COMUNE DI FINALE LIGURE

Provincia di Savona



Riformulazione del progetto di P.U.O. del sub distretto di trasformazione DT1a - aree ex cava Ghigliazza a seguito del parere del Comitato VIA

committente

CAVA ARENE CANDIDE SRL

Sede legale: Via Ferruccio Ferrari 4 - 42100 Reggio Emilia *Sede operativa:* Via Clementi 16 - 42100 Reggio Emilia

Tel. 0522.306086 Fax. 0522.935164 E.mail: melioli@intertechsrl.com

Presidente e legale rappresentante Giovanni MELIOLI

responsabile progettazione

arch. PierGiorgio CASTELLARI

Piazza del Popolo 3/8, 17100 Savona
tel 019 804597 - fax 019 8486939
e-mail archet@archet.it

arch. Valter CATTANEO

via Garibaldi 17, 17027 Pietra Ligure (SV)
tel 019 625320 - fax 019 629837
e-mail info@architettocattaneo.it

consulenza per le tematiche geologico-geotecniche

ing. Oscar TONELLO

via Ruffini 7/7 18038 Sanremo IM
tel 0184 541130 - fax 0184 541130
e-mail studio.tonello@libero.it

geol. Giorgio CONTI

via Ruffini 7/7 18038 Sanremo IM
tel 0184 541130 - fax 0184 541130
e-mail gio_conti@libero.it

oggetto

RELAZIONE DI CALCOLO
VERIFICHE PARATIA E PENDIO - MEDOTO F.E.M. E E.L.

elaborato

C3.2

data settembre 2013

scala --------

cod.	003003	percorso file /dati/.../prj/cava arene candide		redatto	corretto	approvato
rev1	giugno 2013	motivo	Riformulazione a seguito parere Comitato VIA	Tonello - Bianchi	Tonello-Conti	Tonello-Conti
rev2	settembre 2013	motivo	Integrazione a seguito parere settore VIA del 01/07/13			
rev3		motivo				
rev4		motivo				
rev5		motivo				

VERIFICHE AGLI ELEMENTI F.E.M. PER LE PARATIE E ALL'E.L. PER IL PENDIO ESEGUITE SULLE SEZIONI 4-4 5-5 E 8-8

SEZIONE 4-4 / PARATIA 1

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Metodo di analisi

Calcolo della profondità di infissione

Nel caso generale l'equilibrio della paratia è assicurato dal bilanciamento fra la spinta attiva agente da monte sulla parte fuori terra, la resistenza passiva che si sviluppa da valle verso monte nella zona interrata e la controspinta che agisce da monte verso valle nella zona interrata al di sotto del centro di rotazione.
Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la controspinta sarà assente.
Pertanto il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, controspinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).
Nel calcolo classico delle paratie si suppone che essa sia infinitamente rigida e che possa subire una rotazione intorno ad un punto (*Centro di rotazione*) posto al di sotto della linea di fondo scavo (per paratie non tirantate).
Occorre pertanto costruire i diagrammi di spinta attiva e di spinta (resistenza) passiva agenti sulla paratia. A partire da questi si costruiscono i diagrammi risultanti.
Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

K_{am} diagramma della spinta attiva agente da monte
K_{av} diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata
K_{pm} diagramma della spinta passiva agente da monte
K_{pv} diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata.

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$D_m=K_{pm}-K_{av}$ e $D_v=K_{pv}-K_{am}$

Questi diagrammi rappresentano i valori limiti delle pressioni agenti sulla paratia. La soluzione è ricercata per tentativi facendo variare la profondità di infissione e la posizione del centro di rotazione fino a quando non si raggiunge l'equilibrio sia alla traslazione che alla rotazione.
Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione
si può agire con tre modalità :
1. applicazione di un coefficiente moltiplicativo alla profondità di infissione strettamente necessaria per l'equilibrio

2. riduzione della spinta passiva tramite un coefficiente di sicurezza
3. riduzione delle caratteristiche del terreno tramite coefficienti di sicurezza su tan(ϕ) e sulla coesione

Calcolo della spinte
Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb: cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea o spezzata (nel caso di terreno stratificato).
La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il valore della spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo).
I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:
- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio *(W)*, carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura *(R e C)* e resistenza per coesione lungo la parete *(A)*;
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima nel caso di spinta attiva e minima nel caso di spinta passiva.
Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata *z*. Noto il diagramma delle pressioni si ricava il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

Per tenere conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di **Mononobe-Okabe** (cui fa riferimento la Normativa Italiana).
Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con *W* il peso del cuneo e con *C* il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W^*C$$

Indicando con *S* la spinta calcolata in condizioni statiche e con S_s la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/2 dell'altezza della parete stessa(diagramma rettangolare).

Tiranti di ancoraggio

Le paratie possono essere tirantate, con tiranti attivi o con tiranti passivi, realizzati entrambi tramite perforazione e iniezione del foro con malta in pressione previa sistemazione delle armature opportune.
I tiranti attivi, contrariamente ai tiranti passivi, sono sottoposti ad uno sforzo di pretensione prendendo il contrasto sulla struttura stessa. Il tiro finale sul tirante attivo dipende sia dalla pretensione che dalla deformazione della struttura oltre che dalle cadute di tensione. Nel caso di tiranti passivi il tiro dipende unicamente dalla deformabilità della struttura. L'armatura dei tiranti attivi è costituita da trefoli ad alta resistenza (trefoli per c.a.p.), viceversa i tiranti passivi possono essere armati con trefoli o con tondini o, in alcuni casi, con profilati tubolari.
La capacità di resistenza dei tiranti è legata all'attrito e all'aderenza fra superficie del tirante e terreno.
Calcolo della lunghezza di ancoraggio

La lunghezza di ancoraggio (fondazione) del tirante si calcola determinando la lunghezza massima atta a soddisfare le tre seguenti condizioni:

1. Lunghezza necessaria per garantire l'equilibrio fra tensione tangenziale che si sviluppa fra la superficie laterale del tirante ed il terreno e lo sforzo applicato al tirante;
2. Lunghezza necessaria a garantire l'aderenza malta-armatura;
3. Lunghezza necessaria a garantire la resistenza della malta.

Siano **N** lo sforzo nel tirante, $\boldsymbol{\delta}$ l'angolo d'attrito tirante-terreno, $\mathbf{c_a}$ l'adesione tirante-terreno, $\boldsymbol{\gamma}$ il peso di volume del terreno, **D** ed $\mathbf{L_f}$ il diametro e la lunghezza di ancoraggio (o lunghezza efficace) del tirante ed **H** la profondità media al di sotto del piano campagna abbiamo la relazione

$$N = \pi D L_f \gamma H K_s \operatorname{tg} \delta + \pi D L_f c_a$$

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio L_f

$$L_f = \frac{N}{\pi D \gamma H K_s tg \delta + \pi D c_a}$$

K_s rappresenta il coefficiente di spinta che si assume pari al coefficiente di spinta a riposo

$$K_s = K_0 = 1 - \sin \phi$$

Per quanto riguarda la seconda condizione, la lunghezza necessaria atta a garantire l'aderenza malta-armatura è data dalla relazione

$$L_f = \frac{N}{\pi d \tau_{c0} \omega}$$

dove **d** è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, **τ_{c0}** è la resistenza tangenziale limite della malta ed **ω** è un coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli (**ω = 1 - 0.075 [n trefoli - 1]**).
Per quanto riguarda la verifica della terza condizione si impone che la tensione tangenziale limite tirante-terreno non possa superare il valore **τ_c** ottenuto come media fra la **τ_{c0}** e la **τ_{c1}** della malta.
Alla lunghezza efficace determinata prendendo il massimo valore di **L_f** si deve aggiungere la lunghezza di franco **L** che rappresenta la lunghezza del tratto che compreso fra la paratia e la superficie di ancoraggio.
La lunghezza totale del tirante sarà quindi data da

$$L_t = L_f + L$$

Nel caso di tiranti attivi, cioè tiranti soggetti ad uno stato di pretensione, bisogna considerare le cadute di tensione. A tale scopo è stato introdotto il coefficiente di caduta di tensione, **β**, che rappresenta il rapporto fra lo sforzo **N_0** al momento del tiro e lo sforzo **N** in esercizio

$$\beta = N_0 / N$$

Analisi ad elementi finiti

La paratia è considerata come una struttura a prevalente sviluppo lineare (si fa riferimento ad un metro di larghezza) con comportamento a trave. Come caratteristiche geometriche della sezione si assume il momento d'inerzia I e l'area A per metro lineare di larghezza della paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia.
La parte fuori terra della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri e più o meno costante per tutti gli elementi. La suddivisione è suggerita anche dalla eventuale presenza di tiranti, carichi e vincoli. Infatti questi elementi devono capitare in corrispondenza di un nodo. Nel caso di tirante è inserito un ulteriore elemento atto a schematizzarlo. Detta L la lunghezza libera del tirante, A_f l'area di armatura nel tirante ed E_s il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad L, area A_f, inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico E_s. La parte interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.
I carichi agenti possono essere di tipo distribuito (spinta della terra, diagramma aggiuntivo di carico, spinta della falda, diagramma di spinta sismica) oppure concentrati. I carichi distribuiti sono riportati sempre come carichi concentrati nei nodi (sotto forma di reazioni di incastro perfetto cambiate di segno).

Schematizzazione del terreno

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso è visto come un letto di molle indipendenti fra di loro reagenti solo a sforzo assiale di compressione. La rigidezza della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (*costante di Winkler*). La costante di sottofondo, k, è definita come la pressione unitaria che occorre applicare per ottenere uno spostamento unitario. Dimensionalmente è espressa quindi come rapporto fra una pressione ed uno spostamento al cubo [F/L^3]. È evidente che i risultati sono tanto migliori quanto più è elevato il numero delle molle che schematizzano il terreno. Se (m è l'interasse fra le molle (in cm) e b è la larghezza della paratia in direzione longitudinale (b=100 cm) occorre ricavare l'area equivalente, A_m, della molla (a cui si assegna una lunghezza pari a 100 cm). Indicato con E_m il modulo elastico del materiale costituente la paratia (in Kg/cm^2), l'equivalenza, in termini di rigidezza, si esprime come

$$A_m = 10000 \times \frac{k \Delta_m}{E_m}$$

Per le molle di estremità, in corrispondenza della linea di fondo scavo ed in corrispondenza dell'estremità inferiore della paratia, si assume una area equivalente dimezzata. Inoltre, tutte le molle hanno, ovviamente, rigidezza flessionale e tagliante nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidezza di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidezza degli elementi della paratia (elementi a rigidezza flessionale, tagliante ed assiale), delle matrici di rigidezza dei tiranti (solo rigidezza assiale) e delle molle (rigidezza assiale).

Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno

A questo punto vediamo come è effettuata l'analisi. Un tipo di analisi molto semplice e veloce sarebbe l'analisi elastica (peraltro disponibile nel programma ***PAC***). Ma si intuisce che considerare il terreno con un comportamento infinitamente elastico è una approssimazione alquanto grossolana. Occorre quindi introdurre qualche correttivo che meglio ci aiuti a modellare il terreno. Fra le varie soluzioni possibili una delle più praticabili e che fornisce risultati soddisfacenti è quella di considerare il terreno con comportamento elasto-plastico perfetto. Si assume cioè che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero. Rimane da scegliere il criterio di plasticizzazione del terreno (molle). Si può fare riferimento ad un criterio di tipo cinematico: la resistenza della molla cresce con la deformazione fino a quando lo spostamento non raggiunge il valore X_{max}; una volta superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti. Un altro criterio può essere di tipo statico: si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione p_{max}. Tale pressione p_{max} può essere imposta pari al valore della pressione passiva in corrispondenza della quota della molla. D'altronde un ulteriore criterio si può ottenere dalla combinazione dei due descritti precedentemente: plasticizzazione o per raggiungimento dello spostamento limite o per raggiungimento della pressione passiva. Dal punto di vista strettamente numerico è chiaro che l'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche). Questo comporta un aggravio computazionale non indifferente. L'entità di tale aggravio dipende poi dalla particolare tecnica adottata per la soluzione. Nel caso di analisi elastica lineare il problema si risolve immediatamente con la soluzione del sistema fondamentale (K matrice di rigidezza, u vettore degli spostamenti nodali, p vettore dei carichi nodali)

$$Ku=p$$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale p0, fino a raggiungere il carico totale p. Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riassemblata escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidezza è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassemblaggio e la decomposizione della matrice, ma usano la matrice elastica iniziale (*metodo di Riks*).
Senza addentrarci troppo nei dettagli diremo che si tratta di un metodo di Newton-Raphson modificato e ottimizzato. L'analisi condotta secondo questa tecnica offre dei vantaggi immediati. Essa restituisce l'effettiva deformazione della paratia e le relative sollecitazioni; dà informazioni dettagliate circa la deformazione e la pressione sul terreno. Infatti la deformazione è direttamente leggibile, mentre la pressione sarà data dallo sforzo nella molla diviso per l'area di influenza della molla stessa. Sappiamo quindi quale è la zona di terreno effettivamente plasticizzato. Inoltre dalle deformazioni ci si può rendere conto di un possibile meccanismo di rottura del terreno.

Analisi per fasi di scavo

L'analisi della paratia per fasi di scavo consente di ottenere informazioni dettagliate sullo stato di sollecitazione e deformazione dell'opera durante la fase di realizzazione. In ogni fase lo stato di sollecitazione e di deformazione dipende dalla 'storia' dello scavo (soprattutto nel caso di paratie tirantate o vincolate).
Definite le varie altezze di scavo (in funzione della posizione di tiranti, vincoli, o altro) si procede per ogni fase al calcolo delle spinte inserendo gli elementi (tiranti, vincoli o carichi) attivi per quella fase, tendendo conto delle deformazioni dello stato precedente. Ad esempio, se sono presenti dei tiranti passivi si inserirà nell'analisi della fase la 'molla' che lo rappresenta. Indicando con u ed u_0 gli spostamenti nella fase attuale e nella fase precedente, con s ed s_0 gli sforzi nella fase attuale e nella fase precedente e con K la matrice di rigidezza della 'struttura' la relazione sforzi-deformazione è esprimibile nella forma

$$s=s_0+K(u-u_0)$$

Le modalità di analisi sono più complicate nel caso di tiranti attivi in quanto è importante conoscere la modalità di tiro: infatti il tirante può essere tesato prima dello scavo, oppure tesato alla fine della corrispondente fase di scavo, oppure al termine di tutto lo scavo. Nella fase in cui il tirante è tesato verra inserita una molla con uno stato di pretensione pari allo sforzo di tesatura. Nelle fasi successive il tirante verrà considerato come una semplice molla che 'ricorda', naturalmente, lo sforzo della fase precedente.
Ovviamente si otterranno soluzioni differenti in funzione della modalità di tiro selezionata.
Nel caso di tiranti attivi, inoltre, è analizzata un fase ulteriore (a lungo termine) nella quale il tiro iniziale è depurato delle cadute di tensione.
In sostanza analizzare la paratia per fasi di scavo oppure 'direttamente' porta a risultati abbastanza diversi sia per quanto riguarda lo stato di deformazione e sollecitazione dell'opera sia per quanto riguarda il tiro dei tiranti.

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1.3.
È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.
In particolare il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 6x6 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

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

$$\eta = \frac{\Sigma_i \left(\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) tg\phi_i}{m} \right)}{\Sigma_i W_i \sin\alpha_i}$$

dove il termine *m* è espresso da

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

In questa espressione *n* è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i_{esima} rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i_{esima} , c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.
L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine *m* che è funzione di η. Quindi essa è risolta per successive approsimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di *m* ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	4,50	[m]
Profondità di infissione	2,25	[m]
Altezza totale della paratia	6,75	[m]
Lunghezza paratia	10,00	[m]
Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,50	[m]
Diametro dei micropali	20,00	[cm]
Numero totale di micropali	19	
Numero di micropali per metro lineare	1.90	
Diametro esterno del tubolare	168,30	[mm]
Spessore del tubolare	10,00	[mm]

Geometria cordoli

Simbologia adottata
n° numero d'ordine del cordolo
Y posizione del cordolo sull'asse della paratia espresso in [m]

Cordoli in calcestruzzo
B Base della sezione del cordolo espresso in [cm]
H Altezza della sezione del cordolo espresso in [cm]

Cordoli in acciaio
A Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cmq]
W Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm^3]

n°	Y	Tipo	B	H	A	W
1	0,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--
2	1,50	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento
(Sistema di riferimento con origine in testa alla paratia, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

N	X	Y	A
2	3,50	0,00	0,00
3	3,60	3,00	88,09
4	7,00	3,00	0,00
5	8,00	6,00	71,57
6	9,00	9,00	71,57
7	10,00	9,00	0,00

Profilo di valle

N	X	Y	A
1	-6,00	-6,50	63,43

2	-5,00	-4,50	0,00
3	-4,00	-4,50	0,00
4	0,00	-4,50	0,00

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
Descrizione	Descrizione del terreno
γ	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s	peso di volume saturo del terreno espresso [kg/mc]
ϕ	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
δ	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kg/cmq]

n°	Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c
1	Calcari alterati	2200,00	2400,00	32,00	21,00	0,200
2	Calcari scistosi	2400,00	2600,00	33,00	22,00	0,280
3	Calcari cristallini	2500,00	2700,00	38,00	25,00	0,330

Parametri per il calcolo dei tiranti

Simbologia adottata

ϕ_{min}	angolo d'attrito minimo interno del terreno espresso in [°]
δ_{min}	angolo d'attrito minimo terreno/paratia espresso in [°]
c_{min}	coesione minima del terreno espressa in [kg/cmq]
ϕ_{med}	angolo d'attrito medio interno del terreno espresso in [°]
δ_{med}	angolo d'attrito medio terreno/paratia espresso in [°]
c_{med}	coesione media del terreno espressa in [kg/cmq]

N°	Descrizione	ϕ_{min}	ϕ_{med}	δ_{min}	δ_{med}	c_{min}	c_{med}
1	Calcari alterati	0,00	32,00	0,00	21,00	0,000	1,000
2	Calcari scistosi	0,00	36,00	0,00	24,00	0,000	1,000
3	Calcari cristallini	0,00	40,00	0,00	30,00	0,000	1,000

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla som mità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm^2/cm
α	inclinazione dello strato espressa in GRADI(°)
Terreno	Terreno associato allo strato

n°	sp	α	kw	Terreno
1	2,00	28,00	1,78	Calcari cristallini
2	4,50	35,00	2,58	Calcari alterati
3	5,00	0,00	5,21	Calcari scistosi

Caratteristiche materiali utilizzati

Calcestruzzo		
Peso specifico	2500	[kg/mc]
Classe di Resistenza	C25/30	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	306	[kg/cmq]
Tensione di progetto a compressione σ_c	99	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	6,1	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	18,5	[kg/cmq]
Acciaio		
Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f_{yk}	4589	[kg/cmq]
Caratteristiche acciaio cordoli in c.a.		
Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f_{yk}	4589	[kg/cmq]
Caratteristiche acciaio cordoli in acciaio.		
Tipo	Fe 510	
Tensione di snervamento f_{yk}	3600	[kg/cmq]
Malta utilizzata per i tiranti		
Classe di Resistenza	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	250	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	5,3	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	16,9	[kg/cmq]
Acciaio utilizzato per i tiranti		
Tipo	Trefoli	
Tensione di progetto σ_{fa}	15000,0	[kg/cmq]

Tensione di snervamento f_{yk} 22000,0 kg/cmq

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate
Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
F_x Forza orizzontale espressa in [kg], positiva da monte verso valle
F_y Forza verticale espressa in [kg], positiva verso il basso
M Momento espresso in [kgm], positivo ribaltante
Q_i, Q_f Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kg/mq]
V_i, V_s Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kg/mq], positivi da monte verso valle
R Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kg]

Condizione n°1
Carico distribuito sul profilo X_i = 0,00 X_f = 3,00 Q_i = 1500 Q_f = 1500

Condizione n°2
Carico distribuito sul profilo X_i = 0,00 X_f = 3,00 Q_i = 1500 Q_f = 1500

Condizione n°3
Carico distribuito sul profilo X_i = -4,00 X_f = 0,00 Q_i = 1500 Q_f = 1500

Condizione n°4
Carico distribuito sul profilo X_i = -4,00 X_f = 0,00 Q_i = 1500 Q_f = 1500

Descrizione tiranti di ancoraggio

Simbologia adottata - Caratteristiche geometriche
N numero d'ordine della fila
Y ordinata della fila espressa in [m] misurata dalla testa della paratia
I interasse tra le file di tiranti espressa in [m]
alfa inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
D diametro della perforazione espresso in [cm]
Cesp coeff. di espansione laterale
ALL allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
nr numero di tiranti della fila
Lt lunghezza totale del tirante espresso in [m]
Lf lunghezza di fondazione del tirante espresso in [m]

Simbologia adottata - Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno
N numero d'ordine della fila
At area del singolo trefolo espressa in [cmq]
nt numero di trefoli del tirante
T tiro iniziale espresso in [kg]
δ angolo di attrito medio tirante-terreno espresso in [°]
δ angolo di attrito minimo tirante-terreno espresso in [°]
ca adesione media tirante-terreno espresso in [kg/mq]
ca adesione minima tirante-terreno espresso in [kg/mq]

Caratteristiche geometriche

N	Y	I	Alfa	D	Cesp	ALL	nr	Lt	Lf
1	1,50	2,50	20,00	16,00	1,20	Sfalsati	4	14,00	7,00

Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	At	nt	T	δ_{med}	ca_{med}	δ_{min}	ca_{min}
1	1,39	3	20000	20,00	20,00	20,00	30,00

Combinazioni di carico

Nella tabella sono riportate le condizioni di carico di ogni combinazione con il relativo coefficiente di partecipazione.

Combinazione n°1 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1) x 1.00

Combinazione n°2 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1) x 1.00

Combinazione n°3 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1) x 0.70

Combinazione n°4 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1) x 0.70

Combinazione n°5 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00

Combinazione n°6 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00

Combinazione n°7 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V-) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V-) x 0.20

Combinazione n°8 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+) x 1.00

Combinazione n°9 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+) x 1.00

Combinazione n°10 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V-) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V-) x 0.20

Combinazione n°11 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V+) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V+) x 0.20

Combinazione n°12 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V+) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V+) x 0.20

Combinazione n°13
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 1) x 0.20

Combinazione n°14
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2) x 0.50
Condizione 4 (Var. fabbr 1) x 0.20

Combinazione n° 15
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1) x 0.50
Condizione 2 (Var fabbricato 2) x 0.20

Combinazione n° 16
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1) x 0.70

Combinazione n° 17
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2) x 0.70

Combinazione n° 18
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V+) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V+) x 0.20

Combinazione n° 19
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V-) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V-) x 0.20

Combinazione n° 20
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V+) x 0.50
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V+) x 0.20

Combinazione n° 21
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V-) x 0.50
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V-) x 0.20

Combinazione n° 22
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V+) x 0.50
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V+) x 0.20

Combinazione n° 23
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V-) x 0.50
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V-) x 0.20

Combinazione n° 24
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V+) x 0.70

Combinazione n° 25
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V-) x 1.00

Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V-)	x 0.70

Combinazione n°26
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+)	x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V+)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V+)	x 0.70

Combinazione n°27
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-)	x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V-)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V-)	x 0.70

Impostazioni di progetto

Spinte e verifiche secondo :
Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Verifica materiali : Stato Limite Ultimo

Impostazioni di analisi

Analisi per Combinazioni di Carico.

Rottura del terreno: Pressione passiva

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia): Solo nel calcolo dei coefficienti di spinta (le spinte sono considerate orizzontali)

Stabilità globale: Metodo di Bishop

Impostazioni analisi sismica

Combinazioni/Fase	**SLU**	**SLE**
Accelerazione al suolo [m/s^2]	0.796	0.268
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.522	2.524
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc*	0.291	0.198
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.200	1.200
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.000	1.000
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza Us [m]	0.034	0.034
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.535	0.535
Coefficiente di intensità sismica (percento)	5.210	1.756
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.50	

Influenza sisma nella spinta attiva da monte
Forma diagramma incremento sismico : Rettangolare

Analisi della paratia

L'analisi è stata eseguita per combinazioni di carico
La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.
Essa è discretizzata in 90 elementi fuori terra e 45 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.
Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva non reagiscono ad ulteriori incremento di carico.

Altezza fuori terra della paratia	4,50	[m]
Profondità di infissione	2,25	[m]
Altezza totale della paratia	6,75	[m]

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Pa	Spinta attiva, espressa in [kg]
Is	Incremento sismico della spinta, espressa in [kg]
Pw	Spinta della falda, espressa in [kg]
Pp	Resistenza passiva, espressa in [kg]
Pc	Controspinta, espressa in [kg]

n°	**Tipo**	**Pa**	**Y_{Pa}**	**Is**	**Y_{Is}**	**Pw**	**Y_{Pw}**	**Pp**	**Y_{Pp}**	**Pc**	**Y_{Pc}**
1	[A1-M1]	8956	2,26	--	--	--	--	-1914	5,06	0	0,00
2	[A2-M2]	9024	2,27	--	--	--	--	-1973	5,04	0	0,00
3	[A1-M1]	9872	2,45	--	--	--	--	-2658	5,04	0	0,00
4	[A2-M2]	10041	2,48	--	--	--	--	-2771	5,04	0	0,00
5	[A1-M1] S	7649	2,02	549	2,25	--	--	-1218	5,13	0	0,00
6	[A2-M2] S	8699	2,31	495	2,25	--	--	-2100	5,02	0	0,00
7	[A1-M1] S	7725	2,05	572	2,25	--	--	-1307	5,11	0	0,00
8	[A1-M1] S	7389	2,04	891	2,25	--	--	-1282	5,11	0	0,00
9	[A2-M2] S	8435	2,34	912	2,25	--	--	-2215	5,00	0	0,00
10	[A2-M2] S	8840	2,34	510	2,25	--	--	-2223	5,02	0	0,00
11	[A1-M1] S	7459	2,07	926	2,25	--	--	-1375	5,09	0	0,00
12	[A2-M2] S	8567	2,38	942	2,25	--	--	-2341	5,01	0	0,00
13	[SLEQ]	8160	2,03	--	--	--	--	-1201	5,13	0	0,00
14	[SLEF]	8299	2,08	--	--	--	--	-1327	5,10	0	0,00
15	[SLEF]	8147	2,03	--	--	--	--	-1188	5,15	0	0,00
16	[SLER]	8515	2,14	--	--	--	--	-1515	5,11	0	0,00
17	[SLER]	8365	2,10	--	--	--	--	-1381	5,13	0	0,00
18	[SLEQ] S	7953	2,04	271	2,25	--	--	-1251	5,12	0	0,00
19	[SLEQ] S	8044	2,04	152	2,25	--	--	-1229	5,13	0	0,00
20	[SLEF] S	8085	2,09	286	2,25	--	--	-1382	5,09	0	0,00
21	[SLEF] S	8179	2,08	160	2,25	--	--	-1357	5,10	0	0,00

22	[SLEF] S	7939	2,04	271	2,25	--	--	-1237	5,14	0	0,00
23	[SLEF] S	8031	2,04	152	2,25	--	--	-1215	5,15	0	0,00
24	[SLER] S	8290	2,16	310	2,25	--	--	-1579	5,09	0	0,00
25	[SLER] S	8388	2,15	174	2,25	--	--	-1551	5,10	0	0,00
26	[SLER] S	8146	2,11	295	2,25	--	--	-1439	5,12	0	0,00
27	[SLER] S	8241	2,11	166	2,25	--	--	-1413	5,12	0	0,00

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
Rc Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kg]
Rt Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kg]
Rv Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kg]
Rp Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kg]

n°	Tipo	Rc	Y_{Rc}	Rt	Y_{Rt}	Rv	Y_{Rv}	Rp	Y_{Rp}
1	[A1-M1]	0	0,00	7043	1,50	--	--	--	--
2	[A2-M2]	0	0,00	7050	1,50	--	--	--	--
3	[A1-M1]	0	0,00	7212	1,50	--	--	--	--
4	[A2-M2]	0	0,00	7268	1,50	--	--	--	--
5	[A1-M1] S	0	0,00	6980	1,50	--	--	--	--
6	[A2-M2] S	0	0,00	7092	1,50	--	--	--	--
7	[A1-M1] S	0	0,00	6991	1,50	--	--	--	--
8	[A1-M1] S	0	0,00	6999	1,50	--	--	--	--
9	[A2-M2] S	0	0,00	7131	1,50	--	--	--	--
10	[A2-M2] S	0	0,00	7126	1,50	--	--	--	--
11	[A1-M1] S	0	0,00	7011	1,50	--	--	--	--
12	[A2-M2] S	0	0,00	7167	1,50	--	--	--	--
13	[SLEQ]	0	0,00	6959	1,50	--	--	--	--
14	[SLEF]	0	0,00	6973	1,50	--	--	--	--
15	[SLEF]	0	0,00	6960	1,50	--	--	--	--
16	[SLER]	0	0,00	7002	1,50	--	--	--	--
17	[SLER]	0	0,00	6985	1,50	--	--	--	--
18	[SLEQ] S	0	0,00	6974	1,50	--	--	--	--
19	[SLEQ] S	0	0,00	6968	1,50	--	--	--	--
20	[SLEF] S	0	0,00	6990	1,50	--	--	--	--
21	[SLEF] S	0	0,00	6982	1,50	--	--	--	--
22	[SLEF] S	0	0,00	6974	1,50	--	--	--	--
23	[SLEF] S	0	0,00	6968	1,50	--	--	--	--
24	[SLER] S	0	0,00	7021	1,50	--	--	--	--
25	[SLER] S	0	0,00	7013	1,50	--	--	--	--
26	[SLER] S	0	0,00	7003	1,50	--	--	--	--
27	[SLER] S	0	0,00	6995	1,50	--	--	--	--

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
P_{NUL} Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
P_{INV} Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
C_{ROT} Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R_{MAX} Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]
Pp Portanza di punta, espressa in [kg]

n°	Tipo	P_{NUL}	P_{INV}	C_{ROT}	MP	R/R_{MAX}	Pp
1	[A1-M1]	4,50	4,50	2,25	65.22	9,59	9524
2	[A2-M2]	4,50	4,50	2,25	67.39	23,24	5379
3	[A1-M1]	4,50	4,50	2,25	69.57	13,34	9524
4	[A2-M2]	4,50	4,50	2,25	71.74	33,29	5379
5	[A1-M1] S	4,50	4,50	2,25	60.87	6,04	9524
6	[A2-M2] S	4,50	4,50	2,25	67.39	24,77	5379
7	[A1-M1] S	4,50	4,50	2,25	60.87	6,49	9524
8	[A1-M1] S	4,50	4,50	2,25	60.87	6,35	9524
9	[A2-M2] S	4,50	4,50	2,25	67.39	26,12	5379
10	[A2-M2] S	4,50	4,50	2,25	69.57	26,11	5379
11	[A1-M1] S	4,50	4,50	2,25	60.87	6,83	9524
12	[A2-M2] S	4,50	4,50	2,25	69.57	27,50	5379
13	[SLEQ]	4,50	4,50	2,25	60.87	5,97	9524
14	[SLEF]	4,50	4,50	2,25	60.87	6,62	9524
15	[SLEF]	4,50	4,50	2,25	63.04	5,89	9524
16	[SLER]	4,50	4,50	2,25	65.22	7,53	9524
17	[SLER]	4,50	4,50	2,25	65.22	6,83	9524
18	[SLEQ] S	4,50	4,50	2,25	60.87	6,21	9524

19	[SLEQ] S	4,50	4,50	2,25	60.87	6,10	9524
20	[SLEF] S	4,50	4,50	2,25	60.87	6,89	9524
21	[SLEF] S	4,50	4,50	2,25	60.87	6,77	9524
22	[SLEF] S	4,50	4,50	2,25	63.04	6,14	9524
23	[SLEF] S	4,50	4,50	2,25	63.04	6,03	9524
24	[SLER] S	4,50	4,50	2,25	65.22	7,85	9524
25	[SLER] S	4,50	4,50	2,25	65.22	7,71	9524
26	[SLER] S	4,50	4,50	2,25	65.22	7,12	9524
27	[SLER] S	4,50	4,50	2,25	65.22	6,99	9524

Risultati tiranti

Caratteristiche dei tiranti utilizzati

Simbologia adottata

Y	ordinata della fila rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
nt	numero di tiranti della fila
N	sforzo su ogni tirante della fila espresso in [kg]
L	lunghezza totale di progetto del tirante espressa in [m]
L_f	lunghezza di fondazione di progetto del tirante espressa in [m]
Ld	lunghezza totale definita del tirante espressa in [m]
Ld_f	lunghezza di fondazione definita del tirante espressa in [m]
FS	Fattore di sicurezza. Rapporto tra lunghezza di fondazione di progetto e lunghezza di fondazione definita.
A_f	area di armatura in ogni tirante espressa in [cmq]
Rt/ml	reazione a metro lineare del tirante della fila espresso in [kg]
σ_f	tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [kg/cmq]
u	spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]

1 file di tiranti attivi armati con trefoli

n°	Y	nt	A_f	L	L_f	Ld	Ld_f	FS
1	1,50	4	4,17	10,30	3,35	14,00	7,00	2.09

Combinazione n°1

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18738	7495,35	4493,62	-0,10415

Combinazione n°2

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18756	7502,40	4497,84	-0,10265

Combinazione n°3

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19187	7674,93	4601,27	-0,06590

Combinazione n°4

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19337	7734,60	4637,05	-0,05319

Combinazione n°5

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18570	7428,07	4453,28	-0,11848

Combinazione n°6

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18869	7547,45	4524,85	-0,09305

Combinazione n°7

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18599	7439,59	4460,19	-0,11602

Combinazione n°8

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18621	7448,30	4465,41	-0,11417

Combinazione n°9

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18972	7588,68	4549,57	-0,08427

Combinazione n°10

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18958	7583,18	4546,27	-0,08544

Combinazione n°11

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18653	7461,12	4473,09	-0,11144

Combinazione n°12

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19067	7626,99	4572,54	-0,07611

Combinazione n°13

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18515	7405,96	4440,03	-0,12319

Combinazione n°14

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18552	7420,89	4448,97	-0,12001

Combinazione n°15

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18516	7406,20	4440,17	-0,12314

Combinazione n°16

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18628	7451,25	4467,18	-0,11354

Combinazione n°17

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18583	7433,15	4456,33	-0,11740

Combinazione n°18

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18554	7421,74	4449,48	-0,11983

Combinazione n°19

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18537	7414,72	4445,27	-0,12132

Combinazione n°20

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18596	7438,22	4459,37	-0,11632

Combinazione n°21

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18576	7430,54	4454,76	-0,11795

Combinazione n°22

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18555	7422,06	4449,68	-0,11976

Combinazione n°23

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18538	7415,04	4445,47	-0,12125

Combinazione n°24

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18680	7472,10	4479,68	-0,10910

Combinazione n°25

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18657	7462,87	4474,14	-0,11107

Combinazione n°26

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18630	7451,99	4467,62	-0,11338

Combinazione n°27

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18609	7443,64	4462,61	-0,11516

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata
n° Indice della combinazione/fase
Tipo Tipo della combinazione/fase
Y ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M momento flettente massimo e minimo espresso in [kgm]
N sforzo normale massimo e minimo espresso in [kg] (positivo di compressione)
T taglio massimo e minimo espresso in [kg]

n°	Tipo	M	Y_M	T	Y_T	N	Y_N	
1	[A1-M1]	2569	1,50	3364	1,50	3571	6,75	MAX
--	--	-1773	3,75	-3680	1,50	0	0,00	MIN
2	[A2-M2]	2587	1,50	3373	1,50	3573	6,75	MAX
--	--	-1825	3,70	-3677	1,50	0	0,00	MIN
3	[A1-M1]	2709	1,50	3262	1,50	3632	6,75	MAX
--	--	-2519	3,65	-3950	1,50	0	0,00	MIN
4	[A2-M2]	2726	1,50	3197	1,50	3653	6,75	MAX
--	--	-2701	3,65	-4071	1,50	0	0,00	MIN
5	[A1-M1] S	2438	1,50	3363	1,50	3548	6,75	MAX
--	--	-1184	3,80	-3617	1,50	0	0,00	MIN
6	[A2-M2] S	2605	1,50	3369	1,50	3589	6,75	MAX
--	--	-1920	3,70	-3724	1,50	0	0,00	MIN
7	[A1-M1] S	2451	1,50	3363	1,50	3552	6,75	MAX
--	--	-1251	3,75	-3628	1,50	0	0,00	MIN
8	[A1-M1] S	2451	1,50	3375	1,50	3555	6,75	MAX
--	--	-1227	3,75	-3624	1,50	0	0,00	MIN
9	[A2-M2] S	2619	1,50	3359	1,50	3603	6,75	MAX
--	--	-2004	3,70	-3772	1,50	0	0,00	MIN
10	[A2-M2] S	2631	1,50	3348	1,50	3601	6,75	MAX
--	--	-2057	3,70	-3778	1,50	0	0,00	MIN
11	[A1-M1] S	2465	1,50	3375	1,50	3559	6,75	MAX
--	--	-1299	3,75	-3636	1,50	0	0,00	MIN
12	[A2-M2] S	2646	1,50	3337	1,50	3616	6,75	MAX
--	--	-2148	3,65	-3830	1,50	0	0,00	MIN
13	[SLEQ]	2430	1,50	3342	1,50	3540	6,75	MAX
--	--	-1179	3,75	-3617	1,50	0	0,00	MIN
14	[SLEF]	2448	1,50	3340	1,50	3545	6,75	MAX
--	--	-1275	3,75	-3633	1,50	0	0,00	MIN
15	[SLEF]	2436	1,50	3348	1,50	3540	6,75	MAX
--	--	-1185	3,80	-3612	1,50	0	0,00	MIN
16	[SLER]	2499	1,50	3352	1,50	3556	6,75	MAX
--	--	-1467	3,75	-3650	1,50	0	0,00	MIN
17	[SLER]	2477	1,50	3354	1,50	3550	6,75	MAX
--	--	-1360	3,75	-3631	1,50	0	0,00	MIN
18	[SLEQ] S	2440	1,50	3352	1,50	3546	6,75	MAX
--	--	-1213	3,75	-3622	1,50	0	0,00	MIN
19	[SLEQ] S	2435	1,50	3347	1,50	3543	6,75	MAX
--	--	-1198	3,75	-3620	1,50	0	0,00	MIN
20	[SLEF] S	2459	1,50	3350	1,50	3551	6,75	MAX
--	--	-1313	3,75	-3639	1,50	0	0,00	MIN
21	[SLEF] S	2454	1,50	3346	1,50	3549	6,75	MAX
--	--	-1296	3,75	-3637	1,50	0	0,00	MIN
22	[SLEF] S	2446	1,50	3358	1,50	3546	6,75	MAX
--	--	-1219	3,80	-3616	1,50	0	0,00	MIN
23	[SLEF] S	2442	1,50	3354	1,50	3543	6,75	MAX
--	--	-1204	3,80	-3614	1,50	0	0,00	MIN
24	[SLER] S	2513	1,50	3362	1,50	3563	6,75	MAX
--	--	-1515	3,75	-3659	1,50	0	0,00	MIN
25	[SLER] S	2507	1,50	3358	1,50	3560	6,75	MAX
--	--	-1494	3,75	-3655	1,50	0	0,00	MIN
26	[SLER] S	2490	1,50	3365	1,50	3556	6,75	MAX
--	--	-1403	3,75	-3638	1,50	0	0,00	MIN
27	[SLER] S	2485	1,50	3360	1,50	3553	6,75	MAX
--	--	-1384	3,75	-3635	1,50	0	0,00	MIN

Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata
n° Indice della combinazione/fase
Tipo Tipo della combinazione/fase
Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
U spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
V spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U	Y_U	V	Y_V	
1	[A1-M1]	0,1379	4,20	0,0088	0,00	MAX
--	--	-0,1369	0,00	0,0000	0,00	MIN
2	[A2-M2]	0,1441	4,20	0,0088	0,00	MAX
--	--	-0,1390	0,00	0,0000	0,00	MIN
3	[A1-M1]	0,2476	4,00	0,0090	0,00	MAX
--	--	-0,1668	0,00	0,0000	0,00	MIN
4	[A2-M2]	0,2776	4,00	0,0090	0,00	MAX
--	--	-0,1746	0,00	0,0000	0,00	MIN
5	[A1-M1] S	0,0694	4,45	0,0087	0,00	MAX
--	--	-0,1269	1,05	0,0000	0,00	MIN
6	[A2-M2] S	0,1576	4,15	0,0089	0,00	MAX
--	--	-0,1356	0,00	0,0000	0,00	MIN
7	[A1-M1] S	0,0763	4,40	0,0088	0,00	MAX
--	--	-0,1258	1,00	0,0000	0,00	MIN
8	[A1-M1] S	0,0746	4,40	0,0088	0,00	MAX
--	--	-0,1229	1,05	0,0000	0,00	MIN
9	[A2-M2] S	0,1701	4,10	0,0089	0,00	MAX
--	--	-0,1329	0,00	0,0000	0,00	MIN
10	[A2-M2] S	0,1792	4,10	0,0089	0,00	MAX
--	--	-0,1411	0,00	0,0000	0,00	MIN
11	[A1-M1] S	0,0820	4,35	0,0088	0,00	MAX
--	--	-0,1217	1,00	0,0000	0,00	MIN
12	[A2-M2] S	0,1929	4,05	0,0089	0,00	MAX
--	--	-0,1385	0,00	0,0000	0,00	MIN
13	[SLEQ]	0,0679	4,45	0,0087	0,00	MAX
--	--	-0,1325	1,05	0,0000	0,00	MIN
14	[SLEF]	0,0775	4,40	0,0087	0,00	MAX
--	--	-0,1315	0,95	0,0000	0,00	MIN
15	[SLEF]	0,0707	4,45	0,0087	0,00	MAX
--	--	-0,1326	1,00	0,0000	0,00	MIN
16	[SLER]	0,1041	4,30	0,0088	0,00	MAX
--	--	-0,1313	0,75	0,0000	0,00	MIN
17	[SLER]	0,0922	4,35	0,0087	0,00	MAX
--	--	-0,1315	0,85	0,0000	0,00	MIN
18	[SLEQ] S	0,0718	4,40	0,0087	0,00	MAX
--	--	-0,1293	1,00	0,0000	0,00	MIN
19	[SLEQ] S	0,0700	4,45	0,0087	0,00	MAX
--	--	-0,1307	1,00	0,0000	0,00	MIN
20	[SLEF] S	0,0821	4,35	0,0088	0,00	MAX
--	--	-0,1282	0,95	0,0000	0,00	MIN
21	[SLEF] S	0,0800	4,35	0,0087	0,00	MAX
--	--	-0,1297	0,95	0,0000	0,00	MIN
22	[SLEF] S	0,0748	4,45	0,0087	0,00	MAX
--	--	-0,1295	1,00	0,0000	0,00	MIN
23	[SLEF] S	0,0730	4,45	0,0087	0,00	MAX
--	--	-0,1309	1,00	0,0000	0,00	MIN
24	[SLER] S	0,1102	4,30	0,0088	0,00	MAX
--	--	-0,1278	0,70	0,0000	0,00	MIN
25	[SLER] S	0,1075	4,30	0,0088	0,00	MAX
--	--	-0,1293	0,70	0,0000	0,00	MIN
26	[SLER] S	0,0976	4,35	0,0088	0,00	MAX
--	--	-0,1281	0,85	0,0000	0,00	MIN
27	[SLER] S	0,0952	4,35	0,0088	0,00	MAX
--	--	-0,1296	0,85	0,0000	0,00	MIN

Stabilità globale

Metodo di Bishop
Numero di cerchi analizzati 100

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(X_C; Y_C)	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X_V; Y_V)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X_M; Y_M)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza

n°	Tipo	(X_C, Y_C)	R	(X_V, Y_V)	(X_M, Y_M)	FS

2	[A2-M2]	(-3,38; 3,38)	10,67	(-6,21; -6,91)	(7,29; 2,91)	1,75
4	[A2-M2]	(-3,38; 2,03)	9,40	(-6,22; -6,94)	(5,98; 1,11)	1,75
6	[A2-M2] S	(-3,38; 3,38)	10,67	(-6,21; -6,91)	(7,29; 2,91)	1,63
9	[A2-M2] S	(-3,38; 3,38)	10,67	(-6,21; -6,91)	(7,29; 2,91)	1,60
10	[A2-M2] S	(-3,38; 3,38)	10,67	(-6,21; -6,91)	(7,29; 2,91)	1,63
12	[A2-M2] S	(-3,38; 3,38)	10,67	(-6,21; -6,91)	(7,29; 2,91)	1,60

Combinazione n°9

Numero di strisce 50

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)
Le strisce sono numerate da monte verso valle

N°	numero d'ordine della striscia
W	peso della striscia espresso in [kg]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
L	sviluppo della base della striscia espressa in [m] (L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
Ctn, Ctt	contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kg]

Caratteristiche delle strisce

N°	W	α(°)	Wsin α	L	ϕ	c	u	(Ctn; Ctt)
1	180,92	-14,64	-45,73	0,28	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
2	541,10	-13,15	-123,10	0,28	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
3	896,88	-11,67	-181,36	0,28	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
4	1248,35	-10,19	-220,86	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
5	1559,04	-8,72	-236,39	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
6	1611,87	-7,26	-203,64	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
7	1628,26	-5,80	-164,53	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
8	1642,49	-4,34	-124,43	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
9	1984,74	-2,89	-100,16	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
10	2063,54	-1,44	-51,95	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
11	2065,55	0,01	0,24	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
12	2063,50	1,46	52,43	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
13	2057,40	2,91	104,31	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
14	2047,22	4,36	155,57	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
15	2032,96	5,81	205,90	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
16	2014,58	7,27	254,99	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
17	1992,04	8,73	302,52	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
18	1965,31	10,20	348,16	0,27	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
19	1934,32	11,68	391,59	0,28	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
20	1899,01	13,16	432,47	0,28	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
21	1859,61	14,66	470,53	0,28	27,01	0,192	0,000	(0; 0)
22	1820,08	16,16	506,56	0,28	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
23	1777,10	17,67	539,55	0,28	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
24	4557,39	19,20	1498,94	0,29	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
25	4492,41	20,74	1591,19	0,29	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
26	4422,02	22,30	1678,11	0,29	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
27	4346,04	23,88	1759,20	0,30	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
28	4264,27	25,47	1833,96	0,30	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
29	4176,49	27,09	1901,85	0,30	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
30	4082,44	28,73	1962,28	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
31	3981,82	30,40	2014,63	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
32	3874,30	32,09	2058,23	0,32	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
33	3759,49	33,82	2092,34	0,32	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
34	3636,97	35,58	2116,15	0,33	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
35	3147,74	37,38	1911,13	0,34	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
36	2964,69	39,23	1874,99	0,35	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
37	4525,64	41,13	2976,69	0,36	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
38	4677,44	43,08	3194,87	0,37	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
39	4506,53	45,10	3192,15	0,38	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
40	4323,00	47,19	3171,54	0,40	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
41	4125,30	49,37	3130,89	0,41	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
42	3911,47	51,65	3067,61	0,44	27,45	0,224	0,000	(7203; 2389)
43	3679,02	54,05	2978,44	0,46	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
44	3431,27	56,61	2864,76	0,49	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
45	3162,89	59,34	2720,82	0,53	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
46	2863,28	62,32	2535,68	0,58	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
47	2521,86	65,64	2297,35	0,65	26,56	0,160	0,000	(0; 0)

48	2119,32	69,46	1984,63	0,77	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
49	1611,97	74,19	1550,98	0,99	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
50	1017,58	82,18	1008,13	1,98	29,28	0,212	0,000	(0; 0)

Resistenza a taglio paratia= 0,00 [kg]
ΣW_i= 137068,52 [kg]
$\Sigma W_i \sin\alpha_i$= 63280,23 [kg]
$\Sigma W_i \tan\phi_i$= 70269,70 [kg]
$\Sigma \tan\alpha_i \tan\phi_i$= 18.95

SEZIONE 4-4 / PARATIA 2

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Metodo di analisi

Calcolo della profondità di infissione

Nel caso generale l'equilibrio della paratia è assicurato dal bilanciamento fra la spinta attiva agente da monte sulla parte fuori terra, la resistenza passiva che si sviluppa da valle verso monte nella zona interrata e la controspinta che agisce da monte verso valle nella zona interrata al di sotto del centro di rotazione.
Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la controspinta sarà assente.
Pertanto il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, controspinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).
Nel calcolo classico delle paratie si suppone che essa sia infinitamente rigida e che possa subire una rotazione intorno ad un punto (*Centro di rotazione*) posto al di sotto della linea di fondo scavo (per paratie non tirantate).
Occorre pertanto costruire i diagrammi di spinta attiva e di spinta (resistenza) passiva agenti sulla paratia. A partire da questi si costruiscono i diagrammi risultanti.
Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

K_{am} diagramma della spinta attiva agente da monte
K_{av} diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata
K_{pm} diagramma della spinta passiva agente da monte
K_{pv} diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata.

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$D_m=K_{pm}-K_{av}$ e $D_v=K_{pv}-K_{am}$

Questi diagrammi rappresentano i valori limiti delle pressioni agenti sulla paratia. La soluzione è ricercata per tentativi facendo variare la profondità di infissione e la posizione del centro di rotazione fino a quando non si raggiunge l'equilibrio sia alla traslazione che alla rotazione.
Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione
si può agire con tre modalità :
1. applicazione di un coefficiente moltiplicativo alla profondità di infissione strettamente necessaria per l'equilibrio
2. riduzione della spinta passiva tramite un coefficiente di sicurezza
3. riduzione delle caratteristiche del terreno tramite coefficienti di sicurezza su tan(ϕ) e sulla coesione

Calcolo della spinte
Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb: cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea o spezzata (nel caso di terreno stratificato).
La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il valore della spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo).
I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:
- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio *(W)*, carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura *(R e C)* e resistenza per coesione lungo la parete *(A)*;
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima nel caso di spinta attiva e minima nel caso di spinta passiva.
Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata *z*. Noto il diagramma delle pressioni si ricava il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

Per tenere conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di **Mononobe-Okabe** (cui fa riferimento la Normativa Italiana).
Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con *W* il peso del cuneo e con *C* il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W*C$$

Indicando con *S* la spinta calcolata in condizioni statiche e con S_s la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/2 dell'altezza della parete stessa(diagramma rettangolare).

Tiranti di ancoraggio

Le paratie possono essere tirantate, con tiranti attivi o con tiranti passivi, realizzati entrambi tramite perforazione e iniezione del foro con malta in pressione previa sistemazione delle armature opportune.
I tiranti attivi, contrariamente ai tiranti passivi, sono sottoposti ad uno sforzo di pretensione prendendo il contrasto sulla struttura stessa. Il tiro finale sul tirante attivo dipende sia dalla pretensione che dalla deformazione della struttura oltre che dalle cadute di tensione. Nel caso di tiranti passivi il tiro dipende unicamente dalla deformabilità della struttura. L'armatura dei tiranti attivi è costituita da trefoli ad alta resistenza (trefoli per c.a.p.), viceversa i tiranti passivi possono essere armati con trefoli o con tondini o, in alcuni casi, con profilati tubolari.
La capacità di resistenza dei tiranti è legata all'attrito e all'aderenza fra superficie del tirante e terreno.
Calcolo della lunghezza di ancoraggio

La lunghezza di ancoraggio (fondazione) del tirante si calcola determinando la lunghezza massima atta a soddisfare le tre seguenti condizioni:

1. Lunghezza necessaria per garantire l'equilibrio fra tensione tangenziale che si sviluppa fra la superficie laterale del tirante ed il terreno e lo sforzo applicato al tirante;
2. Lunghezza necessaria a garantire l'aderenza malta-armatura;

3. Lunghezza necessaria a garantire la resistenza della malta.

Siano **N** lo sforzo nel tirante, **δ** l'angolo d'attrito tirante-terreno, $\mathbf{c_a}$ l'adesione tirante-terreno, **γ** il peso di volume del terreno, **D** ed $\mathbf{L_f}$ il diametro e la lunghezza di ancoraggio (o lunghezza efficace) del tirante ed **H** la profondità media al di sotto del piano campagna abbiamo la relazione

$$N = \pi D L_f \gamma H K_s tg \delta + \pi D L_f c_a$$

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio L_f

$$L_f = \frac{N}{\pi D \gamma H K_s tg \delta + \pi D c_a}$$

$\mathbf{K_s}$ rappresenta il coefficiente di spinta che si assume pari al coefficiente di spinta a riposo

$$K_s = K_0 = 1 - \sin \phi$$

Per quanto riguarda la seconda condizione, la lunghezza necessaria atta a garantire l'aderenza malta-armatura è data dalla relazione

$$L_f = \frac{N}{\pi d \tau_{c0} \omega}$$

dove **d** è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, $\boldsymbol{\tau_{c0}}$ è la resistenza tangenziale limite della malta ed **ω** è un coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli (**ω = 1 - 0.075 [n trefoli - 1]**).
Per quanto riguarda la verifica della terza condizione si impone che la tensione tangenziale limite tirante-terreno non possa superare il valore $\boldsymbol{\tau_c}$ ottenuto come media fra la $\boldsymbol{\tau_{c0}}$ e la $\boldsymbol{\tau_{c1}}$ della malta.
Alla lunghezza efficace determinata prendendo il massimo valore di $\mathbf{L_f}$ si deve aggiungere la lunghezza di franco **L** che rappresenta la lunghezza del tratto che compreso fra la paratia e la superficie di ancoraggio.
La lunghezza totale del tirante sarà quindi data da

$$L_t = L_f + L$$

Nel caso di tiranti attivi, cioè tiranti soggetti ad uno stato di pretensione, bisogna considerare le cadute di tensione. A tale scopo è stato introdotto il coefficiente di caduta di tensione, **β**, che rappresenta il rapporto fra lo sforzo $\mathbf{N_0}$ al momento del tiro e lo sforzo **N** in esercizio

$$\beta = N_0 / N$$

Analisi ad elementi finiti

La paratia è considerata come una struttura a prevalente sviluppo lineare (si fa riferimento ad un metro di larghezza) con comportamento a trave. Come caratteristiche geometriche della sezione si assume il momento d'inerzia I e l'area A per metro lineare di larghezza della paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia.
La parte fuori terra della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri e più o meno costante per tutti gli elementi. La suddivisione è suggerita anche dalla eventuale presenza di tiranti, carichi e vincoli. Infatti questi elementi devono capitare in corrispondenza di un nodo. Nel caso di tirante è inserito un ulteriore elemento atto a schematizzarlo. Detta L la lunghezza libera del tirante, A_f l'area di armatura nel tirante ed E_s il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad L, area A_f, inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico E_s. La parte interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.
I carichi agenti possono essere di tipo distribuito (spinta della terra, diagramma aggiuntivo di carico, spinta della falda, diagramma di spinta sismica) oppure concentrati. I carichi distribuiti sono riportati sempre come carichi concentrati nei nodi (sotto forma di reazioni di incastro perfetto cambiate di segno).

Schematizzazione del terreno

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso è visto come un letto di molle indipendenti fra di loro reagenti solo a sforzo assiale di compressione. La rigidezza della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (*costante di Winkler*). La costante di sottofondo, k, è definita come la pressione unitaria che occorre applicare per ottenere uno spostamento unitario. Dimensionalmente è espressa quindi come rapporto fra una pressione ed uno spostamento al cubo [F/L^3]. È evidente che i risultati sono tanto migliori quanto più è elevato il numero delle molle che schematizzano il terreno. Se (m è l'interasse fra le molle (in cm) e b è la larghezza della paratia in direzione longitudinale (b=100 cm) occorre ricavare l'area equivalente, A_m, della molla (a cui si assegna una lunghezza pari a 100 cm). Indicato con E_m il modulo elastico del materiale costituente la paratia (in Kg/cm^2), l'equivalenza, in termini di rigidezza, si esprime come

$$A_m = 10000 \times \frac{k \Delta_m}{E_m}$$

Per le molle di estremità, in corrispondenza della linea di fondo scavo ed in corrispondenza dell'estremità inferiore della paratia, si assume una area equivalente dimezzata. Inoltre, tutte le molle hanno, ovviamente, rigidezza flessionale e tagliante nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidezza di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidezza degli elementi della paratia (elementi a rigidezza flessionale, tagliante ed assiale), delle matrici di rigidezza dei tiranti (solo rigidezza assiale) e delle molle (rigidezza assiale).

Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno

A questo punto vediamo come è effettuata l'analisi. Un tipo di analisi molto semplice e veloce sarebbe l'analisi elastica (peraltro disponibile nel programma ***PAC***). Ma si intuisce che considerare il terreno con un comportamento infinitamente elastico è una approssimazione alquanto grossolana. Occorre quindi introdurre qualche correttivo che meglio ci aiuti a modellare il terreno. Fra le varie soluzioni possibili una delle più praticabili e che fornisce risultati soddisfacenti è quella di considerare il terreno con comportamento elasto-plastico perfetto. Si assume cioè che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero. Rimane da scegliere il criterio di plasticizzazione del terreno (molle). Si può fare riferimento ad un criterio di tipo cinematico: la resistenza della molla cresce con la deformazione fino a quando lo spostamento non raggiunge il valore X_{max}; una volta superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti. Un altro criterio può essere di tipo statico: si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione p_{max}. Tale pressione p_{max} può essere imposta pari al valore della pressione passiva in corrispondenza della quota della molla. D'altronde un ulteriore criterio si può ottenere dalla combinazione dei due descritti precedentemente: plasticizzazione o per raggiungimento dello spostamento limite o per raggiungimento della pressione passiva. Dal punto di vista strettamente numerico è chiaro che l'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche). Questo comporta un aggravio computazionale non indifferente. L'entità di tale aggravio dipende poi dalla particolare tecnica adottata per la soluzione. Nel caso di analisi elastica lineare il problema si risolve immediatamente con la soluzione del sistema fondamentale (K matrice di rigidezza, u vettore degli spostamenti nodali, p vettore dei carichi nodali)

$$Ku=p$$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale p0, fino a raggiungere il carico totale p. Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riassemblata escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidezza è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassemblaggio e la decomposizione della matrice, ma usano la matrice elastica iniziale (*metodo di Riks*).
Senza addentrarci troppo nei dettagli diremo che si tratta di un metodo di Newton-Raphson modificato e ottimizzato. L'analisi condotta secondo questa tecnica offre dei vantaggi immediati. Essa restituisce l'effettiva deformazione della paratia e le relative sollecitazioni; dà informazioni dettagliate circa la deformazione e la pressione sul terreno. Infatti la deformazione è direttamente leggibile, mentre la pressione sarà data dallo sforzo nella molla diviso per l'area di influenza della molla stessa. Sappiamo quindi quale è la zona di terreno effettivamente plasticizzato. Inoltre dalle deformazioni ci si può rendere conto di un possibile meccanismo di rottura del terreno.

Analisi per fasi di scavo

L'analisi della paratia per fasi di scavo consente di ottenere informazioni dettagliate sullo stato di sollecitazione e deformazione dell'opera durante la fase di realizzazione. In ogni fase lo stato di sollecitazione e di deformazione dipende dalla 'storia' dello scavo (soprattutto nel caso di paratie tirantate o vincolate).
Definite le varie altezze di scavo (in funzione della posizione di tiranti, vincoli, o altro) si procede per ogni fase al calcolo delle spinte inserendo gli elementi (tiranti, vincoli o carichi) attivi per quella fase, tendendo conto delle deformazioni dello stato precedente. Ad esempio, se sono presenti dei tiranti passivi si inserirà nell'analisi della fase la 'molla' che lo rappresenta. Indicando con u ed u_0 gli spostamenti nella fase attuale e nella fase precedente, con s ed s_0 gli sforzi nella fase attuale e nella fase precedente e con K la matrice di rigidezza della 'struttura' la relazione sforzi-deformazione è esprimibile nella forma

$$s=s_0+K(u-u_0)$$

Le modalità di analisi sono più complicate nel caso di tiranti attivi in quanto è importante conoscere la modalità di tiro: infatti il tirante può essere tesato prima dello scavo, oppure tesato alla fine della corrispondente fase di scavo, oppure al termine di tutto lo scavo. Nella fase in cui il tirante è tesato verra inserita una molla con uno stato di pretensione pari allo sforzo di tesatura. Nelle fasi successive il tirante verrà considerato come una semplice molla che 'ricorda', naturalmente, lo sforzo della fase precedente.
Ovviamente si otterranno soluzioni differenti in funzione della modalità di tiro selezionata.
Nel caso di tiranti attivi, inoltre, è analizzata un fase ulteriore (a lungo termine) nella quale il tiro iniziale è depurato delle cadute di tensione.
In sostanza analizzare la paratia per fasi di scavo oppure 'direttamente' porta a risultati abbastanza diversi sia per quanto riguarda lo stato di deformazione e sollecitazione dell'opera sia per quanto riguarda il tiro dei tiranti.

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1.3.

È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.
In particolare il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 6x6 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

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

$$\eta = \frac{\Sigma_i \left(\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) tg\phi_i}{m} \right)}{\Sigma_i W_i \sin\alpha_i}$$

dove il termine *m* è espresso da

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

In questa espressione *n* è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i_{esima} rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i_{esima} , c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.
L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine *m* che è funzione di η. Quindi essa è risolta per successive approsimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di *m* ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	9,30	[m]
Profondità di infissione	4,00	[m]
Altezza totale della paratia	13,30	[m]
Lunghezza paratia	10,00	[m]
Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,50	[m]
Diametro dei micropali	20,00	[cm]
Numero totale di micropali	19	
Numero di micropali per metro lineare	1.90	
Diametro esterno del tubolare	168,30	[mm]
Spessore del tubolare	10,00	[mm]

Geometria cordoli

Simbologia adottata
n° numero d'ordine del cordolo
Y posizione del cordolo sull'asse della paratia espresso in [m]

Cordoli in calcestruzzo
B Base della sezione del cordolo espresso in [cm]
H Altezza della sezione del cordolo espresso in [cm]

Cordoli in acciaio
A Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cmq]
W Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm^3]

n°	Y	Tipo	B	H	A	W
1	0,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--
2	2,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--
3	4,50	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--
4	7,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento
(Sistema di riferimento con origine in testa alla paratia, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

N	X	Y	A
2	1,00	2,00	63,43
3	1,50	2,00	0,00
4	6,00	2,00	0,00

Profilo di valle

N	X	Y	A
1	-6,50	-11,80	0,00
2	-6,00	-11,80	68,20
3	-5,00	-9,30	0,00
4	-4,75	-9,30	0,00
5	0,00	-9,30	0,00

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
Descrizione	Descrizione del terreno
γ	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s	peso di volume saturo del terreno espresso [kg/mc]
ϕ	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
δ	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kg/cmq]

n°	Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c
1	Calcari alterati	2200,00	2400,00	32,00	21,00	0,200
2	Calcari scistosi	2400,00	2600,00	33,00	22,00	0,280

Parametri per il calcolo dei tiranti

Simbologia adottata

ϕ_{min}	angolo d'attrito minimo interno del terreno espresso in [°]
δ_{min}	angolo d'attrito minimo terreno/paratia espresso in [°]
c_{min}	coesione minima del terreno espressa in [kg/cmq]
ϕ_{med}	angolo d'attrito medio interno del terreno espresso in [°]
δ_{med}	angolo d'attrito medio terreno/paratia espresso in [°]
c_{med}	coesione media del terreno espressa in [kg/cmq]

N°	Descrizione	ϕ_{min}	ϕ_{med}	δ_{min}	δ_{med}	c_{min}	c_{med}
1	Calcari alterati	0,00	32,00	0,00	21,00	0,000	1,000
2	Calcari scistosi	0,00	36,00	0,00	24,00	0,000	1,000

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla som mità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm^2/cm
α	inclinazione dello strato espressa in GRADI(°)
Terreno	Terreno associato allo strato

n°	sp	α	kw	Terreno
1	10,00	45,00	2,79	Calcari alterati
2	10,00	0,00	7,91	Calcari scistosi

Caratteristiche materiali utilizzati

Calcestruzzo

Peso specifico	2500	[kg/mc]
Classe di Resistenza	C25/30	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	306	[kg/cmq]
Tensione di progetto a compressione σ_c	99	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	6,1	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	18,5	[kg/cmq]

Acciaio

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f_{yk}	4589	[kg/cmq]

Caratteristiche acciaio cordoli in c.a.

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f_{yk}	4589	[kg/cmq]

Caratteristiche acciaio cordoli in acciaio.

Tipo	Fe 360	
Tensione di snervamento f_{yk}	2400	[kg/cmq]

Malta utilizzata per i tiranti

Classe di Resistenza	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	250	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	5,3	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	16,9	[kg/cmq]

Acciaio utilizzato per i tiranti

Tipo	Trefoli	
Tensione di progetto σ_{fa}	15000,0	[kg/cmq]
Tensione di snervamento f_{yk}	22000,0	kg/cmq

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

F_x	Forza orizzontale espressa in [kg], positiva da monte verso valle
F_y	Forza verticale espressa in [kg], positiva verso il basso
M	Momento espresso in [kgm], positivo ribaltante
Q_i, Q_f	Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kg/mq]
V_i, V_s	Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kg/mq], positivi da monte verso valle
R	Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kg]

Condizione n°1				
Carico distribuito sul profilo	X_i = 1,50	X_f = 5,00	Q_i = 1500	Q_f = 1500
Condizione n°2				
Carico distribuito sul profilo	X_i = 1,50	X_f = 5,00	Q_i = 1500	Q_f = 1500
Condizione n°3				
Carico distribuito sul profilo	X_i = -5,00	X_f = 0,00	Q_i = 1500	Q_f = 1500
Condizione n°4				
Carico distribuito sul profilo	X_i = -5,00	X_f = 0,00	Q_i = 1500	Q_f = 1500

Descrizione tiranti di ancoraggio

Simbologia adottata - Caratteristiche geometriche

N	numero d'ordine della fila
Y	ordinata della fila espressa in [m] misurata dalla testa della paratia
I	interasse tra le file di tiranti espressa in [m]
alfa	inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
D	diametro della perforazione espresso in [cm]
Cesp	coeff. di espansione laterale
ALL	allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
nr	numero di tiranti della fila
Lt	lunghezza totale del tirante espresso in [m]
Lf	lunghezza di fondazione del tirante espresso in [m]

Simbologia adottata - Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	numero d'ordine della fila
At	area del singolo trefolo espressa in [cmq]
nt	numero di trefoli del tirante
T	tiro iniziale espresso in [kg]
δ	angolo di attrito medio tirante-terreno espresso in [°]
δ	angolo di attrito minimo tirante-terreno espresso in [°]
ca	adesione media tirante-terreno espresso in [kg/mq]
ca	adesione minima tirante-terreno espresso in [kg/mq]

Caratteristiche geometriche

N	Y	I	Alfa	D	Cesp	ALL	nr	Lt	Lf
1	2,00	3,00	20,00	16,00	1,20	Centrati	3	16,00	8,00
2	4,50	3,00	20,00	16,00	1,20	Centrati	3	16,00	8,00
3	7,00	3,00	20,00	16,00	1,20	Centrati	3	16,00	8,00

Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	At	nt	T	δ_{med}	ca_{med}	δ_{min}	ca_{min}
1	1,39	3	20000	20,00	20,00	20,00	20,00
2	1,39	3	30000	20,00	20,00	20,00	20,00
3	1,39	3	25000	20,00	20,00	20,00	20,00

Combinazioni di carico

Nella tabella sono riportate le condizioni di carico di ogni combinazione con il relativo coefficiente di partecipazione.

Combinazione n°1 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1) x 1.00

Combinazione n°2 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1) x 1.00

Combinazione n°3 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1) x 0.70

Combinazione n°4 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1) x 0.70

Combinazione n°5 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00

Combinazione n°6 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00

Combinazione n°7 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V-) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V-) x 0.20

Combinazione n°8 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+) x 1.00

Combinazione n°9 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+) x 1.00

Combinazione n°10 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V-) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V-) x 0.20

Combinazione n°11 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V+)	x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V+)	x 0.20

Combinazione n° 12 [DA1- A2M2]
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V+)	x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V+)	x 0.20

Combinazione n° 13
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2)	x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 1)	x 0.20

Combinazione n° 14
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2)	x 0.50
Condizione 4 (Var. fabbr 1)	x 0.20

Combinazione n° 15
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1)	x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1)	x 0.50
Condizione 2 (Var fabbricato 2)	x 0.20

Combinazione n° 16
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2)	x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1)	x 0.70

Combinazione n° 17
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1)	x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2)	x 0.70

Combinazione n° 18
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V+)	x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V+)	x 0.20

Combinazione n° 19
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V-)	x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V-)	x 0.20

Combinazione n° 20
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V+)	x 0.50
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V+)	x 0.20

Combinazione n° 21
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V-)	x 0.50
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V-)	x 0.20

Combinazione n° 22

Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V+) x 0.50
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V+) x 0.20

Combinazione n°23
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V-) x 0.50
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V-) x 0.20

Combinazione n°24
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V+) x 0.70

Combinazione n°25
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V-) x 0.70

Combinazione n°26
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V+) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V+) x 0.70

Combinazione n°27
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2 / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 1 / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2 / sisma V-) x 0.70

Impostazioni di progetto

Spinte e verifiche secondo :
Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00

Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Verifica materiali : Stato Limite Ultimo

Impostazioni di analisi

Analisi per Combinazioni di Carico.

Rottura del terreno: Pressione passiva

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia): Solo nel calcolo dei coefficienti di spinta (le spinte sono considerate orizzontali)

Stabilità globale: Metodo di Bishop

Impostazioni analisi sismica

Combinazioni/Fase	**SLU**	**SLE**
Accelerazione al suolo [m/s^2]	0.796	0.268
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.522	2.524
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc*	0.291	0.198
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.200	1.200
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.000	1.000
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza Us [m]	0.067	0.067
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.442	0.442
Coefficiente di intensità sismica (percento)	4.304	1.451
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.50	

Influenza sisma nella spinta attiva da monte
Forma diagramma incremento sismico : Rettangolare

Analisi della paratia

L'analisi è stata eseguita per combinazioni di carico
La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.
Essa è discretizzata in 186 elementi fuori terra e 80 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.
Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva non reagiscono ad ulteriori incremento di carico.

Altezza fuori terra della paratia	9,30	[m]
Profondità di infissione	4,00	[m]
Altezza totale della paratia	13,30	[m]

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Pa	Spinta attiva, espressa in [kg]
Is	Incremento sismico della spinta, espressa in [kg]
Pw	Spinta della falda, espressa in [kg]
Pp	Resistenza passiva, espressa in [kg]
Pc	Controspinta, espressa in [kg]

n°	Tipo	Pa	Y_{Pa}	Is	Y_{Is}	Pw	Y_{Pw}	Pp	Y_{Pp}	Pc	Y_{Pc}
1	[A1-M1]	34144	5,94	--	--	--	--	-11172	9,94	2926	12,01
2	[A2-M2]	33137	5,91	--	--	--	--	-10363	9,94	2557	12,10
3	[A1-M1]	36698	5,84	--	--	--	--	-11731	9,92	3290	11,96
4	[A2-M2]	35313	5,80	--	--	--	--	-10514	9,93	2705	12,12
5	[A1-M1] S	25029	5,75	2137	4,65	--	--	-6583	9,97	1463	12,06
6	[A2-M2] S	32566	6,00	2305	4,65	--	--	-11087	9,94	2814	12,10
7	[A1-M1] S	25188	5,74	2071	4,65	--	--	-6616	9,96	1483	12,06
8	[A1-M1] S	24141	5,87	3710	4,65	--	--	-7084	9,96	1623	12,05
9	[A2-M2] S	32165	6,07	4399	4,65	--	--	-11719	9,95	3039	12,12
10	[A2-M2] S	32876	5,98	2399	4,65	--	--	-11115	9,93	2811	12,12
11	[A1-M1] S	24280	5,87	3737	4,65	--	--	-7158	9,96	1659	12,04
12	[A2-M2] S	32510	6,05	4402	4,65	--	--	-11724	9,94	3026	12,13
13	[SLEQ]	26433	5,60	--	--	--	--	-5974	9,97	1284	12,08
14	[SLEF]	26583	5,61	--	--	--	--	-6048	9,97	1319	12,07
15	[SLEF]	26433	5,60	--	--	--	--	-5974	9,97	1284	12,08
16	[SLER]	26890	5,61	--	--	--	--	-6193	9,96	1388	12,06
17	[SLER]	26695	5,61	--	--	--	--	-6103	9,97	1345	12,07
18	[SLEQ] S	25741	5,68	1127	4,65	--	--	-6319	9,97	1390	12,07
19	[SLEQ] S	26066	5,64	593	4,65	--	--	-6154	9,97	1339	12,07
20	[SLEF] S	25917	5,68	1127	4,65	--	--	-6402	9,96	1430	12,06
21	[SLEF] S	26233	5,64	585	4,65	--	--	-6230	9,97	1376	12,06
22	[SLEF] S	25741	5,68	1127	4,65	--	--	-6319	9,97	1390	12,07
23	[SLEF] S	26066	5,64	593	4,65	--	--	-6154	9,97	1339	12,07
24	[SLER] S	26278	5,69	1137	4,65	--	--	-6564	9,96	1509	12,04
25	[SLER] S	26572	5,65	579	4,65	--	--	-6381	9,96	1449	12,05
26	[SLER] S	26008	5,69	1206	4,65	--	--	-6488	9,96	1467	12,05
27	[SLER] S	26316	5,65	655	4,65	--	--	-6310	9,96	1411	12,06

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
Rc Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kg]
Rt Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kg]
Rv Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kg]
Rp Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kg]

n°	Tipo	Rc	Y_{Rc}	Rt	Y_{Rt}	Rv	Y_{Rv}	Rp	Y_{Rp}
1	[A1-M1]	0	0,00	25889	4,90	--	--	--	--
2	[A2-M2]	0	0,00	25322	4,89	--	--	--	--
3	[A1-M1]	0	0,00	28247	4,86	--	--	--	--
4	[A2-M2]	0	0,00	27494	4,84	--	--	--	--
5	[A1-M1] S	0	0,00	22040	4,80	--	--	--	--
6	[A2-M2] S	0	0,00	26587	4,89	--	--	--	--
7	[A1-M1] S	0	0,00	22120	4,80	--	--	--	--
8	[A1-M1] S	0	0,00	22383	4,82	--	--	--	--
9	[A2-M2] S	0	0,00	27874	4,88	--	--	--	--
10	[A2-M2] S	0	0,00	26961	4,88	--	--	--	--
11	[A1-M1] S	0	0,00	22511	4,82	--	--	--	--
12	[A2-M2] S	0	0,00	28203	4,87	--	--	--	--
13	[SLEQ]	0	0,00	21738	4,78	--	--	--	--
14	[SLEF]	0	0,00	21848	4,79	--	--	--	--
15	[SLEF]	0	0,00	21738	4,78	--	--	--	--
16	[SLER]	0	0,00	22078	4,80	--	--	--	--
17	[SLER]	0	0,00	21931	4,79	--	--	--	--
18	[SLEQ] S	0	0,00	21933	4,79	--	--	--	--
19	[SLEQ] S	0	0,00	21837	4,79	--	--	--	--
20	[SLEF] S	0	0,00	22066	4,80	--	--	--	--
21	[SLEF] S	0	0,00	21957	4,79	--	--	--	--
22	[SLEF] S	0	0,00	21933	4,79	--	--	--	--
23	[SLEF] S	0	0,00	21837	4,79	--	--	--	--
24	[SLER] S	0	0,00	22352	4,81	--	--	--	--
25	[SLER] S	0	0,00	22213	4,80	--	--	--	--
26	[SLER] S	0	0,00	22187	4,80	--	--	--	--
27	[SLER] S	0	0,00	22065	4,80	--	--	--	--

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
P_{NUL} Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
P_{INV} Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]

C_{ROT} Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R_{MAX} Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]
Pp Portanza di punta, espressa in [kg]

n°	Tipo	P_{NUL}	P_{INV}	C_{ROT}	MP	R/R_{MAX}	Pp
1	[A1-M1]	9,30	9,30	11,01	6.17	1,56	14034
2	[A2-M2]	9,30	10,05	11,10	16.05	3,18	7720
3	[A1-M1]	9,30	9,30	10,96	4.94	1,64	14034
4	[A2-M2]	9,30	9,30	11,13	13.58	3,25	7720
5	[A1-M1] S	9,30	10,05	11,07	0.00	1,15	14034
6	[A2-M2] S	9,30	10,05	11,11	17.28	3,43	7720
7	[A1-M1] S	9,30	10,05	11,06	0.00	1,15	14034
8	[A1-M1] S	9,30	10,05	11,05	2.47	1,24	14034
9	[A2-M2] S	9,30	10,05	11,13	20.99	3,64	7720
10	[A2-M2] S	9,30	10,05	11,12	17.28	3,43	7720
11	[A1-M1] S	9,30	10,05	11,04	2.47	1,23	14034
12	[A2-M2] S	9,30	10,00	11,14	19.75	3,63	7720
13	[SLEQ]	9,30	10,05	11,09	0.00	1,03	14034
14	[SLEF]	9,30	10,05	11,08	0.00	1,05	14034
15	[SLEF]	9,30	10,05	11,09	0.00	1,03	14034
16	[SLER]	9,30	10,05	11,06	0.00	1,08	14034
17	[SLER]	9,30	10,05	11,07	0.00	1,06	14034
18	[SLEQ] S	9,30	10,05	11,07	0.00	1,10	14034
19	[SLEQ] S	9,30	10,05	11,08	0.00	1,07	14034
20	[SLEF] S	9,30	10,05	11,06	0.00	1,12	14034
21	[SLEF] S	9,30	10,05	11,07	0.00	1,08	14034
22	[SLEF] S	9,30	10,05	11,07	0.00	1,10	14034
23	[SLEF] S	9,30	10,05	11,08	0.00	1,07	14034
24	[SLER] S	9,30	10,05	11,05	0.00	1,13	14034
25	[SLER] S	9,30	10,05	11,05	0.00	1,11	14034
26	[SLER] S	9,30	10,05	11,06	0.00	1,13	14034
27	[SLER] S	9,30	10,05	11,06	0.00	1,10	14034

Risultati tiranti

Caratteristiche dei tiranti utilizzati

Simbologia adottata
Y ordinata della fila rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
nt numero di tiranti della fila
N sforzo su ogni tirante della fila espresso in [kg]
L lunghezza totale di progetto del tirante espressa in [m]
L_f lunghezza di fondazione di progetto del tirante espressa in [m]
Ld lunghezza totale definita del tirante espressa in [m]
Ld_f lunghezza di fondazione definita del tirante espressa in [m]
FS Fattore di sicurezza. Rapporto tra lunghezza di fondazione di progetto e lunghezza di fondazione definita.
A_f area di armatura in ogni tirante espressa in [cmq]
Rt/ml reazione a metro lineare del tirante della fila espresso in [kg]
σ_f tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [kg/cmq]
u spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]

3 file di tiranti attivi armati con trefoli

n°	Y	nt	A_f	L	L_f	Ld	Ld_f	FS
1	2,00	3	4,17	12,00	3,97	16,00	8,00	2.01
2	4,50	3	4,17	14,90	6,91	16,00	8,00	1.16
3	7,00	3	4,17	14,50	6,51	16,00	8,00	1.23

Combinazione n°1

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	20458	6137,41	4906,00	0,06203
2	36087	10826,14	8653,99	0,60805
3	35288	10586,51	8462,44	1,01332

Combinazione n°2

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	20297	6089,22	4867,48	0,04610
2	35207	10562,00	8442,85	0,52216
3	34320	10295,85	8230,10	0,91888

Combinazione n°3

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	22872	6861,64	5484,92	0,29817

2	39878	11963,54	9563,19	0,97797
3	37448	11234,26	8980,23	1,22426

Combinazione n°4

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	22769	6830,81	5460,28	0,28778
2	38686	11605,80	9277,22	0,86165
3	36073	10821,83	8650,55	1,09028

Combinazione n°5

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19217	5765,19	4608,46	-0,06068
2	30336	9100,93	7274,92	0,04696
3	28629	8588,75	6865,51	0,36425

Combinazione n°6

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	21313	6393,84	5110,99	0,14556
2	37111	11133,29	8899,51	0,70798
3	35886	10765,84	8605,79	1,07174

Combinazione n°7

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19241	5772,36	4614,19	-0,05831
2	30465	9139,44	7305,71	0,05948
3	28758	8627,30	6896,32	0,37677

Combinazione n°8

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19277	5783,07	4622,76	-0,05470
2	30803	9240,80	7386,73	0,09246
3	29319	8795,70	7030,93	0,43146

Combinazione n°9

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	22507	6752,05	5397,32	0,26242
2	38993	11697,98	9350,91	0,89169
3	37376	11212,73	8963,01	1,21712

Combinazione n°10

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	21740	6522,06	5213,48	0,18735
2	37711	11313,41	9043,49	0,76657
3	36187	10856,04	8677,89	1,10113

Combinazione n°11

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19316	5794,70	4632,05	-0,05086
2	31019	9305,70	7438,61	0,11356
3	29519	8855,56	7078,79	0,45092

Combinazione n°12

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	22933	6879,90	5499,52	0,30406
2	39521	11856,32	9477,47	0,94319
3	37591	11277,24	9014,58	1,23817

Combinazione n°13

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19179	5753,69	4599,27	-0,06456
2	29991	8997,28	7192,07	0,01322
3	27941	8382,23	6700,43	0,29719

Combinazione n°14

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19204	5761,14	4605,23	-0,06208
2	30154	9046,23	7231,20	0,02914
3	28143	8442,87	6748,89	0,31689

Combinazione n°15

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19179	5753,69	4599,27	-0,06456
2	29991	8997,28	7192,07	0,01322
3	27941	8382,23	6700,43	0,29719

Combinazione n°16

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19261	5778,23	4618,89	-0,05642
2	30512	9153,50	7316,95	0,06402
3	28546	8563,67	6845,46	0,35614

Combinazione n°17

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19221	5766,36	4609,40	-0,06035
2	30282	9084,54	7261,82	0,04160
3	28293	8487,96	6784,94	0,33154

Combinazione n°18

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19211	5763,28	4606,94	-0,06135
2	30224	9067,06	7247,85	0,03593
3	28368	8510,48	6802,94	0,33884

Combinazione n°19

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19195	5758,64	4603,23	-0,06290
2	30107	9032,04	7219,86	0,02453
3	28161	8448,29	6753,23	0,31864

Combinazione n°20

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19239	5771,70	4613,67	-0,05855
2	30434	9130,19	7298,31	0,05646
3	28602	8580,74	6859,11	0,36166

Combinazione n°21

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19221	5766,38	4609,41	-0,06033
2	30290	9087,11	7263,87	0,04244
3	28375	8512,64	6804,66	0,33954

Combinazione n°22

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19211	5763,28	4606,94	-0,06135
2	30224	9067,06	7247,85	0,03593
3	28368	8510,48	6802,94	0,33884

Combinazione n°23

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19195	5758,64	4603,23	-0,06290
2	30107	9032,04	7219,86	0,02453
3	28161	8448,29	6753,23	0,31864

Combinazione n°24

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19314	5794,16	4631,63	-0,05111
2	30904	9271,07	7410,93	0,10226
3	29072	8721,49	6971,62	0,40740

Combinazione n°25

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19285	5785,57	4624,76	-0,05397
2	30700	9210,12	7362,21	0,08244
3	28808	8642,37	6908,37	0,38170

Combinazione n°26

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19264	5779,29	4619,73	-0,05602
2	30627	9188,05	7344,56	0,07527
3	28813	8643,76	6909,48	0,38214

Combinazione n°27

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19243	5772,90	4614,62	-0,05816
2	30458	9137,40	7304,07	0,05879
3	28569	8570,67	6851,05	0,35840

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata
n° Indice della combinazione/fase
Tipo Tipo della combinazione/fase
Y ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M momento flettente massimo e minimo espresso in [kgm]
N sforzo normale massimo e minimo espresso in [kg] (positivo di compressione)
T taglio massimo e minimo espresso in [kg]

n°	Tipo	M	Y_M	T	Y_T	N	Y_N	
1	[A1-M1]	4473	10,25	7935	9,30	11407	13,30	MAX
--	--	-4386	8,00	-6743	4,50	0	0,00	MIN
2	[A2-M2]	3960	10,25	7576	9,30	11201	13,30	MAX
--	--	-4262	8,05	-6403	4,50	0	0,00	MIN
3	[A1-M1]	5028	10,20	8109	9,30	12266	13,30	MAX
--	--	-4275	6,00	-7141	4,50	0	0,00	MIN
4	[A2-M2]	4146	10,30	7484	9,30	11992	13,30	MAX
--	--	-3868	8,00	-6603	4,50	0	0,00	MIN
5	[A1-M1] S	2789	4,50	4959	9,30	10007	13,30	MAX
--	--	-3062	8,20	-4952	4,50	0	0,00	MIN
6	[A2-M2] S	4383	10,20	8050	9,30	11661	13,30	MAX
--	--	-4414	8,00	-6683	4,50	0	0,00	MIN
7	[A1-M1] S	2752	4,50	4971	9,30	10036	13,30	MAX
--	--	-3047	8,20	-5037	4,50	0	0,00	MIN
8	[A1-M1] S	2736	4,50	5285	9,30	10131	13,30	MAX
--	--	-3210	8,20	-5227	4,50	0	0,00	MIN
9	[A2-M2] S	4757	10,20	8462	9,30	12130	13,30	MAX
--	--	-4549	8,00	-6938	4,50	0	0,00	MIN
10	[A2-M2] S	4354	10,25	8047	9,30	11798	13,30	MAX
--	--	-4343	8,00	-6717	4,50	0	0,00	MIN
11	[A1-M1] S	2669	4,50	5320	9,30	10178	13,30	MAX
--	--	-3197	8,15	-5317	4,50	0	0,00	MIN
12	[A2-M2] S	4706	10,25	8447	9,30	12250	13,30	MAX
--	--	-4461	8,00	-6961	4,50	0	0,00	MIN
13	[SLEQ]	2744	4,50	4547	9,30	9897	13,30	MAX
--	--	-2846	8,25	-4757	7,00	0	0,00	MIN
14	[SLEF]	2721	4,50	4583	9,30	9937	13,30	MAX
--	--	-2837	8,25	-4803	4,50	0	0,00	MIN
15	[SLEF]	2744	4,50	4547	9,30	9897	13,30	MAX
--	--	-2846	8,25	-4757	7,00	0	0,00	MIN
16	[SLER]	2636	4,50	4653	9,30	10021	13,30	MAX
--	--	-2818	8,20	-5051	4,50	0	0,00	MIN
17	[SLER]	2694	4,50	4609	9,30	9967	13,30	MAX
--	--	-2830	8,25	-4905	4,50	0	0,00	MIN
18	[SLEQ] S	2765	4,50	4776	9,30	9968	13,30	MAX
--	--	-2956	8,25	-4864	4,50	0	0,00	MIN
19	[SLEQ] S	2760	4,50	4667	9,30	9933	13,30	MAX
--	--	-2905	8,25	-4778	7,00	0	0,00	MIN
20	[SLEF] S	2711	4,50	4815	9,30	10016	13,30	MAX
--	--	-2944	8,20	-5012	4,50	0	0,00	MIN
21	[SLEF] S	2722	4,50	4703	9,30	9976	13,30	MAX
--	--	-2892	8,25	-4914	4,50	0	0,00	MIN
22	[SLEF] S	2765	4,50	4776	9,30	9968	13,30	MAX
--	--	-2956	8,25	-4864	4,50	0	0,00	MIN
23	[SLEF] S	2760	4,50	4667	9,30	9933	13,30	MAX
--	--	-2905	8,25	-4778	7,00	0	0,00	MIN
24	[SLER] S	2573	4,50	4892	9,30	10120	13,30	MAX
--	--	-2917	8,20	-5239	4,50	0	0,00	MIN
25	[SLER] S	2608	4,50	4774	9,30	10069	13,30	MAX
--	--	-2870	8,20	-5149	4,50	0	0,00	MIN
26	[SLER] S	2659	4,50	4860	9,30	10060	13,30	MAX
--	--	-2941	8,20	-5119	4,50	0	0,00	MIN
27	[SLER] S	2681	4,50	4745	9,30	10016	13,30	MAX
--	--	-2891	8,20	-5024	4,50	0	0,00	MIN

Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata
n° Indice della combinazione/fase
Tipo Tipo della combinazione/fase
Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
U spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle

V spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U	Y_U	V	Y_V	
1	[A1-M1]	1,0179	6,75	0,0482	0,00	MAX
--	--	-0,0724	0,00	0,0000	0,00	MIN
2	[A2-M2]	0,9193	6,90	0,0474	0,00	MAX
--	--	-0,0582	0,00	0,0000	0,00	MIN
3	[A1-M1]	1,2790	6,25	0,0522	0,00	MAX
--	--	-0,1039	0,00	0,0000	0,00	MIN
4	[A2-M2]	1,1262	6,30	0,0511	0,00	MAX
--	--	-0,0747	0,00	0,0000	0,00	MIN
5	[A1-M1] S	0,4006	7,80	0,0425	0,00	MAX
--	--	-0,0607	2,00	0,0000	0,00	MIN
6	[A2-M2] S	1,0804	6,65	0,0494	0,00	MAX
--	--	-0,0715	0,00	0,0000	0,00	MIN
7	[A1-M1] S	0,4093	7,75	0,0426	0,00	MAX
--	--	-0,0583	2,00	0,0000	0,00	MIN
8	[A1-M1] S	0,4582	7,70	0,0430	0,00	MAX
--	--	-0,0548	1,95	0,0000	0,00	MIN
9	[A2-M2] S	1,2401	6,45	0,0515	0,00	MAX
--	--	-0,0669	0,00	0,0000	0,00	MIN
10	[A2-M2] S	1,1156	6,55	0,0501	0,00	MAX
--	--	-0,0749	0,00	0,0000	0,00	MIN
11	[A1-M1] S	0,4729	7,65	0,0432	0,00	MAX
--	--	-0,0512	1,90	0,0000	0,00	MIN
12	[A2-M2] S	1,2691	6,40	0,0521	0,00	MAX
--	--	-0,0639	0,00	0,0000	0,00	MIN
13	[SLEQ]	0,3418	7,90	0,0421	0,00	MAX
--	--	-0,0646	2,00	0,0000	0,00	MIN
14	[SLEF]	0,3555	7,85	0,0423	0,00	MAX
--	--	-0,0621	2,00	0,0000	0,00	MIN
15	[SLEF]	0,3418	7,90	0,0421	0,00	MAX
--	--	-0,0646	2,00	0,0000	0,00	MIN
16	[SLER]	0,3840	7,75	0,0426	0,00	MAX
--	--	-0,0566	1,90	0,0000	0,00	MIN
17	[SLER]	0,3660	7,85	0,0424	0,00	MAX
--	--	-0,0604	1,95	0,0000	0,00	MIN
18	[SLEQ] S	0,3771	7,85	0,0424	0,00	MAX
--	--	-0,0613	2,00	0,0000	0,00	MIN
19	[SLEQ] S	0,3599	7,90	0,0422	0,00	MAX
--	--	-0,0629	2,00	0,0000	0,00	MIN
20	[SLEF] S	0,3935	7,80	0,0426	0,00	MAX
--	--	-0,0586	1,95	0,0000	0,00	MIN
21	[SLEF] S	0,3747	7,80	0,0424	0,00	MAX
--	--	-0,0603	2,00	0,0000	0,00	MIN
22	[SLEF] S	0,3771	7,85	0,0424	0,00	MAX
--	--	-0,0613	2,00	0,0000	0,00	MIN
23	[SLEF] S	0,3599	7,90	0,0422	0,00	MAX
--	--	-0,0629	2,00	0,0000	0,00	MIN
24	[SLER] S	0,4278	7,65	0,0430	0,00	MAX
--	--	-0,0519	1,85	0,0000	0,00	MIN
25	[SLER] S	0,4057	7,70	0,0428	0,00	MAX
--	--	-0,0544	1,90	0,0000	0,00	MIN
26	[SLER] S	0,4089	7,75	0,0427	0,00	MAX
--	--	-0,0562	1,95	0,0000	0,00	MIN
27	[SLER] S	0,3887	7,80	0,0426	0,00	MAX
--	--	-0,0583	1,95	0,0000	0,00	MIN

Stabilità globale

Metodo di Bishop
Numero di cerchi analizzati 100

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
$(X_C; Y_C)$	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
$(X_V; Y_V)$	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
$(X_M; Y_M)$	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza

n°	Tipo	(X_C, Y_C)	R	(X_V, Y_V)	(X_M, Y_M)	FS
2	[A2-M2]	(-5,32; 0,00)	14,32	(-13,45; -11,79)	(8,87; -1,96)	1,58
4	[A2-M2]	(-5,32; 0,00)	14,32	(-13,45; -11,79)	(8,87; -1,96)	1,57
6	[A2-M2] S	(-5,32; 0,00)	14,32	(-13,45; -11,79)	(8,87; -1,96)	1,51
9	[A2-M2] S	(-5,32; 0,00)	14,32	(-13,45; -11,79)	(8,87; -1,96)	1,50
10	[A2-M2] S	(-5,32; 0,00)	14,32	(-13,45; -11,79)	(8,87; -1,96)	1,51
12	[A2-M2] S	(-5,32; 0,00)	14,32	(-13,45; -11,79)	(8,87; -1,96)	1,50

Combinazione n°12

Numero di strisce 50

Simbologia adottata
Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)
Le strisce sono numerate da monte verso valle

N°	numero d'ordine della striscia
W	peso della striscia espresso in [kg]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
L	sviluppo della base della striscia espressa in [m] (L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
Ctn, Ctt	contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kg]

Caratteristiche delle strisce

N°	W	α(°)	W sin α	L	ϕ	c	u	(Ctn; Ctt)
1	127,31	-33,57	-70,39	0,52	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
2	389,18	-31,52	-203,44	0,51	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
3	631,05	-29,51	-310,85	0,50	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
4	854,12	-27,54	-394,97	0,49	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
5	1059,43	-25,61	-457,97	0,48	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
6	1247,84	-23,71	-501,79	0,47	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
7	1420,13	-21,84	-528,26	0,47	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
8	1576,93	-19,99	-539,04	0,46	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
9	1812,80	-18,11	-563,58	0,48	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
10	1953,22	-16,21	-545,24	0,47	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
11	2077,32	-14,32	-513,96	0,47	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
12	2185,55	-12,46	-471,38	0,47	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
13	2278,28	-10,60	-419,07	0,46	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
14	2355,82	-8,75	-358,57	0,46	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
15	2418,40	-6,92	-291,34	0,46	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
16	2466,22	-5,09	-218,84	0,46	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
17	2522,17	-3,27	-143,76	0,46	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
18	3313,62	-1,45	-83,71	0,45	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
19	4454,25	0,37	28,84	0,45	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
20	5830,46	2,19	222,78	0,45	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
21	5809,34	4,01	406,34	0,46	27,01	0,192	0,000	(0; 0)
22	5801,65	5,84	589,92	0,46	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
23	5784,25	7,67	771,72	0,46	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
24	5750,68	9,51	949,75	0,46	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
25	5700,69	11,36	1122,41	0,46	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
26	5634,00	13,22	1288,09	0,47	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
27	5550,24	15,09	1445,08	0,47	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
28	5448,97	16,98	1591,65	0,48	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
29	5329,71	18,90	1725,96	0,48	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
30	5191,84	20,83	1846,09	0,49	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
31	13622,14	22,76	5270,75	0,48	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
32	14319,25	24,70	5983,87	0,49	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
33	14756,63	26,67	6623,60	0,50	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
34	15069,50	28,67	7230,69	0,51	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
35	15144,76	30,72	7735,79	0,52	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
36	14891,76	32,80	8067,74	0,53	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
37	14614,09	34,94	8369,90	0,54	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
38	14309,82	37,14	8638,82	0,56	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
39	13976,60	39,40	8870,55	0,57	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
40	13611,60	41,73	9060,52	0,59	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
41	13211,26	44,16	9203,30	0,62	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
42	12192,01	46,69	8871,00	0,65	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
43	11487,09	49,34	8714,06	0,68	27,45	0,224	0,000	(10552; 3979)
44	10947,97	52,15	8644,43	0,72	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
45	10344,75	55,14	8488,91	0,78	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
46	9661,75	58,39	8228,24	0,85	27,45	0,224	0,000	(0; 0)

47	8874,33	61,97	7833,34	0,94	27,45	0,224	0,000	(11740; 1656)
48	7939,25	66,04	7255,22	1,09	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
49	6764,22	70,94	6393,54	1,36	27,45	0,224	0,000	(6339; 0)
50	5019,96	77,89	4908,33	2,11	27,45	0,224	0,000	(0; 0)

Resistenza a taglio paratia= 0,00 [kg]
ΣW_i= 337734,23 [kg]
$\Sigma W_i \sin\alpha_i$= 159765,07 [kg]
$\Sigma W_i \tan\phi_i$= 174600,15 [kg]
$\Sigma \tan\alpha_i \tan\phi_i$= 11.56

SEZIONE 4-4 / PARATIA 3

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Metodo di analisi

Calcolo della profondità di infissione

Nel caso generale l'equilibrio della paratia è assicurato dal bilanciamento fra la spinta attiva agente da monte sulla parte fuori terra, la resistenza passiva che si sviluppa da valle verso monte nella zona interrata e la controspinta che agisce da monte verso valle nella zona interrata al di sotto del centro di rotazione.
Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la controspinta sarà assente.
Pertanto il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, controspinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).
Nel calcolo classico delle paratie si suppone che essa sia infinitamente rigida e che possa subire una rotazione intorno ad un punto (*Centro di rotazione*) posto al di sotto della linea di fondo scavo (per paratie non tirantate).
Occorre pertanto costruire i diagrammi di spinta attiva e di spinta (resistenza) passiva agenti sulla paratia. A partire da questi si costruiscono i diagrammi risultanti.
Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

K_{am} diagramma della spinta attiva agente da monte
K_{av} diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata
K_{pm} diagramma della spinta passiva agente da monte
K_{pv} diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata.

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$D_m=K_{pm}-K_{av}$ e $D_v=K_{pv}-K_{am}$

Questi diagrammi rappresentano i valori limiti delle pressioni agenti sulla paratia. La soluzione è ricercata per tentativi facendo variare la profondità di infissione e la posizione del centro di rotazione fino a quando non si raggiunge l'equilibrio sia alla traslazione che alla rotazione.
Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione
si può agire con tre modalità :
1. applicazione di un coefficiente moltiplicativo alla profondità di infissione strettamente necessaria per l'equilibrio
2. riduzione della spinta passiva tramite un coefficiente di sicurezza
3. riduzione delle caratteristiche del terreno tramite coefficienti di sicurezza su tan(ϕ) e sulla coesione

Calcolo della spinte
Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb: cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea o spezzata (nel caso di terreno stratificato).
La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il valore della spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo).
I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:
- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio *(W)*, carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura *(R e C)* e resistenza per coesione lungo la parete *(A)*;
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima nel caso di spinta attiva e minima nel caso di spinta passiva.
Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata *z*. Noto il diagramma delle pressioni si ricava il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

Per tenere conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di **Mononobe-Okabe** (cui fa riferimento la Normativa Italiana).
Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con *W* il peso del cuneo e con *C* il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W^*C$$

Indicando con *S* la spinta calcolata in condizioni statiche e con S_s la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/2 dell'altezza della parete stessa(diagramma rettangolare).

Tiranti di ancoraggio

Le paratie possono essere tirantate, con tiranti attivi o con tiranti passivi, realizzati entrambi tramite perforazione e iniezione del foro con malta in pressione previa sistemazione delle armature opportune.
I tiranti attivi, contrariamente ai tiranti passivi, sono sottoposti ad uno sforzo di pretensione prendendo il contrasto sulla struttura stessa. Il tiro finale sul tirante attivo dipende sia dalla pretensione che dalla deformazione della struttura oltre che dalle cadute di tensione. Nel caso di tiranti passivi il tiro dipende unicamente dalla deformabilità della struttura. L'armatura dei tiranti attivi è costituita da trefoli ad alta resistenza (trefoli per c.a.p.), viceversa i tiranti passivi possono essere armati con trefoli o con tondini o, in alcuni casi, con profilati tubolari.
La capacità di resistenza dei tiranti è legata all'attrito e all'aderenza fra superficie del tirante e terreno.
Calcolo della lunghezza di ancoraggio

La lunghezza di ancoraggio (fondazione) del tirante si calcola determinando la lunghezza massima atta a soddisfare le tre seguenti condizioni:

1. Lunghezza necessaria per garantire l'equilibrio fra tensione tangenziale che si sviluppa fra la superficie laterale del tirante ed il terreno e lo sforzo applicato al tirante;
2. Lunghezza necessaria a garantire l'aderenza malta-armatura;
3. Lunghezza necessaria a garantire la resistenza della malta.

Siano **N** lo sforzo nel tirante, **δ** l'angolo d'attrito tirante-terreno, $\mathbf{c_a}$ l'adesione tirante-terreno, **γ** il peso di volume del terreno, **D** ed $\mathbf{L_f}$ il diametro e la lunghezza di ancoraggio (o lunghezza efficace) del tirante ed **H** la profondità media al di sotto del piano campagna abbiamo la relazione

$$N = \pi D L_f \gamma H K_s tg \delta + \pi D L_f c_a$$

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio L_f

$$L_f = \frac{N}{\pi D \gamma H K_s tg \delta + \pi D c_a}$$

$\mathbf{K_s}$ rappresenta il coefficiente di spinta che si assume pari al coefficiente di spinta a riposo

$$K_s = K_0 = 1 - \sin \phi$$

Per quanto riguarda la seconda condizione, la lunghezza necessaria atta a garantire l'aderenza malta-armatura è data dalla relazione

$$L_f = \frac{N}{\pi d \tau_{c0} \omega}$$

dove **d** è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, $\boldsymbol{\tau_{c0}}$ è la resistenza tangenziale limite della malta ed **ω** è un coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli (**ω = 1 - 0.075 [n trefoli - 1]**).
Per quanto riguarda la verifica della terza condizione si impone che la tensione tangenziale limite tirante-terreno non possa superare il valore $\boldsymbol{\tau_c}$ ottenuto come media fra la $\boldsymbol{\tau_{c0}}$ e la $\boldsymbol{\tau_{c1}}$ della malta.
Alla lunghezza efficace determinata prendendo il massimo valore di $\mathbf{L_f}$ si deve aggiungere la lunghezza di franco **L** che rappresenta la lunghezza del tratto che compreso fra la paratia e la superficie di ancoraggio.
La lunghezza totale del tirante sarà quindi data da

$$L_t = L_f + L$$

Nel caso di tiranti attivi, cioè tiranti soggetti ad uno stato di pretensione, bisogna considerare le cadute di tensione. A tale scopo è stato introdotto il coefficiente di caduta di tensione, **β**, che rappresenta il rapporto fra lo sforzo $\mathbf{N_0}$ al momento del tiro e lo sforzo **N** in esercizio

$$\beta = N_0 / N$$

Analisi ad elementi finiti

La paratia è considerata come una struttura a prevalente sviluppo lineare (si fa riferimento ad un metro di larghezza) con comportamento a trave. Come caratteristiche geometriche della sezione si assume il momento d'inerzia I e l'area A per metro lineare di larghezza della paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia.
La parte fuori terra della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri e più o meno costante per tutti gli elementi. La suddivisione è suggerita anche dalla eventuale presenza di tiranti, carichi e vincoli. Infatti questi elementi devono capitare in corrispondenza di un nodo. Nel caso di tirante è inserito un ulteriore elemento atto a schematizzarlo. Detta L la lunghezza libera del tirante, A_f l'area di armatura nel tirante ed E_s il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad L, area A_f, inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico E_s. La parte interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.
I carichi agenti possono essere di tipo distribuito (spinta della terra, diagramma aggiuntivo di carico, spinta della falda, diagramma di spinta sismica) oppure concentrati. I carichi distribuiti sono riportati sempre come carichi concentrati nei nodi (sotto forma di reazioni di incastro perfetto cambiate di segno).

Schematizzazione del terreno

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso è visto come un letto di molle indipendenti fra di loro reagenti solo a sforzo assiale di compressione. La rigidezza della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (*costante di Winkler*). La costante di sottofondo, k, è definita come la pressione unitaria che occorre applicare per ottenere uno spostamento unitario. Dimensionalmente è espressa quindi come rapporto fra una pressione ed uno spostamento al cubo [F/L^3]. È evidente che i risultati sono tanto migliori quanto più è elevato il numero delle molle che schematizzano il terreno. Se (m è l'interasse fra le molle (in cm) e b è la larghezza della paratia in direzione longitudinale (b=100 cm) occorre ricavare l'area equivalente, A_m, della molla (a cui si assegna una lunghezza pari a 100 cm). Indicato con E_m il modulo elastico del materiale costituente la paratia (in Kg/cm^2), l'equivalenza, in termini di rigidezza, si esprime come

$$A_m = 10000 \times \frac{k \Delta_m}{E_m}$$

Per le molle di estremità, in corrispondenza della linea di fondo scavo ed in corrispondenza dell'estremità inferiore della paratia, si assume una area equivalente dimezzata. Inoltre, tutte le molle hanno, ovviamente, rigidezza flessionale e tagliante nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidezza di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle

matrici di rigidezza degli elementi della paratia (elementi a rigidezza flessionale, tagliante ed assiale), delle matrici di rigidezza dei tiranti (solo rigidezza assiale) e delle molle (rigidezza assiale).

Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno

A questo punto vediamo come è effettuata l'analisi. Un tipo di analisi molto semplice e veloce sarebbe l'analisi elastica (peraltro disponibile nel programma ***PAC***). Ma si intuisce che considerare il terreno con un comportamento infinitamente elastico è una approssimazione alquanto grossolana. Occorre quindi introdurre qualche correttivo che meglio ci aiuti a modellare il terreno. Fra le varie soluzioni possibili una delle più praticabili e che fornisce risultati soddisfacenti è quella di considerare il terreno con comportamento elasto-plastico perfetto. Si assume cioè che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero. Rimane da scegliere il criterio di plasticizzazione del terreno (molle). Si può fare riferimento ad un criterio di tipo cinematico: la resistenza della molla cresce con la deformazione fino a quando lo spostamento non raggiunge il valore X_{max}; una volta superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti. Un altro criterio può essere di tipo statico: si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione p_{max}. Tale pressione p_{max} può essere imposta pari al valore della pressione passiva in corrispondenza della quota della molla. D'altronde un ulteriore criterio si può ottenere dalla combinazione dei due descritti precedentemente: plasticizzazione o per raggiungimento dello spostamento limite o per raggiungimento della pressione passiva. Dal punto di vista strettamente numerico è chiaro che l'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche). Questo comporta un aggravio computazionale non indifferente. L'entità di tale aggravio dipende poi dalla particolare tecnica adottata per la soluzione. Nel caso di analisi elastica lineare il problema si risolve immediatamente con la soluzione del sistema fondamentale (K matrice di rigidezza, u vettore degli spostamenti nodali, p vettore dei carichi nodali)

$$Ku=p$$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale p0, fino a raggiungere il carico totale p. Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riassemblata escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidezza è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassemblaggio e la decomposizione della matrice, ma usano la matrice elastica iniziale (*metodo di Riks*).
Senza addentrarci troppo nei dettagli diremo che si tratta di un metodo di Newton-Raphson modificato e ottimizzato. L'analisi condotta secondo questa tecnica offre dei vantaggi immediati. Essa restituisce l'effettiva deformazione della paratia e le relative sollecitazioni; dà informazioni dettagliate circa la deformazione e la pressione sul terreno. Infatti la deformazione è direttamente leggibile, mentre la pressione sarà data dallo sforzo nella molla diviso per l'area di influenza della molla stessa. Sappiamo quindi quale è la zona di terreno effettivamente plasticizzato. Inoltre dalle deformazioni ci si può rendere conto di un possibile meccanismo di rottura del terreno.

Analisi per fasi di scavo

L'analisi della paratia per fasi di scavo consente di ottenere informazioni dettagliate sullo stato di sollecitazione e deformazione dell'opera durante la fase di realizzazione. In ogni fase lo stato di sollecitazione e di deformazione dipende dalla 'storia' dello scavo (soprattutto nel caso di paratie tirantate o vincolate).
Definite le varie altezze di scavo (in funzione della posizione di tiranti, vincoli, o altro) si procede per ogni fase al calcolo delle spinte inserendo gli elementi (tiranti, vincoli o carichi) attivi per quella fase, tendendo conto delle deformazioni dello stato precedente. Ad esempio, se sono presenti dei tiranti passivi si inserirà nell'analisi della fase la 'molla' che lo rappresenta. Indicando con u ed u_0 gli spostamenti nella fase attuale e nella fase precedente, con s ed s_0 gli sforzi nella fase attuale e nella fase precedente e con K la matrice di rigidezza della 'struttura' la relazione sforzi-deformazione è esprimibile nella forma

$$s=s_0+K(u-u_0)$$

Le modalità di analisi sono più complicate nel caso di tiranti attivi in quanto è importante conoscere la modalità di tiro: infatti il tirante può essere tesato prima dello scavo, oppure tesato alla fine della corrispondente fase di scavo, oppure al termine di tutto lo scavo. Nella fase in cui il tirante è tesato verra inserita una molla con uno stato di pretensione pari allo sforzo di tesatura. Nelle fasi successive il tirante verrà considerato come una semplice molla che 'ricorda', naturalmente, lo sforzo della fase precedente.
Ovviamente si otterranno soluzioni differenti in funzione della modalità di tiro selezionata.
Nel caso di tiranti attivi, inoltre, è analizzata un fase ulteriore (a lungo termine) nella quale il tiro iniziale è depurato delle cadute di tensione.
In sostanza analizzare la paratia per fasi di scavo oppure 'direttamente' porta a risultati abbastanza diversi sia per quanto riguarda lo stato di deformazione e sollecitazione dell'opera sia per quanto riguarda il tiro dei tiranti.

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1.3.
È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.

In particolare il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 6x6 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

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

$$\eta = \frac{\Sigma_i \left(\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) tg\phi_i}{m} \right)}{\Sigma_i W_i \sin\alpha_i}$$

dove il termine *m* è espresso da

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

In questa espressione *n* è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i_{esima} rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i_{esima} , c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.
L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine *m* che è funzione di η. Quindi essa è risolta per successive approsimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di *m* ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	6,60	[m]
Profondità di infissione	3,00	[m]
Altezza totale della paratia	9,60	[m]
Lunghezza paratia	10,00	[m]
Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,50	[m]
Diametro dei micropali	20,00	[cm]
Numero totale di micropali	19	
Numero di micropali per metro lineare	1.90	
Diametro esterno del tubolare	168,30	[mm]
Spessore del tubolare	10,00	[mm]

Geometria cordoli

Simbologia adottata
n° numero d'ordine del cordolo
Y posizione del cordolo sull'asse della paratia espresso in [m]

Cordoli in calcestruzzo
B Base della sezione del cordolo espresso in [cm]
H Altezza della sezione del cordolo espresso in [cm]

Cordoli in acciaio
A Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cmq]
W Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm^3]

n°	Y	Tipo	B	H	A	W
1	0,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--
2	2,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--
3	5,50	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento
(Sistema di riferimento con origine in testa alla paratia, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

N	X	Y	A

2	0,20	0,00	0,00
3	1,50	0,00	0,00
4	6,00	0,00	0,00

Profilo di valle

N	X	Y	A
1	-8,00	-9,50	0,00
2	-6,60	-9,50	88,03
3	-6,50	-6,60	0,00
4	-4,00	-6,60	0,00
5	0,00	-6,60	0,00

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
Descrizione	Descrizione del terreno
γ	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s	peso di volume saturo del terreno espresso [kg/mc]
ϕ	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
δ	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kg/cmq]

n°	Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c
1	Calcari alterati	2200,00	2400,00	32,00	21,00	0,200
2	Calcari scistosi	2400,00	2600,00	33,00	22,00	0,280

Parametri per il calcolo dei tiranti

Simbologia adottata

ϕ_{min}	angolo d'attrito minimo interno del terreno espresso in [°]
δ_{min}	angolo d'attrito minimo terreno/paratia espresso in [°]
c_{min}	coesione minima del terreno espressa in [kg/cmq]
ϕ_{med}	angolo d'attrito medio interno del terreno espresso in [°]
δ_{med}	angolo d'attrito medio terreno/paratia espresso in [°]
c_{med}	coesione media del terreno espressa in [kg/cmq]

N°	Descrizione	ϕ_{min}	ϕ_{med}	δ_{min}	δ_{med}	c_{min}	c_{med}
1	Calcari alterati	0,00	32,00	0,00	21,00	0,000	1,000
2	Calcari scistosi	0,00	36,00	0,00	24,00	0,000	1,000

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla som mità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm^2/cm
α	inclinazione dello strato espressa in GRADI(°)
Terreno	Terreno associato allo strato

n°	sp	α	kw	Terreno
1	10,00	45,00	2,79	Calcari alterati
2	10,00	0,00	7,91	Calcari scistosi

Caratteristiche materiali utilizzati

Calcestruzzo		
Peso specifico	2500	[kg/mc]
Classe di Resistenza	C25/30	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	306	[kg/cmq]
Tensione di progetto a compressione σ_c	99	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	6,1	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	18,5	[kg/cmq]
Acciaio		
Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f_{yk}	4589	[kg/cmq]

Caratteristiche acciaio cordoli in c.a.

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f_{yk}	4589	[kg/cmq]

Caratteristiche acciaio cordoli in acciaio.

Tipo	Fe 360	
Tensione di snervamento f_{yk}	2400	[kg/cmq]

Malta utilizzata per i tiranti

Classe di Resistenza	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	250	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	5,3	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	16,9	[kg/cmq]

Acciaio utilizzato per i tiranti

Tipo	Trefoli	
Tensione di progetto σ_{fa}	15000,0	[kg/cmq]
Tensione di snervamento f_{yk}	22000,0	kg/cmq

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

F_x	Forza orizzontale espressa in [kg], positiva da monte verso valle
F_y	Forza verticale espressa in [kg], positiva verso il basso
M	Momento espresso in [kgm], positivo ribaltante
Q_i, Q_f	Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kg/mq]
V_i, V_s	Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kg/mq], positivi da monte verso valle
R	Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kg]

Condizione n°1				
Carico distribuito sul profilo	X_i = 0,00	X_f = 4,00	Q_i = 1500	Q_f = 1500
Condizione n°2				
Carico distribuito sul profilo	X_i = 0,00	X_f = 4,00	Q_i = 1500	Q_f = 1500
Condizione n°3				
Carico distribuito sul profilo	X_i = -4,00	X_f = 0,00	Q_i = 2000	Q_f = 2000
Condizione n°4				
Carico distribuito sul profilo	X_i = -4,00	X_f = 0,00	Q_i = 2000	Q_f = 2000

Descrizione tiranti di ancoraggio

Simbologia adottata - Caratteristiche geometriche

N	numero d'ordine della fila
Y	ordinata della fila espressa in [m] misurata dalla testa della paratia
I	interasse tra le file di tiranti espressa in [m]
alfa	inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
D	diametro della perforazione espresso in [cm]
Cesp	coeff. di espansione laterale
ALL	allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
nr	numero di tiranti della fila
Lt	lunghezza totale del tirante espresso in [m]
Lf	lunghezza di fondazione del tirante espresso in [m]

Simbologia adottata - Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	numero d'ordine della fila
At	area del singolo trefolo espressa in [cmq]
nt	numero di trefoli del tirante
T	tiro iniziale espresso in [kg]
δ	angolo di attrito medio tirante-terreno espresso in [°]
δ	angolo di attrito minimo tirante-terreno espresso in [°]
ca	adesione media tirante-terreno espresso in [kg/mq]
ca	adesione minima tirante-terreno espresso in [kg/mq]

Caratteristiche geometriche

N	Y	I	Alfa	D	Cesp	ALL	nr	Lt	Lf
1	2,00	3,00	20,00	16,00	1,20	Centrati	3	14,00	7,00
2	5,50	3,00	20,00	16,00	1,20	Centrati	3	14,00	7,00

Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	At	nt	T	δ_{med}	ca_{med}	δ_{min}	ca_{min}

1	1,39	3	20000	20,00	20,00	20,00	20,00
2	1,39	3	20000	20,00	20,00	20,00	20,00

Combinazioni di carico

Nella tabella sono riportate le condizioni di carico di ogni combinazione con il relativo coefficiente di partecipazione.

Combinazione n°1 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b) x 1.00

Combinazione n°2 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b) x 1.00

Combinazione n°3 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b) x 0.70

Combinazione n°4 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b) x 0.70

Combinazione n°5 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00

Combinazione n°6 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00

Combinazione n°7 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V-) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V-) x 0.20

Combinazione n°8 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00

Combinazione n°9 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00

Combinazione n°10 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V-) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V-) x 0.20

Combinazione n°11 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V+) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V+) x 0.20

Combinazione n° 12 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V+) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V+) x 0.20

Combinazione n° 13
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 2b) x 0.20

Combinazione n° 14
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a) x 0.50
Condizione 4 (Var. fabbr 2b) x 0.20

Combinazione n° 15
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b) x 0.50
Condizione 2 (Var fabbricato 2a) x 0.20

Combinazione n° 16
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b) x 0.70

Combinazione n° 17
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a) x 0.70

Combinazione n° 18
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V+) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V+) x 0.20

Combinazione n° 19
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V-) x 0.20
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V-) x 0.20

Combinazione n° 20
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V+) x 0.50
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V+) x 0.20

Combinazione n° 21
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V-) x 0.50
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V-) x 0.20

Combinazione n° 22
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V+) x 0.50
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V+) x 0.20

Combinazione n°23
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V-) x 0.50
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V-) x 0.20

Combinazione n°24
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V+) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V+) x 0.70

Combinazione n°25
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V-) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V-) x 0.70

Combinazione n°26
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V+) x 0.70

Combinazione n°27
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V-) x 0.70

Impostazioni di progetto

Spinte e verifiche secondo :
Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri	*M1*	*M2*

Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Verifica materiali : Stato Limite Ultimo

Impostazioni di analisi

Analisi per Combinazioni di Carico.

Rottura del terreno: Pressione passiva

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia): Solo nel calcolo dei coefficienti di spinta (le spinte sono considerate orizzontali)

Stabilità globale: Metodo di Bishop

Impostazioni analisi sismica

Combinazioni/Fase	**SLU**	**SLE**
Accelerazione al suolo [m/s^2]	0.796	0.268
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.522	2.524
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc*	0.291	0.198
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.200	1.200
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.000	1.000
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza Us [m]	0.048	0.048
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.486	0.486
Coefficiente di intensità sismica (percento)	4.732	1.595
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.50	

Influenza sisma nella spinta attiva da monte
Forma diagramma incremento sismico : Rettangolare

Analisi della paratia

L'analisi è stata eseguita per combinazioni di carico
La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.
Essa è discretizzata in 132 elementi fuori terra e 60 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.
Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva non reagiscono ad ulteriori incremento di carico.

Altezza fuori terra della paratia	6,60	[m]
Profondità di infissione	3,00	[m]
Altezza totale della paratia	9,60	[m]

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Pa	Spinta attiva, espressa in [kg]
Is	Incremento sismico della spinta, espressa in [kg]
Pw	Spinta della falda, espressa in [kg]
Pp	Resistenza passiva, espressa in [kg]
Pc	Controspinta, espressa in [kg]

n°	**Tipo**	**Pa**	**Y_{Pa}**	**Is**	**Y_{Is}**	**Pw**	**Y_{Pw}**	**Pp**	**Y_{Pp}**	**Pc**	**Y_{Pc}**
1	[A1-M1]	12158	4,04	--	--	--	--	-1060	7,24	144	9,28

2	[A2-M2]	12121	4,03	--	--	--	--	-1008	7,23	145	9,27
3	[A1-M1]	13831	4,23	--	--	--	--	-2413	7,15	495	9,20
4	[A2-M2]	13960	4,21	--	--	--	--	-2459	7,14	539	9,19
5	[A1-M1] S	10233	3,87	819	3,30	--	--	-148	8,42	39	6,77
6	[A2-M2] S	11600	4,12	819	3,30	--	--	-1255	7,20	204	9,25
7	[A1-M1] S	10231	3,88	861	3,30	--	--	-158	8,29	21	6,73
8	[A1-M1] S	9659	3,91	1441	3,30	--	--	-158	8,29	21	6,73
9	[A2-M2] S	11091	4,23	1654	3,30	--	--	-1520	7,18	271	9,23
10	[A2-M2] S	11833	4,16	856	3,30	--	--	-1477	7,18	261	9,24
11	[A1-M1] S	9629	3,93	1515	3,30	--	--	-174	8,12	7	6,67
12	[A2-M2] S	11324	4,27	1725	3,30	--	--	-1765	7,17	336	9,22
13	[SLEQ]	11025	3,83	--	--	--	--	-145	8,47	48	6,79
14	[SLEF]	11081	3,84	--	--	--	--	-157	8,29	21	6,73
15	[SLEF]	11025	3,83	--	--	--	--	-145	8,47	48	6,79
16	[SLER]	11178	3,85	--	--	--	--	-199	7,93	0	6,60
17	[SLER]	11120	3,84	--	--	--	--	-170	8,16	9	6,68
18	[SLEQ] S	10612	3,85	448	3,30	--	--	-151	8,38	33	6,76
19	[SLEQ] S	10807	3,84	236	3,30	--	--	-148	8,43	40	6,78
20	[SLEF] S	10635	3,87	485	3,30	--	--	-168	8,17	10	6,69
21	[SLEF] S	10846	3,85	255	3,30	--	--	-162	8,23	15	6,71
22	[SLEF] S	10612	3,85	448	3,30	--	--	-151	8,38	33	6,76
23	[SLEF] S	10807	3,84	236	3,30	--	--	-148	8,43	40	6,78
24	[SLER] S	10681	3,89	541	3,30	--	--	-223	7,77	1	9,56
25	[SLER] S	10916	3,87	284	3,30	--	--	-211	7,84	0	9,60
26	[SLER] S	10654	3,87	505	3,30	--	--	-186	8,02	2	6,64
27	[SLER] S	10876	3,86	265	3,30	--	--	-178	8,08	5	6,66

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
Rc Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kg]
Rt Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kg]
Rv Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kg]
Rp Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kg]

n°	Tipo	Rc	Y_{Rc}	Rt	Y_{Rt}	Rv	Y_{Rv}	Rp	Y_{Rp}
1	[A1-M1]	0	0,00	11240	3,81	--	--	--	--
2	[A2-M2]	0	0,00	11255	3,81	--	--	--	--
3	[A1-M1]	0	0,00	11910	3,84	--	--	--	--
4	[A2-M2]	0	0,00	12036	3,84	--	--	--	--
5	[A1-M1] S	0	0,00	10943	3,78	--	--	--	--
6	[A2-M2] S	0	0,00	11365	3,81	--	--	--	--
7	[A1-M1] S	0	0,00	10956	3,78	--	--	--	--
8	[A1-M1] S	0	0,00	10963	3,78	--	--	--	--
9	[A2-M2] S	0	0,00	11493	3,82	--	--	--	--
10	[A2-M2] S	0	0,00	11469	3,82	--	--	--	--
11	[A1-M1] S	0	0,00	10977	3,78	--	--	--	--
12	[A2-M2] S	0	0,00	11617	3,83	--	--	--	--
13	[SLEQ]	0	0,00	10928	3,78	--	--	--	--
14	[SLEF]	0	0,00	10946	3,78	--	--	--	--
15	[SLEF]	0	0,00	10928	3,78	--	--	--	--
16	[SLER]	0	0,00	10979	3,78	--	--	--	--
17	[SLER]	0	0,00	10959	3,78	--	--	--	--
18	[SLEQ] S	0	0,00	10942	3,78	--	--	--	--
19	[SLEQ] S	0	0,00	10935	3,78	--	--	--	--
20	[SLEF] S	0	0,00	10961	3,78	--	--	--	--
21	[SLEF] S	0	0,00	10954	3,78	--	--	--	--
22	[SLEF] S	0	0,00	10942	3,78	--	--	--	--
23	[SLEF] S	0	0,00	10935	3,78	--	--	--	--
24	[SLER] S	0	0,00	10999	3,78	--	--	--	--
25	[SLER] S	0	0,00	10989	3,78	--	--	--	--
26	[SLER] S	0	0,00	10975	3,78	--	--	--	--
27	[SLER] S	0	0,00	10967	3,78	--	--	--	--

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
P_{NUL} Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
P_{INV} Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
C_{ROT} Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R_{MAX} Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]
Pp Portanza di punta, espressa in [kg]

n°	Tipo	P_{NUL}	P_{INV}	C_{ROT}	MP	R/R_{MAX}	Pp
1	[A1-M1]	6,60	6,60	8,66	0.00	0,44	8868
2	[A2-M2]	6,60	6,60	8,64	0.00	0,83	4987
3	[A1-M1]	6,60	6,60	8,45	0.00	0,90	8868
4	[A2-M2]	6,60	6,60	8,41	0.00	1,86	4987
5	[A1-M1] S	6,60	8,20	7,16	0.00	0,15	8868
6	[A2-M2] S	6,60	6,60	8,58	0.00	1,01	4987
7	[A1-M1] S	6,60	8,05	7,01	0.00	0,17	8868
8	[A1-M1] S	6,60	8,05	7,01	0.00	0,17	8868
9	[A2-M2] S	6,60	6,60	8,53	0.00	1,20	4987
10	[A2-M2] S	6,60	6,60	8,53	0.00	1,16	4987
11	[A1-M1] S	6,60	7,85	6,84	0.00	0,21	8868
12	[A2-M2] S	6,60	6,60	8,49	0.00	1,35	4987
13	[SLEQ]	6,60	8,30	7,22	0.00	0,14	8868
14	[SLEF]	6,60	8,05	7,02	0.00	0,17	8868
15	[SLEF]	6,60	8,30	7,22	0.00	0,14	8868
16	[SLER]	6,60	7,65	6,63	0.00	0,31	8868
17	[SLER]	6,60	7,90	6,87	0.00	0,19	8868
18	[SLEQ] S	6,60	8,15	7,12	0.00	0,15	8868
19	[SLEQ] S	6,60	8,20	7,17	0.00	0,15	8868
20	[SLEF] S	6,60	7,90	6,89	0.00	0,20	8868
21	[SLEF] S	6,60	7,95	6,95	0.00	0,18	8868
22	[SLEF] S	6,60	8,15	7,12	0.00	0,15	8868
23	[SLEF] S	6,60	8,20	7,17	0.00	0,15	8868
24	[SLER] S	6,60	7,45	9,48	0.00	0,27	8868
25	[SLER] S	6,60	7,55	9,55	0.00	0,32	8868
26	[SLER] S	6,60	7,75	6,73	0.00	0,24	8868
27	[SLER] S	6,60	7,80	6,80	0.00	0,22	8868

Risultati tiranti

Caratteristiche dei tiranti utilizzati

Simbologia adottata

Y	ordinata della fila rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
nt	numero di tiranti della fila
N	sforzo su ogni tirante della fila espresso in [kg]
L	lunghezza totale di progetto del tirante espressa in [m]
L_f	lunghezza di fondazione di progetto del tirante espressa in [m]
Ld	lunghezza totale definita del tirante espressa in [m]
Ld_f	lunghezza di fondazione definita del tirante espressa in [m]
FS	Fattore di sicurezza. Rapporto tra lunghezza di fondazione di progetto e lunghezza di fondazione definita.
A_f	area di armatura in ogni tirante espressa in [cmq]
Rt/ml	reazione a metro lineare del tirante della fila espresso in [kg]
σ_f	tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [kg/cmq]
u	spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]

2 file di tiranti attivi armati con trefoli

n°	Y	nt	A_f	L	L_f	Ld	Ld_f	FS
1	2,00	3	4,17	10,50	3,51	14,00	7,00	2.00
2	5,50	3	4,17	10,90	3,88	14,00	7,00	1.80

Combinazione n°1

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19260	5778,02	4618,72	-0,05719
2	20610	6183,07	4942,50	0,05598

Combinazione n°2

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19299	5789,71	4628,07	-0,05387
2	20625	6187,43	4945,99	0,05722

Combinazione n°3

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	20010	6002,95	4798,52	0,00683
2	22237	6671,08	5332,60	0,19454

Combinazione n°4

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	20258	6077,47	4858,09	0,02802
2	22436	6730,88	5380,40	0,21154

Combinazione n°5

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19122	5736,69	4585,68	-0,06900
2	19695	5908,38	4722,93	-0,02200

Combinazione n°6

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19412	5823,56	4655,13	-0,04423
2	20904	6271,11	5012,87	0,08098

Combinazione n°7

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19135	5740,61	4588,82	-0,06788
2	19727	5918,07	4730,67	-0,01924

Combinazione n°8

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19161	5748,18	4594,87	-0,06573
2	19728	5918,28	4730,84	-0,01918

Combinazione n°9

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19553	5866,03	4689,08	-0,03214
2	21214	6364,07	5087,18	0,10737

Combinazione n°10

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19517	5855,11	4680,34	-0,03525
2	21167	6350,13	5076,04	0,10341

Combinazione n°11

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19176	5752,69	4598,47	-0,06445
2	19762	5928,47	4738,99	-0,01629

Combinazione n°12

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19695	5908,42	4722,96	-0,02008
2	21514	6454,26	5159,28	0,13298

Combinazione n°13

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19082	5724,72	4576,11	-0,07240
2	19681	5904,36	4719,71	-0,02314

Combinazione n°14

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19101	5730,44	4580,69	-0,07077
2	19726	5917,88	4730,52	-0,01930

Combinazione n°15

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19082	5724,72	4576,11	-0,07240
2	19681	5904,36	4719,71	-0,02314

Combinazione n°16

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19143	5742,86	4590,61	-0,06724
2	19802	5940,57	4748,65	-0,01286

Combinazione n°17

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19117	5735,03	4584,35	-0,06947
2	19756	5926,87	4737,70	-0,01675

Combinazione n°18

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19110	5732,98	4582,72	-0,07005
2	19705	5911,49	4725,41	-0,02111

Combinazione n°19

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19097	5729,07	4579,59	-0,07116
2	19694	5908,12	4722,72	-0,02207

Combinazione n°20

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19131	5739,39	4587,84	-0,06823
2	19752	5925,59	4736,69	-0,01711

Combinazione n°21

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19117	5735,15	4584,45	-0,06943
2	19740	5921,94	4733,76	-0,01815

Combinazione n°22

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19110	5732,98	4582,72	-0,07005
2	19705	5911,49	4725,41	-0,02111

Combinazione n°23

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19097	5729,07	4579,59	-0,07116
2	19694	5908,12	4722,72	-0,02207

Combinazione n°24

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19178	5753,45	4599,08	-0,06423
2	19839	5951,58	4757,45	-0,00973

Combinazione n°25

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19161	5748,36	4595,01	-0,06568
2	19820	5946,05	4753,04	-0,01130

Combinazione n°26

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19148	5744,36	4591,81	-0,06682
2	19783	5934,91	4744,13	-0,01446

Combinazione n°27

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19133	5739,91	4588,26	-0,06808
2	19770	5931,08	4741,07	-0,01555

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n° Indice della combinazione/fase
Tipo Tipo della combinazione/fase
Y ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M momento flettente massimo e minimo espresso in [kgm]
N sforzo normale massimo e minimo espresso in [kg] (positivo di compressione)
T taglio massimo e minimo espresso in [kg]

n°	Tipo	M	Y_M	T	Y_T	N	Y_N	
1	[A1-M1]	2026	2,00	3114	5,50	5523	9,60	MAX
--	--	-1150	4,15	-2923	2,00	0	0,00	MIN
2	[A2-M2]	2021	2,00	3165	5,50	5529	9,60	MAX
--	--	-1195	4,15	-2957	2,00	0	0,00	MIN
3	[A1-M1]	2328	2,00	3893	5,50	5767	9,60	MAX
--	--	-2122	4,20	-3459	2,00	0	0,00	MIN
4	[A2-M2]	2265	2,00	4051	5,50	5813	9,60	MAX
--	--	-2279	4,15	-3652	2,00	0	0,00	MIN
5	[A1-M1] S	1774	2,00	2806	5,50	5415	9,60	MAX
--	--	-723	3,95	-2900	2,00	0	0,00	MIN
6	[A2-M2] S	2109	2,00	3295	5,50	5569	9,60	MAX
--	--	-1357	4,15	-2982	2,00	0	0,00	MIN
7	[A1-M1] S	1783	2,00	2813	5,50	5420	9,60	MAX
--	--	-737	3,95	-2908	2,00	0	0,00	MIN
8	[A1-M1] S	1781	2,00	2810	5,50	5423	9,60	MAX
--	--	-728	3,95	-2908	2,00	0	0,00	MIN
9	[A2-M2] S	2201	2,00	3441	5,50	5616	9,60	MAX
--	--	-1538	4,20	-3043	2,00	0	0,00	MIN
10	[A2-M2] S	2173	2,00	3423	5,50	5607	9,60	MAX
--	--	-1517	4,15	-3037	2,00	0	0,00	MIN
11	[A1-M1] S	1789	2,00	2816	5,50	5428	9,60	MAX
--	--	-743	3,95	-2916	2,00	0	0,00	MIN
12	[A2-M2] S	2263	2,00	3588	5,50	5661	9,60	MAX

--	--	-1721	4,20	-3147	2,00	0	0,00	MIN
13	[SLEQ]	1776	2,00	2808	5,50	5410	9,60	MAX
--	--	-730	3,90	-2899	2,00	0	0,00	MIN
14	[SLEF]	1786	2,00	2817	5,50	5417	9,60	MAX
--	--	-750	3,90	-2918	2,00	0	0,00	MIN
15	[SLEF]	1776	2,00	2808	5,50	5410	9,60	MAX
--	--	-730	3,90	-2899	2,00	0	0,00	MIN
16	[SLER]	1788	2,00	2831	5,50	5429	9,60	MAX
--	--	-781	3,90	-2971	2,00	0	0,00	MIN
17	[SLER]	1788	2,00	2822	5,50	5421	9,60	MAX
--	--	-762	3,90	-2937	2,00	0	0,00	MIN
18	[SLEQ] S	1780	2,00	2811	5,50	5415	9,60	MAX
--	--	-734	3,95	-2903	2,00	0	0,00	MIN
19	[SLEQ] S	1778	2,00	2810	5,50	5413	9,60	MAX
--	--	-732	3,95	-2901	2,00	0	0,00	MIN
20	[SLEF] S	1789	2,00	2820	5,50	5422	9,60	MAX
--	--	-754	3,95	-2923	2,00	0	0,00	MIN
21	[SLEF] S	1787	2,00	2818	5,50	5420	9,60	MAX
--	--	-752	3,90	-2920	2,00	0	0,00	MIN
22	[SLEF] S	1780	2,00	2811	5,50	5415	9,60	MAX
--	--	-734	3,95	-2903	2,00	0	0,00	MIN
23	[SLEF] S	1778	2,00	2810	5,50	5413	9,60	MAX
--	--	-732	3,95	-2901	2,00	0	0,00	MIN
24	[SLER] S	1797	2,00	2845	5,50	5436	9,60	MAX
--	--	-802	3,95	-2975	2,00	0	0,00	MIN
25	[SLER] S	1792	2,00	2837	5,50	5432	9,60	MAX
--	--	-790	3,95	-2973	2,00	0	0,00	MIN
26	[SLER] S	1792	2,00	2825	5,50	5427	9,60	MAX
--	--	-766	3,90	-2942	2,00	0	0,00	MIN
27	[SLER] S	1790	2,00	2824	5,50	5424	9,60	MAX
--	--	-764	3,90	-2939	2,00	0	0,00	MIN

Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
U	spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
V	spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	**Tipo**	**U**	**Y_U**	**V**	**Y_V**	
1	[A1-M1]	0,0713	4,55	0,0160	0,00	MAX
--	--	-0,0613	1,70	0,0000	0,00	MIN
2	[A2-M2]	0,0755	4,50	0,0160	0,00	MAX
--	--	-0,0588	1,65	0,0000	0,00	MIN
3	[A1-M1]	0,2433	4,45	0,0166	0,00	MAX
--	--	-0,0474	0,00	0,0000	0,00	MIN
4	[A2-M2]	0,2721	4,35	0,0168	0,00	MAX
--	--	-0,0529	0,00	0,0000	0,00	MIN
5	[A1-M1] S	0,0029	8,20	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0691	1,95	0,0000	0,00	MIN
6	[A2-M2] S	0,1037	4,50	0,0161	0,00	MAX
--	--	-0,0518	1,55	0,0000	0,00	MIN
7	[A1-M1] S	0,0030	8,05	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0681	1,95	0,0000	0,00	MIN
8	[A1-M1] S	0,0064	0,00	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0658	1,95	0,0000	0,00	MIN
9	[A2-M2] S	0,1359	4,50	0,0162	0,00	MAX
--	--	-0,0441	1,45	0,0000	0,00	MIN
10	[A2-M2] S	0,1311	4,50	0,0162	0,00	MAX
--	--	-0,0473	1,45	0,0000	0,00	MIN
11	[A1-M1] S	0,0062	0,00	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0646	1,95	0,0000	0,00	MIN
12	[A2-M2] S	0,1680	4,45	0,0163	0,00	MAX
--	--	-0,0391	1,25	0,0000	0,00	MIN
13	[SLEQ]	0,0028	8,30	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0726	1,95	0,0000	0,00	MIN
14	[SLEF]	0,0030	8,05	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0710	1,90	0,0000	0,00	MIN
15	[SLEF]	0,0028	8,30	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0726	1,95	0,0000	0,00	MIN
16	[SLER]	0,0038	7,65	0,0157	0,00	MAX

--	--	-0,0678	1,90	0,0000	0,00	MIN
17	[SLER]	0,0033	7,90	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0699	1,90	0,0000	0,00	MIN
18	[SLEQ] S	0,0029	8,15	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0702	1,95	0,0000	0,00	MIN
19	[SLEQ] S	0,0028	8,20	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0713	1,95	0,0000	0,00	MIN
20	[SLEF] S	0,0032	7,90	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0685	1,90	0,0000	0,00	MIN
21	[SLEF] S	0,0031	7,95	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0697	1,90	0,0000	0,00	MIN
22	[SLEF] S	0,0029	8,15	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0702	1,95	0,0000	0,00	MIN
23	[SLEF] S	0,0028	8,20	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0713	1,95	0,0000	0,00	MIN
24	[SLER] S	0,0053	4,25	0,0158	0,00	MAX
--	--	-0,0649	1,90	0,0000	0,00	MIN
25	[SLER] S	0,0040	7,55	0,0158	0,00	MAX
--	--	-0,0663	1,90	0,0000	0,00	MIN
26	[SLER] S	0,0036	7,75	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0672	1,90	0,0000	0,00	MIN
27	[SLER] S	0,0034	7,80	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0685	1,90	0,0000	0,00	MIN

Stabilità globale

Metodo di Bishop
Numero di cerchi analizzati 100

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(X_C; Y_C)	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X_V; Y_V)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X_M; Y_M)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza

n°	Tipo	(X_C, Y_C)	R	(X_V, Y_V)	(X_M, Y_M)	FS
2	[A2-M2]	(-4,80; 0,00)	10,73	(-9,81; -9,49)	(5,93; 0,00)	1,77
4	[A2-M2]	(-4,80; 0,00)	10,73	(-9,81; -9,49)	(5,93; 0,00)	1,71
6	[A2-M2] S	(-4,80; 0,00)	10,73	(-9,81; -9,49)	(5,93; 0,00)	1,67
9	[A2-M2] S	(-4,80; 0,00)	10,73	(-9,81; -9,49)	(5,93; 0,00)	1,64
10	[A2-M2] S	(-4,80; 0,00)	10,73	(-9,81; -9,49)	(5,93; 0,00)	1,66
12	[A2-M2] S	(-4,80; 0,00)	10,73	(-9,81; -9,49)	(5,93; 0,00)	1,64

Combinazione n°12

Numero di strisce 50

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)
Le strisce sono numerate da monte verso valle

N°	numero d'ordine della striscia
W	peso della striscia espresso in [kg]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
L	sviluppo della base della striscia espressa in [m] (L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
Ctn, Ctt	contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kg]

Caratteristiche delle strisce

N°	W	α(°)	W sin α	L	ϕ	c	u	(Ctn; Ctt)
1	49,26	-26,90	-22,28	0,35	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
2	156,61	-25,02	-66,23	0,35	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
3	255,22	-23,17	-100,40	0,34	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
4	345,44	-21,34	-125,70	0,34	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
5	427,61	-19,54	-142,99	0,34	26,56	0,160	0,000	(0; 0)

6	502,01	-17,75	-153,06	0,33	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
7	568,88	-15,99	-156,67	0,33	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
8	628,42	-14,24	-154,53	0,33	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
9	680,81	-12,50	-147,33	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
10	726,22	-10,77	-135,74	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
11	2161,66	-9,06	-340,27	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
12	2816,15	-7,35	-360,23	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
13	2841,27	-5,65	-279,63	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
14	2859,78	-3,95	-197,10	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
15	2871,75	-2,26	-113,22	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
16	2877,19	-0,57	-28,57	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
17	2876,13	1,12	56,28	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
18	2868,56	2,81	140,74	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
19	3337,75	4,51	262,21	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
20	3593,52	6,20	388,30	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
21	3566,23	7,91	490,54	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
22	3532,24	9,62	590,06	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
23	3491,47	11,33	686,23	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
24	3443,80	13,06	778,44	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
25	3389,09	14,81	866,04	0,33	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
26	3327,18	16,56	948,36	0,33	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
27	3257,88	18,33	1024,71	0,33	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
28	3180,97	20,12	1094,35	0,34	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
29	3096,19	21,93	1156,52	0,34	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
30	3003,27	23,77	1210,40	0,35	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
31	2901,85	25,63	1255,12	0,35	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
32	7101,37	27,50	3279,58	0,35	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
33	6985,08	29,40	3429,14	0,36	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
34	6859,35	31,33	3567,03	0,37	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
35	6727,41	33,31	3694,19	0,37	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
36	6587,09	35,33	3808,84	0,38	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
37	6434,21	37,40	3907,70	0,39	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
38	6267,70	39,53	3989,01	0,40	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
39	6086,31	41,72	4050,71	0,42	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
40	5888,47	44,00	4090,45	0,43	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
41	5672,24	46,37	4105,38	0,45	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
42	5435,15	48,84	4092,04	0,47	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
43	5173,98	51,44	4046,09	0,50	27,45	0,224	0,000	(6119; 2054)
44	4777,26	54,21	3875,03	0,53	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
45	3998,65	57,17	3360,01	0,58	27,01	0,192	0,000	(0; 0)
46	3641,08	60,40	3165,75	0,63	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
47	3232,54	63,98	2904,97	0,71	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
48	2745,67	68,12	2547,90	0,84	26,56	0,160	0,000	(5905; 194)
49	2122,12	73,25	2032,10	1,08	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
50	882,84	83,07	876,40	2,59	26,56	0,160	0,000	(0; 0)

Resistenza a taglio paratia= 0,00 [kg]
ΣW_i= 166252,93 [kg]
$\Sigma W_i \sin\alpha_i$= 73246,68 [kg]
$\Sigma W_i \tan\phi_i$= 84307,36 [kg]
$\Sigma \tan\alpha_i \tan\phi_i$= 15.40

SEZIONE 5-5 / PARATIA 1

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Metodo di analisi

Calcolo della profondità di infissione

Nel caso generale l'equilibrio della paratia è assicurato dal bilanciamento fra la spinta attiva agente da monte sulla parte fuori terra, la resistenza passiva che si sviluppa da valle verso monte nella zona interrata e la controspinta che agisce da monte verso valle nella zona interrata al di sotto del centro di rotazione.
Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la controspinta sarà assente.
Pertanto il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, controspinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).
Nel calcolo classico delle paratie si suppone che essa sia infinitamente rigida e che possa subire una rotazione intorno ad un punto (*Centro di rotazione*) posto al di sotto della linea di fondo scavo (per paratie non tirantate).
Occorre pertanto costruire i diagrammi di spinta attiva e di spinta (resistenza) passiva agenti sulla paratia. A partire da questi si costruiscono i diagrammi risultanti.
Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

K_{am} diagramma della spinta attiva agente da monte
K_{av} diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata
K_{pm} diagramma della spinta passiva agente da monte
K_{pv} diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata.

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$D_m=K_{pm}-K_{av}$ e $D_v=K_{pv}-K_{am}$

Questi diagrammi rappresentano i valori limiti delle pressioni agenti sulla paratia. La soluzione è ricercata per tentativi facendo variare la profondità di infissione e la posizione del centro di rotazione fino a quando non si raggiunge l'equilibrio sia alla traslazione che alla rotazione.
Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione
si può agire con tre modalità :
1. applicazione di un coefficiente moltiplicativo alla profondità di infissione strettamente necessaria per l'equilibrio
2. riduzione della spinta passiva tramite un coefficiente di sicurezza
3. riduzione delle caratteristiche del terreno tramite coefficienti di sicurezza su tan(ϕ) e sulla coesione

Calcolo della spinte
Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb: cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea o spezzata (nel caso di terreno stratificato).

La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il valore della spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo).
I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:
- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio *(W)*, carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura *(R e C)* e resistenza per coesione lungo la parete *(A)*;
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima nel caso di spinta attiva e minima nel caso di spinta passiva.
Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata *z*. Noto il diagramma delle pressioni si ricava il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

Per tenere conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di **Mononobe-Okabe** (cui fa riferimento la Normativa Italiana).
Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con *W* il peso del cuneo e con *C* il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W^*C$$

Indicando con *S* la spinta calcolata in condizioni statiche e con S_s la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/2 dell'altezza della parete stessa(diagramma rettangolare).

Tiranti di ancoraggio

Le paratie possono essere tirantate, con tiranti attivi o con tiranti passivi, realizzati entrambi tramite perforazione e iniezione del foro con malta in pressione previa sistemazione delle armature opportune.
I tiranti attivi, contrariamente ai tiranti passivi, sono sottoposti ad uno sforzo di pretensione prendendo il contrasto sulla struttura stessa. Il tiro finale sul tirante attivo dipende sia dalla pretensione che dalla deformazione della struttura oltre che dalle cadute di tensione. Nel caso di tiranti passivi il tiro dipende unicamente dalla deformabilità della struttura. L'armatura dei tiranti attivi è costituita da trefoli ad alta resistenza (trefoli per c.a.p.), viceversa i tiranti passivi possono essere armati con trefoli o con tondini o, in alcuni casi, con profilati tubolari.
La capacità di resistenza dei tiranti è legata all'attrito e all'aderenza fra superficie del tirante e terreno.
Calcolo della lunghezza di ancoraggio

La lunghezza di ancoraggio (fondazione) del tirante si calcola determinando la lunghezza massima atta a soddisfare le tre seguenti condizioni:

1. Lunghezza necessaria per garantire l'equilibrio fra tensione tangenziale che si sviluppa fra la superficie laterale del tirante ed il terreno e lo sforzo applicato al tirante;
2. Lunghezza necessaria a garantire l'aderenza malta-armatura;
3. Lunghezza necessaria a garantire la resistenza della malta.

Siano **N** lo sforzo nel tirante, $\boldsymbol{\delta}$ l'angolo d'attrito tirante-terreno, $\mathbf{c_a}$ l'adesione tirante-terreno, $\boldsymbol{\gamma}$ il peso di volume del terreno, **D** ed $\mathbf{L_f}$ il diametro e la lunghezza di ancoraggio (o lunghezza efficace) del tirante ed **H** la profondità media al di sotto del piano campagna abbiamo la relazione

$$N = \pi\, D\, L_f\, \gamma\, H\, K_s\, tg\, \delta + \pi\, D\, L_f\, c_a$$

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio L_f

$$L_f = \frac{N}{\pi\, D\, \gamma\, H\, K_s\, tg\, \delta + \pi\, D\, c_a}$$

$\mathbf{K_s}$ rappresenta il coefficiente di spinta che si assume pari al coefficiente di spinta a riposo

$$K_s = K_0 = 1 - \sin\phi$$

Per quanto riguarda la seconda condizione, la lunghezza necessaria atta a garantire l'aderenza malta-armatura è data dalla relazione

$$L_f = \frac{N}{\pi \, d \, \tau_{c0} \, \omega}$$

dove **d** è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, τ_{c0} è la resistenza tangenziale limite della malta ed ω è un coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli (ω **= 1 - 0.075 [n trefoli - 1]**).
Per quanto riguarda la verifica della terza condizione si impone che la tensione tangenziale limite tirante-terreno non possa superare il valore τ_c ottenuto come media fra la τ_{c0} e la τ_{c1} della malta.
Alla lunghezza efficace determinata prendendo il massimo valore di L_f si deve aggiungere la lunghezza di franco **L** che rappresenta la lunghezza del tratto che compreso fra la paratia e la superficie di ancoraggio.
La lunghezza totale del tirante sarà quindi data da

$$L_t = L_f + L$$

Nel caso di tiranti attivi, cioè tiranti soggetti ad uno stato di pretensione, bisogna considerare le cadute di tensione. A tale scopo è stato introdotto il coefficiente di caduta di tensione, β, che rappresenta il rapporto fra lo sforzo N_0 al momento del tiro e lo sforzo **N** in esercizio

$$\beta = N_0 / N$$

Analisi ad elementi finiti

La paratia è considerata come una struttura a prevalente sviluppo lineare (si fa riferimento ad un metro di larghezza) con comportamento a trave. Come caratteristiche geometriche della sezione si assume il momento d'inerzia I e l'area A per metro lineare di larghezza della paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia.
La parte fuori terra della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri e più o meno costante per tutti gli elementi. La suddivisione è suggerita anche dalla eventuale presenza di tiranti, carichi e vincoli. Infatti questi elementi devono capitare in corrispondenza di un nodo. Nel caso di tirante è inserito un ulteriore elemento atto a schematizzarlo. Detta L la lunghezza libera del tirante, A_f l'area di armatura nel tirante ed E_s il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad L, area A_f, inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico E_s. La parte interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.
I carichi agenti possono essere di tipo distribuito (spinta della terra, diagramma aggiuntivo di carico, spinta della falda, diagramma di spinta sismica) oppure concentrati. I carichi distribuiti sono riportati sempre come carichi concentrati nei nodi (sotto forma di reazioni di incastro perfetto cambiate di segno).

Schematizzazione del terreno

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso è visto come un letto di molle indipendenti fra di loro reagenti solo a sforzo assiale di compressione. La rigidezza della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (*costante di Winkler*). La costante di sottofondo, k, è definita come la pressione unitaria che occorre applicare per ottenere uno spostamento unitario. Dimensionalmente è espressa quindi come rapporto fra una pressione ed uno spostamento al cubo [F/L^3]. È evidente che i risultati sono tanto migliori quanto più è elevato il numero delle molle che schematizzano il terreno. Se (m è l'interasse fra le molle (in cm) e b è la larghezza della paratia in direzione longitudinale (b=100 cm) occorre ricavare l'area equivalente, A_m, della molla (a cui si assegna una lunghezza pari a 100 cm). Indicato con E_m il modulo elastico del materiale costituente la paratia (in Kg/cm^2), l'equivalenza, in termini di rigidezza, si esprime come

$$A_m = 10000 \times \frac{k \, \Delta_m}{E_m}$$

Per le molle di estremità, in corrispondenza della linea di fondo scavo ed in corrispondenza dell'estremità inferiore della paratia, si assume una area equivalente dimezzata. Inoltre, tutte le molle hanno, ovviamente, rigidezza flessionale e tagliante nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidezza di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidezza degli elementi della paratia (elementi a rigidezza flessionale, tagliante ed assiale), delle matrici di rigidezza dei tiranti (solo rigidezza assiale) e delle molle (rigidezza assiale).

Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno

A questo punto vediamo come è effettuata l'analisi. Un tipo di analisi molto semplice e veloce sarebbe l'analisi elastica (peraltro disponibile nel programma ***PAC***). Ma si intuisce che considerare il terreno con un comportamento infinitamente elastico è una approssimazione alquanto grossolana. Occorre quindi introdurre qualche correttivo che meglio ci aiuti a modellare il terreno. Fra le varie soluzioni possibili una delle più praticabili e che fornisce risultati soddisfacenti è quella di considerare il terreno con comportamento elasto-plastico perfetto. Si assume cioè che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero. Rimane da scegliere il criterio di plasticizzazione del terreno (molle). Si può fare riferimento ad un criterio di tipo cinematico: la resistenza della molla cresce con la deformazione fino a quando lo spostamento non raggiunge il valore X_{max}; una volta superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti. Un altro criterio può essere di tipo statico: si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione p_{max}. Tale pressione p_{max} può essere imposta pari al valore della pressione passiva in corrispondenza della quota della molla. D'altronde un ulteriore criterio si può ottenere dalla combinazione dei due descritti precedentemente: plasticizzazione o per raggiungimento dello spostamento limite o per raggiungimento della pressione passiva. Dal

punto di vista strettamente numerico è chiaro che l'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche). Questo comporta un aggravio computazionale non indifferente. L'entità di tale aggravio dipende poi dalla particolare tecnica adottata per la soluzione. Nel caso di analisi elastica lineare il problema si risolve immediatamente con la soluzione del sistema fondamentale (K matrice di rigidezza, u vettore degli spostamenti nodali, p vettore dei carichi nodali)

$$Ku=p$$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale p0, fino a raggiungere il carico totale p. Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riassemblata escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidezza è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassemblaggio e la decomposizione della matrice, ma usano la matrice elastica iniziale (*metodo di Riks*).
Senza addentrarci troppo nei dettagli diremo che si tratta di un metodo di Newton-Raphson modificato e ottimizzato. L'analisi condotta secondo questa tecnica offre dei vantaggi immediati. Essa restituisce l'effettiva deformazione della paratia e le relative sollecitazioni; dà informazioni dettagliate circa la deformazione e la pressione sul terreno. Infatti la deformazione è direttamente leggibile, mentre la pressione sarà data dallo sforzo nella molla diviso per l'area di influenza della molla stessa. Sappiamo quindi quale è la zona di terreno effettivamente plasticizzato. Inoltre dalle deformazioni ci si può rendere conto di un possibile meccanismo di rottura del terreno.

Analisi per fasi di scavo

L'analisi della paratia per fasi di scavo consente di ottenere informazioni dettagliate sullo stato di sollecitazione e deformazione dell'opera durante la fase di realizzazione. In ogni fase lo stato di sollecitazione e di deformazione dipende dalla 'storia' dello scavo (soprattutto nel caso di paratie tirantate o vincolate).
Definite le varie altezze di scavo (in funzione della posizione di tiranti, vincoli, o altro) si procede per ogni fase al calcolo delle spinte inserendo gli elementi (tiranti, vincoli o carichi) attivi per quella fase, tendendo conto delle deformazioni dello stato precedente. Ad esempio, se sono presenti dei tiranti passivi si inserirà nell'analisi della fase la 'molla' che lo rappresenta. Indicando con u ed u_0 gli spostamenti nella fase attuale e nella fase precedente, con s ed s_0 gli sforzi nella fase attuale e nella fase precedente e con K la matrice di rigidezza della 'struttura' la relazione sforzi-deformazione è esprimibile nella forma

$$s=s_0+K(u-u_0)$$

Le modalità di analisi sono più complicate nel caso di tiranti attivi in quanto è importante conoscere la modalità di tiro: infatti il tirante può essere tesato prima dello scavo, oppure tesato alla fine della corrispondente fase di scavo, oppure al termine di tutto lo scavo. Nella fase in cui il tirante è tesato verra inserita una molla con uno stato di pretensione pari allo sforzo di tesatura. Nelle fasi successive il tirante verrà considerato come una semplice molla che 'ricorda', naturalmente, lo sforzo della fase precedente.
Ovviamente si otterranno soluzioni differenti in funzione della modalità di tiro selezionata.
Nel caso di tiranti attivi, inoltre, è analizzata un fase ulteriore (a lungo termine) nella quale il tiro iniziale è depurato delle cadute di tensione.
In sostanza analizzare la paratia per fasi di scavo oppure 'direttamente' porta a risultati abbastanza diversi sia per quanto riguarda lo stato di deformazione e sollecitazione dell'opera sia per quanto riguarda il tiro dei tiranti.

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1.3.
È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.
In particolare il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 6x6 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

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

$$\eta = \frac{\Sigma_i \left(\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) tg\phi_i}{m} \right)}{\Sigma_i W_i \sin\alpha_i}$$

dove il termine m è espresso da

$$m = (1 + \frac{tg\phi_i tg\alpha_i}{\eta}) \cos\alpha_i$$

In questa espressione *n* è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i_{esima} rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i_{esima} , c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.
L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine *m* che è funzione di η. Quindi essa è risolta per successive approsimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di *m* ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	5,50	[m]
Profondità di infissione	3,00	[m]
Altezza totale della paratia	8,50	[m]
Lunghezza paratia	10,00	[m]
Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,50	[m]
Diametro dei micropali	20,00	[cm]
Numero totale di micropali	19	
Numero di micropali per metro lineare	1.90	
Diametro esterno del tubolare	168,30	[mm]
Spessore del tubolare	10,00	[mm]

Geometria cordoli

Simbologia adottata
n° numero d'ordine del cordolo
Y posizione del cordolo sull'asse della paratia espresso in [m]

Cordoli in calcestruzzo
B Base della sezione del cordolo espresso in [cm]
H Altezza della sezione del cordolo espresso in [cm]

Cordoli in acciaio
A Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cmq]
W Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm^3]

n°	Y	Tipo	B	H	A	W
1	0,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--
2	2,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--
3	5,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento
(Sistema di riferimento con origine in testa alla paratia, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

N	X	Y	A
2	3,00	0,00	0,00
3	4,00	1,00	45,00
4	5,00	4,00	71,57
5	6,00	7,00	71,57
6	7,00	9,50	68,20
7	8,00	12,00	68,20
8	9,00	14,00	63,43
9	10,00	14,00	0,00

Profilo di valle

N	X	Y	A
1	-16,00	-18,00	0,00
2	-14,20	-18,00	87,92
3	-14,00	-12,50	0,00
4	-8,10	-12,50	89,18

5	-8,00	-5,50	0,00
6	0,00	-5,50	0,00

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
Descrizione	Descrizione del terreno
γ	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s	peso di volume saturo del terreno espresso [kg/mc]
ϕ	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
δ	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kg/cmq]

n°	Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c
1	Calcari alterati	2200,00	2400,00	32,00	21,00	0,200
2	Calcari scistosi	2400,00	2600,00	33,00	22,00	0,280
3	Calcari cristallini	2500,00	2700,00	38,00	25,00	0,330

Parametri per il calcolo dei tiranti

Simbologia adottata

ϕ_{min}	angolo d'attrito minimo interno del terreno espresso in [°]
δ_{min}	angolo d'attrito minimo terreno/paratia espresso in [°]
c_{min}	coesione minima del terreno espressa in [kg/cmq]
ϕ_{med}	angolo d'attrito medio interno del terreno espresso in [°]
δ_{med}	angolo d'attrito medio terreno/paratia espresso in [°]
c_{med}	coesione media del terreno espressa in [kg/cmq]

N°	Descrizione	ϕ_{min}	ϕ_{med}	δ_{min}	δ_{med}	c_{min}	c_{med}
1	Calcari alterati	0,00	32,00	0,00	21,00	0,000	1,000
2	Calcari scistosi	0,00	36,00	0,00	24,00	0,000	1,000
3	Calcari cristallini	0,00	40,00	0,00	30,00	0,000	1,000

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm^2/cm
α	inclinazione dello strato espressa in GRADI(°)
Terreno	Terreno associato allo strato

n°	sp	α	kw	Terreno
1	1,20	20,00	1,51	Calcari cristallini
2	3,00	25,00	1,87	Calcari alterati
3	15,00	0,00	6,59	Calcari scistosi

Caratteristiche materiali utilizzati

Calcestruzzo		
Peso specifico	2500	[kg/mc]
Classe di Resistenza	C25/30	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	306	[kg/cmq]
Tensione di progetto a compressione σ_c	99	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	6,1	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	18,5	[kg/cmq]
Acciaio		
Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f_{yk}	4589	[kg/cmq]
Caratteristiche acciaio cordoli in c.a.		
Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f_{yk}	4589	[kg/cmq]
Caratteristiche acciaio cordoli in acciaio.		
Tipo	Fe 360	

Tensione di snervamento f_{yk}	2400	[kg/cmq]
Malta utilizzata per i tiranti		
Classe di Resistenza	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	250	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	5,3	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	16,9	[kg/cmq]
Acciaio utilizzato per i tiranti		
Tipo	Trefoli	
Tensione di progetto σ_{fa}	15000,0	[kg/cmq]
Tensione di snervamento f_{yk}	22000,0	kg/cmq

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate
Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

F_x	Forza orizzontale espressa in [kg], positiva da monte verso valle
F_y	Forza verticale espressa in [kg], positiva verso il basso
M	Momento espresso in [kgm], positivo ribaltante
Q_i, Q_f	Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kg/mq]
V_i, V_s	Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kg/mq], positivi da monte verso valle
R	Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kg]

Condizione n°1
Carico distribuito sul profilo X_i = -8,00 X_f = 0,00 Q_i = 1500 Q_f = 1500

Condizione n°2
Carico distribuito sul profilo X_i = -8,00 X_f = 0,00 Q_i = 1000 Q_f = 1000

Descrizione tiranti di ancoraggio

Simbologia adottata - Caratteristiche geometriche

N	numero d'ordine della fila
Y	ordinata della fila espressa in [m] misurata dalla testa della paratia
I	interasse tra le file di tiranti espressa in [m]
alfa	inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
D	diametro della perforazione espresso in [cm]
Cesp	coeff. di espansione laterale
ALL	allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
nr	numero di tiranti della fila
Lt	lunghezza totale del tirante espresso in [m]
Lf	lunghezza di fondazione del tirante espresso in [m]

Simbologia adottata - Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	numero d'ordine della fila
At	area del singolo trefolo espressa in [cmq]
nt	numero di trefoli del tirante
T	tiro iniziale espresso in [kg]
δ	angolo di attrito medio tirante-terreno espresso in [°]
δ	angolo di attrito minimo tirante-terreno espresso in [°]
ca	adesione media tirante-terreno espresso in [kg/mq]
ca	adesione minima tirante-terreno espresso in [kg/mq]

Caratteristiche geometriche

N	Y	I	Alfa	D	Cesp	ALL	nr	Lt	Lf
1	2,00	3,00	20,00	16,00	1,20	Sfalsati	4	16,00	8,00
2	5,00	3,00	20,00	16,00	1,20	Sfalsati	4	16,00	8,00

Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	At	nt	T	δ_{med}	ca_{med}	δ_{min}	ca_{min}
1	1,39	3	20000	20,00	20,00	20,00	20,00
2	1,39	3	20000	20,00	20,00	20,00	20,00

Combinazioni di carico

Nella tabella sono riportate le condizioni di carico di ogni combinazione con il relativo coefficiente di partecipazione.

Combinazione n°1 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno)	x 1.00

Combinazione n°2 [DA1- A2M2]
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno)	x 1.00

Combinazione n°3 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno)	x 1.00
Condizione 2 (Var. strada)	x 1.00

Combinazione n°4 [DA1- A2M2]
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno)	x 1.00
Condizione 2 (Var. strada)	x 1.00

Combinazione n°5 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno / sisma V+)	x 1.00

Combinazione n°6 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno / sisma V-)	x 1.00

Combinazione n°7 [DA1- A2M2]
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno / sisma V+)	x 1.00

Combinazione n°8 [DA1- A2M2]
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno / sisma V-)	x 1.00

Combinazione n°9
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno)	x 0.20
Condizione 2 (Var. strada)	x 0.20

Combinazione n°10
Spinta terreno

Condizione 2 (Var. strada)	x 0.50
Condizione 1 (Perm strada e terreno)	x 0.20

Combinazione n°11
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno)	x 1.00
Condizione 2 (Var. strada)	x 0.70

Combinazione n°12
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno / sisma V+)	x 0.20
Condizione 2 (Var. strada / sisma V+)	x 0.20

Combinazione n°13
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno / sisma V-)	x 0.20
Condizione 2 (Var. strada / sisma V-)	x 0.20

Combinazione n°14
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno / sisma V+)	x 0.50
Condizione 2 (Var. strada / sisma V+)	x 0.20

Combinazione n°15
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno / sisma V-)	x 0.50
Condizione 2 (Var. strada / sisma V-)	x 0.20

Combinazione n°16
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm strada e terreno / sisma V-)	x 1.00
Condizione 2 (Var. strada / sisma V-)	x 0.70

Combinazione n°17
Spinta terreno

Condizione 2 (Var. strada / sisma V+)	x 1.00
Condizione 1 (Perm strada e terreno / sisma V+)	x 0.70

Impostazioni di progetto

Spinte e verifiche secondo :
Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Verifica materiali : Stato Limite Ultimo

Impostazioni di analisi

Analisi per Combinazioni di Carico.

Rottura del terreno: Pressione passiva

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia): Solo nel calcolo dei coefficienti di spinta (le spinte sono considerate orizzontali)

Stabilità globale: Metodo di Bishop

Impostazioni analisi sismica

Combinazioni/Fase	**SLU**	**SLE**
Accelerazione al suolo [m/s^2]	0.796	0.268
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.522	2.524
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc*	0.291	0.198
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.200	1.200
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.000	1.000

Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza Us [m]	0.043	0.043
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.502	0.502
Coefficiente di intensità sismica (percento)	4.893	1.649
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.50	

Influenza sisma nella spinta attiva da monte
Forma diagramma incremento sismico : Rettangolare

Analisi della paratia

L'analisi è stata eseguita per combinazioni di carico
La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.
Essa è discretizzata in 110 elementi fuori terra e 60 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.
Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva non reagiscono ad ulteriori incremento di carico.

Altezza fuori terra della paratia	5,50	[m]
Profondità di infissione	3,00	[m]
Altezza totale della paratia	8,50	[m]

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata
n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
Pa Spinta attiva, espressa in [kg]
Is Incremento sismico della spinta, espressa in [kg]
Pw Spinta della falda, espressa in [kg]
Pp Resistenza passiva, espressa in [kg]
Pc Controspinta, espressa in [kg]

n°	Tipo	Pa	Y_{Pa}	Is	Y_{Is}	Pw	Y_{Pw}	Pp	Y_{Pp}	Pc	Y_{Pc}
1	[A1-M1]	13094	3,33	--	--	--	--	-101	7,95	1336	5,89
2	[A2-M2]	20193	4,05	--	--	--	--	-4199	5,67	24	8,48
3	[A1-M1]	13061	3,32	--	--	--	--	-166	7,73	1438	5,93
4	[A2-M2]	20228	4,05	--	--	--	--	-4222	5,62	0	0,00
5	[A1-M1] S	12029	3,31	722	2,75	--	--	-253	8,15	1783	5,98
6	[A1-M1] S	12343	3,30	383	2,75	--	--	-257	8,15	1795	5,98
7	[A2-M2] S	16772	4,67	13147	2,75	--	--	-3880	5,70	0	0,00
8	[A2-M2] S	16772	4,67	9849	2,75	--	--	-3910	5,70	0	0,00
9	[SLEQ]	12704	3,28	--	--	--	--	-235	8,26	1777	5,96
10	[SLEF]	12702	3,28	--	--	--	--	-243	8,23	1788	5,97
11	[SLER]	12696	3,28	--	--	--	--	-275	8,09	1826	5,98
12	[SLEQ] S	12504	3,29	216	2,75	--	--	-233	8,26	1769	5,96
13	[SLEQ] S	12598	3,29	114	2,75	--	--	-234	8,26	1773	5,96
14	[SLEF] S	12501	3,29	216	2,75	--	--	-245	8,21	1785	5,97
15	[SLEF] S	12595	3,29	114	2,75	--	--	-246	8,21	1789	5,97
16	[SLER] S	12590	3,29	114	2,75	--	--	-274	8,09	1821	5,98
17	[SLER] S	12496	3,29	216	2,75	--	--	-270	8,10	1814	5,98

Simbologia adottata
n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
Rc Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kg]
Rt Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kg]
Rv Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kg]
Rp Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kg]

n°	Tipo	Rc	Y_{Rc}	Rt	Y_{Rt}	Rv	Y_{Rv}	Rp	Y_{Rp}
1	[A1-M1]	0	0,00	14329	3,53	--	--	--	--
2	[A2-M2]	0	0,00	16010	3,64	--	--	--	--
3	[A1-M1]	0	0,00	14331	3,53	--	--	--	--
4	[A2-M2]	0	0,00	16000	3,64	--	--	--	--
5	[A1-M1] S	0	0,00	14280	3,53	--	--	--	--
6	[A1-M1] S	0	0,00	14264	3,53	--	--	--	--
7	[A2-M2] S	0	0,00	26048	3,55	--	--	--	--

8	[A2-M2] S	0	0,00	22719	3,66	--	--	--	--
9	[SLEQ]	0	0,00	14246	3,53	--	--	--	--
10	[SLEF]	0	0,00	14246	3,53	--	--	--	--
11	[SLER]	0	0,00	14247	3,53	--	--	--	--
12	[SLEQ] S	0	0,00	14256	3,53	--	--	--	--
13	[SLEQ] S	0	0,00	14252	3,53	--	--	--	--
14	[SLEF] S	0	0,00	14256	3,53	--	--	--	--
15	[SLEF] S	0	0,00	14252	3,53	--	--	--	--
16	[SLER] S	0	0,00	14252	3,53	--	--	--	--
17	[SLER] S	0	0,00	14257	3,53	--	--	--	--

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
P_{NUL}	Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
P_{INV}	Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
C_{ROT}	Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP	Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R_{MAX}	Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]
Pp	Portanza di punta, espressa in [kg]

n°	Tipo	P_{NUL}	P_{INV}	C_{ROT}	MP	R/R_{MAX}	Pp
1	[A1-M1]	5,50	8,00	2,50	60.66	0,23	11766
2	[A2-M2]	5,50	5,70	2,50	96.72	16,87	6543
3	[A1-M1]	5,50	7,80	2,50	54.10	0,22	11766
4	[A2-M2]	5,50	5,50	2,50	95.08	94,85	6543
5	[A1-M1] S	5,50	5,50	2,50	19.67	0,29	11766
6	[A1-M1] S	5,50	5,50	2,50	21.31	0,30	11766
7	[A2-M2] S	5,50	5,80	2,50	100.00	100,00	6543
8	[A2-M2] S	5,50	5,80	2,50	100.00	100,00	6543
9	[SLEQ]	5,50	5,50	2,50	32.79	0,30	11766
10	[SLEF]	5,50	5,50	2,50	29.51	0,30	11766
11	[SLER]	5,50	5,50	2,50	14.75	0,29	11766
12	[SLEQ] S	5,50	5,50	2,50	32.79	0,30	11766
13	[SLEQ] S	5,50	5,50	2,50	32.79	0,30	11766
14	[SLEF] S	5,50	5,50	2,50	26.23	0,29	11766
15	[SLEF] S	5,50	5,50	2,50	26.23	0,30	11766
16	[SLER] S	5,50	5,50	2,50	14.75	0,29	11766
17	[SLER] S	5,50	5,50	2,50	16.39	0,29	11766

Risultati tiranti

Caratteristiche dei tiranti utilizzati

Simbologia adottata

Y	ordinata della fila rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
nt	numero di tiranti della fila
N	sforzo su ogni tirante della fila espresso in [kg]
L	lunghezza totale di progetto del tirante espressa in [m]
L_f	lunghezza di fondazione di progetto del tirante espressa in [m]
Ld	lunghezza totale definita del tirante espressa in [m]
Ld_f	lunghezza di fondazione definita del tirante espressa in [m]
FS	Fattore di sicurezza. Rapporto tra lunghezza di fondazione di progetto e lunghezza di fondazione definita.
A_f	area di armatura in ogni tirante espressa in [cmq]
Rt/ml	reazione a metro lineare del tirante della fila espresso in [kg]
σ_f	tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [kg/cmq]
u	spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]

2 file di tiranti attivi armati con trefoli

n°	Y	nt	A_f	L	L_f	Ld	Ld_f	FS
1	2,00	4	4,17	13,80	5,80	16,00	8,00	1.38
2	5,00	4	4,17	14,20	6,20	16,00	8,00	1.29

Combinazione n°1

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18636	7454,56	4469,16	-0,12667
2	19486	7794,48	4672,95	-0,04581

Combinazione n°2

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19375	7749,91	4646,23	-0,05443
2	23219	9287,54	5568,07	0,31748

Combinazione n°3

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18637	7454,71	4469,25	-0,12664
2	19490	7795,85	4673,77	-0,04548

Combinazione n°4

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19350	7740,11	4640,35	-0,05681
2	23217	9286,62	5567,52	0,31725

Combinazione n°5

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18593	7437,12	4458,70	-0,13093
2	19398	7759,35	4651,89	-0,05436

Combinazione n°6

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18560	7423,93	4450,80	-0,13414
2	19389	7755,78	4649,75	-0,05523

Combinazione n°7

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	33481	13392,36	8028,99	1,32048
2	35819	14327,71	8589,76	1,54491

Combinazione n°8

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	26914	10765,76	6454,29	0,68078
2	33529	13411,58	8040,52	1,32144

Combinazione n°9

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18523	7409,00	4441,85	-0,13778
2	19379	7751,48	4647,17	-0,05628

Combinazione n°10

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18523	7409,01	4441,85	-0,13777
2	19379	7751,58	4647,23	-0,05626

Combinazione n°11

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18523	7409,04	4441,87	-0,13777
2	19379	7751,80	4647,36	-0,05620

Combinazione n°12

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18543	7417,40	4446,88	-0,13573
2	19384	7753,76	4648,54	-0,05572

Combinazione n°13

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18534	7413,45	4444,51	-0,13669
2	19382	7752,69	4647,89	-0,05599

Combinazione n°14

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18544	7417,41	4446,89	-0,13573
2	19385	7753,91	4648,62	-0,05569

Combinazione n°15

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18534	7413,46	4444,52	-0,13669
2	19382	7752,83	4647,98	-0,05595

Combinazione n°16

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18534	7413,49	4444,54	-0,13668
2	19383	7753,00	4648,08	-0,05591

Combinazione n°17

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	18544	7417,44	4446,90	-0,13572
2	19385	7754,07	4648,72	-0,05565

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata
n° Indice della combinazione/fase
Tipo Tipo della combinazione/fase
Y ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M momento flettente massimo e minimo espresso in [kgm]
N sforzo normale massimo e minimo espresso in [kg] (positivo di compressione)
T taglio massimo e minimo espresso in [kg]

n°	Tipo	M	Y_M	T	Y_T	N	Y_N	
1	[A1-M1]	2362	2,00	4115	5,00	6484	8,50	MAX
--	--	-941	3,70	-3919	2,00	0	0,00	MIN
2	[A2-M2]	3376	2,00	7131	5,00	7096	8,50	MAX
--	--	-3625	4,35	-4043	2,00	0	0,00	MIN
3	[A1-M1]	2363	2,00	4088	5,00	6484	8,50	MAX
--	--	-941	3,70	-3919	2,00	0	0,00	MIN
4	[A2-M2]	3371	2,00	7177	5,00	7092	8,50	MAX
--	--	-3530	4,35	-4018	2,00	0	0,00	MIN
5	[A1-M1] S	2369	2,00	3991	5,00	6466	8,50	MAX
--	--	-776	3,75	-3804	2,00	0	0,00	MIN
6	[A1-M1] S	2366	2,00	3988	5,00	6460	8,50	MAX
--	--	-769	3,75	-3792	2,00	0	0,00	MIN
7	[A2-M2] S	4781	2,00	10362	5,00	10749	8,50	MAX
--	--	-4997	4,20	-7799	2,00	0	0,00	MIN
8	[A2-M2] S	3581	2,00	9831	5,00	9538	8,50	MAX
--	--	-4857	4,20	-6530	2,00	0	0,00	MIN
9	[SLEQ]	2363	2,00	3989	5,00	6454	8,50	MAX
--	--	-762	3,75	-3779	2,00	0	0,00	MIN
10	[SLEF]	2363	2,00	3988	5,00	6454	8,50	MAX
--	--	-762	3,75	-3779	2,00	0	0,00	MIN
11	[SLER]	2363	2,00	3983	5,00	6454	8,50	MAX
--	--	-762	3,75	-3779	2,00	0	0,00	MIN
12	[SLEQ] S	2365	2,00	3991	5,00	6457	8,50	MAX
--	--	-766	3,75	-3787	2,00	0	0,00	MIN
13	[SLEQ] S	2364	2,00	3990	5,00	6456	8,50	MAX
--	--	-764	3,75	-3783	2,00	0	0,00	MIN
14	[SLEF] S	2365	2,00	3989	5,00	6457	8,50	MAX
--	--	-766	3,75	-3787	2,00	0	0,00	MIN
15	[SLEF] S	2364	2,00	3988	5,00	6456	8,50	MAX
--	--	-764	3,75	-3783	2,00	0	0,00	MIN
16	[SLER] S	2364	2,00	3984	5,00	6456	8,50	MAX
--	--	-765	3,75	-3783	2,00	0	0,00	MIN
17	[SLER] S	2365	2,00	3985	5,00	6457	8,50	MAX
--	--	-766	3,75	-3786	2,00	0	0,00	MIN

Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata
n° Indice della combinazione/fase
Tipo Tipo della combinazione/fase
Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
U spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
V spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U	Y_U	V	Y_V	
1	[A1-M1]	0,0395	8,50	0,0163	0,00	MAX
--	--	-0,1272	1,90	0,0000	0,00	MIN
2	[A2-M2]	0,3327	4,55	0,0176	0,00	MAX
--	--	-0,1211	0,00	0,0000	0,00	MIN
3	[A1-M1]	0,0280	8,50	0,0164	0,00	MAX
--	--	-0,1271	1,90	0,0000	0,00	MIN
4	[A2-M2]	0,3300	4,60	0,0176	0,00	MAX
--	--	-0,1197	0,00	0,0000	0,00	MIN
5	[A1-M1] S	0,0062	8,50	0,0163	0,00	MAX
--	--	-0,1309	2,00	0,0000	0,00	MIN
6	[A1-M1] S	0,0062	8,50	0,0163	0,00	MAX
--	--	-0,1341	2,00	0,0000	0,00	MIN
7	[A2-M2] S	1,6544	4,05	0,0273	0,00	MAX

--	--	0,0000	0,00	0,0000	0,00	MIN
8	[A2-M2] S	1,3366	4,60	0,0237	0,00	MAX
--	--	0,0000	0,00	0,0000	0,00	MIN
9	[SLEQ]	0,0080	8,50	0,0163	0,00	MAX
--	--	-0,1378	2,00	0,0000	0,00	MIN
10	[SLEF]	0,0073	8,50	0,0163	0,00	MAX
--	--	-0,1378	2,00	0,0000	0,00	MIN
11	[SLER]	0,0059	8,50	0,0163	0,00	MAX
--	--	-0,1378	2,00	0,0000	0,00	MIN
12	[SLEQ] S	0,0079	8,50	0,0163	0,00	MAX
--	--	-0,1357	2,00	0,0000	0,00	MIN
13	[SLEQ] S	0,0079	8,50	0,0163	0,00	MAX
--	--	-0,1367	2,00	0,0000	0,00	MIN
14	[SLEF] S	0,0069	8,50	0,0163	0,00	MAX
--	--	-0,1357	2,00	0,0000	0,00	MIN
15	[SLEF] S	0,0070	8,50	0,0163	0,00	MAX
--	--	-0,1367	2,00	0,0000	0,00	MIN
16	[SLER] S	0,0059	8,50	0,0163	0,00	MAX
--	--	-0,1367	2,00	0,0000	0,00	MIN
17	[SLER] S	0,0059	8,50	0,0163	0,00	MAX
--	--	-0,1357	2,00	0,0000	0,00	MIN

Stabilità globale

Metodo di Bishop
Numero di cerchi analizzati 100

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(X_C; Y_C)	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X_V; Y_V)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X_M; Y_M)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza

n°	Tipo	(X_C, Y_C)	R	(X_V, Y_V)	(X_M, Y_M)	FS
2	[A2-M2]	(-4,25; 4,25)	13,44	(-8,04; -8,64)	(7,51; -2,26)	1,86
4	[A2-M2]	(-4,25; 4,25)	13,44	(-8,04; -8,64)	(7,51; -2,26)	1,92
7	[A2-M2] S	(-4,25; 4,25)	13,44	(-8,04; -8,64)	(7,51; -2,26)	1,83
8	[A2-M2] S	(-4,25; 4,25)	13,44	(-8,04; -8,64)	(7,51; -2,26)	1,82

Combinazione n°8

Numero di strisce 50

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)
Le strisce sono numerate da monte verso valle

N°	numero d'ordine della striscia
W	peso della striscia espresso in [kg]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
L	sviluppo della base della striscia espressa in [m] (L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
Ctn, Ctt	contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kg]

Caratteristiche delle strisce

N°	W	α(°)	W sin α	L	ϕ	c	u	(Ctn; Ctt)
1	2461,65	-15,72	-666,76	0,32	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
2	2753,69	-14,35	-682,45	0,32	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
3	2818,51	-12,99	-633,63	0,32	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
4	2877,61	-11,64	-580,66	0,32	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
5	2931,08	-10,30	-523,96	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
6	2978,99	-8,96	-463,94	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
7	3021,42	-7,63	-400,98	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
8	3058,41	-6,30	-335,48	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
9	3090,01	-4,97	-267,80	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
10	3116,25	-3,65	-198,33	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)

11	3137,18	-2,33	-127,43	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
12	3152,80	-1,01	-55,47	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
13	3163,13	0,31	17,17	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
14	3168,16	1,63	90,14	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
15	3167,90	2,95	163,07	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
16	3162,32	4,27	235,59	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
17	3151,41	5,60	307,34	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
18	3130,58	6,92	377,38	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
19	3099,96	8,25	445,06	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
20	3063,88	9,59	510,43	0,31	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
21	3022,29	10,93	573,08	0,32	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
22	2975,10	12,28	632,63	0,32	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
23	2922,24	13,63	688,67	0,32	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
24	2863,61	14,99	740,79	0,32	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
25	2799,12	16,36	788,55	0,32	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
26	2728,63	17,74	831,52	0,32	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
27	6191,48	19,14	2030,15	0,33	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
28	6105,07	20,56	2143,97	0,33	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
29	6012,00	21,99	2251,27	0,34	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
30	5912,06	23,44	2351,50	0,34	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
31	5805,03	24,90	2444,10	0,34	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
32	5690,66	26,38	2528,45	0,35	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
33	5568,68	27,88	2603,92	0,35	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
34	5438,77	29,40	2669,82	0,36	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
35	5300,57	30,94	2725,41	0,36	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
36	5174,51	32,51	2781,08	0,37	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
37	5221,01	34,11	2927,66	0,38	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
38	5300,12	35,73	3095,44	0,39	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
39	5380,46	37,40	3267,65	0,39	27,45	0,224	0,000	(11298; 7227)
40	5777,68	39,09	3643,44	0,40	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
41	6313,42	40,84	4128,32	0,41	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
42	6836,51	42,62	4629,57	0,43	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
43	7345,81	44,47	5145,56	0,44	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
44	7840,02	46,37	5674,34	0,45	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
45	8317,50	48,34	6213,68	0,47	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
46	8734,65	50,39	6728,79	0,49	27,45	0,224	0,000	(10141; 3614)
47	9051,67	52,53	7183,91	0,51	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
48	9342,33	54,78	7632,29	0,54	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
49	9604,17	57,17	8070,07	0,58	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
50	9831,22	59,72	8490,10	0,62	27,45	0,224	0,000	(0; 0)

Resistenza a taglio paratia= 0,00 [kg]
ΣW_i= 239911,29 [kg]
$\Sigma W_i \sin\alpha_i$= 102825,04 [kg]
$\Sigma W_i \tan\phi_i$= 124640,17 [kg]
$\Sigma \tan\alpha_i \tan\phi_i$= 10.61

SEZIONE 5-5 / PARATIA 2

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Metodo di analisi

Calcolo della profondità di infissione

Nel caso generale l'equilibrio della paratia è assicurato dal bilanciamento fra la spinta attiva agente da monte sulla parte fuori terra, la resistenza passiva che si sviluppa da valle verso monte nella zona interrata e la controspinta che agisce da monte verso valle nella zona interrata al di sotto del centro di rotazione.
Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la controspinta sarà assente.
Pertanto il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, controspinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).
Nel calcolo classico delle paratie si suppone che essa sia infinitamente rigida e che possa subire una rotazione intorno ad un punto (*Centro di rotazione*) posto al di sotto della linea di fondo scavo (per paratie non tirantate).
Occorre pertanto costruire i diagrammi di spinta attiva e di spinta (resistenza) passiva agenti sulla paratia. A partire da questi si costruiscono i diagrammi risultanti.
Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

K_{am} diagramma della spinta attiva agente da monte
K_{av} diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata
K_{pm} diagramma della spinta passiva agente da monte
K_{pv} diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata.

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$D_m=K_{pm}-K_{av}$ e $D_v=K_{pv}-K_{am}$

Questi diagrammi rappresentano i valori limiti delle pressioni agenti sulla paratia. La soluzione è ricercata per tentativi facendo variare la profondità di infissione e la posizione del centro di rotazione fino a quando non si raggiunge l'equilibrio sia alla traslazione che alla rotazione.
Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione
si può agire con tre modalità :
1. applicazione di un coefficiente moltiplicativo alla profondità di infissione strettamente necessaria per l'equilibrio
2. riduzione della spinta passiva tramite un coefficiente di sicurezza
3. riduzione delle caratteristiche del terreno tramite coefficienti di sicurezza su tan(ϕ) e sulla coesione

Calcolo della spinte
Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb: cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea o spezzata (nel caso di terreno stratificato).
La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il valore della spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo).
I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:
- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio *(W)*, carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura *(R e C)* e resistenza per coesione lungo la parete *(A)*;
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima nel caso di spinta attiva e minima nel caso di spinta passiva.
Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata *z*. Noto il diagramma delle pressioni si ricava il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

Per tenere conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di **Mononobe-Okabe** (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con *W* il peso del cuneo e con *C* il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W^*C$$

Indicando con *S* la spinta calcolata in condizioni statiche e con S_s la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/2 dell'altezza della parete stessa(diagramma rettangolare).

Tiranti di ancoraggio

Le paratie possono essere tirantate, con tiranti attivi o con tiranti passivi, realizzati entrambi tramite perforazione e iniezione del foro con malta in pressione previa sistemazione delle armature opportune.
I tiranti attivi, contrariamente ai tiranti passivi, sono sottoposti ad uno sforzo di pretensione prendendo il contrasto sulla struttura stessa. Il tiro finale sul tirante attivo dipende sia dalla pretensione che dalla deformazione della struttura oltre che dalle cadute di tensione. Nel caso di tiranti passivi il tiro dipende unicamente dalla deformabilità della struttura. L'armatura dei tiranti attivi è costituita da trefoli ad alta resistenza (trefoli per c.a.p.), viceversa i tiranti passivi possono essere armati con trefoli o con tondini o, in alcuni casi, con profilati tubolari.
La capacità di resistenza dei tiranti è legata all'attrito e all'aderenza fra superficie del tirante e terreno.
Calcolo della lunghezza di ancoraggio

La lunghezza di ancoraggio (fondazione) del tirante si calcola determinando la lunghezza massima atta a soddisfare le tre seguenti condizioni:

1. Lunghezza necessaria per garantire l'equilibrio fra tensione tangenziale che si sviluppa fra la superficie laterale del tirante ed il terreno e lo sforzo applicato al tirante;
2. Lunghezza necessaria a garantire l'aderenza malta-armatura;
3. Lunghezza necessaria a garantire la resistenza della malta.

Siano **N** lo sforzo nel tirante, $\boldsymbol{\delta}$ l'angolo d'attrito tirante-terreno, $\mathbf{c_a}$ l'adesione tirante-terreno, $\boldsymbol{\gamma}$ il peso di volume del terreno, **D** ed $\mathbf{L_f}$ il diametro e la lunghezza di ancoraggio (o lunghezza efficace) del tirante ed **H** la profondità media al di sotto del piano campagna abbiamo la relazione

$$N = \pi\, D\, L_f\, \gamma\, H\, K_s\, tg\, \delta + \pi\, D\, L_f\, c_a$$

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio L_f

$$L_f = \frac{N}{\pi\, D\, \gamma\, H\, K_s\, tg\, \delta + \pi\, D\, c_a}$$

$\mathbf{K_s}$ rappresenta il coefficiente di spinta che si assume pari al coefficiente di spinta a riposo

$$K_s = K_0 = 1 - \sin\phi$$

Per quanto riguarda la seconda condizione, la lunghezza necessaria atta a garantire l'aderenza malta-armatura è data dalla relazione

$$L_f = \frac{N}{\pi\, d\, \tau_{c0}\, \omega}$$

dove **d** è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, $\boldsymbol{\tau_{c0}}$ è la resistenza tangenziale limite della malta ed $\boldsymbol{\omega}$ è un coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli ($\boldsymbol{\omega = 1 - 0.075\ [n\ trefoli - 1]}$).
Per quanto riguarda la verifica della terza condizione si impone che la tensione tangenziale limite tirante-terreno non possa superare il valore $\boldsymbol{\tau_c}$ ottenuto come media fra la $\boldsymbol{\tau_{c0}}$ e la $\boldsymbol{\tau_{c1}}$ della malta.
Alla lunghezza efficace determinata prendendo il massimo valore di $\mathbf{L_f}$ si deve aggiungere la lunghezza di franco **L** che rappresenta la lunghezza del tratto che compreso fra la paratia e la superficie di ancoraggio.
La lunghezza totale del tirante sarà quindi data da

$$L_t = L_f + L$$

Nel caso di tiranti attivi, cioè tiranti soggetti ad uno stato di pretensione, bisogna considerare le cadute di tensione. A tale scopo è stato introdotto il coefficiente di caduta di tensione, $\boldsymbol{\beta}$, che rappresenta il rapporto fra lo sforzo $\mathbf{N_0}$ al momento del tiro e lo sforzo **N** in esercizio

$$\beta = N_0 / N$$

Analisi ad elementi finiti

La paratia è considerata come una struttura a prevalente sviluppo lineare (si fa riferimento ad un metro di larghezza) con comportamento a trave. Come caratteristiche geometriche della sezione si assume il momento d'inerzia I e l'area A per metro lineare di larghezza della paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia.
La parte fuori terra della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri e più o meno costante per tutti gli elementi. La suddivisione è suggerita anche dalla eventuale presenza di tiranti, carichi e vincoli. Infatti questi elementi devono capitare in corrispondenza di un nodo. Nel caso di tirante è inserito un ulteriore elemento atto a schematizzarlo. Detta L la lunghezza libera del tirante, A_f l'area di armatura nel tirante ed E_s il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad L, area A_f, inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico E_s. La parte interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.
I carichi agenti possono essere di tipo distribuito (spinta della terra, diagramma aggiuntivo di carico, spinta della falda, diagramma di spinta sismica) oppure concentrati. I carichi distribuiti sono riportati sempre come carichi concentrati nei nodi (sotto forma di reazioni di incastro perfetto cambiate di segno).

Schematizzazione del terreno

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso è visto come un letto di molle indipendenti fra di loro reagenti solo a sforzo assiale di compressione. La rigidezza della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (*costante di Winkler*). La costante di sottofondo, k, è definita come la pressione unitaria che occorre applicare per ottenere uno spostamento unitario. Dimensionalmente è espressa quindi come rapporto fra una pressione ed uno spostamento al cubo [F/L^3]. È evidente che i risultati sono tanto migliori quanto più è elevato il numero delle molle che schematizzano il terreno. Se (m è l'interasse fra le molle (in cm) e b è la larghezza della paratia in direzione longitudinale (b=100 cm) occorre ricavare l'area equivalente, A_m, della molla (a cui si assegna una lunghezza pari a 100 cm). Indicato con E_m il modulo elastico del materiale costituente la paratia (in Kg/cm^2), l'equivalenza, in termini di rigidezza, si esprime come

$$A_m = 10000 \times \frac{k\,\Delta_m}{E_m}$$

Per le molle di estremità, in corrispondenza della linea di fondo scavo ed in corrispondenza dell'estremità inferiore della paratia, si assume una area equivalente dimezzata. Inoltre, tutte le molle hanno, ovviamente, rigidezza flessionale e tagliante nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidezza di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidezza degli elementi della paratia (elementi a rigidezza flessionale, tagliante ed assiale), delle matrici di rigidezza dei tiranti (solo rigidezza assiale) e delle molle (rigidezza assiale).

Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno

A questo punto vediamo come è effettuata l'analisi. Un tipo di analisi molto semplice e veloce sarebbe l'analisi elastica (peraltro disponibile nel programma ***PAC***). Ma si intuisce che considerare il terreno con un comportamento infinitamente elastico è una approssimazione alquanto grossolana. Occorre quindi introdurre qualche correttivo che meglio ci aiuti a modellare il terreno. Fra le varie soluzioni possibili una delle più praticabili e che fornisce risultati soddisfacenti è quella di considerare il terreno con comportamento elasto-plastico perfetto. Si assume cioè che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero. Rimane da scegliere il criterio di plasticizzazione del terreno (molle). Si può fare riferimento ad un criterio di tipo cinematico: la resistenza della molla cresce con la deformazione fino a quando lo spostamento non raggiunge il valore X_{max}; una volta superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti. Un altro criterio può essere di tipo statico: si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione p_{max}. Tale pressione p_{max} può essere imposta pari al valore della pressione passiva in corrispondenza della quota della molla. D'altronde un ulteriore criterio si può ottenere dalla combinazione dei due descritti precedentemente: plasticizzazione o per raggiungimento dello spostamento limite o per raggiungimento della pressione passiva. Dal punto di vista strettamente numerico è chiaro che l'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche). Questo comporta un aggravio computazionale non indifferente. L'entità di tale aggravio dipende poi dalla particolare tecnica adottata per la soluzione. Nel caso di analisi elastica lineare il problema si risolve immediatamente con la soluzione del sistema fondamentale (K matrice di rigidezza, u vettore degli spostamenti nodali, p vettore dei carichi nodali)

$$Ku=p$$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale p0, fino a raggiungere il carico totale p. Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riassemblata escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidezza è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassemblaggio e la decomposizione della matrice, ma usano la matrice elastica iniziale (*metodo di Riks*).
Senza addentrarci troppo nei dettagli diremo che si tratta di un metodo di Newton-Raphson modificato e ottimizzato. L'analisi condotta secondo questa tecnica offre dei vantaggi immediati. Essa restituisce l'effettiva deformazione della paratia e le relative sollecitazioni; dà informazioni dettagliate circa la deformazione e la pressione sul terreno. Infatti la deformazione è direttamente leggibile, mentre la pressione sarà data dallo sforzo nella molla diviso per l'area di influenza della molla stessa. Sappiamo quindi quale è la zona di terreno effettivamente plasticizzato. Inoltre dalle deformazioni ci si può rendere conto di un possibile meccanismo di rottura del terreno.

Analisi per fasi di scavo

L'analisi della paratia per fasi di scavo consente di ottenere informazioni dettagliate sullo stato di sollecitazione e deformazione dell'opera durante la fase di realizzazione. In ogni fase lo stato di sollecitazione e di deformazione dipende dalla 'storia' dello scavo (soprattutto nel caso di paratie tirantate o vincolate).
Definite le varie altezze di scavo (in funzione della posizione di tiranti, vincoli, o altro) si procede per ogni fase al calcolo delle spinte inserendo gli elementi (tiranti, vincoli o carichi) attivi per quella fase, tendendo conto delle deformazioni dello stato precedente. Ad esempio, se sono presenti dei tiranti passivi si inserirà nell'analisi della fase la 'molla' che lo rappresenta. Indicando con u ed u_0 gli spostamenti nella fase attuale e nella fase precedente, con s ed s_0 gli sforzi nella fase attuale e nella fase precedente e con K la matrice di rigidezza della 'struttura' la relazione sforzi-deformazione è esprimibile nella forma

$$s=s_0+K(u-u_0)$$

Le modalità di analisi sono più complicate nel caso di tiranti attivi in quanto è importante conoscere la modalità di tiro: infatti il tirante può essere tesato prima dello scavo, oppure tesato alla fine della corrispondente fase di scavo, oppure al termine di tutto lo scavo. Nella fase in cui il tirante è tesato verra inserita una molla con uno stato di pretensione pari allo sforzo di tesatura. Nelle fasi successive il tirante verrà considerato come una semplice molla che 'ricorda', naturalmente, lo sforzo della fase precedente.
Ovviamente si otterranno soluzioni differenti in funzione della modalità di tiro selezionata.
Nel caso di tiranti attivi, inoltre, è analizzata un fase ulteriore (a lungo termine) nella quale il tiro iniziale è depurato delle cadute di tensione.
In sostanza analizzare la paratia per fasi di scavo oppure 'direttamente' porta a risultati abbastanza diversi sia per quanto riguarda lo stato di deformazione e sollecitazione dell'opera sia per quanto riguarda il tiro dei tiranti.

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1.3.
È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.
In particolare il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 6x6 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

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

$$\eta = \frac{\Sigma_i \left(\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) tg\phi_i}{m} \right)}{\Sigma_i W_i \sin\alpha_i}$$

dove il termine m è espresso da

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

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i_{esima} rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i_{esima} , c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.
L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine m che è funzione di η. Quindi essa è risolta per successive approsimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di m ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	7,50	[m]
Profondità di infissione	3,50	[m]
Altezza totale della paratia	11,00	[m]
Lunghezza paratia	10,00	[m]
Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,50	[m]
Diametro dei micropali	20,00	[cm]
Numero totale di micropali	19	
Numero di micropali per metro lineare	1.90	
Diametro esterno del tubolare	168,30	[mm]
Spessore del tubolare	10,00	[mm]

Geometria cordoli

Simbologia adottata
n° numero d'ordine del cordolo
Y posizione del cordolo sull'asse della paratia espresso in [m]

Cordoli in calcestruzzo
B Base della sezione del cordolo espresso in [cm]
H Altezza della sezione del cordolo espresso in [cm]

Cordoli in acciaio
A Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cmq]
W Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm^3]

n°	Y	Tipo	B	H	A	W
1	0,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--
2	2,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--
3	5,50	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento
(Sistema di riferimento con origine in testa alla paratia, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

N	X	Y	A
2	7,80	0,00	0,00
3	8,00	5,00	87,71
4	9,00	5,00	0,00

Profilo di valle

N	X	Y	A
1	-10,00	-15,50	0,00
2	-8,00	-15,50	0,00
3	-6,10	-15,50	89,28
4	-6,00	-7,50	0,00
5	0,00	-7,50	0,00

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
Descrizione	Descrizione del terreno
γ	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s	peso di volume saturo del terreno espresso [kg/mc]
ϕ	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
δ	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kg/cmq]

n°	Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c
1	Calcari alterati	2200,00	2400,00	32,00	21,00	0,200
2	Calcari scistosi	2400,00	2600,00	33,00	22,00	0,280

Parametri per il calcolo dei tiranti

Simbologia adottata

ϕ_{min} angolo d'attrito minimo interno del terreno espresso in [°]
δ_{min} angolo d'attrito minimo terreno/paratia espresso in [°]
c_{min} coesione minima del terreno espressa in [kg/cmq]
ϕ_{med} angolo d'attrito medio interno del terreno espresso in [°]
δ_{med} angolo d'attrito medio terreno/paratia espresso in [°]
c_{med} coesione media del terreno espressa in [kg/cmq]

N°	Descrizione	ϕ_{min}	ϕ_{med}	δ_{min}	δ_{med}	c_{min}	c_{med}
1	Calcari alterati	0,00	32,00	0,00	21,00	0,000	1,000
2	Calcari scistosi	0,00	36,00	0,00	24,00	0,000	1,000

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n° numero d'ordine dello strato a partire dalla som mità della paratia
sp spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm^2/cm
α inclinazione dello strato espressa in GRADI(°)
Terreno Terreno associato allo strato

n°	sp	α	kw	Terreno
1	10,00	48,00	2,79	Calcari alterati
2	10,00	0,00	7,91	Calcari scistosi

Caratteristiche materiali utilizzati

Calcestruzzo		
Peso specifico	2500	[kg/mc]
Classe di Resistenza	C25/30	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	306	[kg/cmq]
Tensione di progetto a compressione σ_c	99	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	6,1	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	18,5	[kg/cmq]
Acciaio		
Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f_{yk}	4589	[kg/cmq]
Caratteristiche acciaio cordoli in c.a.		
Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f_{yk}	4589	[kg/cmq]
Caratteristiche acciaio cordoli in acciaio.		
Tipo	Fe 360	
Tensione di snervamento f_{yk}	2400	[kg/cmq]
Malta utilizzata per i tiranti		
Classe di Resistenza	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	250	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	5,3	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	16,9	[kg/cmq]
Acciaio utilizzato per i tiranti		
Tipo	Trefoli	
Tensione di progetto σ_{fa}	15000,0	[kg/cmq]
Tensione di snervamento f_{yk}	22000,0	kg/cmq

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
F_x Forza orizzontale espressa in [kg], positiva da monte verso valle
F_y Forza verticale espressa in [kg], positiva verso il basso
M Momento espresso in [kgm], positivo ribaltante
Q_i, Q_f Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kg/mq]
V_i, V_s Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kg/mq], positivi da monte verso valle
R Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kg]

Condizione n°1
Carico distribuito sul profilo X_i = -5,50 X_f = 0,00 Q_i = 1500 Q_f = 1500

Condizione n°2
Carico distribuito sul profilo X_i = 0,00 X_f = 7,50 Q_i = 1500 Q_f = 1500

Descrizione tiranti di ancoraggio

Simbologia adottata - Caratteristiche geometriche
N numero d'ordine della fila
Y ordinata della fila espressa in [m] misurata dalla testa della paratia
I interasse tra le file di tiranti espressa in [m]
alfa inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
D diametro della perforazione espresso in [cm]
Cesp coeff. di espansione laterale
ALL allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
nr numero di tiranti della fila
Lt lunghezza totale del tirante espresso in [m]
Lf lunghezza di fondazione del tirante espresso in [m]

Simbologia adottata - Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno
N numero d'ordine della fila
At area del singolo trefolo espressa in [cmq]
nt numero di trefoli del tirante
T tiro iniziale espresso in [kg]
δ angolo di attrito medio tirante-terreno espresso in [°]
δ angolo di attrito minimo tirante-terreno espresso in [°]
ca adesione media tirante-terreno espresso in [kg/mq]
ca adesione minima tirante-terreno espresso in [kg/mq]

Caratteristiche geometriche

N	Y	I	Alfa	D	Cesp	ALL	nr	Lt	Lf
1	2,00	3,00	20,00	16,00	1,20	Centrati	3	16,00	8,00
2	5,50	3,00	20,00	16,00	1,20	Centrati	3	16,00	8,00

Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	At	nt	T	δ_{med}	ca_{med}	δ_{min}	ca_{min}
1	1,39	3	20000	20,00	20,00	20,00	20,00
2	1,39	3	25000	20,00	20,00	20,00	20,00

Combinazioni di carico

Nella tabella sono riportate le condizioni di carico di ogni combinazione con il relativo coefficiente di partecipazione.

Combinazione n°1 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno) x 1.00
Condizione 2 (Strada) x 1.00

Combinazione n°2 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno) x 1.00
Condizione 2 (Strada) x 1.00

Combinazione n°3 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Strada / sisma V-) x 1.00

Combinazione n°4 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Strada / sisma V+) x 1.00

Combinazione n°5 [DA1- A2M2]

Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Strada / sisma V+) x 1.00

Combinazione n°6 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Strada / sisma V-) x 1.00

Combinazione n°7
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno) x 1.00
Condizione 2 (Strada) x 1.00

Combinazione n°8
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno) x 1.00
Condizione 2 (Strada) x 1.00

Combinazione n°9
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno) x 1.00
Condizione 2 (Strada) x 1.00

Combinazione n°10
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Strada / sisma V+) x 1.00

Combinazione n°11
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Strada / sisma V-) x 1.00

Combinazione n°12
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Strada / sisma V+) x 1.00

Combinazione n°13
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Strada / sisma V-) x 1.00

Combinazione n°14
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Strada / sisma V+) x 1.00

Combinazione n°15
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm solai e terreno / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Strada / sisma V-) x 1.00

Impostazioni di progetto

Spinte e verifiche secondo :
Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25

Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Verifica materiali : Stato Limite Ultimo

Impostazioni di analisi

Analisi per Combinazioni di Carico.

Rottura del terreno: Pressione passiva

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia): Solo nel calcolo dei coefficienti di spinta (le spinte sono considerate orizzontali)

Stabilità globale: Metodo di Bishop

Impostazioni analisi sismica

Combinazioni/Fase	**SLU**	**SLE**
Accelerazione al suolo [m/s^2]	0.796	0.268
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.522	2.524
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc*	0.291	0.198
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.200	1.200
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.000	1.000
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza Us [m]	0.055	0.055
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.467	0.467
Coefficiente di intensità sismica (percento)	4.552	1.535
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.50	

Influenza sisma nella spinta attiva da monte
Forma diagramma incremento sismico : Rettangolare

Analisi della paratia

L'analisi è stata eseguita per combinazioni di carico
La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.
Essa è discretizzata in 150 elementi fuori terra e 70 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.
Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva non reagiscono ad ulteriori incremento di carico.

Altezza fuori terra della paratia	7,50	[m]
Profondità di infissione	3,50	[m]
Altezza totale della paratia	11,00	[m]

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
Pa Spinta attiva, espressa in [kg]
Is Incremento sismico della spinta, espressa in [kg]
Pw Spinta della falda, espressa in [kg]
Pp Resistenza passiva, espressa in [kg]
Pc Controspinta, espressa in [kg]

n°	Tipo	Pa	Y_{Pa}	Is	Y_{Is}	Pw	Y_{Pw}	Pp	Y_{Pp}	Pc	Y_{Pc}
1	[A1-M1]	15962	4,70	--	--	--	--	-2927	7,68	0	0,00
2	[A2-M2]	15965	4,68	--	--	--	--	-2832	7,63	0	0,00
3	[A1-M1] S	12807	4,42	1060	3,75	--	--	-1474	7,73	0	0,00
4	[A1-M1] S	12138	4,49	1849	3,75	--	--	-1564	7,73	0	0,00
5	[A2-M2] S	14715	4,91	2303	3,75	--	--	-3190	7,63	0	0,00
6	[A2-M2] S	15234	4,81	1250	3,75	--	--	-3077	7,63	0	0,00
7	[SLEQ]	13714	4,34	--	--	--	--	-1358	7,73	0	0,00
8	[SLEF]	13714	4,34	--	--	--	--	-1358	7,73	0	0,00
9	[SLER]	13714	4,34	--	--	--	--	-1358	7,73	0	0,00
10	[SLEQ] S	13240	4,38	552	3,75	--	--	-1417	7,73	0	0,00
11	[SLEQ] S	13463	4,36	293	3,75	--	--	-1390	7,73	0	0,00
12	[SLEF] S	13240	4,38	552	3,75	--	--	-1417	7,73	0	0,00
13	[SLEF] S	13463	4,36	293	3,75	--	--	-1390	7,73	0	0,00
14	[SLER] S	13240	4,38	552	3,75	--	--	-1417	7,73	0	0,00
15	[SLER] S	13463	4,36	293	3,75	--	--	-1390	7,73	0	0,00

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
Rc Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kg]
Rt Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kg]
Rv Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kg]
Rp Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kg]

n°	Tipo	Rc	Y_{Rc}	Rt	Y_{Rt}	Rv	Y_{Rv}	Rp	Y_{Rp}
1	[A1-M1]	0	0,00	13038	4,04	--	--	--	--
2	[A2-M2]	0	0,00	13129	4,05	--	--	--	--
3	[A1-M1] S	0	0,00	12396	3,97	--	--	--	--
4	[A1-M1] S	0	0,00	12426	3,97	--	--	--	--
5	[A2-M2] S	0	0,00	13833	4,09	--	--	--	--
6	[A2-M2] S	0	0,00	13402	4,06	--	--	--	--
7	[SLEQ]	0	0,00	12359	3,97	--	--	--	--
8	[SLEF]	0	0,00	12359	3,97	--	--	--	--
9	[SLER]	0	0,00	12359	3,97	--	--	--	--
10	[SLEQ] S	0	0,00	12378	3,97	--	--	--	--
11	[SLEQ] S	0	0,00	12369	3,97	--	--	--	--
12	[SLEF] S	0	0,00	12378	3,97	--	--	--	--
13	[SLEF] S	0	0,00	12369	3,97	--	--	--	--
14	[SLER] S	0	0,00	12378	3,97	--	--	--	--
15	[SLER] S	0	0,00	12369	3,97	--	--	--	--

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
P_{NUL} Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
P_{INV} Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
C_{ROT} Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R_{MAX} Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]
Pp Portanza di punta, espressa in [kg]

n°	Tipo	P_{NUL}	P_{INV}	C_{ROT}	MP	R/R_{MAX}	Pp
1	[A1-M1]	7,50	7,50	4,00	90.14	34,73	12452
2	[A2-M2]	7,50	7,70	4,00	92.96	88,36	6899
3	[A1-M1] S	7,50	7,90	4,00	87.32	15,74	12452

4	[A1-M1] S	7,50	7,90	4,00	87.32	16,71	12452
5	[A2-M2] S	7,50	7,50	4,00	100.00	100,00	6899
6	[A2-M2] S	7,50	7,60	4,00	95.77	96,25	6899
7	[SLEQ]	7,50	7,90	4,00	87.32	14,50	12452
8	[SLEF]	7,50	7,90	4,00	87.32	14,50	12452
9	[SLER]	7,50	7,90	4,00	87.32	14,50	12452
10	[SLEQ] S	7,50	7,90	4,00	87.32	15,13	12452
11	[SLEQ] S	7,50	7,90	4,00	87.32	14,83	12452
12	[SLEF] S	7,50	7,90	4,00	87.32	15,13	12452
13	[SLEF] S	7,50	7,90	4,00	87.32	14,83	12452
14	[SLER] S	7,50	7,90	4,00	87.32	15,13	12452
15	[SLER] S	7,50	7,90	4,00	87.32	14,83	12452

Risultati tiranti

Caratteristiche dei tiranti utilizzati

Simbologia adottata

Y	ordinata della fila rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
nt	numero di tiranti della fila
N	sforzo su ogni tirante della fila espresso in [kg]
L	lunghezza totale di progetto del tirante espressa in [m]
L_f	lunghezza di fondazione di progetto del tirante espressa in [m]
Ld	lunghezza totale definita del tirante espressa in [m]
Ld_f	lunghezza di fondazione definita del tirante espressa in [m]
FS	Fattore di sicurezza. Rapporto tra lunghezza di fondazione di progetto e lunghezza di fondazione definita.
A_f	area di armatura in ogni tirante espressa in [cmq]
Rt/ml	reazione a metro lineare del tirante della fila espresso in [kg]
σ_f	tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [kg/cmq]
u	spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]

2 file di tiranti attivi armati con trefoli

n°	Y	nt	A_f	L	L_f	Ld	Ld_f	FS
1	2,00	3	4,17	11,40	3,42	16,00	8,00	2.34
2	5,50	3	4,17	13,10	5,08	16,00	8,00	1.58

Combinazione n°1

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19308	5792,34	4630,17	-0,05935
2	26943	8082,78	6461,06	0,19511

Combinazione n°2

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19338	5801,51	4637,50	-0,05634
2	27232	8169,66	6530,51	0,22330

Combinazione n°3

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19201	5760,20	4604,48	-0,07002
2	24772	7431,62	5940,54	-0,01615

Combinazione n°4

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19236	5770,80	4612,95	-0,06657
2	24842	7452,55	5957,28	-0,00936

Combinazione n°5

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19739	5921,74	4733,61	-0,01709
2	29331	8799,28	7033,79	0,42760

Combinazione n°6

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19521	5856,33	4681,32	-0,03846
2	28021	8406,16	6719,55	0,30004

Combinazione n°7

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19153	5745,89	4593,04	-0,07467
2	24686	7405,95	5920,02	-0,02449

Combinazione n°8

N°	N	Rt/ml	σ_f	u

1	19153	5745,89	4593,04	-0,07467
2	24686	7405,95	5920,02	-0,02449

Combinazione n°9

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19153	5745,89	4593,04	-0,07467
2	24686	7405,95	5920,02	-0,02449

Combinazione n°10

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19178	5753,36	4599,01	-0,07224
2	24730	7419,03	5930,48	-0,02024

Combinazione n°11

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19166	5749,85	4596,20	-0,07339
2	24709	7412,80	5925,50	-0,02226

Combinazione n°12

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19178	5753,36	4599,01	-0,07224
2	24730	7419,03	5930,48	-0,02024

Combinazione n°13

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19166	5749,85	4596,20	-0,07339
2	24709	7412,80	5925,50	-0,02226

Combinazione n°14

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19178	5753,36	4599,01	-0,07224
2	24730	7419,03	5930,48	-0,02024

Combinazione n°15

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19166	5749,85	4596,20	-0,07339
2	24709	7412,80	5925,50	-0,02226

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente massimo e minimo espresso in [kgm]
N	sforzo normale massimo e minimo espresso in [kg] (positivo di compressione)
T	taglio massimo e minimo espresso in [kg]

n°	Tipo	M	Y_M	T	Y_T	N	Y_N	
1	[A1-M1]	2210	2,00	3244	5,50	6387	11,00	MAX
--	--	-1510	6,80	-4352	5,50	0	0,00	MIN
2	[A2-M2]	2235	2,00	3333	5,50	6420	11,00	MAX
--	--	-1345	6,80	-4344	5,50	0	0,00	MIN
3	[A1-M1] S	2097	5,50	3421	5,50	6153	11,00	MAX
--	--	-691	7,00	-3562	5,50	0	0,00	MIN
4	[A1-M1] S	2101	5,50	3371	5,50	6164	11,00	MAX
--	--	-742	7,00	-3632	5,50	0	0,00	MIN
5	[A2-M2] S	2685	2,00	3660	5,50	6676	11,00	MAX
--	--	-1529	6,75	-4609	5,50	0	0,00	MIN
6	[A2-M2] S	2445	2,00	3468	5,50	6520	11,00	MAX
--	--	-1510	6,75	-4431	5,50	0	0,00	MIN
7	[SLEQ]	2086	5,50	3470	5,50	6140	11,00	MAX
--	--	-651	3,75	-3490	5,50	0	0,00	MIN
8	[SLEF]	2086	5,50	3470	5,50	6140	11,00	MAX
--	--	-651	3,75	-3490	5,50	0	0,00	MIN
9	[SLER]	2086	5,50	3470	5,50	6140	11,00	MAX
--	--	-651	3,75	-3490	5,50	0	0,00	MIN
10	[SLEQ] S	2093	5,50	3446	5,50	6147	11,00	MAX
--	--	-660	7,00	-3525	5,50	0	0,00	MIN
11	[SLEQ] S	2090	5,50	3458	5,50	6143	11,00	MAX
--	--	-647	3,75	-3508	5,50	0	0,00	MIN
12	[SLEF] S	2093	5,50	3446	5,50	6147	11,00	MAX

--	--	-660	7,00	-3525	5,50	0	0,00	MIN
13	[SLEF] S	2090	5,50	3458	5,50	6143	11,00	MAX
--	--	-647	3,75	-3508	5,50	0	0,00	MIN
14	[SLER] S	2093	5,50	3446	5,50	6147	11,00	MAX
--	--	-660	7,00	-3525	5,50	0	0,00	MIN
15	[SLER] S	2090	5,50	3458	5,50	6143	11,00	MAX
--	--	-647	3,75	-3508	5,50	0	0,00	MIN

Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
U	spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
V	spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U	Y_U	V	Y_V	
1	[A1-M1]	0,3009	7,35	0,0220	0,00	MAX
--	--	-0,0646	1,65	0,0000	0,00	MIN
2	[A2-M2]	0,4673	11,00	0,0221	0,00	MAX
--	--	-0,0628	1,60	0,0000	0,00	MIN
3	[A1-M1] S	0,2513	11,00	0,0213	0,00	MAX
--	--	-0,0700	2,00	0,0000	0,00	MIN
4	[A1-M1] S	0,2525	11,00	0,0213	0,00	MAX
--	--	-0,0666	2,00	0,0000	0,00	MIN
5	[A2-M2] S	0,7632	11,00	0,0229	0,00	MAX
--	--	-0,0443	1,15	0,0000	0,00	MIN
6	[A2-M2] S	0,4519	11,00	0,0224	0,00	MAX
--	--	-0,0523	1,45	0,0000	0,00	MIN
7	[SLEQ]	0,2487	11,00	0,0212	0,00	MAX
--	--	-0,0747	2,00	0,0000	0,00	MIN
8	[SLEF]	0,2487	11,00	0,0212	0,00	MAX
--	--	-0,0747	2,00	0,0000	0,00	MIN
9	[SLER]	0,2487	11,00	0,0212	0,00	MAX
--	--	-0,0747	2,00	0,0000	0,00	MIN
10	[SLEQ] S	0,2501	11,00	0,0213	0,00	MAX
--	--	-0,0722	2,00	0,0000	0,00	MIN
11	[SLEQ] S	0,2495	11,00	0,0212	0,00	MAX
--	--	-0,0734	2,00	0,0000	0,00	MIN
12	[SLEF] S	0,2501	11,00	0,0213	0,00	MAX
--	--	-0,0722	2,00	0,0000	0,00	MIN
13	[SLEF] S	0,2495	11,00	0,0212	0,00	MAX
--	--	-0,0734	2,00	0,0000	0,00	MIN
14	[SLER] S	0,2501	11,00	0,0213	0,00	MAX
--	--	-0,0722	2,00	0,0000	0,00	MIN
15	[SLER] S	0,2495	11,00	0,0212	0,00	MAX
--	--	-0,0734	2,00	0,0000	0,00	MIN

Stabilità globale

Metodo di Bishop
Numero di cerchi analizzati 100

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
$(X_C; Y_C)$	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
$(X_V; Y_V)$	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
$(X_M; Y_M)$	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza

n°	Tipo	(X_C, Y_C)	R	(X_V, Y_V)	(X_M, Y_M)	FS
2	[A2-M2]	(-5,50; 5,50)	17,39	(-6,05; -11,88)	(11,88; 4,91)	1,36
5	[A2-M2] S	(-5,50; 5,50)	17,39	(-6,05; -11,88)	(11,88; 4,91)	1,27
6	[A2-M2] S	(-5,50; 5,50)	17,39	(-6,05; -11,88)	(11,88; 4,91)	1,28

Combinazione n°5

Numero di strisce 50

Simbologia adottata
Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)
Le strisce sono numerate da monte verso valle

N°	numero d'ordine della striscia
W	peso della striscia espresso in [kg]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
L	sviluppo della base della striscia espressa in [m] (L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
Ctn, Ctt	contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kg]

Caratteristiche delle strisce

N°	W	α(°)	W sin α	L	ϕ	c	u	(Ctn; Ctt)
1	3193,85	-1,23	-68,78	0,36	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
2	3679,11	-0,06	-3,91	0,36	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
3	3971,29	1,11	77,08	0,36	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
4	3963,02	2,29	158,05	0,36	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
5	3949,03	3,46	238,33	0,36	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
6	3929,29	4,64	317,58	0,36	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
7	3903,79	5,81	395,43	0,36	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
8	3872,48	6,99	471,54	0,36	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
9	3835,34	8,18	545,53	0,36	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
10	3792,31	9,36	617,04	0,36	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
11	3743,34	10,56	685,71	0,36	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
12	3688,35	11,75	751,14	0,36	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
13	3627,28	12,95	812,96	0,37	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
14	3562,08	14,16	871,27	0,37	27,01	0,192	0,000	(0; 0)
15	3506,54	15,37	929,47	0,37	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
16	3447,56	16,59	984,41	0,37	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
17	3381,51	17,82	1034,78	0,37	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
18	9286,62	19,06	3033,00	0,38	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
19	9204,04	20,32	3196,59	0,38	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
20	9113,63	21,59	3353,89	0,39	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
21	9015,21	22,87	3504,33	0,39	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
22	8908,55	24,17	3647,32	0,39	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
23	8793,40	25,48	3782,24	0,40	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
24	8669,49	26,80	3908,44	0,40	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
25	8536,52	28,13	4025,25	0,41	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
26	8394,14	29,49	4131,91	0,41	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
27	8241,99	30,86	4227,67	0,42	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
28	8079,64	32,25	4311,69	0,43	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
29	7906,64	33,67	4383,08	0,43	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
30	7722,44	35,10	4440,87	0,44	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
31	7526,47	36,57	4484,02	0,45	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
32	7318,04	38,06	4511,38	0,46	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
33	7096,39	39,58	4521,69	0,47	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
34	6860,65	41,14	4513,54	0,48	27,45	0,224	0,000	(7706; 4247)
35	6609,79	42,73	4485,38	0,49	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
36	6342,64	44,37	4435,44	0,50	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
37	6057,80	46,06	4361,71	0,52	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
38	5661,22	47,79	4193,41	0,54	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
39	5295,21	49,59	4031,97	0,56	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
40	8330,92	51,46	6516,05	0,58	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
41	8123,55	53,40	6522,14	0,60	27,45	0,224	0,000	(5056; 1507)
42	7716,90	55,45	6355,54	0,63	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
43	7274,63	57,60	6142,05	0,67	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
44	6790,02	59,89	5873,64	0,72	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
45	6253,61	62,35	5539,32	0,78	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
46	5651,34	65,03	5123,13	0,85	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
47	4960,52	68,02	4599,99	0,96	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
48	4139,58	71,47	3925,03	1,13	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
49	3091,53	75,75	2996,40	1,46	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
50	1261,49	83,11	1252,37	3,00	27,01	0,192	0,000	(0; 0)

Resistenza a taglio paratia= 0,00 [kg]
ΣW_i= 297280,80 [kg]
$\Sigma W_i \sin\alpha_i$= 153148,09 [kg]
$\Sigma W_i \tan\phi_i$= 153432,78 [kg]

$\Sigma \tan\alpha_i \tan\phi_i = 24.14$

SEZIONE 5-5 / PARATIA 3

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Metodo di analisi

Calcolo della profondità di infissione

Nel caso generale l'equilibrio della paratia è assicurato dal bilanciamento fra la spinta attiva agente da monte sulla parte fuori terra, la resistenza passiva che si sviluppa da valle verso monte nella zona interrata e la controspinta che agisce da monte verso valle nella zona interrata al di sotto del centro di rotazione.
Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la controspinta sarà assente.
Pertanto il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, controspinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).
Nel calcolo classico delle paratie si suppone che essa sia infinitamente rigida e che possa subire una rotazione intorno ad un punto (*Centro di rotazione*) posto al di sotto della linea di fondo scavo (per paratie non tirantate).
Occorre pertanto costruire i diagrammi di spinta attiva e di spinta (resistenza) passiva agenti sulla paratia. A partire da questi si costruiscono i diagrammi risultanti.
Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

K_{am} diagramma della spinta attiva agente da monte
K_{av} diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata
K_{pm} diagramma della spinta passiva agente da monte
K_{pv} diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata.

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$D_m = K_{pm} - K_{av}$ e $D_v = K_{pv} - K_{am}$

Questi diagrammi rappresentano i valori limiti delle pressioni agenti sulla paratia. La soluzione è ricercata per tentativi facendo variare la profondità di infissione e la posizione del centro di rotazione fino a quando non si raggiunge l'equilibrio sia alla traslazione che alla rotazione.
Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione
si può agire con tre modalità :
1. applicazione di un coefficiente moltiplicativo alla profondità di infissione strettamente necessaria per l'equilibrio
2. riduzione della spinta passiva tramite un coefficiente di sicurezza
3. riduzione delle caratteristiche del terreno tramite coefficienti di sicurezza su tan(ϕ) e sulla coesione

Calcolo della spinte

Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb: cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea o spezzata (nel caso di terreno stratificato).
La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il valore della spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo).
I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:
- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio *(W)*, carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura *(R e C)* e resistenza per coesione lungo la parete *(A)*;
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima nel caso di spinta attiva e minima nel caso di spinta passiva.
Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata *z*. Noto il diagramma delle pressioni si ricava il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

Per tenere conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di **Mononobe-Okabe** (cui fa riferimento la Normativa Italiana).
Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con *W* il peso del cuneo e con *C* il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W^*C$$

Indicando con *S* la spinta calcolata in condizioni statiche e con S_s la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/2 dell'altezza della parete stessa(diagramma rettangolare).

Tiranti di ancoraggio

Le paratie possono essere tirantate, con tiranti attivi o con tiranti passivi, realizzati entrambi tramite perforazione e iniezione del foro con malta in pressione previa sistemazione delle armature opportune.
I tiranti attivi, contrariamente ai tiranti passivi, sono sottoposti ad uno sforzo di pretensione prendendo il contrasto sulla struttura stessa. Il tiro finale sul tirante attivo dipende sia dalla pretensione che dalla deformazione della struttura oltre che dalle cadute di tensione. Nel caso di tiranti passivi il tiro dipende unicamente dalla deformabilità della struttura. L'armatura dei tiranti attivi è costituita da trefoli ad alta resistenza (trefoli per c.a.p.), viceversa i tiranti passivi possono essere armati con trefoli o con tondini o, in alcuni casi, con profilati tubolari.
La capacità di resistenza dei tiranti è legata all'attrito e all'aderenza fra superficie del tirante e terreno.
Calcolo della lunghezza di ancoraggio

La lunghezza di ancoraggio (fondazione) del tirante si calcola determinando la lunghezza massima atta a soddisfare le tre seguenti condizioni:

1. Lunghezza necessaria per garantire l'equilibrio fra tensione tangenziale che si sviluppa fra la superficie laterale del tirante ed il terreno e lo sforzo applicato al tirante;
2. Lunghezza necessaria a garantire l'aderenza malta-armatura;
3. Lunghezza necessaria a garantire la resistenza della malta.

Siano **N** lo sforzo nel tirante, $\boldsymbol{\delta}$ l'angolo d'attrito tirante-terreno, $\mathbf{c_a}$ l'adesione tirante-terreno, $\boldsymbol{\gamma}$ il peso di volume del terreno, **D** ed $\mathbf{L_f}$ il diametro e la lunghezza di ancoraggio (o lunghezza efficace) del tirante ed **H** la profondità media al di sotto del piano campagna abbiamo la relazione

$$N = \pi\, D\, L_f\, \gamma\, H\, K_s\, tg\, \delta + \pi\, D\, L_f\, c_a$$

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio L_f

$$L_f = \frac{N}{\pi\, D\, \gamma\, H\, K_s\, tg\, \delta + \pi\, D\, c_a}$$

K_s rappresenta il coefficiente di spinta che si assume pari al coefficiente di spinta a riposo

$$K_s = K_0 = 1 - \sin \phi$$

Per quanto riguarda la seconda condizione, la lunghezza necessaria atta a garantire l'aderenza malta-armatura è data dalla relazione

$$L_f = \frac{N}{\pi \, d \, \tau_{c0} \, \omega}$$

dove **d** è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, τ_{c0} è la resistenza tangenziale limite della malta ed ω è un coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli (**ω = 1 - 0.075 [n trefoli - 1]**).
Per quanto riguarda la verifica della terza condizione si impone che la tensione tangenziale limite tirante-terreno non possa superare il valore τ_c ottenuto come media fra la τ_{c0} e la τ_{c1} della malta.
Alla lunghezza efficace determinata prendendo il massimo valore di L_f si deve aggiungere la lunghezza di franco **L** che rappresenta la lunghezza del tratto che compreso fra la paratia e la superficie di ancoraggio.
La lunghezza totale del tirante sarà quindi data da

$$L_t = L_f + L$$

Nel caso di tiranti attivi, cioè tiranti soggetti ad uno stato di pretensione, bisogna considerare le cadute di tensione. A tale scopo è stato introdotto il coefficiente di caduta di tensione, β, che rappresenta il rapporto fra lo sforzo N_0 al momento del tiro e lo sforzo **N** in esercizio

$$\beta = N_0 / N$$

Analisi ad elementi finiti

La paratia è considerata come una struttura a prevalente sviluppo lineare (si fa riferimento ad un metro di larghezza) con comportamento a trave. Come caratteristiche geometriche della sezione si assume il momento d'inerzia I e l'area A per metro lineare di larghezza della paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia.
La parte fuori terra della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri e più o meno costante per tutti gli elementi. La suddivisione è suggerita anche dalla eventuale presenza di tiranti, carichi e vincoli. Infatti questi elementi devono capitare in corrispondenza di un nodo. Nel caso di tirante è inserito un ulteriore elemento atto a schematizzarlo. Detta L la lunghezza libera del tirante, A_f l'area di armatura nel tirante ed E_s il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad L, area A_f, inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico E_s. La parte interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.
I carichi agenti possono essere di tipo distribuito (spinta della terra, diagramma aggiuntivo di carico, spinta della falda, diagramma di spinta sismica) oppure concentrati. I carichi distribuiti sono riportati sempre come carichi concentrati nei nodi (sotto forma di reazioni di incastro perfetto cambiate di segno).

Schematizzazione del terreno

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso è visto come un letto di molle indipendenti fra di loro reagenti solo a sforzo assiale di compressione. La rigidezza della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (*costante di Winkler*). La costante di sottofondo, k, è definita come la pressione unitaria che occorre applicare per ottenere uno spostamento unitario. Dimensionalmente è espressa quindi come rapporto fra una pressione ed uno spostamento al cubo [F/L^3]. È evidente che i risultati sono tanto migliori quanto più è elevato il numero delle molle che schematizzano il terreno. Se (m è l'interasse fra le molle (in cm) e b è la larghezza della paratia in direzione longitudinale (b=100 cm) occorre ricavare l'area equivalente, A_m, della molla (a cui si assegna una lunghezza pari a 100 cm). Indicato con E_m il modulo elastico del materiale costituente la paratia (in Kg/cm^2), l'equivalenza, in termini di rigidezza, si esprime come

$$A_m = 10000 \times \frac{k \, \Delta_m}{E_m}$$

Per le molle di estremità, in corrispondenza della linea di fondo scavo ed in corrispondenza dell'estremità inferiore della paratia, si assume una area equivalente dimezzata. Inoltre, tutte le molle hanno, ovviamente, rigidezza flessionale e tagliante nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidezza di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidezza degli elementi della paratia (elementi a rigidezza flessionale, tagliante ed assiale), delle matrici di rigidezza dei tiranti (solo rigidezza assiale) e delle molle (rigidezza assiale).

Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno

A questo punto vediamo come è effettuata l'analisi. Un tipo di analisi molto semplice e veloce sarebbe l'analisi elastica (peraltro disponibile nel programma ***PAC***). Ma si intuisce che considerare il terreno con un comportamento infinitamente elastico è una approssimazione alquanto grossolana. Occorre quindi introdurre qualche correttivo che meglio ci aiuti a modellare il terreno. Fra le varie soluzioni possibili una delle più praticabili e che fornisce risultati soddisfacenti è quella di considerare il terreno con comportamento elasto-plastico perfetto. Si assume cioè che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero. Rimane da scegliere il

criterio di plasticizzazione del terreno (molle). Si può fare riferimento ad un criterio di tipo cinematico: la resistenza della molla cresce con la deformazione fino a quando lo spostamento non raggiunge il valore X_{max}; una volta superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti. Un altro criterio può essere di tipo statico: si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione p_{max}. Tale pressione p_{max} può essere imposta pari al valore della pressione passiva in corrispondenza della quota della molla. D'altronde un ulteriore criterio si può ottenere dalla combinazione dei due descritti precedentemente: plasticizzazione o per raggiungimento dello spostamento limite o per raggiungimento della pressione passiva. Dal punto di vista strettamente numerico è chiaro che l'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche). Questo comporta un aggravio computazionale non indifferente. L'entità di tale aggravio dipende poi dalla particolare tecnica adottata per la soluzione. Nel caso di analisi elastica lineare il problema si risolve immediatamente con la soluzione del sistema fondamentale (K matrice di rigidezza, u vettore degli spostamenti nodali, p vettore dei carichi nodali)

$$Ku=p$$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale p0, fino a raggiungere il carico totale p. Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riassemblata escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidezza è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassemblaggio e la decomposizione della matrice, ma usano la matrice elastica iniziale (*metodo di Riks*).
Senza addentrarci troppo nei dettagli diremo che si tratta di un metodo di Newton-Raphson modificato e ottimizzato. L'analisi condotta secondo questa tecnica offre dei vantaggi immediati. Essa restituisce l'effettiva deformazione della paratia e le relative sollecitazioni; dà informazioni dettagliate circa la deformazione e la pressione sul terreno. Infatti la deformazione è direttamente leggibile, mentre la pressione sarà data dallo sforzo nella molla diviso per l'area di influenza della molla stessa. Sappiamo quindi quale è la zona di terreno effettivamente plasticizzato. Inoltre dalle deformazioni ci si può rendere conto di un possibile meccanismo di rottura del terreno.

Analisi per fasi di scavo

L'analisi della paratia per fasi di scavo consente di ottenere informazioni dettagliate sullo stato di sollecitazione e deformazione dell'opera durante la fase di realizzazione. In ogni fase lo stato di sollecitazione e di deformazione dipende dalla 'storia' dello scavo (soprattutto nel caso di paratie tirantate o vincolate).
Definite le varie altezze di scavo (in funzione della posizione di tiranti, vincoli, o altro) si procede per ogni fase al calcolo delle spinte inserendo gli elementi (tiranti, vincoli o carichi) attivi per quella fase, tendendo conto delle deformazioni dello stato precedente. Ad esempio, se sono presenti dei tiranti passivi si inserirà nell'analisi della fase la 'molla' che lo rappresenta. Indicando con u ed u_0 gli spostamenti nella fase attuale e nella fase precedente, con s ed s_0 gli sforzi nella fase attuale e nella fase precedente e con K la matrice di rigidezza della 'struttura' la relazione sforzi-deformazione è esprimibile nella forma

$$s=s_0+K(u-u_0)$$

Le modalità di analisi sono più complicate nel caso di tiranti attivi in quanto è importante conoscere la modalità di tiro: infatti il tirante può essere tesato prima dello scavo, oppure tesato alla fine della corrispondente fase di scavo, oppure al termine di tutto lo scavo. Nella fase in cui il tirante è tesato verra inserita una molla con uno stato di pretensione pari allo sforzo di tesatura. Nelle fasi successive il tirante verrà considerato come una semplice molla che 'ricorda', naturalmente, lo sforzo della fase precedente.
Ovviamente si otterranno soluzioni differenti in funzione della modalità di tiro selezionata.
Nel caso di tiranti attivi, inoltre, è analizzata un fase ulteriore (a lungo termine) nella quale il tiro iniziale è depurato delle cadute di tensione.
In sostanza analizzare la paratia per fasi di scavo oppure 'direttamente' porta a risultati abbastanza diversi sia per quanto riguarda lo stato di deformazione e sollecitazione dell'opera sia per quanto riguarda il tiro dei tiranti.

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1.3.
È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.
In particolare il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 6x6 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

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

$$\eta = \frac{\Sigma_i \left(\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) tg\phi_i}{m} \right)}{\Sigma_i W_i \sin\alpha_i}$$

dove il termine *m* è espresso da

$$m = (1 + \frac{tg\phi_i tg\alpha_i}{\eta}) \cos\alpha_i$$

In questa espressione *n* è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i_{esima} rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i_{esima} , c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.
L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine *m* che è funzione di η. Quindi essa è risolta per successive approsimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di *m* ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	6,60	[m]
Profondità di infissione	3,00	[m]
Altezza totale della paratia	9,60	[m]
Lunghezza paratia	10,00	[m]
Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,50	[m]
Diametro dei micropali	20,00	[cm]
Numero totale di micropali	19	
Numero di micropali per metro lineare	1.90	
Diametro esterno del tubolare	168,30	[mm]
Spessore del tubolare	10,00	[mm]

Geometria cordoli

Simbologia adottata
n° numero d'ordine del cordolo
Y posizione del cordolo sull'asse della paratia espresso in [m]

Cordoli in calcestruzzo
B Base della sezione del cordolo espresso in [cm]
H Altezza della sezione del cordolo espresso in [cm]

Cordoli in acciaio
A Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cmq]
W Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm^3]

n°	Y	Tipo	B	H	A	W
1	0,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--
2	2,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--
3	5,50	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento
(Sistema di riferimento con origine in testa alla paratia, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

N	X	Y	A
2	0,20	0,00	0,00
3	1,50	0,00	0,00
4	6,00	0,00	0,00

Profilo di valle

N	X	Y	A
1	-8,00	-9,50	0,00
2	-6,60	-9,50	88,03
3	-6,50	-6,60	0,00
4	-4,00	-6,60	0,00
5	0,00	-6,60	0,00

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
Descrizione	Descrizione del terreno
γ	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s	peso di volume saturo del terreno espresso [kg/mc]
ϕ	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
δ	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kg/cmq]

n°	Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c
1	Calcari alterati	2200,00	2400,00	32,00	21,00	0,200
2	Calcari scistosi	2400,00	2600,00	33,00	22,00	0,280

Parametri per il calcolo dei tiranti

Simbologia adottata

ϕ_{min}	angolo d'attrito minimo interno del terreno espresso in [°]
δ_{min}	angolo d'attrito minimo terreno/paratia espresso in [°]
c_{min}	coesione minima del terreno espressa in [kg/cmq]
ϕ_{med}	angolo d'attrito medio interno del terreno espresso in [°]
δ_{med}	angolo d'attrito medio terreno/paratia espresso in [°]
c_{med}	coesione media del terreno espressa in [kg/cmq]

N°	Descrizione	ϕ_{min}	ϕ_{med}	δ_{min}	δ_{med}	c_{min}	c_{med}
1	Calcari alterati	0,00	32,00	0,00	21,00	0,000	1,000
2	Calcari scistosi	0,00	36,00	0,00	24,00	0,000	1,000

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla som mità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm^2/cm
α	inclinazione dello strato espressa in GRADI(°)
Terreno	Terreno associato allo strato

n°	sp	α	kw	Terreno
1	10,00	45,00	2,79	Calcari alterati
2	10,00	0,00	7,91	Calcari scistosi

Caratteristiche materiali utilizzati

Calcestruzzo		
Peso specifico	2500	[kg/mc]
Classe di Resistenza	C25/30	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	306	[kg/cmq]
Tensione di progetto a compressione σ_c	99	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	6,1	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	18,5	[kg/cmq]
Acciaio		
Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f_{yk}	4589	[kg/cmq]
Caratteristiche acciaio cordoli in c.a.		
Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f_{yk}	4589	[kg/cmq]
Caratteristiche acciaio cordoli in acciaio.		
Tipo	Fe 360	
Tensione di snervamento f_{yk}	2400	[kg/cmq]
Malta utilizzata per i tiranti		
Classe di Resistenza	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	250	[kg/cmq]

Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	5,3	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	16,9	[kg/cmq]
Acciaio utilizzato per i tiranti		
Tipo	Trefoli	
Tensione di progetto σ_{fa}	15000,0	[kg/cmq]
Tensione di snervamento f_{yk}	22000,0	kg/cmq

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate
Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

F_x	Forza orizzontale espressa in [kg], positiva da monte verso valle
F_y	Forza verticale espressa in [kg], positiva verso il basso
M	Momento espresso in [kgm], positivo ribaltante
Q_i, Q_f	Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kg/mq]
V_i, V_s	Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kg/mq], positivi da monte verso valle
R	Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kg]

Condizione n°1
Carico distribuito sul profilo X_i = 0,00 X_f = 4,00 Q_i = 1500 Q_f = 1500

Condizione n°2
Carico distribuito sul profilo X_i = 0,00 X_f = 4,00 Q_i = 1500 Q_f = 1500

Condizione n°3
Carico distribuito sul profilo X_i = -4,00 X_f = 0,00 Q_i = 2000 Q_f = 2000

Condizione n°4
Carico distribuito sul profilo X_i = -4,00 X_f = 0,00 Q_i = 2000 Q_f = 2000

Descrizione tiranti di ancoraggio

Simbologia adottata - Caratteristiche geometriche

N	numero d'ordine della fila
Y	ordinata della fila espressa in [m] misurata dalla testa della paratia
I	interasse tra le file di tiranti espressa in [m]
alfa	inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
D	diametro della perforazione espresso in [cm]
Cesp	coeff. di espansione laterale
ALL	allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
nr	numero di tiranti della fila
Lt	lunghezza totale del tirante espresso in [m]
Lf	lunghezza di fondazione del tirante espresso in [m]

Simbologia adottata - Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	numero d'ordine della fila
At	area del singolo trefolo espressa in [cmq]
nt	numero di trefoli del tirante
T	tiro iniziale espresso in [kg]
δ	angolo di attrito medio tirante-terreno espresso in [°]
δ	angolo di attrito minimo tirante-terreno espresso in [°]
ca	adesione media tirante-terreno espresso in [kg/mq]
ca	adesione minima tirante-terreno espresso in [kg/mq]

Caratteristiche geometriche

N	Y	I	Alfa	D	Cesp	ALL	nr	Lt	Lf
1	2,00	3,00	20,00	16,00	1,20	Centrati	3	14,00	7,00
2	5,50	3,00	20,00	16,00	1,20	Centrati	3	14,00	7,00

Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	At	nt	T	δ_{med}	ca_{med}	δ_{min}	ca_{min}
1	1,39	3	20000	20,00	20,00	20,00	20,00
2	1,39	3	20000	20,00	20,00	20,00	20,00

Combinazioni di carico

Nella tabella sono riportate le condizioni di carico di ogni combinazione con il relativo coefficiente di partecipazione.

Combinazione n° 1 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b) x 1.00

Combinazione n° 2 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b) x 1.00

Combinazione n° 3 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a) x 1.00

Combinazione n° 4 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a) x 1.00

Combinazione n° 5 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00

Combinazione n° 6 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00

Combinazione n° 7 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00

Combinazione n° 8 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00

Combinazione n° 9 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V+) x 0.20

Combinazione n° 10 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V-) x 0.20

Combinazione n° 11 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V+) x 0.20

Combinazione n° 12 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V-) x 1.00

Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V-)	x 0.20

Combinazione n° 13
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b)	x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a)	x 0.20

Combinazione n° 14
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b)	x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a)	x 0.50

Combinazione n° 15
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b)	x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a)	x 1.00

Combinazione n° 16
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+)	x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V+)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V+)	x 0.20

Combinazione n° 17
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-)	x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V-)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V-)	x 0.20

Combinazione n° 18
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+)	x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V+)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V+)	x 0.50

Combinazione n° 19
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-)	x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V-)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V-)	x 0.50

Combinazione n° 20
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V+)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V+)	x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V+)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V+)	x 1.00

Combinazione n° 21
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm. fabbr. 2a / sisma V-)	x 1.00
Condizione 3 (Perm. fabbr 2b / sisma V-)	x 1.00
Condizione 4 (Var. fabbr 2b / sisma V-)	x 1.00
Condizione 2 (Var fabbricato 2a / sisma V-)	x 1.00

Impostazioni di progetto

Spinte e verifiche secondo :
Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Verifica materiali : Stato Limite Ultimo

Impostazioni di analisi

Analisi per Combinazioni di Carico.

Rottura del terreno: Pressione passiva

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia): Solo nel calcolo dei coefficienti di spinta (le spinte sono considerate orizzontali)

Stabilità globale: Metodo di Bishop

Impostazioni analisi sismica

Combinazioni/Fase	**SLU**	**SLE**
Accelerazione al suolo [m/s^2]	0.796	0.268
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.522	2.524
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc*	0.291	0.198
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.200	1.200
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.000	1.000
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza Us [m]	0.048	0.048
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.486	0.486
Coefficiente di intensità sismica (percento)	4.732	1.595
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.50	

Influenza sisma nella spinta attiva da monte
Forma diagramma incremento sismico : Rettangolare

Analisi della paratia

L'analisi è stata eseguita per combinazioni di carico
La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.
Essa è discretizzata in 132 elementi fuori terra e 60 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.
Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva non reagiscono ad ulteriori incremento di carico.

Altezza fuori terra della paratia	6,60	[m]
Profondità di infissione	3,00	[m]
Altezza totale della paratia	9,60	[m]

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata
n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
Pa Spinta attiva, espressa in [kg]
Is Incremento sismico della spinta, espressa in [kg]
Pw Spinta della falda, espressa in [kg]
Pp Resistenza passiva, espressa in [kg]
Pc Controspinta, espressa in [kg]

n°	Tipo	Pa	Y_{Pa}	Is	Y_{Is}	Pw	Y_{Pw}	Pp	Y_{Pp}	Pc	Y_{Pc}
1	[A1-M1]	12158	4,04	--	--	--	--	-1060	7,24	144	9,28
2	[A2-M2]	12121	4,03	--	--	--	--	-1008	7,23	145	9,27
3	[A1-M1]	13831	4,23	--	--	--	--	-2413	7,15	495	9,20
4	[A2-M2]	13960	4,21	--	--	--	--	-2459	7,14	539	9,19
5	[A1-M1] S	9659	3,91	1441	3,30	--	--	-158	8,29	21	6,73
6	[A1-M1] S	10233	3,87	819	3,30	--	--	-148	8,42	39	6,77
7	[A2-M2] S	11091	4,23	1654	3,30	--	--	-1520	7,18	271	9,23
8	[A2-M2] S	11600	4,12	819	3,30	--	--	-1255	7,20	204	9,25
9	[A1-M1] S	9629	3,93	1515	3,30	--	--	-174	8,12	7	6,67
10	[A1-M1] S	10231	3,88	861	3,30	--	--	-158	8,29	21	6,73
11	[A2-M2] S	11324	4,27	1725	3,30	--	--	-1765	7,17	336	9,22
12	[A2-M2] S	11833	4,16	856	3,30	--	--	-1477	7,18	261	9,24
13	[SLEQ]	11025	3,83	--	--	--	--	-145	8,47	48	6,79
14	[SLEF]	11081	3,84	--	--	--	--	-157	8,29	21	6,73
15	[SLER]	11178	3,85	--	--	--	--	-199	7,93	0	6,60
16	[SLEQ] S	10612	3,85	448	3,30	--	--	-151	8,38	33	6,76
17	[SLEQ] S	10807	3,84	236	3,30	--	--	-148	8,43	40	6,78
18	[SLEF] S	10635	3,87	485	3,30	--	--	-168	8,17	10	6,69
19	[SLEF] S	10846	3,85	255	3,30	--	--	-162	8,23	15	6,71
20	[SLER] S	10681	3,89	541	3,30	--	--	-223	7,77	1	9,56
21	[SLER] S	10916	3,87	284	3,30	--	--	-211	7,84	0	9,60

Simbologia adottata
n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
Rc Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kg]
Rt Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kg]
Rv Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kg]
Rp Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kg]

n°	Tipo	Rc	Y_{Rc}	Rt	Y_{Rt}	Rv	Y_{Rv}	Rp	Y_{Rp}
1	[A1-M1]	0	0,00	11240	3,81	--	--	--	--
2	[A2-M2]	0	0,00	11255	3,81	--	--	--	--
3	[A1-M1]	0	0,00	11910	3,84	--	--	--	--
4	[A2-M2]	0	0,00	12036	3,84	--	--	--	--
5	[A1-M1] S	0	0,00	10963	3,78	--	--	--	--
6	[A1-M1] S	0	0,00	10943	3,78	--	--	--	--
7	[A2-M2] S	0	0,00	11493	3,82	--	--	--	--
8	[A2-M2] S	0	0,00	11365	3,81	--	--	--	--
9	[A1-M1] S	0	0,00	10977	3,78	--	--	--	--
10	[A1-M1] S	0	0,00	10956	3,78	--	--	--	--
11	[A2-M2] S	0	0,00	11617	3,83	--	--	--	--
12	[A2-M2] S	0	0,00	11469	3,82	--	--	--	--
13	[SLEQ]	0	0,00	10928	3,78	--	--	--	--
14	[SLEF]	0	0,00	10946	3,78	--	--	--	--

15	[SLER]	0	0,00	10979	3,78	--	--	--	--
16	[SLEQ] S	0	0,00	10942	3,78	--	--	--	--
17	[SLEQ] S	0	0,00	10935	3,78	--	--	--	--
18	[SLEF] S	0	0,00	10961	3,78	--	--	--	--
19	[SLEF] S	0	0,00	10954	3,78	--	--	--	--
20	[SLER] S	0	0,00	10999	3,78	--	--	--	--
21	[SLER] S	0	0,00	10989	3,78	--	--	--	--

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
P_{NUL}	Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
P_{INV}	Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
C_{ROT}	Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP	Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R_{MAX}	Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]
Pp	Portanza di punta, espressa in [kg]

n°	Tipo	P_{NUL}	P_{INV}	C_{ROT}	MP	R/R_{MAX}	Pp
1	[A1-M1]	6,60	6,60	8,66	0.00	0,43	8868
2	[A2-M2]	6,60	6,60	8,64	0.00	0,82	4987
3	[A1-M1]	6,60	6,60	8,45	0.00	0,90	8868
4	[A2-M2]	6,60	6,60	8,41	0.00	1,85	4987
5	[A1-M1] S	6,60	8,05	7,01	0.00	0,16	8868
6	[A1-M1] S	6,60	8,20	7,16	0.00	0,14	8868
7	[A2-M2] S	6,60	6,60	8,53	0.00	1,18	4987
8	[A2-M2] S	6,60	6,60	8,58	0.00	1,00	4987
9	[A1-M1] S	6,60	7,85	6,84	0.00	0,21	8868
10	[A1-M1] S	6,60	8,05	7,01	0.00	0,16	8868
11	[A2-M2] S	6,60	6,60	8,49	0.00	1,34	4987
12	[A2-M2] S	6,60	6,60	8,53	0.00	1,15	4987
13	[SLEQ]	6,60	8,30	7,22	0.00	0,14	8868
14	[SLEF]	6,60	8,05	7,02	0.00	0,16	8868
15	[SLER]	6,60	7,65	6,63	0.00	0,30	8868
16	[SLEQ] S	6,60	8,15	7,12	0.00	0,15	8868
17	[SLEQ] S	6,60	8,20	7,17	0.00	0,14	8868
18	[SLEF] S	6,60	7,90	6,89	0.00	0,19	8868
19	[SLEF] S	6,60	7,95	6,95	0.00	0,18	8868
20	[SLER] S	6,60	7,45	9,48	0.00	0,26	8868
21	[SLER] S	6,60	7,55	9,55	0.00	0,31	8868

Risultati tiranti

Caratteristiche dei tiranti utilizzati

Simbologia adottata

Y	ordinata della fila rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
nt	numero di tiranti della fila
N	sforzo su ogni tirante della fila espresso in [kg]
L	lunghezza totale di progetto del tirante espressa in [m]
L_f	lunghezza di fondazione di progetto del tirante espressa in [m]
Ld	lunghezza totale definita del tirante espressa in [m]
Ld_f	lunghezza di fondazione definita del tirante espressa in [m]
FS	Fattore di sicurezza. Rapporto tra lunghezza di fondazione di progetto e lunghezza di fondazione definita.
A_f	area di armatura in ogni tirante espressa in [cmq]
Rt/ml	reazione a metro lineare del tirante della fila espresso in [kg]
σ_f	tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [kg/cmq]
u	spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]

2 file di tiranti attivi armati con trefoli

n°	Y	nt	A_f	L	L_f	Ld	Ld_f	FS
1	2,00	3	4,17	10,50	3,51	14,00	7,00	2.00
2	5,50	3	4,17	10,90	3,88	14,00	7,00	1.80

Combinazione n°1

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19260	5778,02	4618,72	-0,05719
2	20610	6183,07	4942,50	0,05598

Combinazione n°2

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19299	5789,71	4628,07	-0,05387

2	20625	6187,43	4945,99	0,05722

Combinazione n°3

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	20010	6002,95	4798,52	0,00683
2	22237	6671,08	5332,60	0,19454

Combinazione n°4

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	20258	6077,47	4858,09	0,02802
2	22436	6730,88	5380,40	0,21154

Combinazione n°5

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19161	5748,18	4594,87	-0,06573
2	19728	5918,28	4730,84	-0,01918

Combinazione n°6

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19122	5736,69	4585,68	-0,06900
2	19695	5908,38	4722,93	-0,02200

Combinazione n°7

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19553	5866,03	4689,08	-0,03214
2	21214	6364,07	5087,18	0,10737

Combinazione n°8

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19412	5823,56	4655,13	-0,04423
2	20904	6271,11	5012,87	0,08098

Combinazione n°9

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19176	5752,69	4598,47	-0,06445
2	19762	5928,47	4738,99	-0,01629

Combinazione n°10

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19135	5740,61	4588,82	-0,06788
2	19727	5918,07	4730,67	-0,01924

Combinazione n°11

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19695	5908,42	4722,96	-0,02008
2	21514	6454,26	5159,28	0,13298

Combinazione n°12

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19517	5855,11	4680,34	-0,03525
2	21167	6350,13	5076,04	0,10341

Combinazione n°13

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19082	5724,72	4576,11	-0,07240
2	19681	5904,36	4719,71	-0,02314

Combinazione n°14

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19101	5730,44	4580,69	-0,07077
2	19726	5917,88	4730,52	-0,01930

Combinazione n°15

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19143	5742,86	4590,61	-0,06724
2	19802	5940,57	4748,65	-0,01286

Combinazione n°16

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19110	5732,98	4582,72	-0,07005
2	19705	5911,49	4725,41	-0,02111

Combinazione n°17

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19097	5729,07	4579,59	-0,07116

2	19694	5908,12	4722,72	-0,02207

Combinazione n°18

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19131	5739,39	4587,84	-0,06823
2	19752	5925,59	4736,69	-0,01711

Combinazione n°19

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19117	5735,15	4584,45	-0,06943
2	19740	5921,94	4733,76	-0,01815

Combinazione n°20

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19178	5753,45	4599,08	-0,06423
2	19839	5951,58	4757,45	-0,00973

Combinazione n°21

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19161	5748,36	4595,01	-0,06568
2	19820	5946,05	4753,04	-0,01130

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente massimo e minimo espresso in [kgm]
N	sforzo normale massimo e minimo espresso in [kg] (positivo di compressione)
T	taglio massimo e minimo espresso in [kg]

n°	Tipo	M	Y_M	T	Y_T	N	Y_N	
1	[A1-M1]	2026	2,00	3114	5,50	5523	9,60	MAX
--	--	-1150	4,15	-2923	2,00	0	0,00	MIN
2	[A2-M2]	2021	2,00	3165	5,50	5529	9,60	MAX
--	--	-1195	4,15	-2957	2,00	0	0,00	MIN
3	[A1-M1]	2328	2,00	3893	5,50	5767	9,60	MAX
--	--	-2122	4,20	-3459	2,00	0	0,00	MIN
4	[A2-M2]	2265	2,00	4051	5,50	5813	9,60	MAX
--	--	-2279	4,15	-3652	2,00	0	0,00	MIN
5	[A1-M1] S	1781	2,00	2810	5,50	5423	9,60	MAX
--	--	-728	3,95	-2908	2,00	0	0,00	MIN
6	[A1-M1] S	1774	2,00	2806	5,50	5415	9,60	MAX
--	--	-723	3,95	-2900	2,00	0	0,00	MIN
7	[A2-M2] S	2201	2,00	3441	5,50	5616	9,60	MAX
--	--	-1538	4,20	-3043	2,00	0	0,00	MIN
8	[A2-M2] S	2109	2,00	3295	5,50	5569	9,60	MAX
--	--	-1357	4,15	-2982	2,00	0	0,00	MIN
9	[A1-M1] S	1789	2,00	2816	5,50	5428	9,60	MAX
--	--	-743	3,95	-2916	2,00	0	0,00	MIN
10	[A1-M1] S	1783	2,00	2813	5,50	5420	9,60	MAX
--	--	-737	3,95	-2908	2,00	0	0,00	MIN
11	[A2-M2] S	2263	2,00	3588	5,50	5661	9,60	MAX
--	--	-1721	4,20	-3147	2,00	0	0,00	MIN
12	[A2-M2] S	2173	2,00	3423	5,50	5607	9,60	MAX
--	--	-1517	4,15	-3037	2,00	0	0,00	MIN
13	[SLEQ]	1776	2,00	2808	5,50	5410	9,60	MAX
--	--	-730	3,90	-2899	2,00	0	0,00	MIN
14	[SLEF]	1786	2,00	2817	5,50	5417	9,60	MAX
--	--	-750	3,90	-2918	2,00	0	0,00	MIN
15	[SLER]	1788	2,00	2831	5,50	5429	9,60	MAX
--	--	-781	3,90	-2971	2,00	0	0,00	MIN
16	[SLEQ] S	1780	2,00	2811	5,50	5415	9,60	MAX
--	--	-734	3,95	-2903	2,00	0	0,00	MIN
17	[SLEQ] S	1778	2,00	2810	5,50	5413	9,60	MAX
--	--	-732	3,95	-2901	2,00	0	0,00	MIN
18	[SLEF] S	1789	2,00	2820	5,50	5422	9,60	MAX
--	--	-754	3,95	-2923	2,00	0	0,00	MIN
19	[SLEF] S	1787	2,00	2818	5,50	5420	9,60	MAX
--	--	-752	3,90	-2920	2,00	0	0,00	MIN
20	[SLER] S	1797	2,00	2845	5,50	5436	9,60	MAX
--	--	-802	3,95	-2975	2,00	0	0,00	MIN

21	[SLER] S	1792	2,00	2837	5,50	5432	9,60	MAX
--	--	-790	3,95	-2973	2,00	0	0,00	MIN

Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata
n° Indice della combinazione/fase
Tipo Tipo della combinazione/fase
Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
U spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
V spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U	Y_U	V	Y_V	
1	[A1-M1]	0,0713	4,55	0,0160	0,00	MAX
--	--	-0,0613	1,70	0,0000	0,00	MIN
2	[A2-M2]	0,0755	4,50	0,0160	0,00	MAX
--	--	-0,0588	1,65	0,0000	0,00	MIN
3	[A1-M1]	0,2433	4,45	0,0166	0,00	MAX
--	--	-0,0474	0,00	0,0000	0,00	MIN
4	[A2-M2]	0,2721	4,35	0,0168	0,00	MAX
--	--	-0,0529	0,00	0,0000	0,00	MIN
5	[A1-M1] S	0,0064	0,00	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0658	1,95	0,0000	0,00	MIN
6	[A1-M1] S	0,0029	8,20	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0691	1,95	0,0000	0,00	MIN
7	[A2-M2] S	0,1359	4,50	0,0162	0,00	MAX
--	--	-0,0441	1,45	0,0000	0,00	MIN
8	[A2-M2] S	0,1037	4,50	0,0161	0,00	MAX
--	--	-0,0518	1,55	0,0000	0,00	MIN
9	[A1-M1] S	0,0062	0,00	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0646	1,95	0,0000	0,00	MIN
10	[A1-M1] S	0,0030	8,05	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0681	1,95	0,0000	0,00	MIN
11	[A2-M2] S	0,1680	4,45	0,0163	0,00	MAX
--	--	-0,0391	1,25	0,0000	0,00	MIN
12	[A2-M2] S	0,1311	4,50	0,0162	0,00	MAX
--	--	-0,0473	1,45	0,0000	0,00	MIN
13	[SLEQ]	0,0028	8,30	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0726	1,95	0,0000	0,00	MIN
14	[SLEF]	0,0030	8,05	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0710	1,90	0,0000	0,00	MIN
15	[SLER]	0,0038	7,65	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0678	1,90	0,0000	0,00	MIN
16	[SLEQ] S	0,0029	8,15	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0702	1,95	0,0000	0,00	MIN
17	[SLEQ] S	0,0028	8,20	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0713	1,95	0,0000	0,00	MIN
18	[SLEF] S	0,0032	7,90	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0685	1,90	0,0000	0,00	MIN
19	[SLEF] S	0,0031	7,95	0,0157	0,00	MAX
--	--	-0,0697	1,90	0,0000	0,00	MIN
20	[SLER] S	0,0053	4,25	0,0158	0,00	MAX
--	--	-0,0649	1,90	0,0000	0,00	MIN
21	[SLER] S	0,0040	7,55	0,0158	0,00	MAX
--	--	-0,0663	1,90	0,0000	0,00	MIN

Stabilità globale

Metodo di Bishop
Numero di cerchi analizzati 100

Simbologia adottata
n° Indice della combinazione/fase
Tipo Tipo della combinazione/fase
(X_C; Y_C) Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X_V; Y_V) Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X_M; Y_M) Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS Coefficiente di sicurezza

n°	Tipo	(X_C, Y_C)	R	(X_V, Y_V)	(X_M, Y_M)	FS

2	[A2-M2]	(-4,80; 0,00)	10,73	(-9,81; -9,49)	(5,93; 0,00)	1,77
4	[A2-M2]	(-4,80; 0,00)	10,73	(-9,81; -9,49)	(5,93; 0,00)	1,71
7	[A2-M2] S	(-4,80; 0,00)	10,73	(-9,81; -9,49)	(5,93; 0,00)	1,64
8	[A2-M2] S	(-4,80; 0,00)	10,73	(-9,81; -9,49)	(5,93; 0,00)	1,66
11	[A2-M2] S	(-4,80; 0,00)	10,73	(-9,81; -9,49)	(5,93; 0,00)	1,63
12	[A2-M2] S	(-4,80; 0,00)	10,73	(-9,81; -9,49)	(5,93; 0,00)	1,66

Combinazione n°11

Numero di strisce 50

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)
Le strisce sono numerate da monte verso valle

N°	numero d'ordine della striscia
W	peso della striscia espresso in [kg]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
L	sviluppo della base della striscia espressa in [m] (L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
Ctn, Ctt	contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kg]

Caratteristiche delle strisce

N°	W	α(°)	W sin α	L	ϕ	c	u	(Ctn; Ctt)
1	49,26	-26,90	-22,28	0,35	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
2	156,61	-25,02	-66,23	0,35	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
3	255,22	-23,17	-100,40	0,34	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
4	345,44	-21,34	-125,70	0,34	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
5	427,61	-19,54	-142,99	0,34	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
6	502,01	-17,75	-153,06	0,33	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
7	568,88	-15,99	-156,67	0,33	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
8	628,42	-14,24	-154,53	0,33	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
9	680,81	-12,50	-147,33	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
10	726,22	-10,77	-135,74	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
11	2161,66	-9,06	-340,27	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
12	2816,15	-7,35	-360,23	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
13	2841,27	-5,65	-279,63	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
14	2859,78	-3,95	-197,10	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
15	2871,75	-2,26	-113,22	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
16	2877,19	-0,57	-28,57	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
17	2876,13	1,12	56,28	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
18	2868,56	2,81	140,74	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
19	3659,94	4,51	287,52	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
20	4100,00	6,20	443,03	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
21	4072,71	7,91	560,21	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
22	4038,73	9,62	674,66	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
23	3997,96	11,33	785,78	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
24	3950,28	13,06	892,93	0,32	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
25	3895,57	14,81	995,47	0,33	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
26	3833,66	16,56	1092,73	0,33	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
27	3764,36	18,33	1184,01	0,33	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
28	3687,45	20,12	1268,59	0,34	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
29	3602,68	21,93	1345,70	0,34	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
30	3509,75	23,77	1414,52	0,35	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
31	3408,33	25,63	1474,19	0,35	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
32	7101,37	27,50	3279,58	0,35	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
33	6985,08	29,40	3429,14	0,36	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
34	6859,35	31,33	3567,03	0,37	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
35	6727,41	33,31	3694,19	0,37	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
36	6587,09	35,33	3808,84	0,38	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
37	6434,21	37,40	3907,70	0,39	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
38	6267,70	39,53	3989,01	0,40	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
39	6086,31	41,72	4050,71	0,42	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
40	5888,47	44,00	4090,45	0,43	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
41	5672,24	46,37	4105,38	0,45	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
42	5435,15	48,84	4092,04	0,47	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
43	5173,98	51,44	4046,09	0,50	27,45	0,224	0,000	(6119; 2054)
44	4777,26	54,21	3875,03	0,53	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
45	3998,65	57,17	3360,01	0,58	27,01	0,192	0,000	(0; 0)
46	3641,08	60,40	3165,75	0,63	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
47	3232,54	63,98	2904,97	0,71	26,56	0,160	0,000	(0; 0)

48	2745,67	68,12	2547,90	0,84	26,56	0,160	0,000	(5905; 194)
49	2122,12	73,25	2032,10	1,08	26,56	0,160	0,000	(0; 0)
50	882,84	83,07	876,40	2,59	26,56	0,160	0,000	(0; 0)

Resistenza a taglio paratia= 0,00 [kg]
ΣW_i= 172652,93 [kg]
$\Sigma W_i \sin\alpha_i$= 74914,75 [kg]
$\Sigma W_i \tan\phi_i$= 87506,69 [kg]
$\Sigma \tan\alpha_i \tan\phi_i$= 15.40

SEZIONE 8-8 / PARATIA 1

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Metodo di analisi

Calcolo della profondità di infissione

Nel caso generale l'equilibrio della paratia è assicurato dal bilanciamento fra la spinta attiva agente da monte sulla parte fuori terra, la resistenza passiva che si sviluppa da valle verso monte nella zona interrata e la controspinta che agisce da monte verso valle nella zona interrata al di sotto del centro di rotazione.
Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la controspinta sarà assente.
Pertanto il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, controspinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).
Nel calcolo classico delle paratie si suppone che essa sia infinitamente rigida e che possa subire una rotazione intorno ad un punto (*Centro di rotazione*) posto al di sotto della linea di fondo scavo (per paratie non tirantate).
Occorre pertanto costruire i diagrammi di spinta attiva e di spinta (resistenza) passiva agenti sulla paratia. A partire da questi si costruiscono i diagrammi risultanti.
Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

K_{am} diagramma della spinta attiva agente da monte
K_{av} diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata
K_{pm} diagramma della spinta passiva agente da monte
K_{pv} diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata.

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$D_m=K_{pm}-K_{av}$ e $D_v=K_{pv}-K_{am}$

Questi diagrammi rappresentano i valori limiti delle pressioni agenti sulla paratia. La soluzione è ricercata per tentativi facendo variare la profondità di infissione e la posizione del centro di rotazione fino a quando non si raggiunge l'equilibrio sia alla traslazione che alla rotazione.
Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione
si può agire con tre modalità :
1. applicazione di un coefficiente moltiplicativo alla profondità di infissione strettamente necessaria per l'equilibrio
2. riduzione della spinta passiva tramite un coefficiente di sicurezza
3. riduzione delle caratteristiche del terreno tramite coefficienti di sicurezza su tan(ϕ) e sulla coesione

Calcolo della spinte
Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb: cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea o spezzata (nel caso di terreno stratificato).
La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il valore della spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo).
I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:
- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio *(W)*, carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura *(R e C)* e resistenza per coesione lungo la parete *(A)*;
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima nel caso di spinta attiva e minima nel caso di spinta passiva.
Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata *z*. Noto il diagramma delle pressioni si ricava il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

Per tenere conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di **Mononobe-Okabe** (cui fa riferimento la Normativa Italiana).
Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con *W* il peso del cuneo e con *C* il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W^*C$$

Indicando con *S* la spinta calcolata in condizioni statiche e con S_s la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/2 dell'altezza della parete stessa(diagramma rettangolare).

Tiranti di ancoraggio

Le paratie possono essere tirantate, con tiranti attivi o con tiranti passivi, realizzati entrambi tramite perforazione e iniezione del foro con malta in pressione previa sistemazione delle armature opportune.
I tiranti attivi, contrariamente ai tiranti passivi, sono sottoposti ad uno sforzo di pretensione prendendo il contrasto sulla struttura stessa. Il tiro finale sul tirante attivo dipende sia dalla pretensione che dalla deformazione della struttura oltre che dalle cadute di tensione. Nel caso di tiranti passivi il tiro dipende unicamente dalla deformabilità della struttura. L'armatura dei tiranti attivi è costituita da trefoli ad alta resistenza (trefoli per c.a.p.), viceversa i tiranti passivi possono essere armati con trefoli o con tondini o, in alcuni casi, con profilati tubolari.
La capacità di resistenza dei tiranti è legata all'attrito e all'aderenza fra superficie del tirante e terreno.
Calcolo della lunghezza di ancoraggio

La lunghezza di ancoraggio (fondazione) del tirante si calcola determinando la lunghezza massima atta a soddisfare le tre seguenti condizioni:

1. Lunghezza necessaria per garantire l'equilibrio fra tensione tangenziale che si sviluppa fra la superficie laterale del tirante ed il terreno e lo sforzo applicato al tirante;
2. Lunghezza necessaria a garantire l'aderenza malta-armatura;
3. Lunghezza necessaria a garantire la resistenza della malta.

Siano **N** lo sforzo nel tirante, **δ** l'angolo d'attrito tirante-terreno, $\mathbf{c_a}$ l'adesione tirante-terreno, **γ** il peso di volume del terreno, **D** ed $\mathbf{L_f}$ il diametro e la lunghezza di ancoraggio (o lunghezza efficace) del tirante ed **H** la profondità media al di sotto del piano campagna abbiamo la relazione

$$N = \pi D L_f \gamma H K_s \operatorname{tg} \delta + \pi D L_f c_a$$

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio L_f

$$L_f = \frac{N}{\pi D \gamma H K_s \operatorname{tg} \delta + \pi D c_a}$$

$\mathbf{K_s}$ rappresenta il coefficiente di spinta che si assume pari al coefficiente di spinta a riposo

$$K_s = K_0 = 1 - \sin \phi$$

Per quanto riguarda la seconda condizione, la lunghezza necessaria atta a garantire l'aderenza malta-armatura è data dalla relazione

$$L_f = \frac{N}{\pi \, d \, \tau_{c0} \, \omega}$$

dove **d** è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, τ_{c0} è la resistenza tangenziale limite della malta ed ω è un coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli ($\omega = 1 - 0.075$ [n trefoli - 1]).
Per quanto riguarda la verifica della terza condizione si impone che la tensione tangenziale limite tirante-terreno non possa superare il valore τ_c ottenuto come media fra la τ_{c0} e la τ_{c1} della malta.
Alla lunghezza efficace determinata prendendo il massimo valore di L_f si deve aggiungere la lunghezza di franco **L** che rappresenta la lunghezza del tratto che compreso fra la paratia e la superficie di ancoraggio.
La lunghezza totale del tirante sarà quindi data da

$$L_t = L_f + L$$

Nel caso di tiranti attivi, cioè tiranti soggetti ad uno stato di pretensione, bisogna considerare le cadute di tensione. A tale scopo è stato introdotto il coefficiente di caduta di tensione, β, che rappresenta il rapporto fra lo sforzo N_0 al momento del tiro e lo sforzo **N** in esercizio

$$\beta = N_0 / N$$

Analisi ad elementi finiti

La paratia è considerata come una struttura a prevalente sviluppo lineare (si fa riferimento ad un metro di larghezza) con comportamento a trave. Come caratteristiche geometriche della sezione si assume il momento d'inerzia I e l'area A per metro lineare di larghezza della paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia.
La parte fuori terra della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri e più o meno costante per tutti gli elementi. La suddivisione è suggerita anche dalla eventuale presenza di tiranti, carichi e vincoli. Infatti questi elementi devono capitare in corrispondenza di un nodo. Nel caso di tirante è inserito un ulteriore elemento atto a schematizzarlo. Detta L la lunghezza libera del tirante, A_f l'area di armatura nel tirante ed E_s il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad L, area A_f, inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico E_s. La parte interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.
I carichi agenti possono essere di tipo distribuito (spinta della terra, diagramma aggiuntivo di carico, spinta della falda, diagramma di spinta sismica) oppure concentrati. I carichi distribuiti sono riportati sempre come carichi concentrati nei nodi (sotto forma di reazioni di incastro perfetto cambiate di segno).

Schematizzazione del terreno

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso è visto come un letto di molle indipendenti fra di loro reagenti solo a sforzo assiale di compressione. La rigidezza della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (*costante di Winkler*). La costante di sottofondo, k, è definita come la pressione unitaria che occorre applicare per ottenere uno spostamento unitario. Dimensionalmente è espressa quindi come rapporto fra una pressione ed uno spostamento al cubo [F/L^3]. È evidente che i risultati sono tanto migliori quanto più è elevato il numero delle molle che schematizzano il terreno. Se (m è l'interasse fra le molle (in cm) e b è la larghezza della paratia in direzione longitudinale (b=100 cm) occorre ricavare l'area equivalente, A_m, della molla (a cui si assegna una lunghezza pari a 100 cm). Indicato con E_m il modulo elastico del materiale costituente la paratia (in Kg/cm^2), l'equivalenza, in termini di rigidezza, si esprime come

$$A_m = 10000 \times \frac{k \, \Delta_m}{E_m}$$

Per le molle di estremità, in corrispondenza della linea di fondo scavo ed in corrispondenza dell'estremità inferiore della paratia, si assume una area equivalente dimezzata. Inoltre, tutte le molle hanno, ovviamente, rigidezza flessionale e tagliante nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidezza di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidezza degli elementi della paratia (elementi a rigidezza flessionale, tagliante ed assiale), delle matrici di rigidezza dei tiranti (solo rigidezza assiale) e delle molle (rigidezza assiale).

Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno

A questo punto vediamo come è effettuata l'analisi. Un tipo di analisi molto semplice e veloce sarebbe l'analisi elastica (peraltro disponibile nel programma ***PAC***). Ma si intuisce che considerare il terreno con un comportamento infinitamente elastico è una approssimazione alquanto grossolana. Occorre quindi introdurre qualche correttivo che meglio ci aiuti a modellare il terreno. Fra le varie soluzioni possibili una delle più praticabili e che fornisce risultati soddisfacenti è quella di considerare il terreno con comportamento elasto-plastico perfetto. Si assume cioè che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero. Rimane da scegliere il criterio di plasticizzazione del terreno (molle). Si può fare riferimento ad un criterio di tipo cinematico: la resistenza della molla cresce con la deformazione fino a quando lo spostamento non raggiunge il valore X_{max}; una volta superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti. Un altro criterio può essere di tipo statico: si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione p_{max}. Tale pressione p_{max} può essere imposta pari al valore della pressione

passiva in corrispondenza della quota della molla. D'altronde un ulteriore criterio si può ottenere dalla combinazione dei due descritti precedentemente: plasticizzazione o per raggiungimento dello spostamento limite o per raggiungimento della pressione passiva. Dal punto di vista strettamente numerico è chiaro che l'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche). Questo comporta un aggravio computazionale non indifferente. L'entità di tale aggravio dipende poi dalla particolare tecnica adottata per la soluzione. Nel caso di analisi elastica lineare il problema si risolve immediatamente con la soluzione del sistema fondamentale (K matrice di rigidezza, u vettore degli spostamenti nodali, p vettore dei carichi nodali)

$$Ku=p$$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale p0, fino a raggiungere il carico totale p. Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riassemblata escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidezza è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassemblaggio e la decomposizione della matrice, ma usano la matrice elastica iniziale (*metodo di Riks*).
Senza addentrarci troppo nei dettagli diremo che si tratta di un metodo di Newton-Raphson modificato e ottimizzato. L'analisi condotta secondo questa tecnica offre dei vantaggi immediati. Essa restituisce l'effettiva deformazione della paratia e le relative sollecitazioni; dà informazioni dettagliate circa la deformazione e la pressione sul terreno. Infatti la deformazione è direttamente leggibile, mentre la pressione sarà data dallo sforzo nella molla diviso per l'area di influenza della molla stessa. Sappiamo quindi quale è la zona di terreno effettivamente plasticizzato. Inoltre dalle deformazioni ci si può rendere conto di un possibile meccanismo di rottura del terreno.

Analisi per fasi di scavo

L'analisi della paratia per fasi di scavo consente di ottenere informazioni dettagliate sullo stato di sollecitazione e deformazione dell'opera durante la fase di realizzazione. In ogni fase lo stato di sollecitazione e di deformazione dipende dalla 'storia' dello scavo (soprattutto nel caso di paratie tirantate o vincolate).
Definite le varie altezze di scavo (in funzione della posizione di tiranti, vincoli, o altro) si procede per ogni fase al calcolo delle spinte inserendo gli elementi (tiranti, vincoli o carichi) attivi per quella fase, tendendo conto delle deformazioni dello stato precedente. Ad esempio, se sono presenti dei tiranti passivi si inserirà nell'analisi della fase la 'molla' che lo rappresenta. Indicando con u ed u_0 gli spostamenti nella fase attuale e nella fase precedente, con s ed s_0 gli sforzi nella fase attuale e nella fase precedente e con K la matrice di rigidezza della 'struttura' la relazione sforzi-deformazione è esprimibile nella forma

$$s=s_0+K(u-u_0)$$

Le modalità di analisi sono più complicate nel caso di tiranti attivi in quanto è importante conoscere la modalità di tiro: infatti il tirante può essere tesato prima dello scavo, oppure tesato alla fine della corrispondente fase di scavo, oppure al termine di tutto lo scavo. Nella fase in cui il tirante è tesato verra inserita una molla con uno stato di pretensione pari allo sforzo di tesatura. Nelle fasi successive il tirante verrà considerato come una semplice molla che 'ricorda', naturalmente, lo sforzo della fase precedente.
Ovviamente si otterranno soluzioni differenti in funzione della modalità di tiro selezionata.
Nel caso di tiranti attivi, inoltre, è analizzata un fase ulteriore (a lungo termine) nella quale il tiro iniziale è depurato delle cadute di tensione.
In sostanza analizzare la paratia per fasi di scavo oppure 'direttamente' porta a risultati abbastanza diversi sia per quanto riguarda lo stato di deformazione e sollecitazione dell'opera sia per quanto riguarda il tiro dei tiranti.

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1.3.
È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.
In particolare il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 6x6 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

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

$$\eta = \frac{\Sigma_i \left(\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) tg\phi_i}{m} \right)}{\Sigma_i W_i \sin\alpha_i}$$

dove il termine m è espresso da

$$m = (1 + \frac{tg\phi_i tg\alpha_i}{\eta}) \cos\alpha_i$$

In questa espressione *n* è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i_{esima} rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i_{esima} , c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.
L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine *m* che è funzione di η. Quindi essa è risolta per successive approsimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di *m* ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	10,00	[m]
Profondità di infissione	4,00	[m]
Altezza totale della paratia	14,00	[m]
Lunghezza paratia	10,00	[m]
Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,50	[m]
Diametro dei micropali	20,00	[cm]
Numero totale di micropali	19	
Numero di micropali per metro lineare	1.90	
Diametro esterno del tubolare	168,30	[mm]
Spessore del tubolare	10,00	[mm]

Geometria cordoli

Simbologia adottata
n° numero d'ordine del cordolo
Y posizione del cordolo sull'asse della paratia espresso in [m]

Cordoli in calcestruzzo
B Base della sezione del cordolo espresso in [cm]
H Altezza della sezione del cordolo espresso in [cm]

Cordoli in acciaio
A Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cmq]
W Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm^3]

n°	Y	Tipo	B	H	A	W
1	0,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--
2	3,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--
3	7,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento
(Sistema di riferimento con origine in testa alla paratia, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

N	X	Y	A
2	4,50	0,00	0,00
3	8,00	0,00	0,00
4	16,00	0,00	0,00

Profilo di valle

N	X	Y	A
1	-12,00	-13,00	0,00
2	-9,20	-13,00	86,19
3	-9,00	-10,00	0,00
4	-1,50	-10,00	0,00
5	0,00	-10,00	0,00

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
Descrizione	Descrizione del terreno
γ	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s	peso di volume saturo del terreno espresso [kg/mc]
ϕ	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
δ	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kg/cmq]

n°	Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c
1	Calcari alterati	2200,00	2400,00	32,00	21,00	0,200
2	Calcari scistosi	2400,00	2600,00	33,00	22,00	0,280

Parametri per il calcolo dei tiranti

Simbologia adottata

ϕ_{min}	angolo d'attrito minimo interno del terreno espresso in [°]
δ_{min}	angolo d'attrito minimo terreno/paratia espresso in [°]
c_{min}	coesione minima del terreno espressa in [kg/cmq]
ϕ_{med}	angolo d'attrito medio interno del terreno espresso in [°]
δ_{med}	angolo d'attrito medio terreno/paratia espresso in [°]
c_{med}	coesione media del terreno espressa in [kg/cmq]

N°	Descrizione	ϕ_{min}	ϕ_{med}	δ_{min}	δ_{med}	c_{min}	c_{med}
1	Calcari alterati	0,00	32,00	0,00	21,00	0,000	1,000
2	Calcari scistosi	0,00	36,00	0,00	24,00	0,000	1,000

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla som mità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm^2/cm
α	inclinazione dello strato espressa in GRADI(°)
Terreno	Terreno associato allo strato

n°	sp	α	kw	Terreno
1	8,00	40,00	2,36	Calcari alterati
2	12,00	0,00	7,50	Calcari scistosi

Caratteristiche materiali utilizzati

Calcestruzzo		
Peso specifico	2500	[kg/mc]
Classe di Resistenza	C25/30	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	306	[kg/cmq]
Tensione di progetto a compressione σ_c	99	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	6,1	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	18,5	[kg/cmq]
Acciaio		
Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f_{yk}	4589	[kg/cmq]
Caratteristiche acciaio cordoli in c.a.		
Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f_{yk}	4589	[kg/cmq]
Caratteristiche acciaio cordoli in acciaio.		
Tipo	Fe 360	
Tensione di snervamento f_{yk}	2400	[kg/cmq]
Malta utilizzata per i tiranti		
Classe di Resistenza	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	250	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	5,3	[kg/cmq]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	16,9	[kg/cmq]
Acciaio utilizzato per i tiranti		
Tipo	Trefoli	

Tensione di progetto σ_{fa}	15000,0	[kg/cmq]
Tensione di snervamento f_{yk}	22000,0	kg/cmq

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate
Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
F_x Forza orizzontale espressa in [kg], positiva da monte verso valle
F_y Forza verticale espressa in [kg], positiva verso il basso
M Momento espresso in [kgm], positivo ribaltante
Q_i, Q_f Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kg/mq]
V_i, V_s Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kg/mq], positivi da monte verso valle
R Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kg]

Condizione n°1
Carico distribuito sul profilo X_i = -9,00 X_f = -1,50 Q_i = 1500 Q_f = 1500

Condizione n°2
Carico distribuito sul profilo X_i = -9,00 X_f = -1,50 Q_i = 1500 Q_f = 1500

Condizione n°3
Carico distribuito sul profilo X_i = 4,50 X_f = 16,00 Q_i = 1500 Q_f = 1500

Descrizione tiranti di ancoraggio

Simbologia adottata - Caratteristiche geometriche
N numero d'ordine della fila
Y ordinata della fila espressa in [m] misurata dalla testa della paratia
I interasse tra le file di tiranti espressa in [m]
alfa inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
D diametro della perforazione espresso in [cm]
Cesp coeff. di espansione laterale
ALL allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
nr numero di tiranti della fila
Lt lunghezza totale del tirante espresso in [m]
Lf lunghezza di fondazione del tirante espresso in [m]

Simbologia adottata - Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno
N numero d'ordine della fila
At area del singolo trefolo espressa in [cmq]
nt numero di trefoli del tirante
T tiro iniziale espresso in [kg]
δ angolo di attrito medio tirante-terreno espresso in [°]
δ angolo di attrito minimo tirante-terreno espresso in [°]
ca adesione media tirante-terreno espresso in [kg/mq]
ca adesione minima tirante-terreno espresso in [kg/mq]

Caratteristiche geometriche

N	Y	I	Alfa	D	Cesp	ALL	nr	Lt	Lf
1	3,00	3,00	20,00	16,00	1,20	Centrati	3	16,00	8,00
2	7,00	3,00	20,00	16,00	1,20	Centrati	3	16,00	8,00

Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	At	nt	T	δ_{med}	ca_{med}	δ_{min}	ca_{min}
1	1,39	3	20000	20,00	20,00	20,00	20,00
2	1,39	3	20000	20,00	20,00	20,00	20,00

Combinazioni di carico

Nella tabella sono riportate le condizioni di carico di ogni combinazione con il relativo coefficiente di partecipazione.

Combinazione n°1 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm hotel) x 1.00

Combinazione n°2 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm hotel) x 1.00

Combinazione n°3 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno

Condizione 1 (Perm hotel / sisma V-) x 1.00

Combinazione n°4 [DA1 - A1M1]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm hotel / sisma V+) x 1.00

Combinazione n°5 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm hotel / sisma V+) x 1.00

Combinazione n°6 [DA1- A2M2]
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm hotel / sisma V-) x 1.00

Combinazione n°7
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm hotel) x 1.00
Condizione 2 (Var. hotel) x 0.20
Condizione 3 (Var strada) x 0.20

Combinazione n°8
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm hotel) x 1.00
Condizione 3 (Var strada) x 0.50
Condizione 2 (Var. hotel) x 0.20

Combinazione n°9
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm hotel) x 1.00
Condizione 3 (Var strada) x 1.00
Condizione 2 (Var. hotel) x 0.70

Combinazione n°10
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm hotel / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var. hotel / sisma V+) x 0.50
Condizione 3 (Var strada / sisma V+) x 0.20

Combinazione n°11
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm hotel / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var. hotel / sisma V-) x 0.50
Condizione 3 (Var strada / sisma V-) x 0.20

Combinazione n°12
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm hotel / sisma V+) x 1.00
Condizione 3 (Var strada / sisma V+) x 1.00
Condizione 2 (Var. hotel / sisma V+) x 0.70

Combinazione n°13
Spinta terreno
Condizione 1 (Perm hotel / sisma V-) x 1.00
Condizione 3 (Var strada / sisma V-) x 1.00
Condizione 2 (Var. hotel / sisma V-) x 0.70

Impostazioni di progetto

Spinte e verifiche secondo :
Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Verifica materiali : Stato Limite Ultimo

Impostazioni di analisi

Analisi per Combinazioni di Carico.

Rottura del terreno: Pressione passiva

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia): Solo nel calcolo dei coefficienti di spinta (le spinte sono considerate orizzontali)

Stabilità globale: Metodo di Bishop

Impostazioni analisi sismica

Combinazioni/Fase	**SLU**	**SLE**
Accelerazione al suolo [m/s^2]	0.796	0.268
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.522	2.524
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc*	0.291	0.198
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.200	1.200
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.000	1.000
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza Us [m]	0.070	0.070
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.435	0.435
Coefficiente di intensità sismica (percento)	4.236	1.428
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.50	

Influenza sisma nella spinta attiva da monte
Forma diagramma incremento sismico : Rettangolare

Analisi della paratia

L'analisi è stata eseguita per combinazioni di carico
La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.
Essa è discretizzata in 200 elementi fuori terra e 80 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.
Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva non reagiscono ad ulteriori incremento di carico.

Altezza fuori terra della paratia	10,00	[m]
Profondità di infissione	4,00	[m]
Altezza totale della paratia	14,00	[m]

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
Pa Spinta attiva, espressa in [kg]
Is Incremento sismico della spinta, espressa in [kg]
Pw Spinta della falda, espressa in [kg]
Pp Resistenza passiva, espressa in [kg]
Pc Controspinta, espressa in [kg]

n°	Tipo	Pa	Y_{Pa}	Is	Y_{Is}	Pw	Y_{Pw}	Pp	Y_{Pp}	Pc	Y_{Pc}
1	[A1-M1]	20254	6,66	--	--	--	--	-8790	10,39	2472	12,32
2	[A2-M2]	20180	6,63	--	--	--	--	-8610	10,44	2484	12,38
3	[A1-M1] S	13383	6,26	1427	5,00	--	--	-4041	10,41	896	12,43
4	[A1-M1] S	12736	6,44	2552	5,00	--	--	-4459	10,40	1038	12,41
5	[A2-M2] S	19193	6,90	3072	5,00	--	--	-9857	10,47	3023	12,39
6	[A2-M2] S	19602	6,78	1604	5,00	--	--	-9259	10,46	2759	12,38
7	[SLEQ]	14356	6,08	--	--	--	--	-3655	10,41	757	12,46
8	[SLEF]	14553	6,12	--	--	--	--	-3865	10,41	809	12,46
9	[SLER]	14917	6,19	--	--	--	--	-4244	10,41	908	12,45
10	[SLEF] S	13869	6,19	811	5,00	--	--	-3948	10,41	853	12,44
11	[SLEF] S	14093	6,14	436	5,00	--	--	-3812	10,41	809	12,45
12	[SLER] S	14397	6,32	879	5,00	--	--	-4564	10,41	1014	12,43
13	[SLER] S	14625	6,26	490	5,00	--	--	-4422	10,41	967	12,44

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
Rc Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kg]
Rt Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kg]
Rv Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kg]
Rp Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kg]

n°	Tipo	Rc	Y_{Rc}	Rt	Y_{Rt}	Rv	Y_{Rv}	Rp	Y_{Rp}
1	[A1-M1]	0	0,00	13930	5,31	--	--	--	--
2	[A2-M2]	0	0,00	14049	5,31	--	--	--	--
3	[A1-M1] S	0	0,00	11662	5,14	--	--	--	--
4	[A1-M1] S	0	0,00	11863	5,16	--	--	--	--
5	[A2-M2] S	0	0,00	15425	5,31	--	--	--	--
6	[A2-M2] S	0	0,00	14700	5,32	--	--	--	--
7	[SLEQ]	0	0,00	11454	5,12	--	--	--	--
8	[SLEF]	0	0,00	11494	5,13	--	--	--	--
9	[SLER]	0	0,00	11577	5,14	--	--	--	--
10	[SLEF] S	0	0,00	11582	5,13	--	--	--	--
11	[SLEF] S	0	0,00	11522	5,13	--	--	--	--
12	[SLER] S	0	0,00	11722	5,15	--	--	--	--
13	[SLER] S	0	0,00	11656	5,15	--	--	--	--

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
Tipo Tipo della Combinazione/Fase
P_{NUL} Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
P_{INV} Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
C_{ROT} Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R_{MAX} Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]
Pp Portanza di punta, espressa in [kg]

n°	Tipo	P_{NUL}	P_{INV}	C_{ROT}	MP	R/R_{MAX}	Pp
1	[A1-M1]	10,00	10,00	11,29	0.00	1,23	14196
2	[A2-M2]	10,00	10,30	11,35	7.41	2,61	7804
3	[A1-M1] S	10,00	10,00	11,41	0.00	0,70	14196
4	[A1-M1] S	10,00	10,00	11,38	0.00	0,76	14196
5	[A2-M2] S	10,00	10,35	11,36	9.88	3,07	7804
6	[A2-M2] S	10,00	10,35	11,35	8.64	2,86	7804
7	[SLEQ]	10,00	10,00	11,44	0.00	0,61	14196

8	[SLEF]	10,00	10,00	11,44	0.00	0,65	14196
9	[SLER]	10,00	10,00	11,43	0.00	0,71	14196
10	[SLEF] S	10,00	10,00	11,42	0.00	0,66	14196
11	[SLEF] S	10,00	10,00	11,43	0.00	0,64	14196
12	[SLER] S	10,00	10,00	11,41	0.00	0,78	14196
13	[SLER] S	10,00	10,00	11,41	0.00	0,74	14196

Risultati tiranti

Caratteristiche dei tiranti utilizzati

Simbologia adottata

Y	ordinata della fila rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
nt	numero di tiranti della fila
N	sforzo su ogni tirante della fila espresso in [kg]
L	lunghezza totale di progetto del tirante espressa in [m]
L_f	lunghezza di fondazione di progetto del tirante espressa in [m]
Ld	lunghezza totale definita del tirante espressa in [m]
Ld_f	lunghezza di fondazione definita del tirante espressa in [m]
FS	Fattore di sicurezza. Rapporto tra lunghezza di fondazione di progetto e lunghezza di fondazione definita.
A_f	area di armatura in ogni tirante espressa in [cmq]
Rt/ml	reazione a metro lineare del tirante della fila espresso in [kg]
σ_f	tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [kg/cmq]
u	spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]

2 file di tiranti attivi armati con trefoli

n°	Y	nt	A_f	L	L_f	Ld	Ld_f	FS
1	3,00	3	4,17	12,00	4,00	16,00	8,00	2.00
2	7,00	3	4,17	13,50	5,47	16,00	8,00	1.46

Combinazione n°1

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	20863	6258,76	5003,01	0,09488
2	28549	8564,80	6846,36	0,83999

Combinazione n°2

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	21037	6311,24	5044,95	0,11196
2	28797	8638,99	6905,67	0,86409

Combinazione n°3

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19219	5765,59	4608,79	-0,06616
2	22148	6644,34	5311,22	0,21654

Combinazione n°4

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19342	5802,61	4638,38	-0,05405
2	22739	6821,75	5453,04	0,27413

Combinazione n°5

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	23106	6931,95	5541,12	0,31394
2	31609	9482,84	7580,21	1,13821

Combinazione n°6

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	21946	6583,85	5262,87	0,20069
2	30198	9059,34	7241,68	1,00062

Combinazione n°7

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19101	5730,25	4580,54	-0,07772
2	21530	6459,05	5163,11	0,15640

Combinazione n°8

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19104	5731,21	4581,30	-0,07739
2	21668	6500,53	5196,27	0,16986

Combinazione n°9

N°	N	Rt/ml	σ_f	u

1	19112	5733,67	4583,27	-0,07656
2	21954	6586,22	5264,76	0,19767

Combinazione n°10

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19165	5749,58	4595,99	-0,07139
2	21920	6576,07	5256,65	0,19438

Combinazione n°11

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19134	5740,18	4588,47	-0,07447
2	21737	6521,08	5212,70	0,17653

Combinazione n°12

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19190	5756,91	4601,84	-0,06895
2	22390	6717,01	5369,31	0,24012

Combinazione n°13

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	19154	5746,07	4593,18	-0,07249
2	22194	6658,26	5322,35	0,22105

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n° Indice della combinazione/fase
Tipo Tipo della combinazione/fase
Y ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M momento flettente massimo e minimo espresso in [kgm]
N sforzo normale massimo e minimo espresso in [kg] (positivo di compressione)
T taglio massimo e minimo espresso in [kg]

n°	Tipo	M	Y_M	T	Y_T	N	Y_N	
1	[A1-M1]	3747	10,50	6319	10,00	7159	14,00	MAX
--	--	-3030	8,15	-4245	7,00	0	0,00	MIN
2	[A2-M2]	3784	10,60	6126	10,00	7202	14,00	MAX
--	--	-3040	8,20	-4270	7,00	0	0,00	MIN
3	[A1-M1] S	2436	3,00	3144	10,00	6334	14,00	MAX
--	--	-1577	8,55	-3461	7,00	0	0,00	MIN
4	[A1-M1] S	2631	3,00	3421	10,00	6407	14,00	MAX
--	--	-1692	8,50	-3522	7,00	0	0,00	MIN
5	[A2-M2] S	4610	10,60	6834	10,00	7703	14,00	MAX
--	--	-3699	5,65	-4634	3,00	0	0,00	MIN
6	[A2-M2] S	4206	10,60	6500	10,00	7439	14,00	MAX
--	--	-3331	5,65	-4377	7,00	0	0,00	MIN
7	[SLEQ]	2229	3,00	2898	10,00	6258	14,00	MAX
--	--	-1486	8,65	-3414	7,00	0	0,00	MIN
8	[SLEF]	2255	3,00	3056	10,00	6273	14,00	MAX
--	--	-1570	8,60	-3474	7,00	0	0,00	MIN
9	[SLER]	2310	3,00	3336	10,00	6303	14,00	MAX
--	--	-1721	8,55	-3600	7,00	0	0,00	MIN
10	[SLEF] S	2351	3,00	3094	10,00	6305	14,00	MAX
--	--	-1567	8,60	-3460	7,00	0	0,00	MIN
11	[SLEF] S	2293	3,00	3003	10,00	6283	14,00	MAX
--	--	-1530	8,60	-3439	7,00	0	0,00	MIN
12	[SLER] S	2447	3,00	3550	10,00	6355	14,00	MAX
--	--	-1812	8,55	-3650	7,00	0	0,00	MIN
13	[SLER] S	2385	3,00	3455	10,00	6332	14,00	MAX
--	--	-1772	8,55	-3628	7,00	0	0,00	MIN

Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata

n° Indice della combinazione/fase
Tipo Tipo della combinazione/fase
Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
U spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
V spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U	Y_U	V	Y_V	
1	[A1-M1]	0,8442	6,65	0,0307	0,00	MAX
--	--	-0,0432	1,15	0,0000	0,00	MIN
2	[A2-M2]	0,8685	6,65	0,0309	0,00	MAX
--	--	-0,0423	0,90	0,0000	0,00	MIN
3	[A1-M1] S	0,2432	8,05	0,0273	0,00	MAX
--	--	-0,0712	2,70	0,0000	0,00	MIN
4	[A1-M1] S	0,2924	7,85	0,0276	0,00	MAX
--	--	-0,0625	2,60	0,0000	0,00	MIN
5	[A2-M2] S	1,1662	6,35	0,0331	0,00	MAX
--	--	-0,0676	0,00	0,0000	0,00	MIN
6	[A2-M2] S	1,0143	6,50	0,0319	0,00	MAX
--	--	-0,0531	0,00	0,0000	0,00	MIN
7	[SLEQ]	0,1958	8,25	0,0270	0,00	MAX
--	--	-0,0803	2,75	0,0000	0,00	MIN
8	[SLEF]	0,2103	8,25	0,0270	0,00	MAX
--	--	-0,0802	2,75	0,0000	0,00	MIN
9	[SLER]	0,2390	8,20	0,0271	0,00	MAX
--	--	-0,0800	2,75	0,0000	0,00	MIN
10	[SLEF] S	0,2268	8,15	0,0272	0,00	MAX
--	--	-0,0753	2,70	0,0000	0,00	MIN
11	[SLEF] S	0,2122	8,20	0,0271	0,00	MAX
--	--	-0,0777	2,75	0,0000	0,00	MIN
12	[SLER] S	0,2742	8,05	0,0274	0,00	MAX
--	--	-0,0742	2,70	0,0000	0,00	MIN
13	[SLER] S	0,2583	8,10	0,0273	0,00	MAX
--	--	-0,0769	2,70	0,0000	0,00	MIN

Stabilità globale

Metodo di Bishop
Numero di cerchi analizzati 100

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
$(X_C; Y_C)$	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
$(X_V; Y_V)$	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
$(X_M; Y_M)$	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza

n°	Tipo	(X_C, Y_C)	R	(X_V, Y_V)	(X_M, Y_M)	FS
2	[A2-M2]	(-5,60; 1,40)	16,39	(-13,44; -12,99)	(10,74; 0,00)	1,79
5	[A2-M2] S	(-5,60; 2,80)	17,71	(-13,62; -12,99)	(11,89; 0,00)	1,67
6	[A2-M2] S	(-5,60; 2,80)	17,71	(-13,62; -12,99)	(11,89; 0,00)	1,68

Combinazione n°5

Numero di strisce 51

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)
Le strisce sono numerate da monte verso valle

N°	numero d'ordine della striscia
W	peso della striscia espresso in [kg]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
L	sviluppo della base della striscia espressa in [m] (L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
Ctn, Ctt	contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kg]

Caratteristiche delle strisce

N°	W	α(°)	W sin α	L	ϕ	c	u	(Ctn; Ctt)
1	124,64	-26,02	-54,67	0,56	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
2	387,08	-24,21	-158,76	0,55	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
3	628,49	-22,44	-239,87	0,55	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
4	849,69	-20,68	-300,08	0,54	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
5	1051,40	-18,95	-341,37	0,53	27,45	0,224	0,000	(0; 0)

6	1234,26	-17,23	-365,57	0,53	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
7	1398,80	-15,53	-374,46	0,52	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
8	1545,51	-13,84	-369,71	0,52	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
9	1915,68	-12,17	-403,69	0,52	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
10	5650,44	-10,50	-1029,76	0,51	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
11	5968,03	-8,84	-917,63	0,51	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
12	6067,96	-7,20	-760,14	0,51	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
13	6178,75	-5,55	-598,01	0,51	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
14	6272,04	-3,92	-428,38	0,51	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
15	6347,80	-2,28	-252,73	0,50	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
16	6406,12	-0,65	-72,57	0,50	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
17	6447,04	0,98	110,62	0,50	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
18	6470,55	2,62	295,34	0,50	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
19	6476,60	4,25	480,11	0,51	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
20	6465,10	5,89	663,42	0,51	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
21	6435,93	7,53	843,76	0,51	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
22	6388,90	9,18	1019,59	0,51	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
23	6312,54	10,84	1187,23	0,51	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
24	6187,97	12,51	1340,07	0,52	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
25	5306,27	14,18	1300,28	0,52	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
26	5122,49	15,87	1401,17	0,52	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
27	4938,95	17,58	1491,66	0,53	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
28	15972,66	19,30	5277,89	0,53	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
29	15792,99	21,02	5666,10	0,54	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
30	15592,26	22,77	6035,96	0,54	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
31	15369,65	24,55	6385,37	0,55	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
32	15124,26	26,35	6712,06	0,56	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
33	14855,05	28,17	7013,60	0,57	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
34	14560,81	30,03	7287,35	0,58	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
35	14240,13	31,93	7530,46	0,59	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
36	13891,40	33,86	7739,77	0,60	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
37	13512,69	35,84	7911,77	0,62	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
38	13101,76	37,87	8042,54	0,64	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
39	12655,92	39,96	8127,62	0,65	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
40	12171,93	42,11	8161,85	0,68	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
41	11645,83	44,34	8139,24	0,70	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
42	11072,68	46,66	8052,62	0,73	27,45	0,224	0,000	(8707; 3758)
43	10446,23	49,08	7893,27	0,77	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
44	9758,36	51,63	7650,28	0,81	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
45	8998,16	54,33	7309,60	0,86	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
46	8150,38	57,22	6852,24	0,93	27,45	0,224	0,000	(4982; 1130)
47	6776,48	60,26	5883,65	0,95	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
48	5772,52	63,51	5166,30	1,06	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
49	4600,86	67,19	4240,97	1,22	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
50	3163,21	71,57	3001,02	1,49	27,45	0,224	0,000	(0; 0)
51	1180,50	77,24	1151,36	2,14	27,45	0,224	0,000	(0; 0)

Resistenza a taglio paratia= 0,00 [kg]
ΣW_i= 386985,78 [kg]
$\Sigma W_i \sin\alpha_i$= 160698,77 [kg]
$\Sigma W_i \tan\phi_i$= 201049,20 [kg]
$\Sigma \tan\alpha_i \tan\phi_i$= 13.87