

ING. MATTEO CERAVOLO

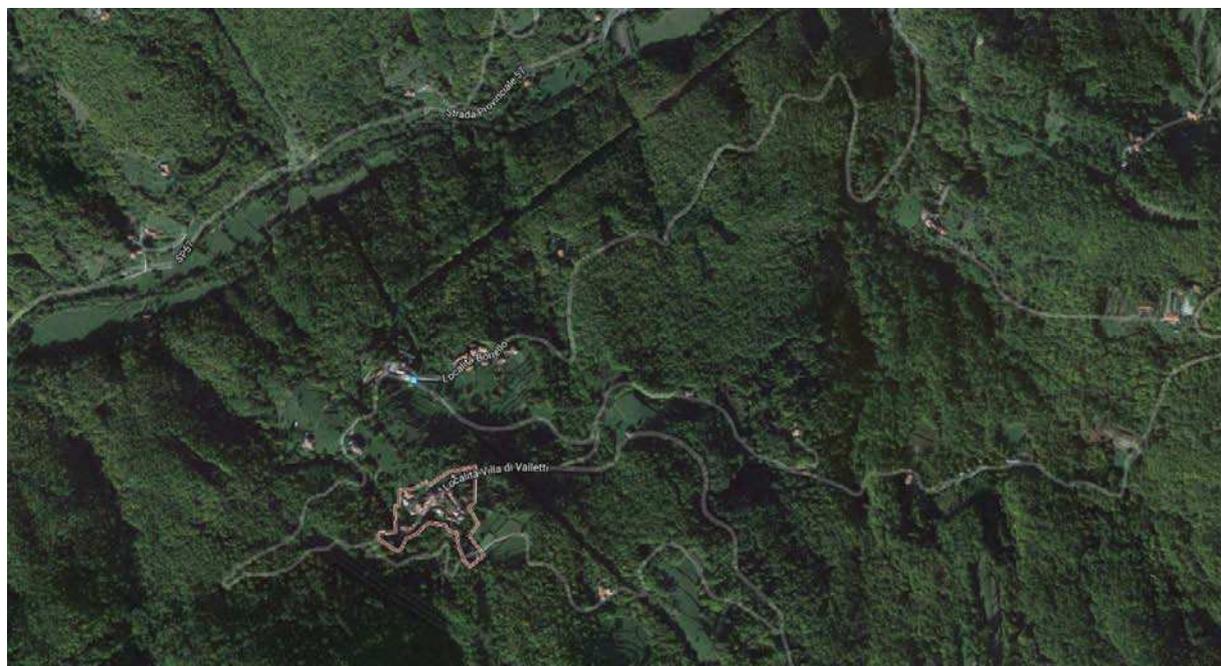
VIA STERPULINO N°1/D 56124 PISA (PI)
VIA DELLA RESISTENZA N°6 19020 PIANA BATTOLLA (SP)
TEL./FAX 050 5200082 E-MAIL: mceravolo@mcengineering srl.com



COMUNE DI VARESE LIGURE Provincia della Spezia

PROGETTO ESECUTIVO DEI LAVORI DI RIPRISTINO DELLA VIABILITA' PROVINCIALE
S.P. n° 56 IN LOCALITA' VALLETTI

UBICAZIONE:	Località Valletti
ELABORATI:	Relazione affidabilità codice di calcolo strutturale
COMMITTENTE:	Comune di Varese Ligure



Il Tecnico:



DATA

06/10/2016

Il RUP:

Pratica:		Committente:	COMUNE DI VARESE LIGURE
Tavola:	R9	Titolo:	PROGETTO ESECUTIVO DEI LAVORI DI RIPRISTINO DELLA VIABILITA' PROVINCIALE S.P. N° 56 IN LOCALITA' VALLETTI
Autore:	C.M.	Oggetto:	RELAZIONE AFFIDABILITA' CODICE DI CALCOLO STRUTTURALE
Emissione:	04/07/2016		REVISIONE
Revisione	06/10/2016		

**RELAZIONE AFFIDABILITA' CALCOLI STRUTTURALI
ESEGUITI CON ELABORATORE**

(art. 37 del DPR n° 207/2010)

ANALISI DI STABILITA' DEI VERSANTI - GEOSTRU SLOPE

1. Definizione

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

2. Introduzione all'analisi di stabilità

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

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

(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo equilibrio limite (LEM)

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

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

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

Metodo dei conci

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

n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;

n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i

$(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;

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

n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;

$(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;

una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

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

mentre le equazioni a disposizione sono:

Equazioni di equilibrio dei momenti n

Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n

Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n

Equazioni relative al criterio di rottura n

Totale numero di equazioni $4n$

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

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

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quando si fa l'assunzione che

N_i sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite. I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni (vedi relazione di calcolo).

3. Valutazione dell'azione sismica

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

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

K_o : Coefficiente sismico orizzontale

K_v : Coefficiente sismico verticale.

4. Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici. Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \cdot n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

5. Software utilizzato

L'analisi di tipo numerico è stata realizzata mediante il programma di calcolo automatico SLOPE Rel 2011 con licenza chiave n° 7078-9, prodotto da: **Geostru Software**

6. Elaboratore utilizzato:

Computer	PC CDC Premium – AMD Athlon™ 64 Processor 3500+
	2.21 GHz, 1,00 GB di RAM

Sistema	Microsoft Windows XP Professional
	Versione 2002

7. Codice di calcolo, solutore e affidabilità dei risultati

Come previsto dalle norme tecniche di cui al D.M. 14.01.2008 l'affidabilità del codice utilizzato è stata verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

Si allegano alla presente i test sui casi prova forniti dalla Geostru a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti.

Il software è inoltre dotato di filtri e controlli di autodiagnostica che agiscono a vari livelli sia della definizione del modello che del calcolo vero e proprio. I controlli vengono visualizzati, sotto forma di tabulati, di videate a colori o finestre di messaggi.

8. Valutazione dei risultati e giudizio motivato sulla loro accettabilità

Il software utilizzato permette di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura. Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello permettono di controllare sia la coerenza geometrica che le azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti, ecc hanno permesso un immediato controllo con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati di cui è nota la soluzione in forma chiusa nell'ambito della Geotecnica.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato esito positivo.

9. Conclusioni

Si evidenzia dai test effettuati l'affidabilità del software in oggetto. Si riscontrano scarti minimi nella valutazione del fattore di sicurezza dovuti ad approssimazioni di tipo numerico.

Per quanto sopra, Il sottoscritto progettista delle strutture, ai fini della stesura degli elaborati progettuali, dichiara l'accettabilità dei risultati dell'analisi strutturale eseguita mediante elaboratore e che tale accettabilità è stata valutata attraverso:

- l'analisi e la verifica del corretto comportamento del modello di calcolo adottato ;
- la verifica della corretta soluzione dal punto di vista numerico.



Il Progettista

BERLINESE SU MICROPALI- GEOSTRU SPW

1. Individuazione dei campi di impiego del programma.

Paratie/SPW è un programma per l'analisi di paratie a sbalzo o ancorate. Esegue il calcolo geotecnico utilizzando, a scelta dell'utente, le teorie di Coulomb, Rankine, Mononobe ed Okabe e Caquot-Kerisel ed effettua tutte le verifiche prescritte dalla normativa vigente, tra cui quella di stabilità globale, anche in condizioni sismiche. Il calcolo strutturale esegue il dimensionamento delle armature agli stati limiti ultimi (SLU).

2. Descrizioni delle basi teoriche e sperimentazione del programma.

Calcolo della spinta attiva con Coulomb.

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

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

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

$$S_t(z) = \frac{1}{2} k_a \cdot \gamma_t \cdot H^2$$

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

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

γ_t = Peso unità di volume del terreno;

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

ϕ = Angolo di resistenza al taglio del terreno;

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

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

H = Altezza della parete

Calcolo della spinta attiva con Rankine

Se $\varepsilon = \delta = 0$ e $\beta = 90^\circ$ (parete verticale liscia e terrapieno con superficie orizzontale) la spinta St si semplifica nella forma:

$$k_a = \frac{\gamma \cdot H^2 (1 - \sin \phi)}{2 (1 + \sin \phi)} = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

che coincide con l'equazione di Rankine per il calcolo della spinta attiva del terreno con terrapieno orizzontale. In effetti Rankine adottò le stesse ipotesi fatte da Coulomb, ad eccezione del fatto che trascurò l'attrito terra-muro e la presenza di coesione. Nella sua formulazione generale l'espressione di k_a di Rankine si presenta come segue:

$$k_a = \cos \varepsilon \frac{\sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}{\sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}$$

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di Mononobe & Okabe riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato da opera e prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo di inclinazione del piano di campagna rispetto al piano orizzontale e l'angolo di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità θ :

$$\tan \theta = \frac{k_h}{(1 \pm k_v)}$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

Effetto dovuto alla presenza di coesione

La coesione induce delle pressioni negative costanti pari a:

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

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

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

Dove i simboli hanno il seguente significato

Q = Carico agente sul terrapieno eventualmente presente.

γ_t = Peso unità di volume del terreno

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

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

C = Coesione del materiale

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

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

$$S_c = P_c \cdot H$$

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

Carico uniforme sul terrapieno

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

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

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

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

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

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

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

K_a = Coefficiente di pressione attiva calcolato al paragrafo precedente

Spinta attiva in condizioni sismiche

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

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm k_v) K H^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

H = altezza di scavo

K_v = coefficiente sismico verticale

γ = peso per unità di volume del terreno

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

E_{ws} = spinta idrostatica dell'acqua

E_{wd} = spinta idrodinamica.

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

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 + k_v}$$

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

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

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

Spinta in presenza di falda acquifera

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

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

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

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

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

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

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

Resistenza passiva

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

$$\sigma_p(z) = k_p \gamma_t z$$

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

$$S_t = \frac{1}{2} k_p \cdot \gamma_t \cdot H^2$$

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

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

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

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

3. Carico limite verticale pali

Il carico limite verticale è stato calcolato con le formule statiche, che esprimono il medesimo in funzione della geometria del palo, delle caratteristiche del terreno e dell'interfaccia palo-terreno.

Portanza di punta Metodo di Berezantzev

Fondamentalmente Berezantzev fa riferimento ad una superficie di scorrimento “alla Terzaghi” che si arresta sul piano di posa (punta del palo); tuttavia egli considera che il cilindro di terreno coassiale al palo ed avente diametro pari all'estensione in sezione della superficie di scorrimento, sia in parte “sostenuto” per azione tangenziale dal rimanente terreno lungo la superficie laterale. Ne consegue un valore della pressione alla base inferiore a γD , e tanto minore quanto più questo “effetto silo” è marcato, cioè quanto più grande è il rapporto D/B ; di ciò tiene conto il coefficiente N_q , che quindi è funzione decrescente di D/B . La resistenza unitaria Q_p alla punta, per il caso di terreno dotato di attrito (ϕ) e di coesione (c), è data dall'espressione:

$$Q_c = c \cdot N_c + \gamma \cdot L \cdot N_q$$

Avendo indicato con:

γ peso unità di volume del terreno;

L lunghezza del palo;

N_c e N_q sono i fattori di capacità portante già comprensivi dell'effetto forma (circolare);

Resistenza del fusto

Il metodo utilizzato per il calcolo della capacità portante laterale è il metodo α , proposto da Tomlinson (1971); la resistenza laterale viene calcolata nel seguente modo:

$$Q_c = (\alpha c + \sigma K \tan \delta) \cdot A_1 \cdot f_w$$

A_1 = superficie laterale del palo;

f_w = fattore di correzione legato alla tronco-conicità del palo

c = valore medio della coesione (o della resistenza a taglio in condizioni non drenate); pressione verticale efficace del terreno;

K = coefficiente di spinta orizzontale, dipendente dalla tecnologia di esecuzione del palo.

4. Stima profondità di infissione e Calcolo delle sollecitazioni

Metodo dell'equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nel ricercare soluzioni, al problema di verifica o di progetto, che siano compatibili con il solo aspetto statico del problema. In sostanza si ragiona in termini di equilibrio di un corpo rigido, senza preoccuparsi della congruenza cinematica degli spostamenti. I principali schemi di calcolo cui si farà riferimento sono i seguenti:

1. Paratia a sbalzo;
2. Paratia tirantata ad estremo libero;
3. Paratia tirantata ad estremo fisso;

Paratia a sbalzo: calcolo della profondità d'infissione limite

Per paratia non tirantata, la stabilità è assicurata dalla resistenza passiva del terreno che si trova a valle della stessa; dall'equilibrio dei momenti rispetto al centro di rotazione si ottiene:

$$S_m \cdot B_m - R_v \cdot B_v = 0$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

S_m = componente orizzontale della spinta attiva;

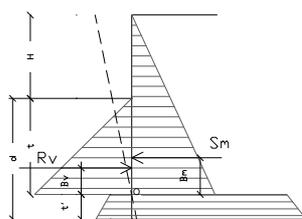
B_m = braccio di S_m rispetto ad O centro di rotazione;

R_v = componente orizzontale della resistenza passiva;

B_v = braccio di R_v rispetto ad O centro di rotazione;

ogni termine risulta funzione di t dove t è la profondità del centro di rotazione rispetto al piano di riferimento di valle (piano campagna a valle). La lunghezza necessaria per assicurare l'equilibrio alla traslazione orizzontale si ottiene aumentando t come segue:

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



Schema di riferimento per il calcolo dell'equilibrio della paratia

Coefficiente di sicurezza sulla resistenza passiva

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

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

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

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

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

Dove i simboli hanno il seguente significato:

S_m = componente orizzontale spinta attiva;

H = altezza terreno da sostenere;

t = profondità di infissione calcolata;

B_m = braccio di S_m rispetto alla base della paratia;

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

R_v = componente orizzontale della resistenza passiva;

B_v = braccio di R_v .

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

Coefficiente di sicurezza F sulle resistenze passive

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

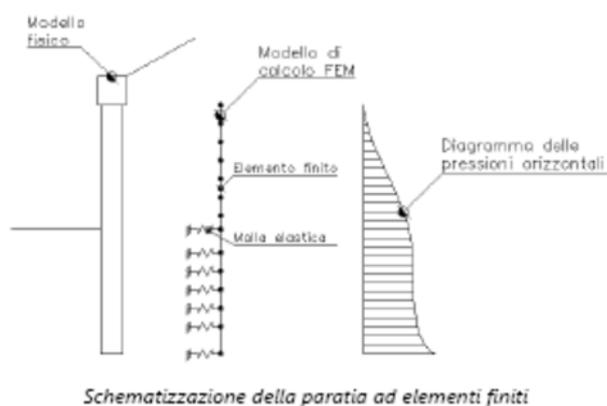
$$S_m \cdot (H + t - B_m - t_m) - \frac{R_v}{F} \cdot (H + t - B_v - t_m) = 0$$

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

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

Metodo degli elementi finiti (FEM)

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



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

Calcolo del modulo di rigidità K_s del terreno

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

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

Dove i simboli hanno il seguente significato

A_s = costante, calcolata come segue

$$A_s = C \times (c \times N_c + 0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma)$$

B_s = coefficiente funzione della profondità $B_s = C \times \gamma \times N_q$

Z = Profondità in esame

C = 40 nel sistema internazionale SI

$$n = \frac{1}{2} \times \tan \dots$$

$$N_q = \exp[n \times (\tan^2(45^\circ + \dots))$$

$$N_c = (N_q - 1) \times \cot \dots$$

$$N = 1.5 \times (N_q - 1) \times \tan \dots$$

Tiranti

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

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

Sifonamento

Il sifonamento è un fenomeno che in una fase iniziale si localizza al piede della paratia, e poi rapidamente si estende nell'intorno del volume resistente. Si verifica quando, per una elevata pressione idrodinamica o di infiltrazione, si annullano le pressioni passive efficaci, con la conseguente perdita di resistenza del terreno. Si assume di norma un fattore di sicurezza $F_{sif}=3.5-4$ Indicando con:

i_c = Gradiente Idraulico critico;

i_e = Gradiente Idraulico in condizioni di esercizio;

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

5. Verifica delle sezioni e calcolo armature

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

$$N_d = N' \cdot i; M_d = M' \cdot i; T_d = T' \cdot i$$

Dove M' , M' , T' rappresentano il momento il taglio e lo sforzo normale relativi ad una striscia unitaria di calcolo mentre i è l'interasse tra i pali per paratia costituita da pali o micropali (o larghezza setti per paratia costituita da setti). Il semiprogetto della armature viene eseguito agli stati limiti ultimi secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 ed Eurocodici.

6. Software utilizzato

L'analisi di tipo numerico è stata realizzata mediante il programma di calcolo automatico MDC Rel 2011 con licenza chiave n° 7078-6, prodotto da: **Geostru Software**

7. Elaboratore utilizzato:

Computer	PC CDC Premium – AMD Athlon™ 64 Processor 3500+
	2.21 GHz, 1,00 GB di RAM
Sistema	Microsoft Windows XP Professional
	Versione 2002

8. Codice di calcolo, solutore e affidabilità dei risultati

Come previsto dalle norme tecniche di cui al D.M. 14.01.2008 l'affidabilità del codice utilizzato è stata verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

Si allegano alla presente i test sui casi prova forniti dalla Geostru a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti.

Il software è inoltre dotato di filtri e controlli di autodiagnostica che agiscono a vari livelli sia della definizione del modello che del calcolo vero e proprio. I controlli vengono visualizzati, sotto forma di tabulati, di videate a colori o finestre di messaggi.

9. Valutazione dei risultati e giudizio motivato sulla loro accettabilità

Il software utilizzato permette di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura. Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello permettono di controllare sia la coerenza geometrica che le azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti, ecc hanno permesso un immediato controllo con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati di cui è nota la soluzione in forma chiusa nell'ambito della Geotecnica.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato esito positivo.

10. Conclusioni

Si evidenzia dai test effettuati l'affidabilità del software in oggetto. Si riscontrano scarti minimi sia per il calcolo delle spinte, sia per il calcolo dei coefficienti di sicurezza a ribaltamento ed a scorrimento, sia per il calcolo del coefficiente di sicurezza nella verifica a stabilità globale.

Per quanto sopra, Il sottoscritto progettista delle strutture, ai fini della stesura degli elaborati progettuali, dichiara l'accettabilità dei risultati dell'analisi strutturale eseguita mediante elaboratore e che tale accettabilità è stata valutata attraverso:

- l'analisi e la verifica del corretto comportamento del modello di calcolo adottato ;
- la verifica della corretta soluzione dal punto di vista numerico.



Validazione codice di calcolo software Parabe/Sfw

6 – Esempi di calcolo

6.1 - Ex. 13.2 – Pag. 196 Collaselli (FILE: F. COLLESELLI M.SORANZO, Pag.196 Ex.13.2 .spw)

Calcolo profondità di infissione di una palancaia in terreno incoerente, omogeneo caratterizzato da un angolo di resistenza al taglio $\phi = 33^\circ$ e da un peso dell'unità di volume pari a 18 kN/m^3 . La paratia dovrà sostenere $5,5 \text{ m}$ di sbancamento.

L'esempio oggetto di studio è stato realizzato al fine di dimostrare la validità del programma nel calcolo della profondità di infissione:

Profondità infissione Parabe/Sfw = $4,52 \text{ m}$

Profondità Colaselli = $4,80 \text{ m}$

Scarto profondità infissione = (Profondità infissione Parabe/Sfw - Profondità Colaselli) /

Profondità Colaselli = $(4,52 - 4,80) / 4,80 = -5,8\%$

* Colaselli ha aumentato le zone delle sicurezza la profondità di calcolo del 20%. Parabe no. la profondità calcolata garantisce le condizioni di equilibrio.

6.2 - Ex. 13.3 – Pag. 198 Collaselli (FILE: F. COLLESELLI M.SORANZO, Pag.199 Ex.13.3.spw)

Calcolo profondità di infissione di una palancaia in terreno coesivo, omogeneo caratterizzato da una coesione non drenata da $8,73 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio $\phi = 0^\circ$, peso unità di volume saturi pari a 18 kN/m^3 . La paratia dovrà sostenere 4 m di sbancamento.

L'esempio oggetto di studio è stato realizzato al fine di dimostrare la validità del programma nel calcolo della profondità di infissione in condizioni drenate.

Profondità infissione Parabe/Sfw = $4,75 \text{ m}$

Profondità Colaselli = $4,60 \text{ m}$

Scarto Profondità infissione = (Profondità infissione Parabe/Sfw - Profondità Colaselli) /

Profondità Colaselli = $(4,75 - 4,60) / 4,60 = 3\%$

6.3 - Ex. 13.1 – Pag. 649 Bowles (FILE: Bowles Ex. 13.1 Pag. 649.spw)

Analisi di una palancaia in terreno incoerente caratterizzato da 1° strato $\phi = 30^\circ$, $\gamma = 16,49 \text{ kN/m}^3$ di spessore $2,40 \text{ m}$, 2° strato $\phi = 30^\circ$, $\gamma = 18,37 \text{ kN/m}^3$ di spessore $6,60 \text{ m}$. La paratia dovrà sostenere uno scavo di 9 m . Sul piano campagna agisce un sovraccarico uniformemente distribuito di $23,24 \text{ kPa}$. La paratia sarà ancorata con tiranti di lunghezza libera pari a 9 metri , armati con acciaio del diametro di 30 mm , posti a $1,20 \text{ m}$ di profondità ed interasse di $1,80 \text{ m}$. La sezione della paratia è del tipo P2287 con modulo elastico di 200000 Mpa .

13

7-2

Validazione codice di calcolo software Parate/Spw

L'esempio oggetto di studio è stato realizzato al fine di dimostrare la validità del programma nel calcolo ad elementi finiti non lineare di profondità di infissione, momento massimo, tiro sul tirante.

Profondità infissione Parate/SPW = 4,2 m

Profondità Bowles = 4,2 m

Scarto Prof. di infissione = (Profondità infissione Parate/SPW - Profondità Bowles) / Profondità

Bowles = $(4,2-4,2)/4,2 = 0\%$

Momento massimo Parate/SPW = 212,90 kNm

Momento massimo Bowles = 210,33 kNm

Scarto momento massimo = $(M_{max} Parate/SPW - M_{max} Bowles) / M_{max} Bowles$
= $(212,90-210)/210 = + 1,38\%$

Tiro Parate/SPW = 194 kN

Tiro Bowles = 190 kN

Scarto Tiro = $(Tiro Parate/SPW - Tiro Bowles) / Tiro Bowles = (194-190)/190 = + 2,1\%$

7- Conclusioni

Si evidenzia, dai test effettuati, l'affidabilità del software in oggetto. Si riscontrano scarti minimi dovuti alle elaborazioni numeriche.