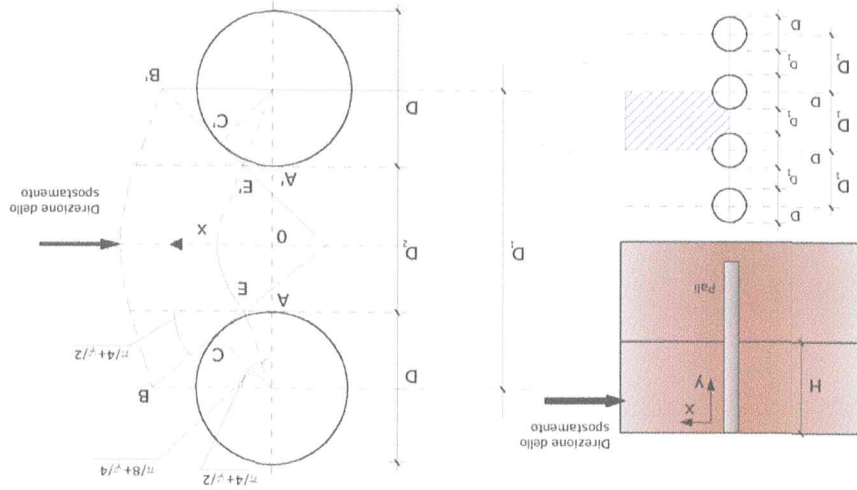
Stabilizzazione di pendii con l'utilizzo di pali

La realizzazione di una cortina di pali, su pendio, serve a fare aumentare la resistenza al taglio su determinate superfici di scorrimento. L'intervento può essere conseguente ad una stabilità già accertata, per la quale si conosce la superficie di scorrimento oppure, agendo preventivamente, viene progettato in relazione alle ipotetiche superfici di rottura che responsabilmente possono essere assunte come quelle più probabili. In ogni caso si opera considerando una massa di terreno in movimento su un ammasso stabile sul quale attestare, per una certa lunghezza, l'allineamento di pali. Il terreno, nelle due zone, ha una influenza diversa sull'elemento monoassiale (palo): di tipo sollecitativo nella parte superiore (palo passivo - terreno attivo) e di tipo resistivo nella zona sottostante (palo attivo - terreno passivo). Da questa interferenza, fra "sbarramento" e massa in movimento, scaturiscono le azioni stabilizzanti che devono perseguire le seguenti finalità:

1. conferire al pendio un coefficiente di sicurezza maggiore di quello posseduto;
2. essere assorbite dal manufatto garantendone l'integrità (le tensioni interne, derivanti dalle sollecitazioni massime trasmesse sulle varie sezioni del singolo palo, devono risultare inferiori a quelle ammissibili del materiale) e risultare inferiori al carico limite sopportabile dal terreno, calcolato, lateralmente considerando l'interazione (palo-terreno).

Carico limite relativo all'interazione fra i pali ed il terreno laterale

Nei vari tipi di terreno che non hanno un comportamento omogeneo, le deformazioni in corrispondenza della zona di contatto non sono legate fra di loro. Quindi, non potendo associare al materiale un modello di comportamento perfettamente elastico (ipotesi che potrebbe essere assunta per i materiali lapidei poco fratturati), generalmente si procede imponendo che il movimento di massa sia nello stato iniziale e che il terreno in adiacenza ai pali sia nella fase massima consentita di plasticizzazione, oltre la quale si potrebbe verificare l'effetto indesiderato che il materiale possa defluire, attraverso la cortina di pali, nello spazio intercorrente fra un elemento e l'altro.



Imponendo inoltre che il carico assorbito dal terreno sia uguale a quello associato alla condizione limite ipotizzata e che fra due pali consecutivi, a seguito della spinta attiva, si instauri una sorta di effetto arco, gli autori T. Ito e T. Matsui (1975) hanno ricavato la relazione che permette di determinare il carico limite. A questa si è pervenuto facendo riferimento allo schema statico, disegnato nella figura precedente e alle ipotesi anzidette, che schematicamente si ribadiscono.

- Sotto l'azione della spinta attiva del terreno si formano due superfici di scorrimento localizzate in corrispondenza delle linee AEB ed A'E'B;
- Le direzioni EB ed E'B' formano con l'asse x rispettivamente angoli $(45 + \phi/2)$ e $-(45 + \phi/2)$;
- Il volume di terreno, compreso nella zona delimitata dai vertici AEBB'E'A' ha un comportamento plastico, e quindi è consentita l'applicazione del criterio di rottura di Mohr-coulomb;
- La pressione attiva del terreno agisce sul piano A-A';
- I pali sono dotati di elevata rigidità a flessione e taglio.

Deita espressione, riferita alla generica profondità Z , relativamente ad un spessore di terreno unitario, è la seguente:

$$P(Z) = C \cdot D_1(D_1/D_2)^{K_1} \left[1 / (N^\phi)^{\text{tag}\phi} \right]^{K_2} - 2(N^\phi)^{1/2} \text{tag}\phi - 1 \left[+ K_3 \left[-C \left[D_1 \cdot K_3 - D_2 / (N^\phi)^{1/2} \right] + \gamma Z / N^\phi \right] D_1(D_1/D_2)^{K_1} \cdot e^{K_2 - D_2} \right]$$

dove i simboli utilizzati assumono il significato che segue:

C = coesione terreno;

ϕ = angolo di attrito terreno;

γ = peso specifico terreno;

D_1 = interasse tra i pali;

D_2 = spazio libero fra due pali consecutivi;

$$N^\phi = \text{tag}^2(\pi/4 + \phi/2)$$

$$K_1 = (N^\phi)^{1/2} \text{tag}\phi + N^\phi - 1$$

$$K_2 = (D_1 - D_2) / D_2 \cdot N^\phi \text{tag}(\pi/8 + \phi/4)$$

$$K_3 = [2\text{tag}\phi + 2(N^\phi)^{1/2} + 1 / (N^\phi)^{1/2}] / [(N^\phi)^{1/2} \text{tag}\phi + N^\phi - 1]$$

La forza totale, relativamente ad uno strato di terreno in movimento di spessore H , è stata ottenuta integrando l'espressione precedente.

In presenza di terreni granulari (condizione drenata), nei quali si può assumere $c = 0$, l'espressione diventa:

$$P = 1/2 \gamma \cdot H^2 / N^\phi \left[D_1(D_1/D_2)^{K_1} \cdot e^{K_2 - D_2} \right]$$

Per terreni coesivi (condizioni non drenate), con $\phi = 0$ e $C \neq 0$, si ha:

$$P(Z) = C \left[D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{K_1} + (D_1 - D_2) / D_2 \text{tag}(\pi/8) - 2(D_1 - D_2) \right] + \gamma \cdot Z \left[D_1 - D_2 \right]$$

$$P = \int_H^0 P(Z) dZ$$

$$P = C \cdot H \left[D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{K_1} + (D_1 - D_2) / D_2 \text{tag}(\pi/8) - 2(D_1 - D_2) \right] + 1/2 \gamma H^2 (D_1 - D_2)$$

Il dimensionamento della cortina di pali, che come già detto deve conferire al pendio un incremento del coefficiente di sicurezza e garantire l'integrità del meccanismo palo-terreno, è abbastanza problematica. Infatti tenuto conto della complessità dell'espressione del carico P , influenzata da diversi fattori legati sia alle caratteristiche meccaniche del terreno sia alla geometria del manufatto, non è facile con una sola elaborazione pervenire alla soluzione ottimale. Per raggiungere lo scopo è necessario pertanto eseguire diversi tentativi finalizzati:

- A trovare, sul profilo topografico del pendio, la posizione che garantisca, a parità di altre condizioni, una distribuzione dei coefficienti di sicurezza più confortante;
- A determinare la disposizione planimetrica dei pali, caratterizzata dal rapporto fra interasse e distanza fra i pali (D_2/D_1), che consenta di sfruttare al meglio la resistenza del complesso palo-terreno;
- sperimentatamente è stato riscontrato che, escludendo i casi limiti ($D_2 = 0 \rightarrow P \rightarrow \infty$ e $D_2 = D_1 \rightarrow P \rightarrow \text{valore}$

- A valutare la possibilità di inserire più file di pali ed eventualmente, in caso affermativo, valutare, per le file successive, la posizione che dia più garanzie in termini di sicurezza e di spreco di materiali;
- Ad adottare il tipo di vincolo più idoneo che consente di ottenere una distribuzione più regolare delle sollecitazioni; sperimentalmente è stato constatato che quello che assolve, in maniera più soddisfacente, allo scopo è il vincolo che impedisce le rotazioni alla testa del palo.

Nel caso in cui il palo sia caricato ortogonalmente all'asse, configurazione di carico presente se un palo inibisce il movimento di una massa in frana, la resistenza può essere affidata al suo carico limite orizzontale.

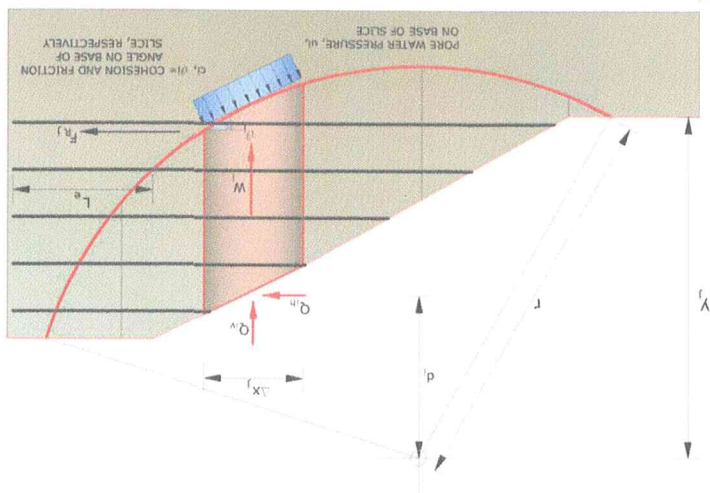
Metodo del carico limite di Broms
 Il problema di calcolo del carico limite orizzontale è stato affrontato da Broms sia per il mezzo puramente coesivo che per il mezzo incoerente, il metodo di calcolo seguito è basato su alcune ipotesi semplificative per quanto attiene alla reazione esercitata dal terreno per unità di lunghezza di palo in condizioni limite e porta in conto anche la resistenza a rottura del palo (*Momento di plasticizzazione*).

Elemento Rinforzo

I Rinforzi sono degli elementi orizzontali, la loro messa in opera conferisce al terreno un incremento della resistenza allo scorrimento.

Se l'elemento di rinforzo interseca la superficie di scorrimento, la forza resistente sviluppata dall'elemento entra nell'equazione di equilibrio del singolo cono, in caso contrario l'elemento di rinforzo non ne influenza la stabilità.

$$SF = \frac{\sum c + \sum \sigma' \tan \phi}{\sum W - Q_v \sin \alpha} - \frac{\sum Q_h \cos \alpha}{\sum W - Q_v \sin \alpha}$$



Le verifiche di natura interna hanno lo scopo di valutare il livello di stabilità dell'ammasso rinforzato, quelle calcolate sono la verifica a rottura dell'elemento di rinforzo per trazione e la verifica a sfilamento (*Pullout*). Il parametro che fornisce la resistenza a trazione del rinforzo, T_{Allow} , si calcola dalla resistenza nominale del materiale con cui è realizzato il rinforzo ridotto da opportuni coefficienti che tengono conto dell'aggressività del terreno, danneggiamento per effetto creep e danneggiamento per installazione.
 L'altro parametro è la resistenza a sfilamento (*Pullout*) che viene calcolata attraverso la seguente relazione:

$$T_{Pullout} = 2 \cdot L_e \cdot \sigma_v \cdot F_b \cdot \tan(\delta)$$

$$F_b = \frac{\tan(\phi)}{\tan(\delta)}$$

Per geosintetico a maglie chiuse:

dove:
 δ Rappresenta l'angolo di attrito tra terreno e rinforzo;
 $T_{pullout}$ Resistenza mobilitata da un rinforzo ancorato per una lunghezza L_e all'interno della parte stabile del terreno;
 L_e Lunghezza di ancoraggio del rinforzo all'interno della parte stabile;
 f_b Coefficiente di *Pullout*;
 σ_v Tensione verticale, calcolata alla profondità media del tratto di rinforzo ancorato al terreno.

Al fini della verifica si sceglie il valore minimo tra T_{Allow} e $T_{pullout}$, la verifica interna verrà soddisfatta se la forza trasmessa dal rinforzo generata a tergo del tratto rinforzato non supera il valore della T^* .

Ancoraggi

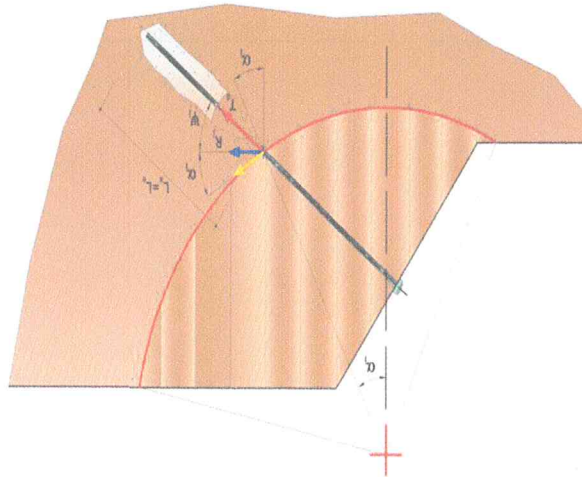
Gli ancoraggi, tiranti o chiodi, sono degli elementi strutturali in grado di sostenere forze di trazione in virtù di un'adeguata connessione al terreno.

Gli elementi caratterizzanti un tirante sono:

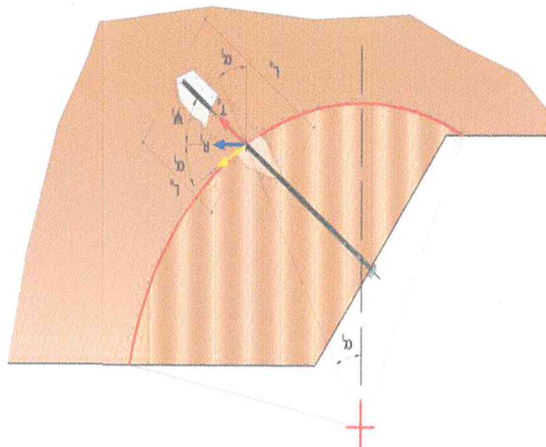
- **testata:** indica l'insieme degli elementi che hanno la funzione di trasmettere alla struttura ancorata la forza di trazione del tirante;
- **fondazione:** indica la parte del tirante che realizza la connessione con il terreno, trasmettendo al terreno stesso la forza di trazione del tirante.

Il tratto compreso tra la testata e la fondazione prende il nome di parte libera, mentre la fondazione (o bulbo) viene realizzata iniettando nel terreno, per un tratto terminale, tramite valvole a perdere, la malta, in genere cementizia. L'anima dell'ancoraggio è costituita da un'armatura, realizzata con barre, fili o trefoli.

Il tirante interviene nella stabilità in misura maggiore o minore efficace a seconda se sarà totalmente o parzialmente (caso in cui è intercettato dalla superficie di scorrimento) ancorato alla parte stabile del terreno.



Bulbo completamente ancorato



Le relazioni che esprimono la misura di sicurezza lungo una ipotetica superficie di scorrimento si modificheranno in presenza di ancoraggi (tirante attivo, passivo e chiodi) nel modo seguente:

– per i tiranti di tipo attivo, la loro resistenza si detrae dalle azioni (denominatore);

$$F_s = \frac{R^d}{E^d - \sum R_{i,j}^d \cdot \cos \alpha_i}$$

– per tiranti di tipo passivo e per i chiodi, il loro contributo si somma alle resistenze (numeratore)

$$F_s = \frac{E^d}{R^d + \sum R_{i,j}^d \cdot \cos \alpha_i}$$

Con R_j si indica la resistenza dell'ancoraggio e viene calcolata dalla seguente espressione:

$$R_j = T^d \cdot \cos \varphi_i \cdot \left(\frac{L_e}{L_a} \right)$$

dove:

- T^d tiro esercizio;
- φ_i inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale;
- i interasse;
- L_e lunghezza efficace;
- L_a lunghezza d'ancoraggio.

I due indici (i, j) riportati in sommatoria rappresentano rispettivamente l'i-esimo concio e il j-esimo ancoraggio intercettato dalla superficie di scorrimento dell'i-esimo concio.

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat/Long-

41,233792/14,683729

Normativa
 Numero di strati
 Numero dei conci
 Grado di sicurezza ritenuto accettabile
 Coefficiente parziale resistenza
 Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:
 Analisi
 Superficie di forma circolare
 Condizione drenata
 Picco
 NTC 2008 e Circ.
 2,0
 10,0
 1,1
 1,0
 Picco

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi
 Ordinata vertice sinistro inferiore yi
 Ascissa vertice destro superiore xs
 Ordinata vertice destro superiore ys
 Passo di ricerca
 Numero di celle lungo x
 Numero di celle lungo y
 43,79 m
 52,0 m
 56,21 m
 64,41 m
 10,0
 10,0
 10,0

Vertici profilo

Nr	X (m)	Y (m)
1	30,24	35,35
2	49,99	43,5
3	50,0	50,0
4	60,0	50,0
5	67,48	53,6

Vertici strato1

N	X (m)	Y (m)
1	30,24	35,26
2	67,48	50,7

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio
 Coesione efficace
 Coesione non drenata
 Riduzione parametri geotecnici terreno
 1,0
 1,0
 1,0
 SI

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kg/m ³)	Peso saturo (kg/m ³)	Litologia
1	0		13	2192,355	2192,355	
2	0,3270178		22	2192,355	2192,355	

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	51	50	60	50	0,20394
2	51	50	60	50	0,091773

3	51	50	53,6	50	0,1395969
---	----	----	------	----	-----------

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1,74
Ascissa centro superficie	43,79 m
Ordinata centro superficie	53,24 m
Raggio superficie	20,43 m

B: Larghezza del conoio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del conoio; Li: Lunghezza della base del conoio; Wi: Peso del conoio; Lt: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Nt: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Tt: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ft: Angolo di attrito; c: coesione.

$$xc = 43,793 \quad yc = 52,00 \quad Rc = 19,265 \quad Fs = 1,768$$

Nr.	B	Alfa	Li	Wi	Kh*Wi	Kv*Wi	c	Ft	Ui	Nt	Tt
	m	(°)	m	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kg/cm ²)	(°)	(Kg)	(Kg)	(Kg)

1	3,05	-30,3	3,5310756,26	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	18767,5	10809,4
2	3,05	-20,2	3,2428685,17	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	35780,3	14175,6
3	3,05	-10,8	3,142683,99	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	46555,7	16369,1
4	3,05	-1,6	3,0553268,16	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	53790,8	17923,7
5	3,05	7,5	3,0760613,98	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	58625,0	19074,6
6	2,17	15,4	2,2545714,87	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	43532,5	14101,2
7	0,06	18,9	0,06 1707,44	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	1636,5	491,2
8	6,91	31,0	8,06243006,2	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	241437,3	70075,1
9	3,05	50,2	4,76 78853,2	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	88396,8	28996,0
10	3,05	72,9	10,3341791,13	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	45864,7	29589,1

$$xc = 44,414 \quad yc = 52,621 \quad Rc = 19,649 \quad Fs = 1,822$$

Nr.	B	Alfa	Li	Wi	Kh*Wi	Kv*Wi	c	Ft	Ui	Nt	Tt
	m	(°)	m	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kg/cm ²)	(°)	(Kg)	(Kg)	(Kg)

1	3,09	-29,9	3,5710981,53	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	18722,4	10551,3
2	3,09	-19,9	3,2929306,78	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	36189,4	13925,0
3	3,09	-10,5	3,1543622,93	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	47343,8	16141,1
4	3,09	-1,4	3,0954442,57	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	54879,5	17719,5
5	4,5	9,8	4,5691821,44	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	88378,1	27782,4
6	1,69	19,1	1,7962057,11	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	59957,4	16503,2
7	3,09	26,8	3,46113133,4	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	111142,7	30858,2
8	3,09	37,5	3,997363,99	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	100300,5	29235,2
9	3,09	50,3	4,8474611,61	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	83908,7	27289,1
10	3,09	72,7	10,442395,19	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	48277,1	29366,2

$$xc = 45,035 \quad yc = 52,00 \quad Rc = 18,875 \quad Fs = 1,858$$

Nr.	B	Alfa	Li	Wi	Kh*Wi	Kv*Wi	c	Ft	Ui	Nt	Tt
-----	---	------	----	----	-------	-------	---	----	----	----	----

Nr.	B	Alpha	m	W!	Kh•W!	Kv•W!	c	Fi	Ui	N!	T!
	m	(°)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg/cm ²)	(°)	(kg)	(kg)	(kg)
xc = 45,655 yc = 52,621 Rc = 19,303 Fs=1,876											
1	3,01	-31,1	3,5210729,67	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,018737,5	10264,5	
2	3,01	-20,9	3,2228570,76	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,035713,6	13437,5	
3	3,01	-11,3	3,0742483,81	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,046437,9	15502,1	
4	3,01	-2,1	3,0153011,18	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,053668,6	16972,7	
5	4,14	8,8	4,1984390,52	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,081499,8	25097,4	
6	1,88	18,2	1,9869463,4	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,067174,7	18093,0	
7	3,01	26,3	3,36109849,7	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0108017,4	29401,9	
8	3,01	37,2	3,7895219,2	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,098261,9	28018,6	
9	3,01	50,1	4,6973875,38	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,083525,4	26416,7	
10	3,01	73,4	10,5543180,18	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,051413,1	29744,6	
xc = 46,276 yc = 52,00 Rc = 18,553 Fs=1,92											
1	3,07	-30,8	3,57111041,96	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,018994,0	10313,9	
2	3,07	-20,6	3,2829421,49	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,036536,8	13581,3	
3	3,07	-11,1	3,1343761,89	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,047675,0	15716,8	
4	3,07	-1,9	3,0754609,09	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,055206,7	17240,1	
5	3,43	7,8	3,4769997,13	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,067817,2	20650,9	
6	2,7	17,2	2,83101003,3	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,097692,0	25966,1	
7	3,07	26,5	3,43109026,4	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0107308,3	29084,7	
8	3,07	37,3	3,8595015,43	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,098199,2	27870,2	
9	3,07	50,1	4,7871123,62	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,080266,4	25628,7	
10	3,07	73,3	10,6644177,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,053402,7	30082,4	
xc = 46,897 yc = 52,621 Rc = 18,958 Fs=1,909											
1	2,99	-32,1	3,5310823,97	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,019073,4	10018,2	
2	2,99	-21,7	3,2128768,7	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,036172,8	13084,0	
3	2,99	-12,0	3,0542741,24	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,046906,1	15067,9	
4	2,99	-2,7	2,9953322,73	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,054150,8	16483,7	
5	3,08	6,7	3,1162793,93	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,061085,8	18138,9	
6	2,89	16,2	3,01108407,4	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0104984,3	27211,0	
7	2,99	26,0	3,32106037,8	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0104491,6	27641,2	
8	2,99	36,9	3,7393151,84	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,096473,6	26656,3	
9	2,99	49,9	4,6370566,16	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,080111,2	24741,5	
10	2,99	74,0	10,8445196,59	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,057460,1	30548,9	

$xc = 47,517 \quad yc = 52,00 \quad Rc = 18,238 \quad Fs = 1,961$

Nr.	B	m	Alpha	(°)	Li	m	Wi	(Kg)	Kh•Wi	(Kg)	Kv•Wi	(Kg)	c	(kg/cm ²)	Fi	(°)	Ui	(Kg)	Ni	(Kg)	Ti	(Kg)
1	3,04	-31,7	3,5711096,11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,019535,8	22,0	22,0	0,019535,8	10215,8	0,036937,0	13407,6	15479,1	16956,8
2	3,04	-21,4	3,2629515,69	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,048016,0	22,0	22,0	0,055500,8	16956,8	0,046977,4	14029,3	14029,3	16956,8
3	3,04	-11,7	3,143867,66	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,048016,0	22,0	22,0	0,055500,8	16956,8	0,046977,4	14029,3	14029,3	16956,8
4	3,04	-2,4	3,0454732,53	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,048016,0	22,0	22,0	0,055500,8	16956,8	0,046977,4	14029,3	14029,3	16956,8
5	2,37	5,8	2,3948151,89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,046977,4	22,0	22,0	0,046977,4	14029,3	0,046977,4	14029,3	14029,3	16956,8
6	0,06	9,5	0,061687,35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,01635,5	22,0	22,0	0,01635,5	450,3	0,01635,5	450,3	450,3	62232,0
7	6,68	20,4	7,13243192,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0236329,3	22,0	22,0	0,0236329,3	62232,0	0,0236329,3	62232,0	62232,0	62232,0
8	3,04	37,0	3,8192674,76	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,095859,3	22,0	22,0	0,095859,3	26808,0	0,078643,6	24733,7	24733,7	26808,0
9	3,04	49,9	4,7269542,17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,078643,6	22,0	22,0	0,078643,6	24733,7	0,078643,6	24733,7	24733,7	26808,0
10	3,04	73,8	10,9346012,36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,058229,8	22,0	22,0	0,058229,8	31037,5	0,058229,8	31037,5	31037,5	31037,5

$xc = 47,138 \quad yc = 52,621 \quad Rc = 18,625 \quad Fs = 2,006$

Nr.	B	m	Alpha	(°)	Li	m	Wi	(Kg)	Kh•Wi	(Kg)	Kv•Wi	(Kg)	c	(kg/cm ²)	Fi	(°)	Ui	(Kg)	Ni	(Kg)	Ti	(Kg)
1	2,96	-33,2	3,5410926,79	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,019537,4	22,0	22,0	0,019537,4	9927,3	0,036743,4	12919,8	14841,3	16213,0
2	2,96	-22,5	3,2128983,11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,036743,4	22,0	22,0	0,036743,4	12919,8	0,047450,9	14841,3	14841,3	16213,0
3	2,96	-12,7	3,0443018,89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,047450,9	22,0	22,0	0,047450,9	14841,3	0,047450,9	14841,3	14841,3	16213,0
4	2,96	-3,3	2,9753657,23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,054672,7	22,0	22,0	0,054672,7	16213,0	0,054672,7	16213,0	16213,0	16213,0
5	2,03	4,6	2,0441205,49	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,040397,0	22,0	22,0	0,040397,0	11717,8	0,040397,0	11717,8	11717,8	11717,8
6	0,06	7,9	0,061685,71	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,01641,0	22,0	22,0	0,01641,0	439,1	0,01641,0	439,1	439,1	61755,1
7	6,8	19,4	7,21248219,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0241406,0	22,0	22,0	0,0241406,0	61755,1	0,0241406,0	61755,1	61755,1	61755,1
8	2,96	36,6	3,6991174,98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,094524,0	22,0	22,0	0,094524,0	25627,5	0,094524,0	25627,5	25627,5	25627,5
9	2,96	49,6	4,5769241,18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,078792,0	22,0	22,0	0,078792,0	23855,0	0,078792,0	23855,0	23855,0	23855,0
10	2,96	74,6	11,1547337,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,063337,4	22,0	22,0	0,063337,4	31646,3	0,063337,4	31646,3	31646,3	31646,3

$xc = 48,759 \quad yc = 52,00 \quad Rc = 17,936 \quad Fs = 2,075$

Nr.	B	m	Alpha	(°)	Li	m	Wi	(Kg)	Kh•Wi	(Kg)	Kv•Wi	(Kg)	c	(kg/cm ²)	Fi	(°)	Ui	(Kg)	Ni	(Kg)	Ti	(Kg)
1	3,01	-32,7	3,5811167,64	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,019535,4	22,0	22,0	0,019535,4	9769,2	0,037226,3	12799,6	14760,1	23596,1
2	3,01	-22,2	3,2529650,46	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,037226,3	22,0	22,0	0,037226,3	12799,6	0,048324,2	14760,1	14760,1	23596,1
3	3,01	-12,4	3,0944029,53	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,048324,2	22,0	22,0	0,048324,2	14760,1	0,048324,2	14760,1	14760,1	23596,1
4	4,33	-1,0	4,3381712,93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,082123,6	22,0	22,0	0,082123,6	23596,1	0,082123,6	23596,1	23596,1	23596,1
5	1,7	8,3	1,7161793,48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,060264,5	22,0	22,0	0,060264,5	14931,3	0,060264,5	14931,3	14931,3	14931,3
6	3,01	15,8	3,13112687,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0109432,5	22,0	22,0	0,0109432,5	27141,9	0,0109432,5	27141,9	27141,9	27141,9
7	3,01	25,8	3,35102491,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,01010330,9	22,0	22,0	0,01010330,9	25860,4	0,01010330,9	25860,4	25860,4	25860,4
8	3,01	36,7	3,7688340,52	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,091849,0	22,0	22,0	0,091849,0	24624,5	0,091849,0	24624,5	24624,5	24624,5
9	3,01	49,7	4,6670215,44	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,080498,7	22,0	22,0	0,080498,7	23805,4	0,080498,7	23805,4	23805,4	23805,4
10	3,01	74,4	11,2148006,84	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,065706,3	22,0	22,0	0,065706,3	31511,8	0,065706,3	31511,8	31511,8	31511,8

Nr.	B	m	Alpha	(°)	Li	m	Wi	(Kg)	Kh•Wi	(Kg)	Kv•Wi	(Kg)	c	(kg/cm ²)	Fi	(°)	Ui	(Kg)	Ni	(Kg)	Ti	(Kg)
1	2,94	-34,2	3,5611046,15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,019794,0	22,0	22,0	0,019794,0	9459,4	0,037177,2	12289,5	14459,4	22289,5
2	2,94	-23,4	3,229234,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,037177,2	22,0	22,0	0,037177,2	12289,5	0,037177,2	12289,5	12289,5	12289,5

$xc = 43,793$ $yc = 53,241$ $Rc = 20,429$ $Fs=1,742$

Nr.	B	m	Alfa	(°)	L!	W!	(Kg)	Kh•W!	(Kg)	Kv•W!	(Kg)	c	(kg/cm ²)	F!	(°)	U!	(Kg)	N!	(Kg)	T!
3	2,94	-13,5	3,0243345,99	-2,3	3,9273991,86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,74902,2	20766,6	14100,5	
4	3,92	-2,3	3,9273991,86	7,1	1,9872115,19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,70573,1	16859,1	25591,9	
5	1,96	7,1	1,9872115,19	15,1	3,05109750,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,1006771,2	25591,9	25591,9	
6	2,94	15,1	3,05109750,0	25,2	3,25100521,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,099560,1	24508,7	24508,7	
7	2,94	25,2	3,25100521,4	36,2	3,6587047,34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,090751,2	23416,5	23416,5	
8	2,94	36,2	3,6587047,34	49,3	4,5170305,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,081152,0	22905,7	22905,7	
9	2,94	49,3	4,5170305,2	75,2	11,4949635,88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,072339,4	32191,1	32191,1	
10	2,94	75,2	11,4949635,88																	

$xc = 43,793$ $yc = 53,241$ $Rc = 20,429$ $Fs=1,742$

Nr.	B	m	Alfa	(°)	L!	W!	(Kg)	Kh•W!	(Kg)	Kv•W!	(Kg)	c	(kg/cm ²)	F!	(°)	U!	(Kg)	N!	(Kg)	T!
1	3,17	-28,7	3,6211237,79	-18,9	3,3630048,26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,18928,2	11184,9	11184,9	
2	3,17	-18,9	3,3630048,26	-9,7	3,2244766,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,048347,6	14845,4	14845,4	
3	3,17	-9,7	3,2244766,05	8,3	3,2163530,23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,061255,4	18976,0	18976,0	
4	3,17	-0,7	3,1755875,57	17,8	0,061705,38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,033671,6	11074,9	11074,9	
5	3,17	8,3	3,2163530,23	15,2	1,7435397,95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,033671,6	11074,9	11074,9	
6	1,68	15,2	1,7435397,95	17,8	0,061705,38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,01631,6	496,8	496,8	
7	0,06	17,8	0,061705,38	30,6	9,05271141,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,0268206,8	79207,6	79207,6	
8	7,79	30,6	9,05271141,0	50,4	4,9875387,34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,083564,8	28742,1	28742,1	
9	3,17	50,4	4,9875387,34	72,0	10,2741697,09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,044094,5	29513,7	29513,7	
10	3,17	72,0	10,2741697,09																	

$xc = 44,414$ $yc = 53,862$ $Rc = 20,828$ $Fs=1,806$

Nr.	B	m	Alfa	(°)	L!	W!	(Kg)	Kh•W!	(Kg)	Kv•W!	(Kg)	c	(kg/cm ²)	F!	(°)	U!	(Kg)	N!	(Kg)	T!
1	3,22	-28,3	3,6611495,96	-18,6	3,430754,84	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,037337,8	14515,8	14515,8	
2	3,22	-18,6	3,430754,84	-9,4	3,2745829,14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,049267,2	16942,8	16942,8	
3	3,22	-9,4	3,2745829,14	-0,5	3,2257203,21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,057362,3	18674,4	18674,4	
4	3,22	-0,5	3,2257203,21	9,7	4,284512,74	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,081319,6	25799,9	25799,9	
5	4,14	9,7	4,284512,74	18,9	2,4485928,98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,082955,8	22983,4	22983,4	
6	2,31	18,9	2,4485928,98	27,2	3,63115078,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,0113033,4	31859,3	31859,3	
7	3,22	27,2	3,63115078,7	37,9	4,0898804,63	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,0101709,9	30154,4	30154,4	
8	3,22	37,9	4,0898804,63	50,5	5,0772334,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,080666,0	27225,1	27225,1	
9	3,22	50,5	5,0772334,7	71,9	10,3642440,91	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,046982,9	29267,6	29267,6	
10	3,22	71,9	10,3642440,91																	

$xc = 45,035$ $yc = 53,241$ $Rc = 20,062$ $Fs=1,838$

Nr.	B	m	Alfa	(°)	L!	W!	(Kg)	Kh•W!	(Kg)	Kv•W!	(Kg)	c	(kg/cm ²)	F!	(°)	U!	(Kg)	N!	(Kg)	T!
1	3,15	-29,5	3,6211266,22	-19,6	3,3430083,77	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,018944,5	10596,4	10596,4	
2	3,15	-19,6	3,3430083,77	-10,2	3,244791,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,048462,4	16340,5	16340,5	
3	3,15	-10,2	3,244791,4	-1,2	3,1555902,56	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	22,0	22,0	0,0	0,056277,2	17969,1	17969,1	
4	3,15	-1,2	3,1555902,56																	

$xc = 45,655 \text{ yc} = 53,862 \text{ Rc} = 20,434 \text{ Fs} = 1,829$

Nr.	B	m	Alpha	(°)	L!	m	W!	(Kg)	Kh·W!	(Kg)	Kv·W!	(Kg)	c	(kg/cm ²)	F!	(°)	U!	(Kg)	N!	(Kg)	T!	(Kg)
5	3,79	8,8	3,8377236,03	8,8	18,1	26,9	2,6493509,97	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23206,4	24549,8
6	2,51	18,1	2,6493509,97	18,1	26,9	2,6493509,97	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24549,8	30488,9
7	3,15	26,9	3,53112039,6	26,9	37,6	3,9796899,11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30488,9	29033,8
8	3,15	37,6	3,9796899,11	37,6	49,3	4,9371712,74	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26453,4	29033,8
9	3,15	50,3	4,9371712,74	50,3	62,0	6,2226428,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26453,4	29015,4
10	3,15	62,0	6,2226428,8	62,0	72,4	7,24	10,5543768,87	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29969,6	26301,1

$xc = 45,655 \text{ yc} = 53,862 \text{ Rc} = 20,434 \text{ Fs} = 1,829$

Nr.	B	m	Alpha	(°)	L!	m	W!	(Kg)	Kh·W!	(Kg)	Kv·W!	(Kg)	c	(kg/cm ²)	F!	(°)	U!	(Kg)	N!	(Kg)	T!	(Kg)
1	3,19	-29,1	3,6511471,53	-29,1	12,3	0,06	1690,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10752,2	14317,6
2	3,19	-19,2	3,3830651,99	-19,2	12,3	0,06	1690,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14317,6	16676,6
3	3,19	-9,9	3,2445650,82	-9,9	12,3	0,06	1690,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16676,6	18359,3
4	3,19	-0,9	3,1956976,79	-0,9	12,3	0,06	1690,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18359,3	18822,7
5	3,07	7,9	3,162162,78	7,9	12,3	0,06	1690,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18822,7	469,4
6	0,06	12,3	0,06	1690,25	12,3	0,06	1690,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	469,4	62470,2
7	6,45	22,2	6,96233233,4	22,2	12,3	0,06	1690,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62470,2	29015,4
8	3,19	37,7	4,0395839,43	37,7	12,3	0,06	1690,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29015,4	29015,4
9	3,19	50,4	5,0170330,01	50,4	12,3	0,06	1690,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26301,1	29015,4
10	3,19	72,4	10,5543768,87	72,4	12,3	0,06	1690,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29969,6	26301,1

$xc = 46,897 \text{ yc} = 53,862 \text{ Rc} = 20,447 \text{ Fs} = 1,869$

Nr.	B	m	Alpha	(°)	L!	m	W!	(Kg)	Kh·W!	(Kg)	Kv·W!	(Kg)	c	(kg/cm ²)	F!	(°)	U!	(Kg)	N!	(Kg)	T!	(Kg)
1	3,12	-30,4	3,6111278,07	-30,4	21,4	7,05238198,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10489,7	13872,0
2	3,12	-20,3	3,3230072,61	-20,3	21,4	7,05238198,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13872,0	16089,2
3	3,12	-10,8	3,1744745,31	-10,8	21,4	7,05238198,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16089,2	17670,6
4	3,12	-1,6	3,1255839,45	-1,6	21,4	7,05238198,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17670,6	16400,2
5	2,72	6,9	2,7455135,44	6,9	21,4	7,05238198,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16400,2	460,3
6	0,06	11,0	0,06	1688,86	11,0	0,06	1688,86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	460,3	6248,5
7	6,57	21,4	7,05238198,5	21,4	11,0	0,06	1688,86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6248,5	27934,3
8	3,12	37,4	3,9294229,28	37,4	11,0	0,06	1688,86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27934,3	25545,3
9	3,12	50,2	4,8769905,32	50,2	11,0	0,06	1688,86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25545,3	25545,3
10	3,12	73,1	10,7344823,19	73,1	11,0	0,06	1688,86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30476,1	25545,3

$xc = 46,897 \text{ yc} = 53,862 \text{ Rc} = 20,447 \text{ Fs} = 1,869$

Nr.	B	m	Alpha	(°)	L!	m	W!	(Kg)	Kh·W!	(Kg)	Kv·W!	(Kg)	c	(kg/cm ²)	F!	(°)	U!	(Kg)	N!	(Kg)	T!	(Kg)
1	3,16	-29,9	3,6411456,77	-29,9	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10539,6	13996,3
2	3,16	-19,9	3,3630572,42	-19,9	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13996,3	16272,3
3	3,16	-10,5	3,2145504,68	-10,5	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16272,3	17897,3
4	3,16	-1,4	3,1656789,66	-1,4	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17897,3	11960,6
5	2,10	6,0	2,0140119,55	6,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11960,6	456,0
6	0,06	9,0	0,06	1669,28	9,0	0,06	1669,28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	456,0	456,0

$xc = 47,517 yc = 53,241 Rc = 19,33 Fs=1,914$

Nr.	B	Alpha	L!	W!	Kh*W!	Kv*W!	c	Fi	Ui	N!	T!
	m	(°)	m	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kg/cm ²)	(°)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
7	7,42	20,4	7,91266189,4	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0258119,2	69635,2	27277,4
8	3,16	37,5	3,9891158,14	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,093981,1	25713,8	27277,4
9	3,16	50,3	4,9470232,96	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,078965,5	25713,8	27277,4
10	3,16	72,9	10,7645207,75	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,054416,1	30587,1	30587,1

$xc = 43,793 yc = 54,483 Rc = 21,601 Fs=1,778$

Nr.	B	Alpha	L!	W!	Kh*W!	Kv*W!	c	Fi	Ui	N!	T!
	m	(°)	m	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kg/cm ²)	(°)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	3,09	-31,2	3,6111305,15	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,019456,8	10274,7	10274,7
2	3,09	-21,0	3,330097,42	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,037432,7	13549,8	13549,8
3	3,09	-11,4	3,1544749,82	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,048818,1	15685,2	15685,2
4	3,09	-2,2	3,0955837,68	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,056526,4	17210,0	17210,0
5	1,66	4,9	1,6633316,51	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,032606,8	9724,1	9724,1
6	0,06	7,4	0,061667,29	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,01623,2	446,1	446,1
7	7,54	19,5	8,0271610,8	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0263579,7	69313,1	69313,1
8	3,09	37,2	3,8789711,24	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,092714,1	26189,1	26189,1
9	3,09	50,0	4,870191,53	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,079469,8	24987,1	24987,1
10	3,09	73,7	10,9746530,48	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,058984,8	31204,3	31204,3

$xc = 44,414 yc = 55,103 Rc = 21,95 Fs=1,784$

Nr.	B	Alpha	L!	W!	Kh*W!	Kv*W!	c	Fi	Ui	N!	T!
	m	(°)	m	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kg/cm ²)	(°)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	3,3	-27,2	3,7111730,67	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,018922,6	11130,7	11130,7
2	3,3	-17,7	3,4731433,84	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,037771,8	14959,2	14959,2
3	3,3	-8,7	3,3446874,89	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,050089,1	17526,8	17526,8
4	3,3	0,1	3,358510,8	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,058461,3	19359,3	19359,3
5	4,49	10,6	4,5791828,78	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,088103,0	28426,9	28426,9
6	2,11	19,6	2,2478260,52	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,075499,7	21284,1	21284,1
7	3,3	27,6	3,72118144,6	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0115943,0	33200,7	33200,7
8	3,3	38,1	4,19100733,7	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0103500,8	31237,9	31237,9
9	3,3	50,6	5,272989,39	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,080922,1	27951,9	27951,9
10	3,3	71,2	10,2341720,5	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,044451,9	28925,7	28925,7

Nr.	B	Alpha	L!	W!	Kh*W!	Kv*W!	c	Fi	Ui	N!	T!
	m	(°)	m	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kg/cm ²)	(°)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	3,34	-26,8	3,7411888,03	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,018968,8	11154,3	11154,3
2	3,34	-17,4	3,531872,6	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,038105,3	15040,8	15040,8
3	3,34	-8,4	3,3847539,68	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,050661,9	17657,4	17657,4
4	3,34	0,4	3,3459339,65	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,059213,1	19527,3	19527,3
5	3,76	9,7	3,8276372,16	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,073436,5	23624,0	23624,0
6	2,92	18,7	3,08108608,9	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0104729,5	29356,2	29356,2
7	3,34	27,7	3,77115932,2	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0113779,5	32673,5	32673,5
8	3,34	38,2	4,2599224,48	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0101947,1	30867,5	30867,5

Nr.	B	Alpha	L!	W!	Kh•W!	Kv•W!	c	Fi	Ui	N!	T!
9	3,34	50,6	5,2671357,81	10,27 42042,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,044958,8	27515,8	28994,1
10	3,34	71,0	10,27 42042,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,044958,8	27515,8	28994,1	

xc = 45,035 yc = 54,483 Rc = 21,187 Fs=1,814

Nr.	B	Alpha	L!	W!	Kh•W!	Kv•W!	c	Fi	Ui	N!	T!
1	3,27	-27,9	3,7 11675,1	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,018992,1	10895,0	10895,0
2	3,27	-18,3	3,4431252,42	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,037736,8	14606,9	14606,9
3	3,27	-9,1	3,3146582,58	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,049933,0	17086,8	17086,8
4	3,27	-0,2	3,2758143,91	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,058226,3	18858,5	18858,5
5	3,41	8,8	3,4669239,91	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,066787,9	21108,4	21108,4
6	3,12	18,0	3,28116291,1	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0112229,3	30907,6	30907,6
7	3,27	27,4	3,68113087,4	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0111099,0	31378,9	31378,9
8	3,27	38,0	4,1497504,52	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0100393,1	29831,4	29831,4
9	3,27	50,5	5,1470814,64	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,078828,2	26822,3	26822,3
10	3,27	71,7	10,442844,06	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,047654,9	29364,2	29364,2

xc = 45,655 yc = 55,103 Rc = 21,519 Fs=1,799

Nr.	B	Alpha	L!	W!	Kh•W!	Kv•W!	c	Fi	Ui	N!	T!
1	3,3	-27,5	3,7211796,72	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,019043,9	11037,1	11037,1
2	3,3	-17,9	3,4731598,11	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,038004,8	14836,2	14836,2
3	3,3	-8,8	3,3447110,49	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,050381,2	17381,6	17381,6
4	3,3	0,0	3,358802,45	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,058800,5	19199,8	19199,8
5	2,68	8,0	2,7153824,82	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,052018,5	16602,6	16602,6
6	0,06	11,7	0,06 1672,88	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0 1610,4	472,9	472,9
7	7,16	22,1	7,73255548,5	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0247555,4	69626,1	69626,1
8	3,3	38,1	4,1994274,43	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,096759,0	29342,2	29342,2
9	3,3	50,6	5,270506,54	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,078189,8	27001,4	27001,4
10	3,3	71,5	10,4143004,55	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,047289,8	29536,9	29536,9

xc = 46,276 yc = 54,483 Rc = 20,778 Fs=1,832

Nr.	B	Alpha	L!	W!	Kh•W!	Kv•W!	c	Fi	Ui	N!	T!
1	3,23	-28,7	3,6811621,08	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,019143,1	10792,8	10792,8
2	3,23	-18,9	3,41 31073,2	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,037768,3	14423,8	14423,8
3	3,23	-9,6	3,2846292,14	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,049814,9	16836,3	16836,3
4	3,23	-0,7	3,2357778,41	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,057996,9	18559,0	18559,0
5	2,34	7,0	2,3646953,28	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,045548,6	14255,7	14255,7
6	0,06	10,4	0,06 1671,14	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0 1613,8	464,9	464,9
7	7,29	21,3	7,82260838,2	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0252783,9	69728,7	69728,7
8	3,23	37,8	4,0992679,73	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,095329,9	28326,0	28326,0
9	3,23	50,5	5,0770338,48	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,078538,0	26381,7	26381,7
10	3,23	72,2	10,5744034,66	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,050555,9	30030,5	30030,5

xc = 43,793 yc = 55,724 Rc = 22,721 Fs=1,759

Nr.	B	Alfa	m	L!	W!	Kh·W!	Kv·W!	c	F!	U!	N!	T!
		(°)		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg/cm ²)	(°)	(kg)	(kg)	(kg)
1	3,41	-25,8	3,7912109,64	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,018973,5	11407,9	15464,9
2	3,41	-16,5	3,5632511,32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,038508,3	15464,9	18215,7
3	3,41	-7,7	3,4448521,04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,051425,7	18215,7	20182,3
4	3,41	1,0	3,4160563,24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,060235,3	20182,3	26181,0
5	4,11	10,5	4,1883564,03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,080126,0	26181,0	27680,3
6	2,71	19,5	2,88100878,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,097209,8	27680,3	33949,6
7	3,41	28,0	3,86118835,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0116523,7	33949,6	31878,0
8	3,41	38,3	4,35100998,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0103559,9	31878,0	28178,2
9	3,41	50,6	5,3871956,94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,079112,0	28178,2	28677,9
10	3,41	70,4	10,1541353,98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,042671,3	28677,9	

xc = 44,414 yc = 56,345 Rc = 23,03 Fs=1,748

Nr.	B	Alfa	m	L!	W!	Kh·W!	Kv·W!	c	F!	U!	N!	T!
		(°)		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg/cm ²)	(°)	(kg)	(kg)	(kg)
1	3,44	-25,4	3,8112178,82	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,018942,6	11506,2	15627,3
2	3,44	-16,2	3,5832714,17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,038600,0	15627,3	18429,6
3	3,44	-7,4	3,4748833,82	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,051638,3	18429,6	20433,1
4	3,44	1,2	3,4460950,21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,060533,7	20433,1	21430,1
5	3,37	9,8	3,4267705,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,065014,6	21430,1	28732,6
6	0,06	14,1	0,061676,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,01605,8	486,9	6893,2
7	6,89	23,6	7,5224511,7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0237349,6	6893,2	31301,0
8	3,44	38,4	4,3997675,76	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,099851,8	31301,0	28129,0
9	3,44	50,7	5,4371019,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,077732,3	28129,0	28732,6
10	3,44	70,2	10,1541335,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,042176,8	28732,6	

xc = 45,035 yc = 55,724 Rc = 22,27 Fs=1,772

Nr.	B	Alfa	m	L!	W!	Kh·W!	Kv·W!	c	F!	U!	N!	T!
		(°)		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg/cm ²)	(°)	(kg)	(kg)	(kg)
1	3,37	-26,4	3,7611983,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,018978,3	11274,4	15236,5
2	3,37	-17,0	3,5332145,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,038283,0	15236,5	17911,7
3	3,37	-8,1	3,447958,13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,050989,7	17911,7	19823,5
4	3,37	0,6	3,3759860,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,059646,6	19823,5	18995,4
5	3,03	8,9	3,0660740,07	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,058503,5	18995,4	480,3
6	0,06	12,9	0,061674,51	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,01607,8	480,3	69353,3
7	7,03	22,9	7,63250310,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0242415,2	69353,3	30332,1
8	3,37	38,3	4,2995940,34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,098266,9	30332,1	27581,3
9	3,37	50,7	5,3270734,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,077921,3	27581,3	29105,0
10	3,37	70,8	10,2742108,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,044522,9	29105,0	

$$xc = 43,793 \text{ yc} = 56,965 \text{ Rc} = 23,798 \text{ Fs} = 1,743$$

Nr.	B	Alfa	L!	W!	Kh•W!	Kv•W!	c	Fi	Ui	Ni	Ti
	m	(°)	m	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kg/cm ²)	(°)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	3,51	-24,4	3,8612383,42	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,018880,3	11615,4	
2	3,51	-15,4	3,6433302,76	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,038910,6	15856,2	
3	3,51	-6,7	3,5449736,17	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,052303,9	18761,8	
4	3,51	1,7	3,51 62071,7	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,061465,7	20842,9	
5	3,72	10,5	3,7874724,37	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,071598,7	23696,4	
6	3,31	19,3	3,5122309,0	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0117733,5	33867,1	
7	3,51	28,3	3,99118604,6	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0116189,8	34424,5	
8	3,51	38,6	4,4999478,18	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,0101707,1	32007,6	
9	3,51	50,7	5,5471359,55	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,077866,4	28448,8	
10	3,51	69,5	10,0440674,61	0,0	0,0	0,0	0,33	22,0	0,040608,3	28257,2	