

# SPW

<b>Part I Progettazione e calcolo di Paratie – SPW</b>	<b>1</b>
1 Chiarimenti sulle modalità di calcolo del software SPW .....	2
2 Nuovo modello di calcolo .....	5
3 Procedura di calcolo .....	7
4 Paratie .....	8
5 Archivi .....	10
Archivio materiali .....	10
Archivio sezioni .....	13
Cordoli di ancoraggio .....	18
Archivio tiranti .....	19
Opzioni armature .....	22
6 Dati .....	26
Dati generali .....	26
L.E.M. - Metodo equilibrio limite .....	28
F.E.M. - Metodo elementi finiti .....	29
Geometria terreno .....	32
Struttura .....	38
Stratificazioni .....	41
Falda .....	45
Tiranti .....	48
Supporti .....	50
Carichi .....	53
Forze applicate .....	57
Pressioni assegnate .....	59
Modulo di reazione assegnato .....	60
Condizioni al contorno .....	63
Fasi costruttive .....	65
7 Calcolo .....	66
Analisi paratia .....	66
Risultati analisi strutturale .....	71
Diagrammi sollecitazioni .....	72
Diagrammi delle pressioni .....	72
Zona ancoraggio tiranti .....	73
Programma servizio trave continua .....	75
Computo metrico .....	76
Stabilità globale .....	77
8 Output .....	78
Esportazione DXF .....	78
Relazione.. .....	79
Esempio relazione di calcolo.....	80
Preferenze .....	173
9 Cenni teorici .....	173
Metodo LEM .....	173
Metodo FEM .....	176
Carico limite tiranti .....	179
Cedimenti verticali .....	181
Filtrazione .....	182
Verifica a sollevamento .....	187
..Verifica a sifonamento.....	189

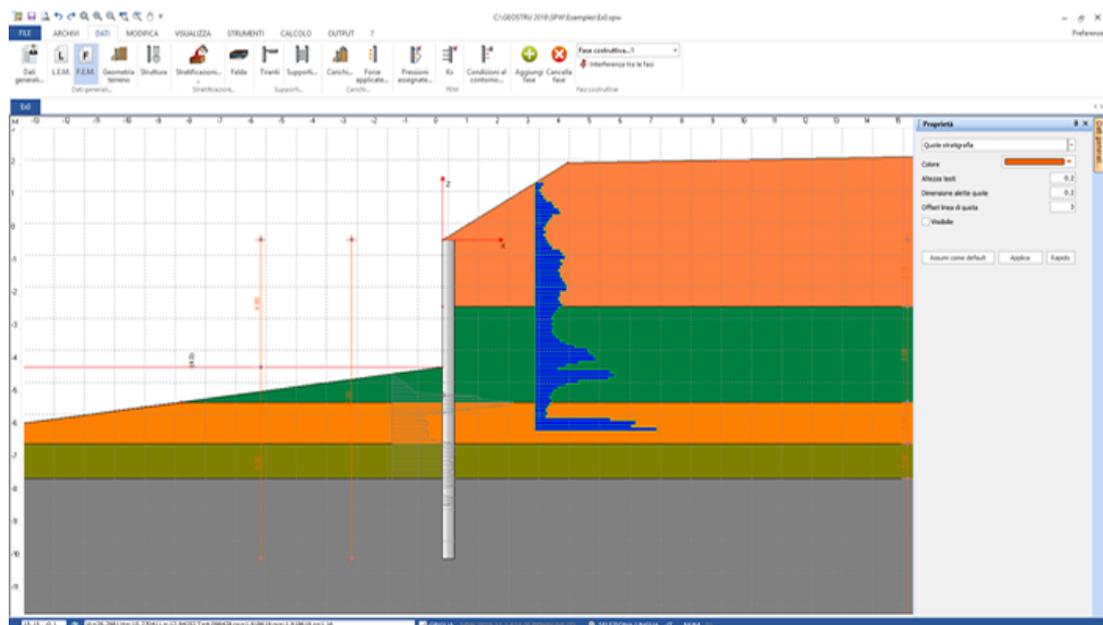
<b>Part II Normative</b>	<b>189</b>
1 Eurocodici .....	189
Combinazioni EUROCODICE 7 .....	189
Parametri sismici EUROCODICE 8 .....	191
Parametri caratteristici del terreno EUROCODICE .....	193
2 LRFD .....	193
Combinazioni LRFD .....	193
3 NTC .....	196
Combinazioni verifiche paratie NTC .....	196
Parametri sismici NTC- Paratie .....	199
Parametri caratteristici del terreno NTC .....	204
4 NTC 2018 .....	207
Combinazioni verifiche paratie NTC 2018 .....	207
Parametri sismici NTC 2018- Paratie .....	209
5 Geoapp .....	214
Sezione Geoapp .....	215
<b>Part III Utility</b>	<b>216</b>
1 Tabelle di conversione .....	216
2 Database Terreni .....	217
<b>Part IV Berlinesi</b>	<b>219</b>
<b>Part V Conversione file da .spw a .spwx</b>	<b>221</b>
<b>Part VI Bibliografia</b>	<b>223</b>
<b>Part VII Comandi di Short cut</b>	<b>224</b>
<b>Part VIII Contatti</b>	<b>225</b>
<b>Index</b>	<b>0</b>

# 1 Progettazione e calcolo di Paratie – SPW

Software per la progettazione ed il calcolo di PARATIE. I metodi di calcolo utilizzati sono: Equilibrio limite, Elementi finiti.

I metodi citati sono di complessità crescente sia dal punto di vista numerico che per la quantità di parametri geotecnici necessari per il calcolo. Il programma SPW consente di effettuare l'analisi di paratie a sbalzo o con tiranti. La verifica della stabilità globale viene eseguita tramite il software GSA.

Compatibile con le seguenti normative: NTC 2018, Eurocodici con annessi nazionali per diversi paesi europei. SPW è compatibile inoltre con gli standard per i seguenti paesi: *Regno Unito, Brasile, Colombia, altre sono in corso di implementazione.*



## CARATTERISTICHE

Metodo di calcolo ad elementi finiti ed Equilibrio limite.

Terreno stratificato.

Presenza di sisma e falda.

Pali su singola fila.

Pali con disposizione a quinconce.

Micropali su singola fila.

Micropali con disposizione a quinconce.

Setti con doppia fila di armatura.

Sezione generica.

Tiranti su più file.

Carichi sul terrapieno del tipo: strisce di carico, linee di carico, carichi uniformemente distribuiti. I carichi possono avere una quota di applicazione anche diversa dalla quota del piano campagna.

Tracciamento del reticolo di flusso alle differenze finite.

## CALCOLO

Calcolo ad equilibrio limite (LEM) ed elementi finiti (FEM) anche con analisi non lineare.

Calcolo della profondità di infissione.

Verifica di una profondità di infissione assegnata.

Visualizzazione diagrammi delle sollecitazioni per ogni fase e combinazione.

Calcolo del coefficiente di reazione orizzontale automaticamente.

Calcolo delle spinte con il metodi di: Coulomb, Rankine, Mononobe & Okabe, Caquot e Kerisel.

Calcolo delle tensioni nel sottosuolo indotte da carichi esterni con il metodo di Boussinesq.

Analisi della paratia durante le fasi di scavo.

Semiprogetto delle sezioni allo stato limite ultimo anche per sezioni miste.

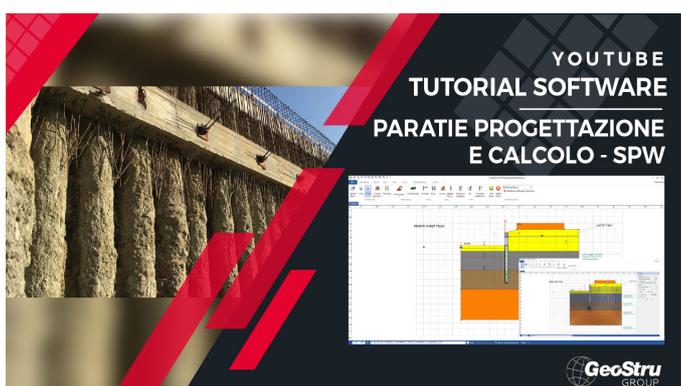
Verifica a sifonamento

Verifica stabilità di fondo scavo

ANALISI DI STABILITA' GLOBALE

Metodi di: FELLENIUS, BISHOP, JANBU, BELL, SARMA; D.E.M.

Il programma si interfaccia con G.F.A.S. (Geotechnical and F.E.M. analysis System).



### 1.1 Chiarimenti sulle modalità di calcolo del software SPW

Il software SPW permette di effettuare analisi con il metodo dell'equilibrio limite (L.E.M) e con il metodo degli elementi finiti (F.E.M). Il primo generalmente può essere utilizzato per effettuare un calcolo semplificato,

effettuando così un semiprogetto della paratia e definendo le caratteristiche principali (profondità di infissione, diametro, ecc.). Tale calcolo considera solo l'aspetto statico del problema trascurando l'effettiva deformabilità del terreno. Dunque, il calcolo risulta indipendente dallo stato deformativo del complesso terreno-struttura. Al contrario, utilizzando il metodo F.E.M. è possibile eseguire sia analisi lineari che non lineari, tenendo in conto sia dell'aspetto statico che dell'aspetto cinematico. Dunque, si tiene conto dell'effettiva interazione terreno-struttura e in questo modo il calcolo risulta più preciso e congruo con il reale comportamento delle opere.

Analisi con il metodo degli elementi finiti (F.E.M.)

Il metodo degli elementi finiti come evidenziato in precedenza permette di effettuare delle analisi più realistiche, tenendo conto dell'effettiva interazione terreno-struttura. In questo approccio la paratia è modellata come un insieme di travi, con vincolo di continuità tra loro (elementi beam) vincolati al terreno mediante molle elastiche, la cui rigidezza è valutata in funzione delle proprietà elastiche del terreno (Figura 1).

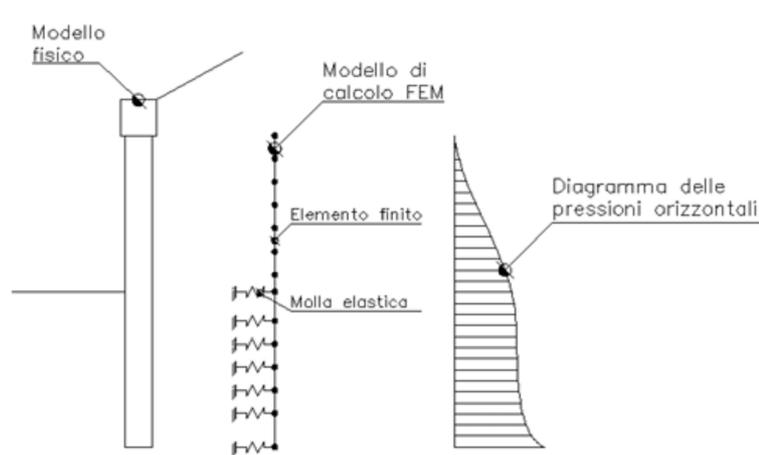


Figura 1: Schema di una paratia con il metodo degli elementi finiti

Il calcolo della rigidezza delle molle elastiche ( $k_s$ ) è definito dal rapporto tra la resistenza ultima del terreno e lo spostamento orizzontale:

$$k_s = \frac{q_{ult}}{\delta}$$

Tale relazione può essere ricavata da prove di carico sul palo, o in alternativa può essere stimata sulla base delle formulazioni usate per il calcolo della capacità portante utilizzando la seguente equazione:

$$k_s = A_s + B_s Z^n$$

in cui:

$$A_s = C(cN_c + 0.5\gamma BN_\gamma)$$

$$B_s = C(\gamma N_q)$$

Z = profondità considerata

C = 40 ricavato dal rapporto  $\frac{1}{\delta}$  imponendo uno spostamento  $\delta$  di 0.0254 m

$$n = p \tan \varphi$$

$$N_q = \exp\left(n \left(\tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)\right)\right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\varphi = 1.5(N_q - 1) \tan \varphi$$

Dunque, ricavato il valore del modulo di rigidezza della molla  $k_s$ , il software applica una forza F ad ogni nodo del modello calcolata con la seguente relazione:

$$F = k_s \cdot \delta$$

Il calcolo con tale modello, come dimostrato da Bowles (1974), può essere considerato nel calcolo delle sollecitazioni indotte nella regione della paratia soggetta allo stato di spinta passivo. Il modello è stato testato su numerosi casi riportati da Tschebotarioff (1949) e Rowe (1952) ottenendo risultati soddisfacenti.

Riepilogando si fa una analisi lineare, si controllano gli spostamenti dei nodi di fondo scavo, se gli spostamenti sono maggiori del limite usato (0.0254) per il calcolo del  $k_s$  si passa ad una analisi non lineare. In questo modo saranno garantiti gli SLU della resistenza del terreno.

**Nota (a cura dell'utente il passaggio da analisi lineare a non lineare)**

## 1.2 Nuovo modello di calcolo

E' possibile definire un generico modello di calcolo iniziale, modificandolo opportunamente nel corso della sezione di lavoro . Al click sul comando "Nuovo..." si apre la seguente finestra di dialogo:

**Modello di calcolo**

**Progetto**

Descrizione  Design of diaphragm and sheet pile walls. In The Netherlands, an extensive design procedure for sheet pile walls has been developed.

Località Netherlands

Progettista GS Consulting

Data Wednesday, March 14, 2018

**Normativa**

Normativa GEO NTC 2008

Normativa STR NTC 2008

**Calcolo pressioni**

Pressioni attive Coulomb (CSN 730037)

Pressioni passive Coulomb (CSN 730037)

Pressioni sismiche Mononobe-Okabe

Punto di applicazione azione sismica 1/3H

**Modello di calcolo**  L.E.M.  F.E.M.

**Carico limite verticale**  Si  No Fattore sicurezza 1.7

**Lunghezza longitudinale**

Lunghezza 0 [m]

Ok Annulla ?

*Ambiente per l'inizializzazione di un nuovo modello*

L'inizializzazione di un nuovo modello richiede che siano definiti i seguenti dati:

### Progetto

Identifica una descrizione sintetica del progetto, la località del cantiere, il progettista dell'opera e la data.

In fase di esportazione in formato ".doc" è possibile stampare la descrizione e la località, per rendere attiva quest'azione basta inserire un segno di spunta sul quadrato di destra della casella di testo.

#### Normativa

E' possibile selezionare la normativa applicata nelle verifiche geotecniche (Normativa GEO) e quella relativa alle verifiche strutturali (Normativa STRU). Per ogni categoria di verifiche sono previste le seguenti scelte:

Normativa GEO: NTC ed Eurocode 7 ed Eurocode 8;

Normativa STR: NTC ed Eurocode 2.

#### Calcolo pressioni

In questo gruppo di dati vengono specificate le teorie che si possono utilizzare per il calcolo del coefficiente di spinta attiva, del coefficiente di spinta passiva e del coefficiente di stato limite (attivo o passivo) in condizioni dinamiche. In particolare sono previste le seguenti possibilità:

Pressioni attive: Coulomb, Muller-Breslau, Caquot-Kerisel, Jaky, Rankine;

Pressioni passive: Coulomb, Muller-Breslau, Caquot-Kerisel;

Pressioni sismiche: Mononobe-Okabe, Strutture che non subiscono spostamenti.

E' possibile scegliere il punto di applicazione dell'azione sismica: 2/3 H; 1/3 H; 1/2 H.

#### Modello di calcolo

In questa sezione è possibile scegliere a priori il metodo di calcolo: LEM (*Metodo dell' Equilibrio Limite*) o FEM (*Metodo degli Elementi Finiti*).

#### Carico limite verticale

Selezionando (Si / No) e riportando il fattore di correlazione delle verticali indagate riferito alla portanza del palo, in fase di calcolo il programma stima il valore del carico limite verticale.

#### Lunghezza longitudinale

Si assegna la lunghezza longitudinale della paratia.

### 1.3 Procedura di calcolo

Dopo aver inizializzato un modello di paratia attraverso il comando 'Nuovo', l'utente potrà adattare il modello di default con i dati di progetto in suo possesso.

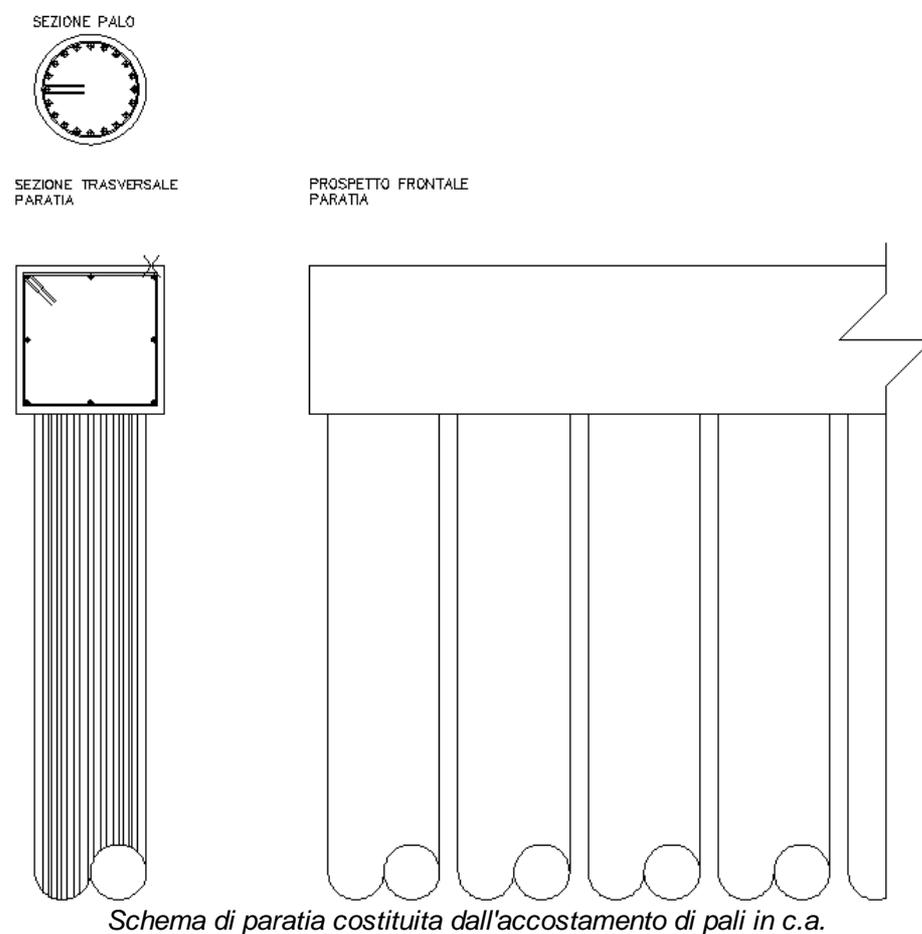
A titolo di esempio riportiamo una sequenza di operazioni che permettono di compiere un'analisi completa di una paratia:

1. personalizzate l'Archivio delle sezioni, definire la geometria e scegliere il materiale;
2. definire le opzioni delle armature;
3. creare la struttura della paratia, può essere costituita da tratti di diversa tipologia, composta attraverso l'archivio delle sezioni;
4. inputare i dati della geometria del terreno;
5. riportare le caratteristiche geotecniche dei terreni e l'eventuale presenza di falda;
6. definire le caratteristiche di eventuali tiranti o supporti;
7. assegnare i carichi sul terreno e sulla struttura;
8. impostare il metodo di analisi (L.E.M. o F.E.M.);
9. se il metodo di analisi scelto è il F.E.M., l'utente può definire eventuali pressioni, moduli di reazione e condizioni al contorno sull'opera;
10. definire le combinazioni di calcolo e le fasi costruttive di analisi; assegnare i parametri sismici per le combinazioni sismiche; avviare l'analisi della paratia;
11. conclusa l'analisi è possibile visualizzare tutti i risultati e le armature progettate (Risultati analisi strutturale, diagrammi, carpenteria sezione ecc.);
12. esportare la relazione finale dalla sezione OUTPUT comando "Relazione...";
13. effettuare l'analisi di stabilità globale ed esportare i risultati.

Di seguito saranno descritte le finestre di dialogo che consentono all'utente di compiere l'analisi.

## 1.4 Paratie

Le paratie sono costituite da una struttura verticale relativamente sottile, ammorsata nel terreno fino ad una certa profondità al di sotto del piano di scavo, in modo da ottenere un supporto sufficientemente robusto per contrastare le spinte del terreno, dell'acqua e di eventuali sovraccarichi. Questo tipo di struttura di sostegno può essere formata da palancole prefabbricate ed infisse, da pali trivellati accostati e da diaframmi in c.a. costruiti in opera, o anche da pannelli di c.a. (setti in cemento armato). Nella figura che segue è riportato, a titolo di esempio, lo schema di una paratia a sbalzo costruita mediante pali in c.a.:



I metodi di calcolo più largamente utilizzati sono:

- Equilibrio limite (LEM)
- Elementi finiti (FEM)

Mentre il metodo dell' equilibrio limite si basa su considerazioni solo ed esclusivamente di carattere statico, per il metodo degli elementi finiti si fanno considerazioni che si basano anche sulla congruenza delle

deformazioni (il metodo FEM è quindi un metodo più razionale). I metodi citati sono di complessità crescente sia dal punto di vista numerico che dal punto di vista delle operazioni preliminari al calcolo. Di fatti mentre per il metodo LEM è necessario conoscere le proprietà classiche del materiale terreno (angolo di attrito interno ecc.) per il metodo FEM è necessario anche stimare il modulo di reazione del terreno e caratterizzarne il suo eventuale comportamento non lineare. Il programma SPW consente di effettuare l'analisi di paratie a sbalzo o con tiranti, secondo i due modelli di calcolo citati.

### CARATTERISTICHE GENERALI (Relativamente all'input del software)

I modelli che è possibile analizzare con SPW sono rappresentativi, di buona parte, dei problemi che si incontrano nella pratica corrente. Dal punto di vista generale (si scenderà nel particolare in sezioni successive) le caratteristiche principali dell'input sono le seguenti:

- Materiali che costituiscono la paratia (Archivio materiali);
- Sezioni della struttura verticale (Archivio delle sezioni);
- Cordoli di ancoraggio;
- Tiranti (Archivio tiranti);
- Trattamento delle impostazioni legate all'armatura della struttura (Opzioni armature);
- Metodi di calcolo (Equilibrio limite, Elementi Finiti);
- Geometria del modello del terreno (trattabile sia in termini di coordinate di vertici sia in termini di angoli e distanze);
- Proprietà del terreno (è possibile definire diverse proprietà di terreno e considerare diverse stratificazioni);
- E' possibile considerare la presenza della falda, anche per eventuali studi di filtrazione e quindi verifiche a sifonamento;
- Carichi agenti, trattati sia mediante carichi concentrati, sia mediante carichi ripartiti per strisce, per linee o uniformi;
- Fasi di analisi. E' possibile definire diversi scenari di cimentazione della struttura, riferendosi a fasi di analisi che possono variare per stratigrafia, caratteristiche dei materiali, vincoli imposti, carichi ecc.
- L'analisi della paratia può essere eseguita sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche. Il calcolo dei parametri sismici sul sito di riferimento secondo le NTC può essere effettuato utilizzando il software on line GeoStru PS.

### CARATTERISTICHE GENERALI (Relativamente alla fase di calcolo)

- Analisi realizzabile con metodo di equilibrio limite e con metodo degli elementi finiti;
- Calcolo della profondità di infissione;
- Verifica di una profondità di infissione assegnata;
- Analisi realizzabile per più combinazioni di carico e per diverse fasi di analisi;
- Calcolo delle pressioni dovute alla presenza della falda, dei carichi esterni ecc.
- Predisposizione di programma di servizio per l'analisi delle sollecitazioni su una trave continua schematizzante o la trave di testata o la trave di ancoraggio;
- Realizzazione di computo metrico;
- Analisi di stabilità globale (mediante i metodi di: Fellenius, Bishop, Janbu, Bell, Sarma, D.E.M);
- Progetto delle sezioni della paratia;
- Determinazione del reticolo di flusso e calcolo della portata di filtrazione

### CARATTERISTICHE GENERALI (Relativamente alla fase di output)

- Visualizzazione dei diagrammi delle pressioni orizzontali e dei diagrammi delle sollecitazioni;
- Risultati dell'analisi strutturale della paratia, in termini di verifiche o di progetto della sezione;
- Generazione di relazione tecnica (con cenni teorici) selettiva rispetto agli argomenti da stampare (è possibile stampare cenni teorici, dati di input, output di calcolo);
- Generazione di elaborati grafici completi, nei quali vengono definite le misure, nonché le quantità e le sagomature delle armature risultanti dal calcolo

## 1.5 Archivi

### 1.5.1 Archivio materiali

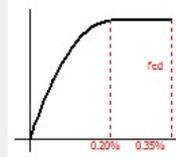
A quest'unico archivio dei materiali fanno riferimento tutte le sezioni degli elementi strutturali previsti in programma. I singoli dati che compaiono nelle tabelle per default sono modificabili (anche per le considerazioni svolte nel seguito) e non costituiscono vincolo alcuno per il progettista in quanto unico responsabile dei valori assunti.

N.B. Per cancellare un qualsiasi tipo di conglomerato tra quelli esposti in tabella basta cancellare tutti i caratteri presenti nella casella della colonna

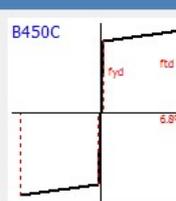
Classe Calcestruzzo. L' ambiente attraverso il quale è possibile gestire l'archivio dei materiali è il seguente:

Archivio materiali

CONGLOMERATI										
N°	Classe Calcestruzzo	fck,cubi [MPa]	Ec [MPa]	fck [MPa]	fcd [MPa]	fctd [MPa]	fctm [MPa]	Poisson	AlfaT [1/C°]	P.S. [kN/m³]
1	C20/25	25	29380.7	19.6	11.1	1	2.2	0.2	.00001	25
2	C25/30	30	30861.5	24.5	13.9	1.2	2.5	0.2	.00001	25
3	C28/35	35	31675.5	27.5	15.6	1.3	2.7	0.2	.00001	25
4	C40/50	50	34539	39.2	19.4	1.5	3.1	0.2	.00001	25
5										
6										
7										



ACCIAI PER BARRE										
N°	Tipo Acciaio	Es [MPa]	fyk [MPa]	fyd [MPa]	ftk [MPa]	ftd [MPa]	ep_tk	epd_ult	β1*β2 iniziale	β1*β2 finale
1	B450C	196133	441.3	383.7	529.6	441.3	.075	.0675	1	0.5
2	FeB44k	196133	421.7	366.7	529.6	366.7	.05	.04	1	0.5
3										
4										
5										
6										
7										



Assumi come default    Ok    Annulla    ?

Finestra per la gestione dei materiali strutturali

## Dati CONGLOMERATI

- Classe Calcestruzzo: la classe del conglomerato deve avere la denominazione normalizzata compresa tra quelle indicate nelle apposite tabelle al § 4.1 delle NTC 2018 . *Es. C20/25; C25/30; C28/35; C35/45 etc.* definite in base alla resistenza caratteristica rispettivamente cilindrica fck e su cubi Rck (espresse in MPa).
- fck, cubi [MPa]: è la resistenza caratteristica a compressione Rck su cubi a cui fare riferimento in sede di progetto.
- Ec [MPa]: è il modulo elastico del calcestruzzo da impiegare in sede di progettazione  $E_c = 22000 [(fck + 8)/10]^{0.3}$  [MPa] (11.2.10.3 NTC 2018).
- fck [MPa]: è la resistenza cilindrica caratteristica a compressione che del resto compare come primo termine nella denominazione normalizzata della classe. Ad esempio nella classe C20/25 fck= 20 Mpa e Rck=25 Mpa. Il § 11.2.10.1 stabilisce però che per passare dalla resistenza cubica a quella cilindrica va utilizzata l'espressione  $fck = 0.83 \cdot Rck$  per cui nella classe citata ad esempio si dovrebbe assumere  $fck = 0.83 \cdot 25 = 20.75$  Mpa = 207.5 daN/cm<sup>2</sup> valore maggiore di quello (20 Mpa = 200 daN/cm<sup>2</sup>) esposto nella denominazione della classe. Si lascia al progettista, pertanto, la decisione su quale valore assumere: se quello più conservativo indicato nella denominazione della classe o quello indicato dalle NTC 2018.
- fcd [MPa]: è la resistenza di calcolo del conglomerato pari a  $\alpha_{cc} \cdot fck / \gamma_c$  in cui  $\alpha_{cc}$  è il coeff. riduttivo per le resistenze di lunga durata e vale di

norma 0.85 e  $\gamma_c = 1.50$  e il coefficiente parziale del calcestruzzo. Per elementi piani (solette, pareti, ecc.) con spessori minori di 5 cm e realizzati in opera il valore di  $f_{cd}$  va ridotto del 20%. (cfr. § 4.1.2.1.1.1 NTC 2018).

- $f_{ctd}$  [MPa]: è la resistenza di calcolo a trazione pari a:  $f_{ctk} / \gamma_c$
- $f_{ctm}$  [MPa]: è la resistenza media a trazione pari a  $0.3f_{ck}^{2/3}$  (§ 11.2.10.2).
- Poisson: il valore del coefficiente di Poisson  $\mu$  può variare da 0 (calcestruzzo fessurato) a 0.2 (calcestruzzo non fessurato) (punto 11.2.10.4 NTC 2018). Il programma utilizza questo coefficiente per il calcolo del modulo elastico tangenziale  $G = 0.50 \cdot E_{cm} (1 + \mu)$
- AlfaT [ $1/C^\circ$ ]: coefficiente di dilatazione termica.
- P.S. [ $KN/m^3$ ]: peso specifico del calcestruzzo armato. Viene utilizzato dal programma per il calcolo dei pesi propri degli elementi strutturali.

## Dati ACCIAI PER BARRE

- Tipo Acciaio: per le strutture in c.a. ordinario le NTC prevedono in pratica un unico tipo di acciaio denominato B450C le cui caratteristiche sono prescritte nel §11.3.2 delle NTC.
- $E_s$  [MPa]: modulo elastico dell'acciaio.
- $f_{yk}$  [MPa]: tensione caratteristica di snervamento assunta in sede di progetto pari a quella nominale  $450 N/mm^2$ [MPa].
- $f_{yd}$  [MPa]: tensione di snervamento di calcolo assunta in sede di progetto pari a  $f_{yk} / \gamma_s$  essendo  $\gamma_s$  il coefficiente parziale dell'acciaio (1.15).
- $f_{tk}$  [MPa]: tensione caratteristica di rottura assunta in sede di progetto pari a quella nominale (540 MPa).
- $f_{td}$  [MPa]: tensione di rottura di calcolo assunta in sede di progetto. Può essere assunta pari a  $f_{yd}$  (incrudimento nullo) o pari a  $f_{yd} \cdot k$  con  $k = f_t / f_y$ . Questo rapporto non può essere inferiore a 1.15 e superiore a 1.35 (11.3.2.1 NTC 2018). Prudenzialmente può assumersi  $k = 1.15$
- $ep_{tk}$ : deformazione unitaria caratteristica a rottura (definita al punto 4.1.2.1.2.3 delle NTC 2018 col simbolo  $e_{uk}$ ). Il suo valore non può essere inferiore a 0.075 (tabella 11.3.Ib NTC 2018).
- $epd_{ult}$ : deformazione ultima di calcolo pari a  $e_{ud} = 0.9 e_{uk}$  (§ 1.1.2.1.2.3 NTC 2018).

- 1- 2 iniz.: coeff. di aderenza acciaio-calcestruzzo alla prima applicazione del carico. Viene utilizzata dal programma nella verifica dell'apertura delle fessure nelle combinazioni rare di esercizio (SLE).
- 1- 2 iniz.: coeff. di aderenza acciaio-calcestruzzo per carichi di lunga durata. Viene utilizzata dal programma nella verifica dell'apertura delle fessure nelle combinazioni frequenti e quasi-permanenti di esercizio (SLE).

N.B. Per default tutti i dati dei materiali sono quelli previsti dalle NTC 2018 . E' consentita comunque una loro modifica da parte dell'utente.

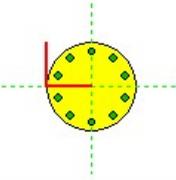
## 1.5.2 Archivio sezioni

In questo archivio sono definite e trattate le sezioni che costituiscono la struttura della paratia (pali o setti). L'ambiente tramite il quale è possibile gestire l'archivio delle sezioni è il seguente:

Archivio sezioni... X

E' possibile definire diverse tipologie di sezione da utilizzare per la generazione della struttura

Interassi: Per disposizioni a quinconce assegnare l'interasse Ix

<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;"> <p>Circolare da 0,5</p> <p>Circolare da 0,6 Tubo</p> <p>Circolare da 0,7, HEB</p> <p>Rettagonolare</p> <p>Circolare da 0,7, Scat</p> </div> <div style="display: flex; align-items: center; gap: 5px;"> <span>+</span> <input type="text" value="1"/> </div> <div style="display: flex; align-items: center; gap: 5px;"> <span>-</span> </div> <div style="display: flex; align-items: center; gap: 5px;"> <span>Salva</span> </div>	
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

---

**GEOMETRIA SEZIONE**

Sezione:

<p><b>Materiale</b></p> <p>Calcestruzzo <input type="text" value="C20/25"/> Acciaio <input type="text" value="B450C"/></p> <p><b>Sezione</b></p> <p>Nome <input type="text" value="Circolare da 0,5"/></p> <p>Diametro <input type="text" value="0,5"/> [m]</p> <p>Disposizione <input type="text" value="Singola fila"/></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Interassi Ix: <input type="text" value="0"/> Iy: <input type="text" value="1"/> [m]</p> <p>Sez. rett. Bx: <input type="text" value="0"/> Hy: <input type="text" value="0"/> [m]</p> <p>Colore <input type="text" value="■"/></p>	<p><b>Allineamento sezioni</b></p> <p><input type="radio"/> Interno <input checked="" type="radio"/> Esterno</p> <p><b>Armatura: Profilato</b></p> <p>Base/Diametro <input type="text" value="0"/> [mm]</p> <p>Altezza <input type="text" value="0"/> [mm]</p> <p>Spessore [Sa] <input type="text" value="0"/> [mm]</p> <p>Spessore [Se] <input type="text" value="0"/> [mm]</p> <p>Colore <input type="text" value="■"/></p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

---

**Area, Inerzia, Elasticità**

Area	0,1963495 [m <sup>2</sup> /m]
Momento di inerzia	3,067962E-03 [m <sup>4</sup> /m]
Modulo elasticità	29380,7 [MPa]

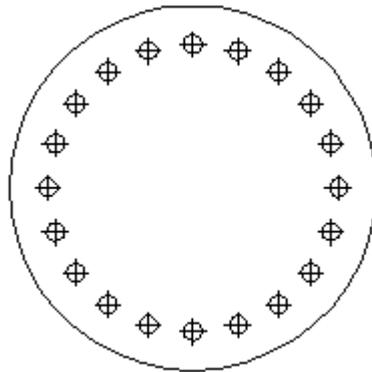
### *Ambiente per il trattamento delle sezioni*

Attraverso questa finestra è possibile realizzare molte operazioni sulle sezioni. In prima istanza è possibile aggiungere o eliminare sezioni (mediante i pulsanti che si trovano nella parte centrale alta della finestra "+" e "-"). Per la corretta definizione di una sezione è necessario inserire i seguenti dati:

- **Sezione**

Questo dato definisce la tipologia della sezione da aggiungere all'archivio. Si può scegliere tra le seguenti possibilità:

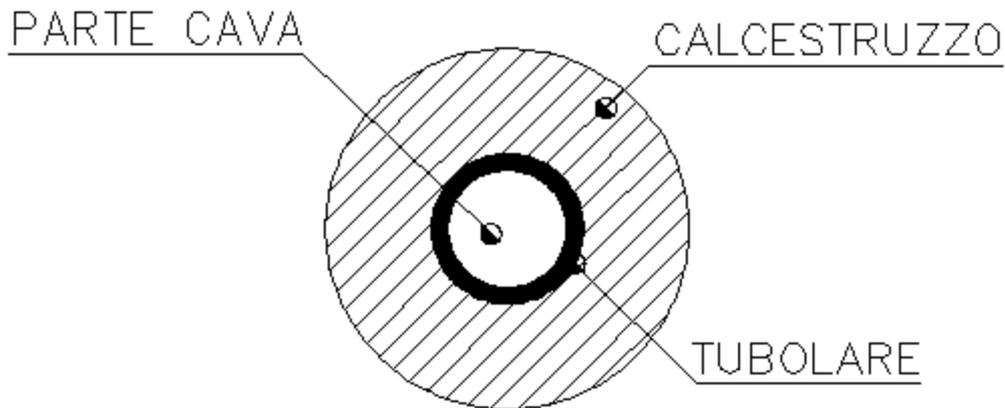
- **Circolare barre** - Si tratta di una sezione circolare con armatura diffusa radialmente costituita da classici tondini in acciaio.



#### **Schema della sezione Circolare barre**

Per questa categoria di sezioni i dati da inserire, oltre a quelli relativi alle armature gestite nella sezione Opzioni armature, sono i seguenti:

- o Nome - Nome identificativo della sezione;
  - o Calcestruzzo - Da scegliere tra le categorie previste dalla normativa di analisi scelta;
  - o Acciaio - Da scegliere tra le categorie previste dalla normativa di analisi scelta;
  - o Diametro - Espresso in [m];
  - o Disposizione (singola fila o a quinconce);
  - o Interassi nelle 2 direzioni (la seconda direzione è richiesta solo se la disposizione è del tipo a quinconce) - espresso in [m];
- **Circolare tubolare** - Si tratta di una sezione cava, la cui parte centrale è costituita da un profilato in acciaio a sezione tubolare circolare:

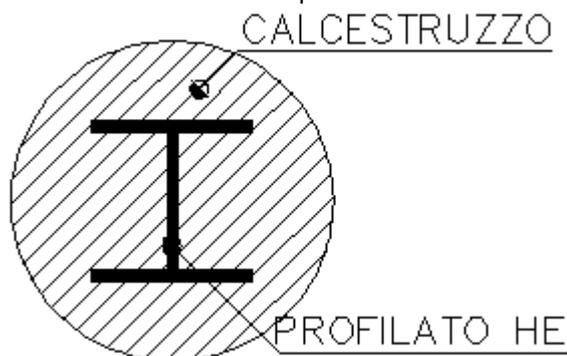


### Schema della sezione Circolare tubolare

Per questa categoria di sezioni i dati da inserire, oltre a quelli relativi alle armature gestite nella sezione Opzioni armature, sono i seguenti:

- o Nome - Nome identificativo della sezione;
- o Calcestruzzo - Da scegliere tra le categorie previste dalla normativa di analisi scelta;
- o Acciaio - Da scegliere tra le categorie previste dalla normativa di analisi scelta;
- o Diametro della sezione in calcestruzzo - Espresso in [m];
- o Diametro esterno della sezione tubolare - Espresso in [mm];
- o Spessore della lamiera che costituisce il tubolare - Espresso in [mm];
- o Disposizione (singola fila o a quinconce);
- o Interassi nelle 2 direzioni (la seconda direzione è richiesta solo se la Disposizione è del tipo a quinconce) - Espresso in [m];

- Circolare profilato HE - Si tratta di una sezione circolare al cui interno è contenuta un profilato in acciaio di tipo HE:

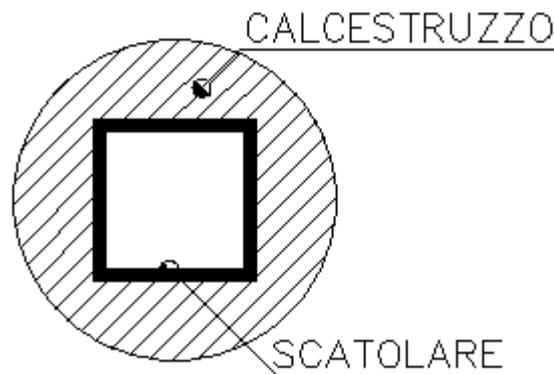


### Schema della sezione Circolare profilato HE

Per questa categoria di sezioni i dati da inserire, oltre a quelli relativi alle armature gestite nella sezione Opzioni armature, sono i seguenti:

- o Nome - Nome identificativo della sezione;
- o Calcestruzzo- Da scegliere tra le categorie previste dalla normativa di analisi scelta;

- o Acciaio - Da scegliere tra le categorie previste dalla normativa di analisi scelta;
  - o Diametro della sezione in calcestruzzo- Espresso in [m];
  - o Base del profilato - Espresso in [mm];
  - o Altezza del profilato- Espresso in [mm];
  - o Spessore della lamiera d'anima (Sa)- Espresso in [mm];
  - o Spessore della lamiera d'ala (Se) - Espresso in [mm];
  - o Disposizione (singola fila o a quinconce);
  - o Interassi nelle 2 direzioni (la seconda direzione è richiesta solo se la Disposizione è del tipo a quinconce) - Espresso in [m];
- Circolare profilato Scatolare - Si tratta di una sezione cava, la cui parte centrale è costituita da un profilato in acciaio a sezione scatolare rettangolare:



Schema della sezione Circolare profilato scatolare

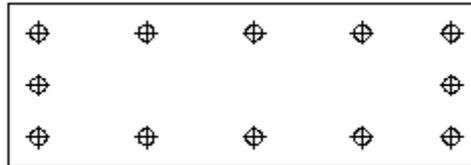
Per questa categoria di sezioni i dati da inserire, oltre a quelli relativi alle armature gestite nella sezione Opzioni armature, sono i seguenti:

- o Nome - Nome identificativo della sezione;
- o Calcestruzzo - Da scegliere tra le categorie previste dalla normativa di analisi scelta;
- o Acciaio - Da scegliere tra le categorie previste dalla normativa di analisi scelta;
- o Diametro della sezione in calcestruzzo- Espresso in [m];
- o Base del profilato - Espresso in [mm];
- o Altezza del profilato - Espresso in [mm];
- o Spessore della lamiera - Espresso in [mm];
- o Disposizione (singola fila o a quinconce);
- o Interassi nelle 2 direzioni (la seconda direzione è richiesta solo se la Disposizione è del tipo a quinconce) - Espresso in [m].

⚠ Nelle sezioni precedenti:  
*armatura tubolare, scatolare...*, in fase di calcolo,

contribuisce sia  
l'armatura che il  
calcestruzzo.

- Rettangolare - Si tratta di una sezione rettangolare in cemento armato:

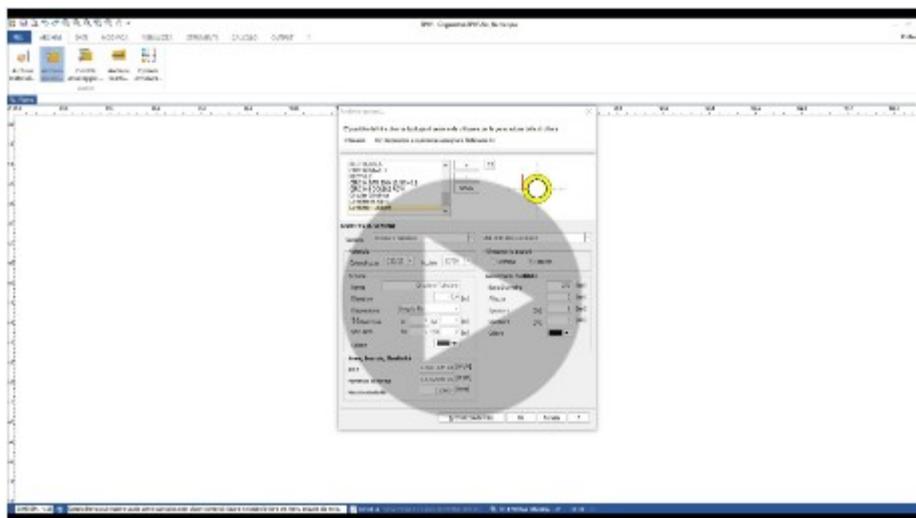


Schema della sezione Rettangolare

Per questa categoria di sezioni i dati da inserire, oltre a quelli relativi alle armature gestite nella sezione Opzioni armature, sono i seguenti:

- o Nome - Nome identificativo della sezione;
  - o Calcestruzzo - Da scegliere tra le categorie previste dalla normativa di analisi scelta;
  - o Acciaio - Da scegliere tra le categorie previste dalla normativa di analisi scelta;
  - o Base della sezione (Bx);
  - o Altezza della sezione (Hz);
  - o Interassi nelle 2 direzioni (la seconda direzione è richiesta solo se la Disposizione è del tipo a quinconce) - espresso in [m];
- Input A, E, I, G - Per questa categoria di sezioni generiche i dati da inserire sono i seguenti:
    - o Descrizione;
    - o Area - espressa in [m<sup>2</sup>/m];
    - o Momento di inerzia - espresso in [m<sup>4</sup>/m];
    - o Modulo di elasticità - espresso in Mpa;
    - o Modulo di taglio - espresso in Mpa;
    - o Colore.
- Materiale - Per le categorie di sezioni indicate che richiedono la scelta del materiale è necessario selezionare la tipologia di Calcestruzzo e di Acciaio.
  - Allineamento sezioni - Per tutte le tipologie di sezioni è necessario definire l'allineamento del sistema di riferimento. Si tratta di individuare la posizione che la generica sezione deve assumere nel contesto strutturale della paratia.
  - Area, inerzia, elasticità - Per tutte le sezioni, ad eccezione di quelle generiche, verranno calcolate in automatico l'area in m<sup>2</sup>/m, il momento di inerzia in m<sup>4</sup>/m ed il modulo di elasticità in Mpa.

N.B. Il sistema di riferimento delle coordinate è tale per cui l'asse z coincide con la direzione verticale, l'asse x con l'asse orizzontale contenuto nel piano del disegno e l'asse y ortogonale a entrambi. Da questo scaturisce la denominazione Bx ed Hz per i dati geometrici della sezione rettangolare.



### 1.5.3 Cordoli di ancoraggio

Fanno parte di quest'archivio i dati relativi ai cordoli che servono per ancorare eventuali tiranti. L'ambiente per il trattamento dei cordoli di ancoraggio è il seguente:

N°	Descrizione	DB	Materiale	Base [cm]	Altezza [cm]	Area [cm <sup>2</sup> ]	Wx [cm <sup>3</sup> ]	Wz [cm <sup>3</sup> ]
1	HE100A	HE100A	Acciaio	10	9.6	21.24	72.76	26.76

*Ambiente per il trattamento dei cordoli di ancoraggio*

Nell'ambiente di cui alla figura precedente è possibile inserire nuove tipologie di cordoli o eliminare quelle esistenti (per eliminare un cordolo esistente basta selezionare la riga della tabella in cui sono riportati dati e digitare il tasto "canc" sulla tastiera). I dati che definiscono un cordolo di ancoraggio sono i seguenti:

N°: Identifica la posizione del cordolo nell'ambito dell'archivio corrispondente (numero d'ordine crescente);

Descrizione: E' il nome con il quale il cordolo è individuato all'interno dell'archivio;

DB: E' il tipo di cordolo da associare a N°, determinato a partire dal Database dei cordoli;

Materiale: E' il materiale di cui è costituito il cordolo. Si può scegliere tra acciaio e calcestruzzo;

Base: Larghezza della trave di cordolo espressa in cm. (Ordine di grandezza = 10/15 cm);

Altezza: Altezza della trave di cordolo espressa in cm. (Ordine di grandezza = 10/15 cm);

Area: Area della sezione che costituisce il cordolo, espressa in  $\text{cm}^2$ ;

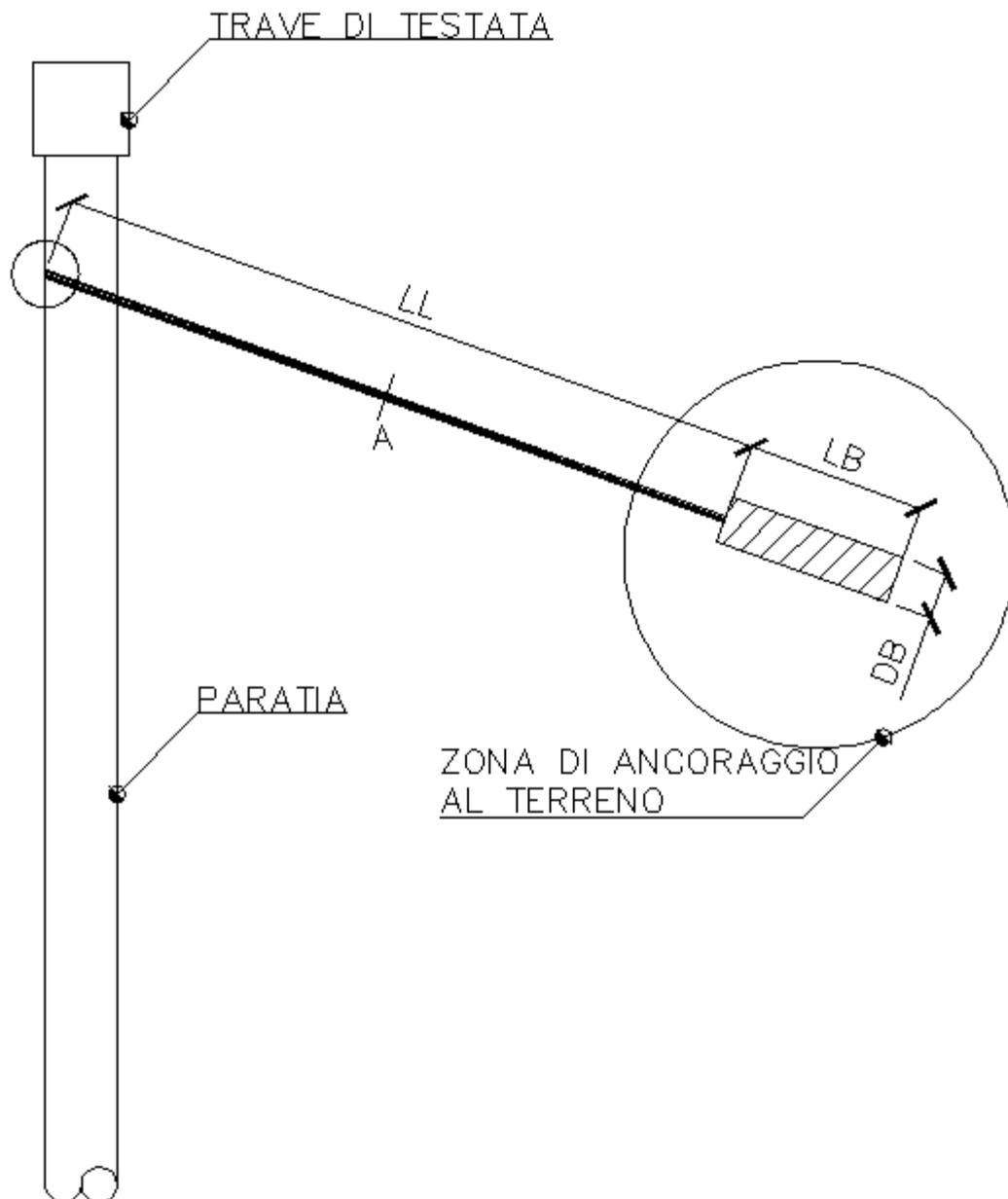
$W_x$ : Modulo di resistenza della sezione intorno all'asse di riferimento x, espresso in  $\text{cm}^3$ ;

$W_z$ : Modulo di resistenza della sezione intorno all'asse di riferimento z, espresso in  $\text{cm}^3$ .

N.B. L'ultimo gruppo di dati, vale a dire tutti quelli che caratterizzano la geometria della sezione (Base, Altezza, Area,  $W_x$ ,  $W_y$ ) sono calcolati automaticamente dal programma, una volta scelto il cordolo dal Database (Colonna DB nella tabella). Tuttavia è possibile personalizzare tali grandezze semplicemente modificando i rispettivi campi della tabella.

#### 1.5.4 Archivio tiranti

I tiranti di ancoraggio sono opere necessarie per integrare le risorse di resistenza strutturale e geotecnica della paratia. Il software permette di gestire un archivio di tiranti di ancoraggio. Una rappresentazione, se pur schematica, ma significativa delle grandezze che caratterizzano un tirante di ancoraggio è rappresentata nella seguente figura:

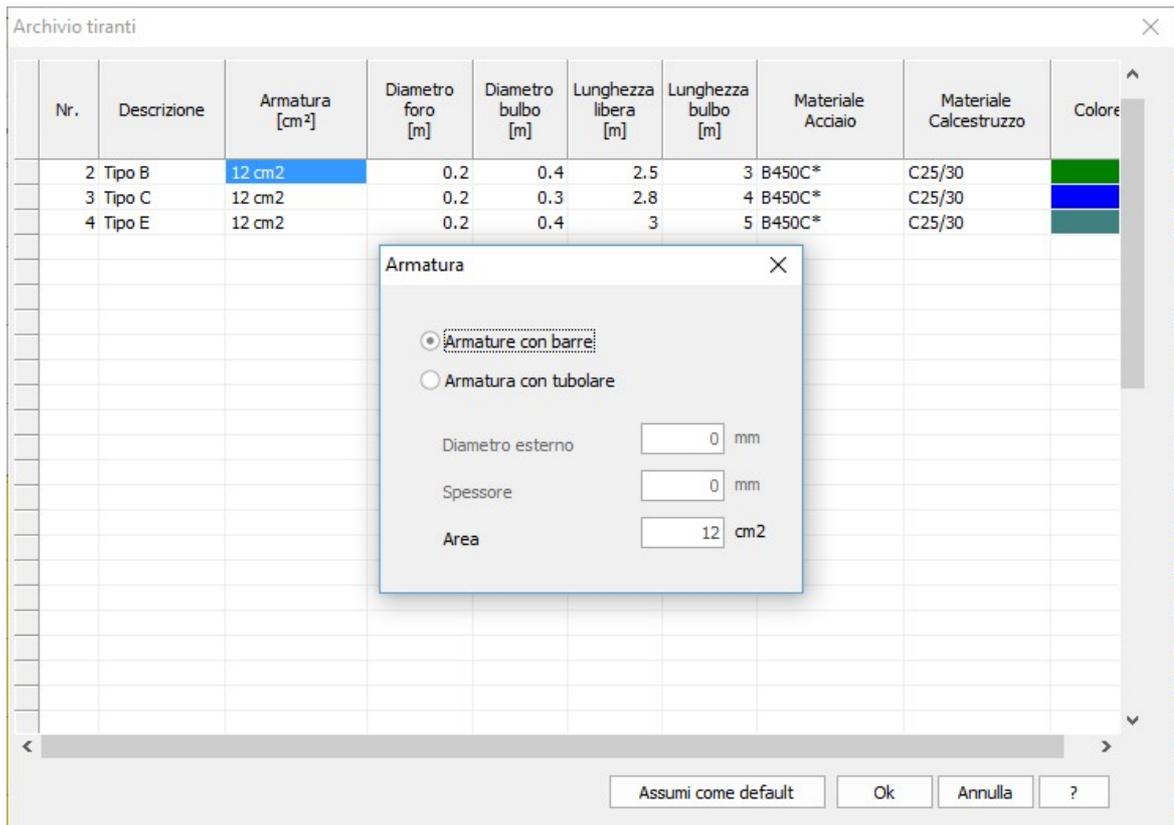


*Schematizzazione grafica di un tirante*

Nella figura si riconoscono i seguenti simboli:

- Lunghezza libera del tirante (LL);
- Lunghezza del bulbo (LB);
- Diametro del Bulbo (DB);
- Area della sezione del tirante (A);

inoltre si riconoscono le zone in cui il tirante si ancora alla paratia (in alto a sinistra) e le zone in cui il tirante si ancora al terreno. Tenendo presente la precedente figura, l'ambiente che permette di gestire l'archivio dei tiranti è il seguente:



*Ambiente per la gestione dell'archivio dei tiranti*

Come si osserva, i dati da inserire per caratterizzare correttamente un tirante sono i seguenti:

Nr.: Individua il numero del tirante nell'archivio (numero d'ordine crescente);

Descrizione: E' il nome con il quale il tirante è individuato all'interno dell'archivio;

Area armatura: E' l'area della sezione del tirante che reagisce a trazione (parte in acciaio del tirante), espressa in  $\text{cm}^2$  (Ordine di grandezza =  $15/20 \text{ cm}^2$ ), l'armatura può essere realizzata da barre, trefoli o tubolari;

Diametro foro: E' il diametro del foro praticato nel terreno per l'inserimento del tirante, espresso in m (Ordine di grandezza =  $0.2/0.8 \text{ m}$ );

Diametro bulbo: E' il diametro del bulbo, espresso in m;

Lunghezza libera: E' la lunghezza del tirante reagente a trazione (parte in acciaio del tirante), espressa in m (Ordine di grandezza =  $10 \text{ m}$ ). Lo schema statico del tirante è quello di una molla di lunghezza pari alla lunghezza libera, con tale parametro si determina la reazione del tirante;

Lunghezza del bulbo: E' la lunghezza della parte di tirante che reagisce per attrito con il terreno (ad esso sono affidate le risorse di resistenza connesse all'attrito e all'adesione con il terreno). Viene espressa in m.

Materiali: Materiali da associare al tipo di tirante, sono derivati da Archivio Materiali.

Colore: E' inoltre possibile associare ad ogni tipologia di tirante un colore.

N.B. Per le verifiche geotecniche e strutturali sul tirante si rimanda ai Cenni Teorici (Carico limite tiranti).

### 1.5.5 Opzioni armature

Riguardano la progettazione strutturale della paratia. L'ambiente per la gestione delle opzioni delle armature è il seguente:

PALI		
Diametro barre longitudinali	<input type="text" value="16"/>	[mm]
Numero barre minimo	<input type="text" value="10"/>	
Lunghezza ganci barre longitudinali	<input type="text" value="50"/>	[cm]
Lunghezza massima barre longitudinali	<input type="text" value="1200"/>	[cm]
Copriferro	<input type="text" value="4"/>	[cm]
Diametro staffe	<input type="text" value="10"/>	[mm]
Diametro/Nr. cerchi di irrigidimento	<input type="text" value="70"/> <input type="text" value="10"/> <input type="button" value="v"/>	[mm]
Passo minimo staffe	<input type="text" value="20"/>	[cm]
[Tubolari] Tratto palo ancorato in testata	<input type="text" value="35"/>	[cm]
[Tubolari] Diametro barre a cavallotto	<input type="text" value="0"/>	[mm]

*Ambiente per la gestione delle opzioni delle armature dei pali*

#### PALI

Questi dati sono utilizzati per la progettazione e per le verifiche strutturali eseguite su paratie costituite da pali in cemento armato:

**Diametro barre longitudinali:** Diametro dei tondini espresso in mm (Ordine di grandezza = 12/26 mm);

**Numero barre minimo:** Numero minimo di barre da considerare;

**Lunghezza ganci barre longitudinali:** Espressa in cm (Ordine di grandezza = 50/150 cm);

**Lunghezza massima barre longitudinali:** Espressa in cm (Ordine di grandezza = 800/1200 cm);

**Copriferro:** Espresso in cm (Ordine di grandezza = 4/6 cm);

**Diametro staffe:** Espresso in mm (Ordine di grandezza = 8/10 mm);

**Diametro / Nr. cerchi di irrigidimento:** Diametro espresso in mm e numero dei cerchi di irrigidimento;

**Passo minimo staffe:** Espresso in cm (Solitamente imposto dalla normativa, in ogni caso Ordine di grandezza = 15/25 cm);

**[Tubolari] - Tratto palo ancorato in testata:** E' la lunghezza che definisce per quanto un tubolare viene ammorsato in testa, espresso in cm (comunque minore dell'altezza della trave di testata);

**[Tubolari] - Diametro barre a cavallotto:** Espresso in mm.

Opzioni armature... X

Pali **Setti** Trave collegamento

**SETTI**

Diametro barre longitudinali	<input type="text" value="16"/>	[mm]
Diametro ferri di parete	<input type="text" value="10"/>	[mm]
Rapporto Armatura compressa/Armatura tesa	<input type="text" value="1"/>	[<1]
Interferro netto minimo	<input type="text" value="3"/>	[cm]
Interferro massimo	<input type="text" value="3"/>	[cm]
Copriferro laterale baricentro barre	<input type="text" value="3"/>	[cm]
Diametro staffe	<input type="text" value="10"/>	[mm]
Passo minimo staffe	<input type="text" value="10"/>	[cm]
Distanza massima bracci staffe	<input type="text" value="0"/>	[cm]

Ok Annulla ?

*Ambiente per la gestione delle opzioni delle armature dei setti*

## SETTI

Questi dati sono utilizzati per la progettazione e per le verifiche strutturali eseguite su paratie costituite da setti di cemento armato:

Diametro barre longitudinali: Espresso in mm (Ordine di grandezza = 12/26 mm), esso rappresenta il diametro dell'armatura verticale.

Diametro ferri di parete: Espresso in mm (Ordine di grandezza = 10/14 mm), esso rappresenta il diametro dell'armatura orizzontale.

Rapporto tra l' armatura tesa e l' armatura compressa: E' un numero adimensionale (solitamente è imposto dalla normativa sulla base di considerazioni svolte anche in merito alla duttilità della sezione; in ogni caso sarà minore o uguale a 1).

Interferro netto minimo: Distanza minima netta tra le barre espressa in cm (deve essere compatibile con la pezzatura del materiale inerte utilizzato per il confezionamento del calcestruzzo, in ogni caso ha ordine di grandezza = 2.5/5 cm).

Interferro massimo: Espresso in cm (Ordine di grandezza = 4/8 cm).

Copriferro laterale baricentro barre: Misurato a partire dal baricentro delle barre, espresso in cm (ordine di grandezza = 4/6 cm).

Diametro della staffatura: Espresso in mm (Ordine di grandezza = 8/10 mm), esso rappresenta il diametro dell'armatura trasversale.

Passo minimo staffe: Espresso in cm (Solitamente imposto dalla normativa, in ogni caso ordine di grandezza = 15/25 cm).

Distanza massima tra i bracci delle staffe: Espresso in cm (Ordine di grandezza 14/26 cm).

Opzioni armature... ×

Pali Setti **Trave collegamento**

**TRAVE COLLEGAMENTO**

Diametro barre longitudinali	<input type="text" value="16"/>	[mm]
Diametro ferri di parete	<input type="text" value="16"/>	[mm]
Rapporto Armatura compressa/Armatura tesa	<input type="text" value="1"/>	[<1]
Interferro netto minimo	<input type="text" value="5"/>	[cm]
Interferro massimo	<input type="text" value="30"/>	[cm]
Copriferro laterale	<input type="text" value="4"/>	[cm]
Diametro staffe	<input type="text" value="10"/>	[mm]
Passo minimo staffe	<input type="text" value="15"/>	[cm]
Passo minimo barre longitudinali	<input type="text" value="20"/>	[cm]

*Ambiente per la gestione delle opzioni delle armature della trave di collegamento*

## TRAVE DI COLLEGAMENTO

Questi dati sono utilizzati per la progettazione e per le verifiche strutturali eseguite sulla trave di collegamento di testa realizzata su paratie costituite da pali:

Diametro barre longitudinali: Espresso in mm (Ordine di grandezza = 12/26 mm).

Diametro ferri di parete: Espresso in mm (Ordine di grandezza = 10/14 mm).

Rapporto tra l' armatura tesa e l' armatura compressa: E' un numero adimensionale (Solitamente è imposto dalla normativa sulla base di considerazioni svolte anche in merito alla duttilità della sezione. In ogni caso sarà minore o uguale a 1).

Interferro netto minimo: Espresso in cm (Deve essere compatibile con la pezzatura del materiale inerte utilizzato per il confezionamento del calcestruzzo, in ogni caso Ordine di grandezza = 2.5/5 cm).

Interferro massimo: Espresso in cm (Ordine di grandezza = 4/8 cm).

Copriferro laterale: Misurato a partire dal baricentro delle barre, espresso in cm (ordine di grandezza = 4/6 cm).

Diametro della staffatura: Espresso in mm (Ordine di grandezza = 8/10 mm).

Passo minimo staffe: Espresso in cm (Solitamente imposto dalla normativa, in ogni caso ordine di grandezza = 15/25 cm).

Passo minimo barre longitudinali: Espresso in cm.

## 1.6 Dati

### 1.6.1 Dati generali

E' possibile definire un generico modello di calcolo iniziale, modificandolo opportunamente nel corso della sezione di lavoro . Al click sul comando "Nuovo..." si apre la seguente finestra di dialogo:

Modello di calcolo

**Progetto**

Descrizione

Località

Progettista

Data martedì 16 giugno 2009

**Normativa**

Normativa GEO NTC 2018

Normativa STR NTC 2018

**Calcolo pressioni**

Pressioni attive Coulomb (CSN 730037)

Pressioni passive Coulomb (CSN 730037)

Pressioni sismiche Mononobe-Okabe

Punto di applicazione azione sismica 1/3H

**Modello di calcolo**

L.E.M.  F.E.M.

**Carico limite verticale**

Si  No Fattore sicurezza 1.7

**Lunghezza longitudinale**

Lunghezza 0 [m]

Ok Annulla ?

*Ambiente per l'inizializzazione di un nuovo modello*

L'inizializzazione di un nuovo modello richiede che siano definiti i seguenti dati:

## Progetto

---

Identifica una descrizione sintetica del progetto, la località del cantiere, il progettista dell'opera e la data.

In fase di esportazione in formato ".doc" è possibile stampare la descrizione e la località, per rendere attiva quest'azione basta inserire un segno di spunta sul quadrato di destra della casella di testo.

## Normativa

---

E' possibile selezionare la normativa applicata nelle verifiche geotecniche (*Normativa GEO*) e quella relativa alle verifiche strutturali (*Normativa STR*). Per ogni categoria di verifiche sono previste le seguenti scelte:

Normativa GEO: NTC ed Eurocode 7 ed Eurocode 8;

Normativa STR: NTC ed Eurocode 2.

## Calcolo pressioni

---

In questo gruppo di dati vengono specificate le teorie che si possono utilizzare per il calcolo del coefficiente di spinta attiva, del coefficiente di spinta passiva e del coefficiente di stato limite (attivo o passivo) in condizioni dinamiche. In particolare sono previste le seguenti possibilità:

Pressioni attive: *Coulomb, Muller-Breslau, Caquot-Kerisel, Jaky, Rankine;*

Pressioni passive: *Coulomb, Muller-Breslau, Caquot-Kerisel;*

Pressioni sismiche: *Mononobe-Okabe, Strutture che non subiscono spostamenti.*

E' possibile scegliere il punto di applicazione dell'azione sismica: 2/3 H; 1/3 H; 1/2 H.

## Modello di calcolo

---

In questa sezione è possibile scegliere a priori il metodo di calcolo: LEM (*Metodo dell' Equilibrio Limite*) o FEM (*Metodo degli Elementi Finiti*).

## Carico limite verticale

---

Selezionando (Si / No) e riportando il fattore di correlazione delle verticali indagate riferito alla portanza del palo, in fase di calcolo il programma stima il valore del carico limite verticale.

## Lunghezza longitudinale

---

Si assegna la lunghezza longitudinale della paratia.

Quando si sceglie l'opzione *Strutture che non subiscono spostamenti* in pressioni sismiche, in condizioni non drenate, il programma costruisce un diagramma rettangolarizzato che ricava dal diagramma di spinta del terreno a cui applica il coefficiente di spinta orizzontale.

### 1.6.2 L.E.M. - Metodo equilibrio limite

Selezionando l'icona L.E.M., in fase di analisi verrà utilizzato il metodo dell'equilibrio limite.

Il metodo dell'equilibrio limite è consueto nella pratica progettuale ed utilizzato principalmente per la determinazione della profondità d'infissione limite. Il metodo LEM viene impiegato per opere in cui è facilmente individuabile il cinematismo di rottura, ad esempio in presenza di paratie a sbalzo o con una sola fila di tiranti. Per il calcolo si considera che la paratia sia soggetta alla spinta attiva a monte e passiva a valle. La distribuzione delle pressioni sulla struttura è diversa per paratia in terreno incoerente e terreno coerente; inoltre la distribuzione delle spinte, in terreno argilloso varia nel tempo. Il calcolo delle spinte viene eseguito utilizzando valori opportuni dell'angolo di resistenza a taglio, del peso per unità di volume e della coesione, facendo riferimento ai coefficienti di spinta determinati secondo le teorie classiche presenti in letteratura (Coulomb, Muller-Breslau, Caquot-Kerisel. Nella determinazione del diagramma delle pressioni sono presi in considerazione gli incrementi dovuti a: sisma, falda, carichi sul terrapieno. Nella valutazione della spinta passiva è introdotto un coefficiente di sicurezza sulla resistenza passiva. Per il calcolo delle profondità di infissione si procede come segue:

- (a) Calcolo dei coefficienti di spinta attiva e passiva;
- (b) Si ipotizza una profondità di infissione iniziale compresa tra  $0.2H$  e  $0.7H$ ;
- (c) Calcolo delle spinte agenti sull' opera;
- (d) Equilibrio dei momenti rispetto al piede (paratie a sbalzo);

Le fasi (a)-(b)-(c)-(d) saranno ripetute incrementando la profondità di infissione fino ad ottenere l'equilibrio dei momenti, al quale corrisponderà la profondità di infissione cercata. Per ovviare al mancato equilibrio delle forze orizzontali tale profondità sarà aumentata del 20%. In presenza di tirantature si possono presentare i seguenti cinematismi:

- (I) La base della paratia è libera di ruotare (metodo a supporto libero);

(II) La base della paratia non può ruotare (metodo a supporto fisso).

Metodo a supporto libero (ved. Tiranti)

Per effettuare il calcolo si procede secondo le fasi (a) - (b) - (d). La fase (c) sarà sostituita dall' equilibrio dei momenti rispetto al punto di applicazione dei tiranti, in questo caso non occorre aumentare la profondità di infissione in quanto l'equilibrio delle forze orizzontali risulta verificato.

Metodo a supporto fisso - Metodo della trave equivalente (ved. Tiranti)

Si ipotizza che la paratia si deformi con un'inversione di curvatura, in questo caso il problema non è staticamente determinato a meno che non si conosca la posizione del punto di inversione. Se si ipotizza che sul punto di inversione vi sia una cerniera capace di trasferire solo sforzi taglianti (ai fini statici un appoggio), è possibile spezzare la palancola in due travi equivalenti. Per fissare la posizione del punto di flesso Blum consiglia valori funzioni di: flessibilità, caratteristiche geotecniche ecc.; Trovata la posizione del punto di flesso si procede come segue:

(a) Dall'equilibrio dei momenti rispetto al tirante, considerando la trave superiore al centro di rotazione, si determina la reazione del carrello.

(b) Dall'equilibrio dei momenti rispetto al piede, considerando la trave inferiore rispetto al centro di rotazione, si determina la profondità di infissione.

(c) Tale profondità sarà aumentata del 20%.

### 1.6.3 F.E.M. - Metodo elementi finiti

Secondo il metodo ad elementi finiti il terreno viene schematizzato con delle molle le cui caratteristiche dipendono dai moduli di elasticità del terreno, differenziando, quelli in compressione da quelli in trazione. Bowles propone di calcolare, in modo approssimato, il valore di  $K_s$  (modulo di reazione che è connesso alla rigidità del terreno) sulla base della capacità portante delle fondazioni. Il metodo in esame fornisce direttamente, dopo aver costruito la matrice di rigidità globale ed il vettore dei carichi nodali, gli spostamenti generalizzati e, da questi, i momenti e le reazioni nodali. Per il calcolo della paratia si procede come segue:

(a) Calcolo delle pressione laterale fino alla linea di fondo scavo.

(b) Fissare una profondità di primo tentativo.

(c) Stima del valore di  $K_s$  al di sotto della linea di fondo scavo.

- (d) Disposizione dei nodi in cui si assegneranno le rigidezze delle molle.
- (e) Stabilire una sezione di tentativo e calcolo del momento d' inerzia della sezione.
- (f) Calcolo della rigidezza di eventuali tiranti.
- (g) Assemblaggio della matrice di rigidezza globale.
- (h) Assemblaggio del vettore dei carichi nodali.
- (i) Calcolo degli spostamenti nodali.

Il calcolo è risolto attraverso un procedimento di tipo iterativo. Le iterazioni continuano fino a quando gli spostamenti sulla linea di fondo scavo, tra due cicli di calcolo, sono compresi in un valore di tolleranza specificato. L'ambiente per la gestione di alcuni dati relativi all' implementazione del metodo degli elementi finiti è il seguente:

The image shows a software dialog box titled "Dati generali..." with a vertical tab on the right labeled "Geometria terreno". The dialog is divided into two main sections: "Dati generali FEM" and "Modulo di reazione Ks".

**Dati generali FEM**

- Calcolo automatico profondità infissione:
- Max spostamento lineare terreno:  [cm]
- Fattore tolleranza spostamento:  [cm]
- Tipo analisi:
- Massimo numero di iterazioni:
- Fattore riduzione molla fondo scavo:
- Profondità infissione iniziale:  [m]
- Incremento profondità infissione:  [m]
- Numero di elementi:
- Numero nodo di fondo scavo:

**Modulo di reazione Ks**

Il modulo di reazione è calcolato sulla base della capacità portante Cedimento corrispondente alla resistenza ultima del terreno

- Cedimento corrispondente alla resistenza ultima del terreno:  [cm]
- Modulo reazione variabile:

Buttons:

*Ambiente per la gestione del calcolo con il metodo degli elementi finiti*

I dati da inserire sono i seguenti:

## DATI GENERALI FEM

Calcolo automatico profondità infissione: Selezionare Sì per effettuare un calcolo automatico della profondità di infissione, No per assegnare la profondità di infissione scelta dall'utente.

Max spostamento lineare terreno: Espresso in cm. E' il massimo spostamento che consente di considerare il terreno in campo lineare. Superato questo spostamento la molla che schematizza il terreno non può essere considerata in campo elastico-lineare (dipende molto dalle caratteristiche del terreno, in ogni caso Ordine di grandezza = 1/2 cm).

Fattore di tolleranza spostamento: E' espresso in cm. E' la tolleranza fissata per definire la condizione di uscita dalle iterazioni di analisi (dipende da alcune condizioni di analisi e di geometria della struttura, Ordine di grandezza = 1/200 della dimensione massima della struttura ad esempio altezza paratia).

Tipo analisi: Definisce se l'analisi condotta è di tipo lineare o di tipo non lineare (E' consigliata l'analisi non lineare quando la statica del problema dipende in modo preponderante dall' aspetto geotecnico del problema).

Massimo numero di iterazioni: E' il massimo numero di iterazioni da realizzare per cercare la soluzione agli spostamenti. Superato questo limite la soluzione si considera non trovata (In contesti relativi alla pratica corrente l' ordine di grandezza = 5/10 iterazioni).

Fattore riduzione della molla fondo scavo: E' un fattore adimensionale che va a moltiplicare, riducendolo, il modulo di reazione della molla situata a fondo scavo. Deve assumere valore minore o al più uguale a 1.

Profondità di infissione iniziale: Profondità di infissione di primo tentativo, espressa in m (Ordine di grandezza = 0.1/0.2 dell'altezza della paratia).

Incremento profondità di infissione: E' l'incremento cui si sottopone la profondità di infissione corrente per cercare la soluzione equilibrata (Ordine di grandezza = 0.1/0.2 dell' altezza della paratia).

Numero di elementi: Deve essere compreso tra 10 e 50. E' il numero di elementi finiti in cui viene discretizzata tutta la paratia (E' opportuno realizzare una descrizione razionale, ne troppo rada, per evitare errori grossolani nella soluzione, ne troppo fitta, per evitare che i tempi di calcolo si estendano notevolmente).

Numero nodo di fondo scavo: Definisce quale nodo associare al fondo scavo. Più alto è questo numero più saranno gli elementi finiti che discretizzano la parte superiore della paratia.

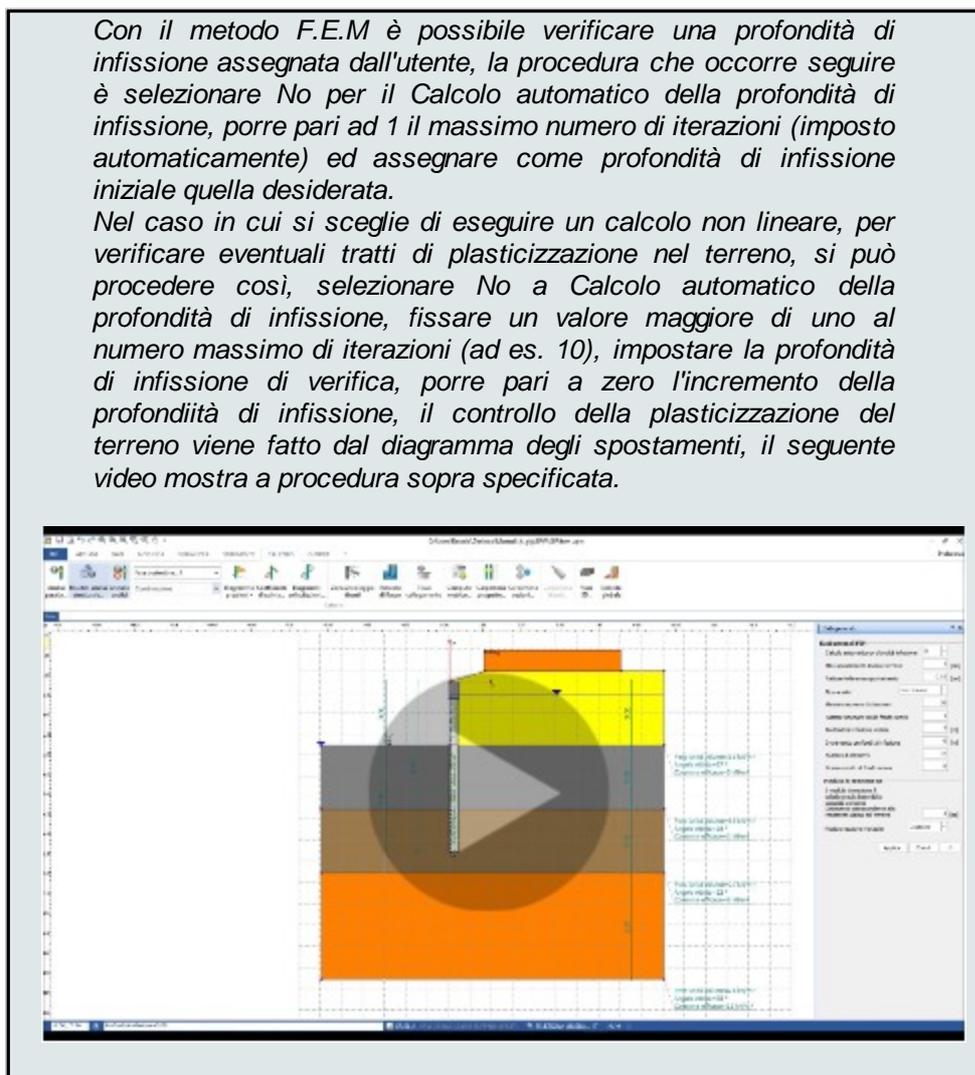
## MODULO DI REAZIONE Ks

Cedimento corrispondente alla resistenza ultima del terreno: E' lo spostamento associato al carico limite ultimo, espresso in cm.

Modulo di reazione variabile: E' possibile tener conto della variabilità della rigidezza assiale delle molle, che simulano la presenza del terreno, con la profondità o anche condurre l'analisi con un modulo di reazione costante.

*Con il metodo F.E.M è possibile verificare una profondità di infissione assegnata dall'utente, la procedura che occorre seguire è selezionare No per il Calcolo automatico della profondità di infissione, porre pari ad 1 il massimo numero di iterazioni (imposto automaticamente) ed assegnare come profondità di infissione iniziale quella desiderata.*

*Nel caso in cui si sceglie di eseguire un calcolo non lineare, per verificare eventuali tratti di plasticizzazione nel terreno, si può procedere così, selezionare No a Calcolo automatico della profondità di infissione, fissare un valore maggiore di uno al numero massimo di iterazioni (ad es. 10), impostare la profondità di infissione di verifica, porre pari a zero l'incremento della profondità di infissione, il controllo della plasticizzazione del terreno viene fatto dal diagramma degli spostamenti, il seguente video mostra a procedura sopra specificata.*



### 1.6.4 Geometria terreno

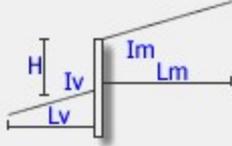
I dati relativi alla geometria del terreno sono necessari per la definizione dell'andamento topografico del terreno. L'ambiente per la gestione del profilo del terreno è il seguente:

Geometria terreno
⌵ ×

**Angoli e distanze**

Coordinate

Altezza scavo	H:	<input type="text" value="4"/>	[m]	
Lunghezza tratto valle	Lv:	<input type="text" value="0"/>	[m]	
Inclinazione terreno valle	Iv:	<input type="text" value="0"/>	[°]	
Lunghezza tratto monte	Lm:	<input type="text" value="0"/>	[m]	
Inclinazione terreno monte	Im:	<input type="text" value="0"/>	[°]	



Genera coordinate...

Nr. vertice inserimento  ▾

**Pendenze di calcolo profilo**

Inclinazione monte, valle:   °

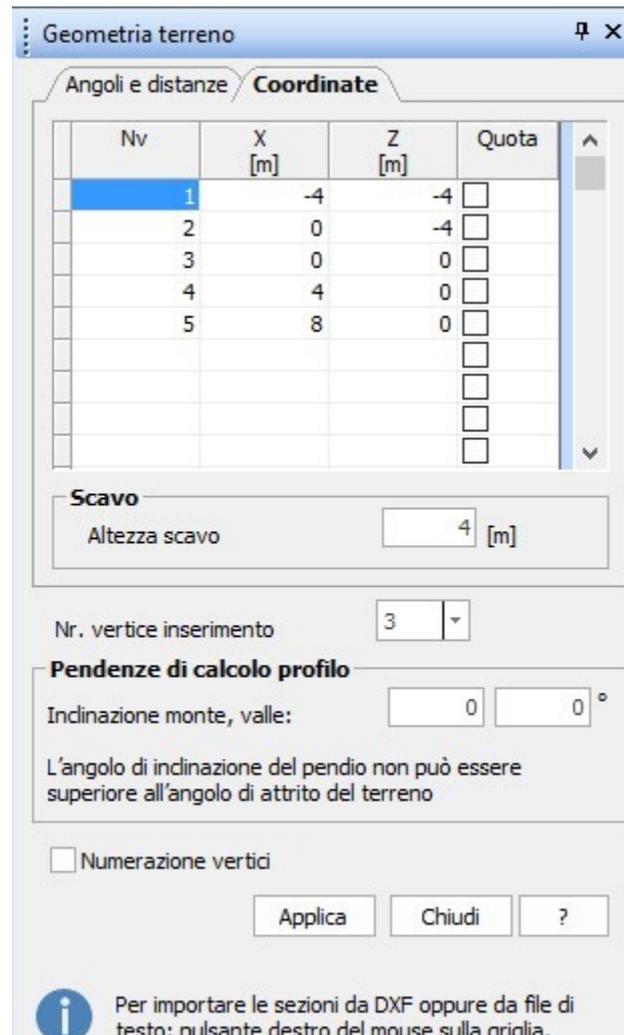
L'angolo di inclinazione del pendio non può essere superiore all'angolo di attrito del terreno

Numerazione vertici

Applica

Chiudi

?



Nv	X [m]	Z [m]	Quota
1	-4	-4	<input type="checkbox"/>
2	0	-4	<input type="checkbox"/>
3	0	0	<input type="checkbox"/>
4	4	0	<input type="checkbox"/>
5	8	0	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>

**Scavo**  
Altezza scavo  [m]

Nr. vertice inserimento  ▼

**Pendenze di calcolo profilo**  
Inclinazione monte, valle:   °  
L'angolo di inclinazione del pendio non può essere superiore all'angolo di attrito del terreno

Numerazione vertici

 Per importare le sezioni da DXF oppure da file di testo: pulsante destro del mouse sulla griglia.

*Ambiente per la gestione del profilo del terreno, in termini di coordinate a sinistra e di angoli e distanze a destra.*

I dati da inserire per definire correttamente il profilo del terreno sono i seguenti:

Dati inseriti per coordinate: Si tratta di inserire le coordinate dei vertici che definiscono il profilo rispetto ad un sistema di riferimento fissato. I vertici devono essere inseriti da valle verso monte in termini di coordinate x-z. Le coordinate vanno espresse in m.

- Inoltre si deve inserire l'inclinazione del profilo di monte e di valle.
- E' prevista la possibilità di visualizzare i numeri dei vertici.

Dati inseriti per angoli e distanze:

- Altezza di scavo (H): espressa in m, essa rappresenta la parte che rimarrà fuori terra a scavo eseguito.
- Lunghezza tratto di valle (LV): espressa in m; è necessario valutare con cura questa grandezza soprattutto per l'analisi della stabilità globale

e per l'analisi del fenomeno di filtrazione (ordine di grandezza = 1/2 volte l'altezza di scavo).

- Inclinazione terreno a valle (IV): espressa in gradi (dipende principalmente dalle condizioni topografiche del problema).
- Lunghezza tratto a monte (LM): espressa in m (valgono le stesse considerazioni fatte per la lunghezza del tratto di valle).
- Inclinazione terreno monte (IM): espressa in gradi (il suo valore è funzione della conformazione topografica del caso in esame).
- Pendenze di calcolo profilo: espressa in gradi, sia a monte che a valle, esse rappresentano i valori che usa il programma per il calcolo della spinta con profilo inclinato; il loro valore è funzione della conformazione topografica del caso in esame, ma va precisato che le formule utilizzate per il calcolo delle spinte attiva e passiva hanno, generalmente, delle limitazioni di validità proprio su tale parametro.
- E' prevista la possibilità di visualizzare i numeri dei vertici.

Pendenze di calcolo profilo:

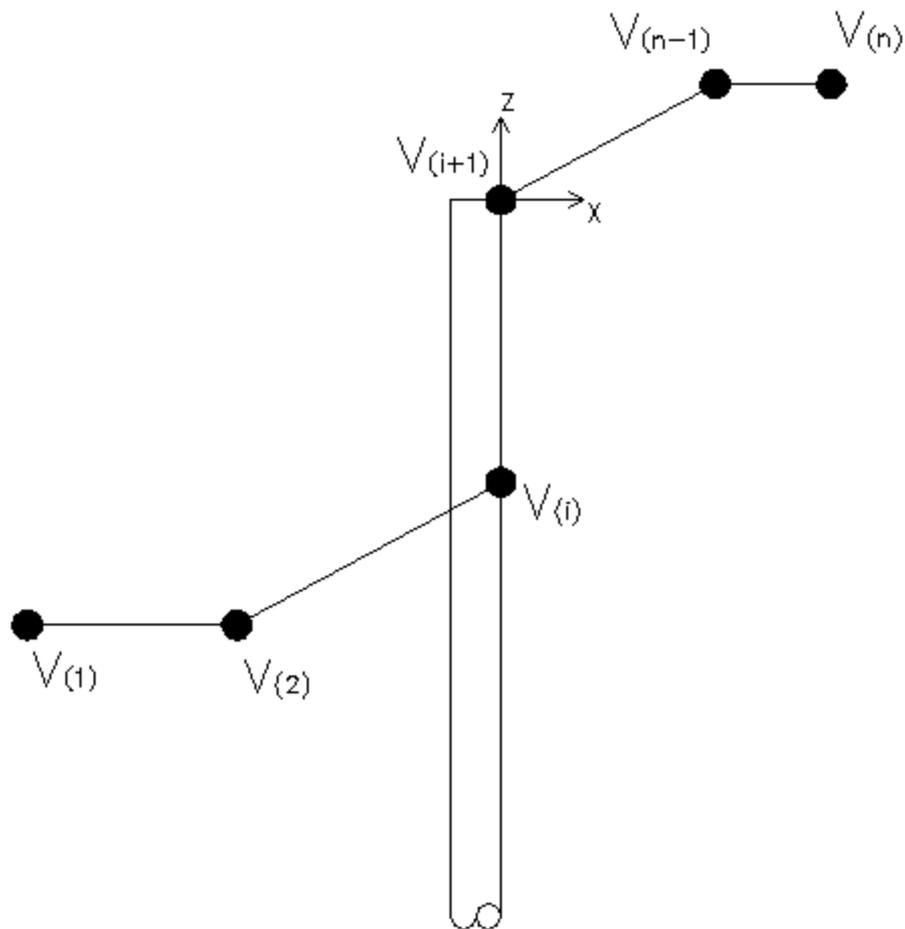
Inserire i valori angolari di calcolo (i valori inseriti sono utilizzati dal programma nel calcolo della spinta attiva e passiva).

N.B. L'inserimento dei dati in termini di angoli e distanze è solo uno strumento integrativo, e non sostitutivo, dell'inserimento dei vertici in termini di coordinate. Di fatto, anche dopo l'inserimento degli angoli e delle distanze è necessario eseguire un click sul pulsante Genera coordinate, il quale riporta alla finestra relativa ai vertici.

Vista l'importanza che riveste l'inserimento dei dati in termini di coordinate dei vertici si devono fare alcune precisazioni.

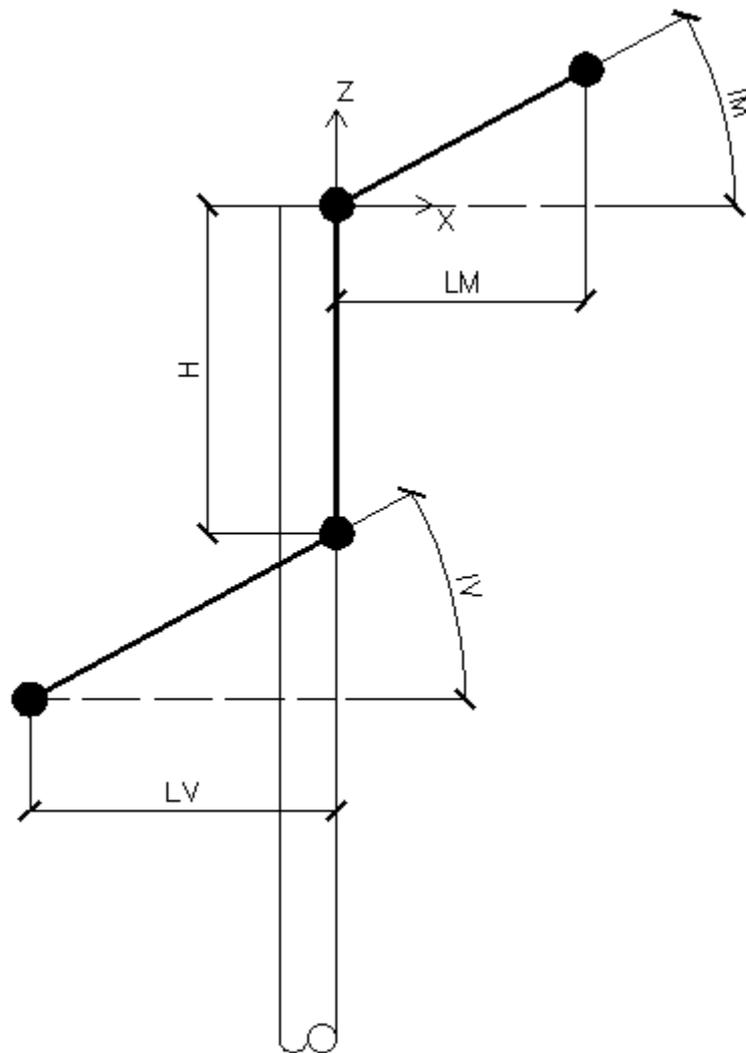
- Il sistema di riferimento rispetto al quale sono definite le coordinate dei vertici ha l'origine posta sempre in corrispondenza della testa della paratia;
- La successione dei vertici deve essere inserita nell'ordine che va da valle verso monte.

Si può fare riferimento alla figura che segue:

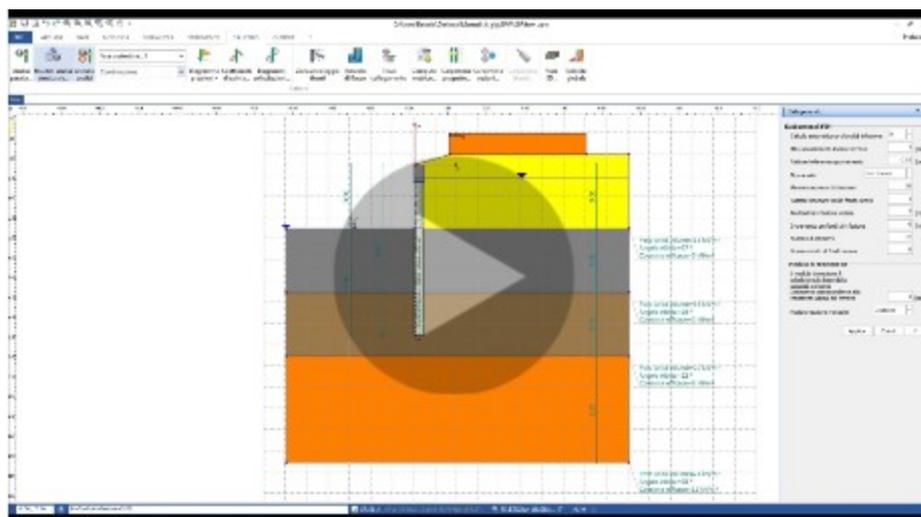


*Schema di riferimento per l'inserimento dei vertici.*

Si riporta, per completezza, una figura di dettaglio delle convenzioni per l'inserimento dei dati geometrici di angoli e distanza

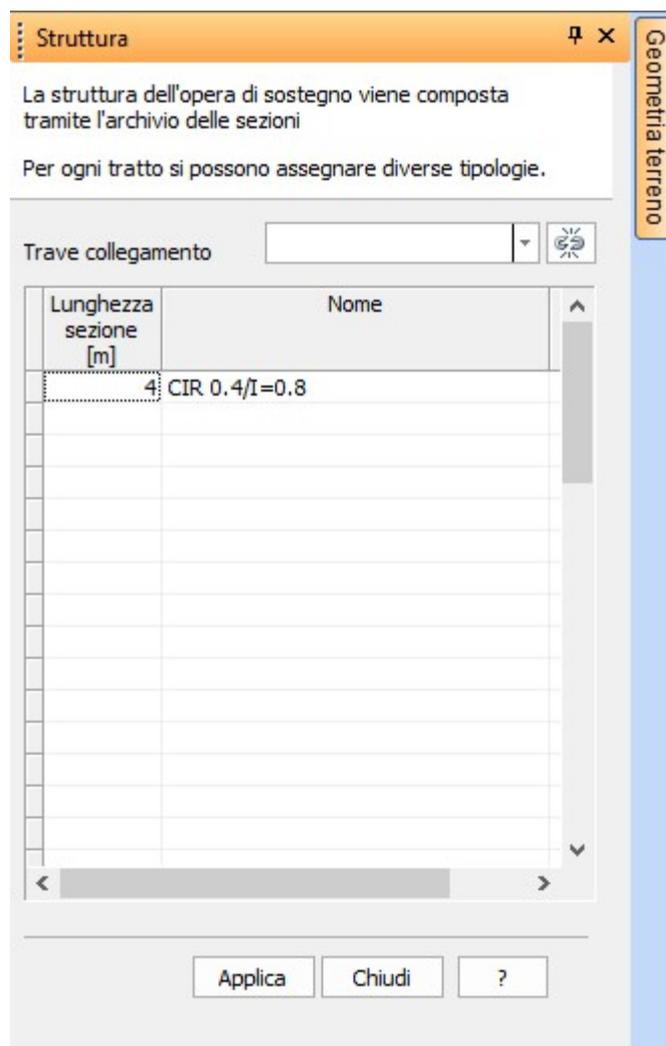


Schema di riferimento per l'inserimento dei dati per angoli e distanze.



### 1.6.5 Struttura

I dati relativi alla struttura riguardano la composizione strutturale della paratia. Attraverso questo insieme di dati si definisce quindi la sezione (o eventualmente le sezioni) della paratia, i materiali, ecc. L'ambiente per la gestione dei dati relativi alla struttura è il seguente:



*Ambiente per la gestione dei dati della struttura*

La composizione strutturale è ottenuta mediante assemblaggio di elementi che possono avere diversa sezione. Così, ad esempio, è possibile utilizzare per la stessa paratia, diverse sezioni resistenti a tratti di scavo. La figura che segue è esplicativa del precedente concetto:

Composizione struttura

I dati da inserire per la struttura sono relativi ad ogni tratto in cui la sezione può variare. Per ogni tratto è quindi necessario definire:

- Lunghezza del tratto ( $L_i$  in figura):

Espresso in m, esso rappresenta il tratto a sezione costante dell'altezza di scavo; è buona norma utilizzare sezioni di uguali caratteristiche per tutta la paratia, in ogni caso, là dove si renda necessario disporre più tipologie di sezioni, è necessario evitare tratti di lunghezza troppo breve;

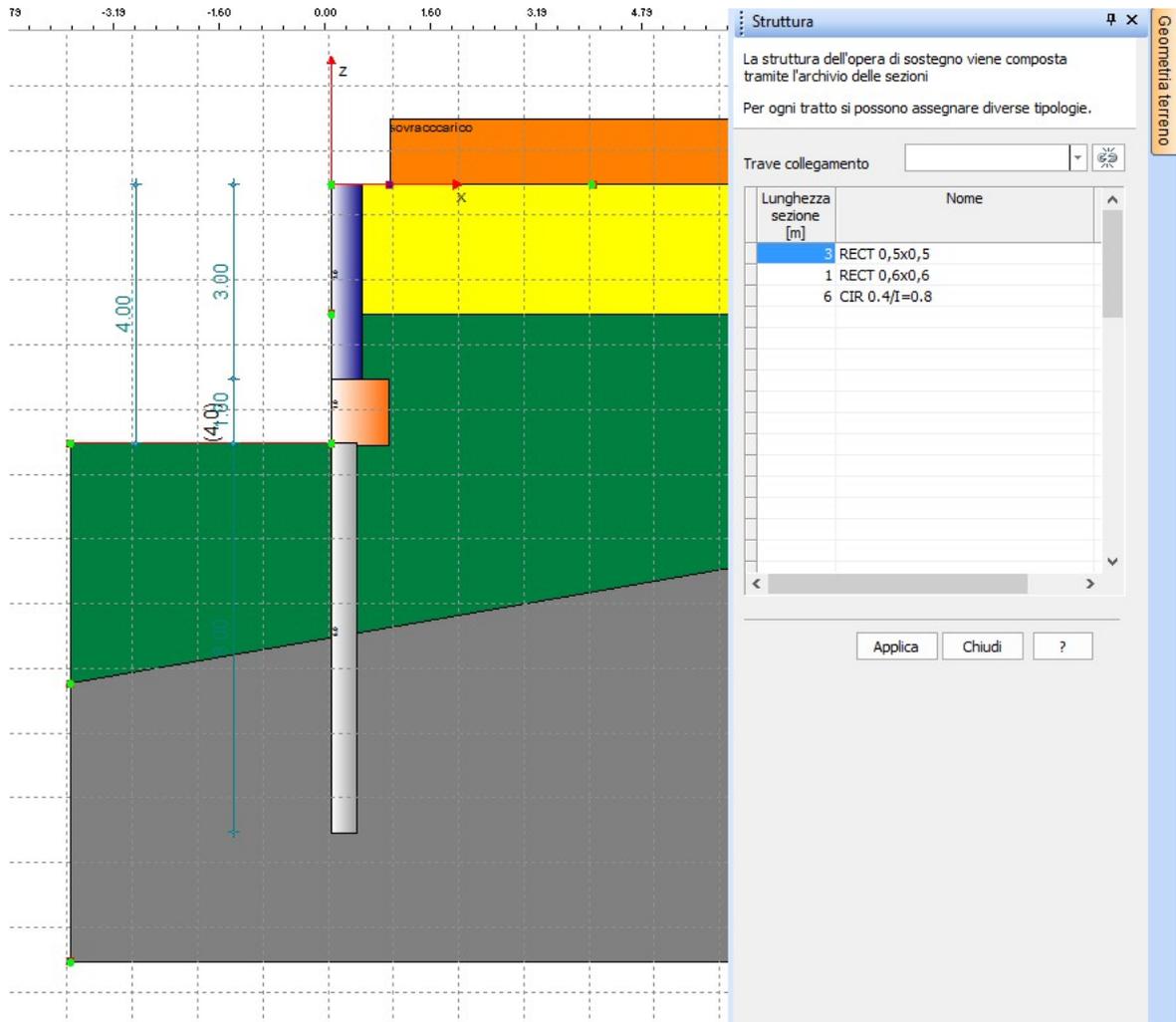
- Tipo della sezione da associare al tratto considerato:

Si può scegliere tra le varie tipologie di sezione definite nell'Archivio sezioni.

Cliccare sul pulsante *Applica* per apportare le modifiche.

N.B. Le lunghezze sono riferite al singolo tratto e va rispettata la continuità strutturale dell'opera (dalla fine del tratto precedente). Per il primo tratto la lunghezza è definita rispetto allo zero del sistema di riferimento.

Nella figura che segue, tratta dal software, è mostrato uno schema di paratia composta da più tipologie di sezioni:

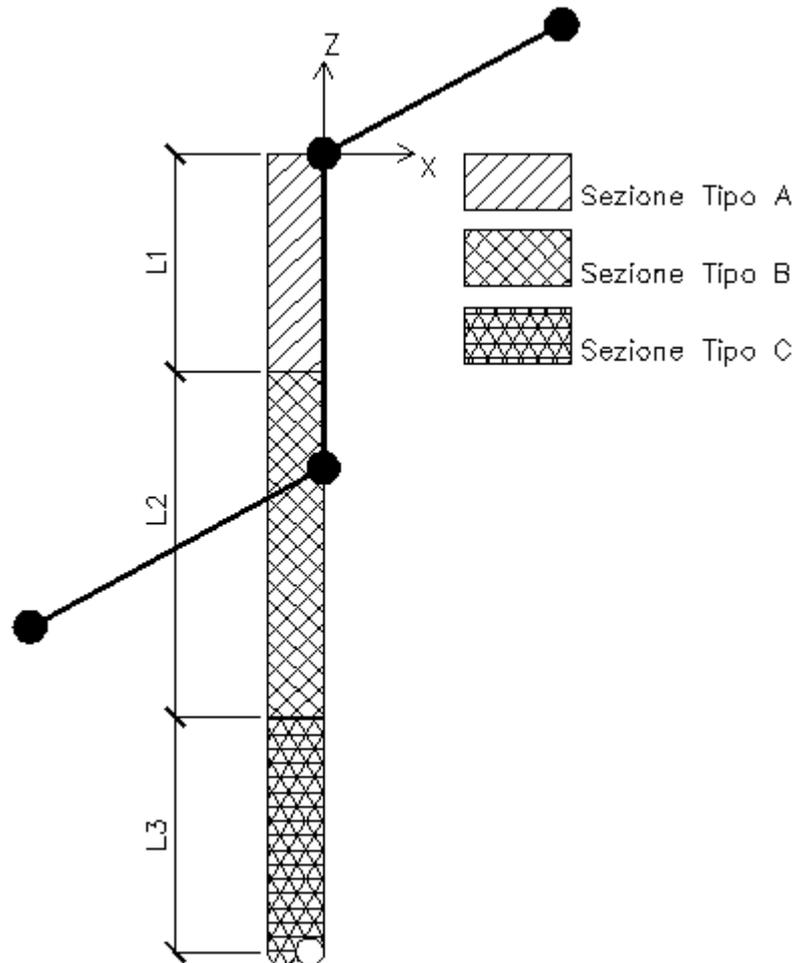


*Paratia costituita da più tipologie di sezioni*

- Trave collegamento

Dal menù a discesa Trave collegamento è possibile selezionare la sezione che rappresenta la trave di collegamento.

Cliccando sul pulsante Applica verrà così inserita la trave di collegamento, per rimuoverla occorre cliccare sul pulsante accanto al menù a discesa e poi su Applica.



### 1.6.6 Stratificazioni

Per ogni fase di analisi si possono definire diverse stratificazioni. Ogni stratigrafia è caratterizzata dalla presenza di più materiali (più terreni). L'ambiente per la gestione delle stratificazioni è il seguente:

Stratigrafia Fase...1

La pendenza del primo strato deve essere pari alla pendenza di calcolo. La pendenza di calcolo si assegna in geometria terreno.

Nr.	DB Terr.	Peso unità di volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	Coesione [kN/m <sup>2</sup> ]	Angolo attrito [°]	OCR	Modulo edometrico [kN/m <sup>2</sup> ]	Attrito terra parete monte [°]	Attrito terra parete valle [°]	Permeabilità Kx [m/s]	Permeabilità Kz [m/s]	Spessore strato [m]	Inclinazione [°]	Colore	Descrizione
1		17	18	0	28	1	14709	19	-19	0.0001	0.00001	2	0		
2		19	21	0	32	1	68646	21	-21	0.0001	0.0001	3	10		Terreno
3		19	22	0	33	1	56000	22	-22	0.00001	0.00001	10	0		Argilla o

Ok Annulla ?

*Ambiente per la gestione delle stratificazioni*

Per ogni strato devono essere definiti i seguenti dati:

Nr: Identifica lo strato con un indice numerico crescente da quello più superficiale (in alto) a quello più profondo (in basso);

DB Terreni: Permette di impostare caratteristiche iniziali prelevabili da un database terreni fornito con il programma. Ved. anche Database caratteristiche fisiche terreni;

Peso unità di volume: Espresso in kN/m<sup>3</sup> (ordine di grandezza = 17/20 kN/m<sup>3</sup>), esso rappresenta il peso per unità di volume naturale del terreno;

Peso saturo: Espresso in kN/m<sup>3</sup> (ordine di grandezza = 18/21 kN/m<sup>3</sup>), esso rappresenta il peso per unità di volume saturo da inserire se lo strato è interessato dalla presenza di acqua; nel caso di terreni in falda, per l'analisi in condizioni drenate, il programma valuta le pressioni efficaci a partire dal peso per unità di volume alleggerito;

Coesione: Espressa in kN/m<sup>2</sup> (ordine di grandezza 1/5 kN/m<sup>2</sup>);

Angolo di attrito interno: Espresso in gradi (ordine di grandezza = 22/30°);

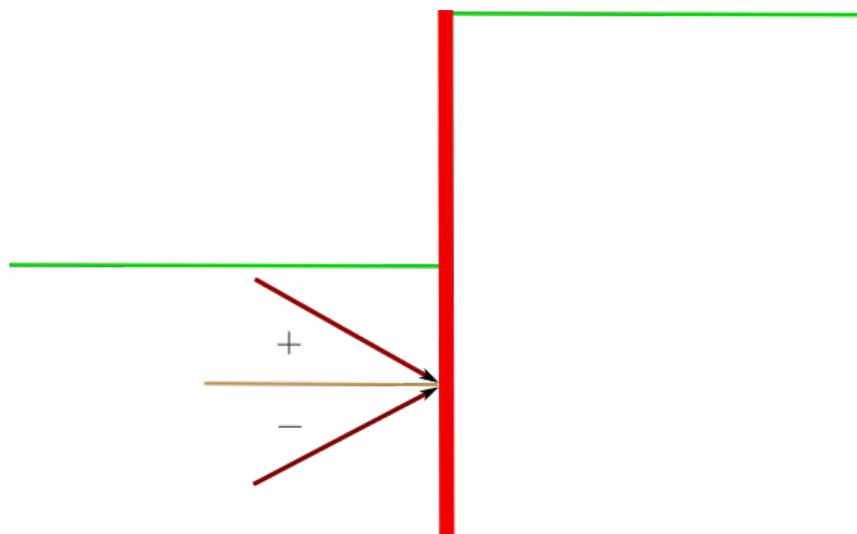
Grado di sovraconsolidazione (OCR): Dipende dalla storia tensionale del sito in esame (ordine di grandezza = 1/2)

Modulo edometrico: E' il modulo di elasticità normale del terreno valutato in condizioni edometriche, espresso in kN/m<sup>2</sup> (Ordine di grandezza = 10000 kN/m<sup>2</sup>);

Angolo di attrito terra-parete di monte: Espresso in gradi (ordine di grandezza =  $10/12^\circ$ , solitamente la normativa impone valori non maggiori dei  $2/3$  dell'angolo di attrito interno del terreno);

Angolo di attrito terra-parete di valle: Espresso in gradi (Valgono le stesse considerazioni fatte al punto precedente).

Il valore può essere di segno positivo o negativo: in caso di segno positivo la spinta passiva agirà dall'alto verso il basso, in caso di segno negativo la spinta passiva agirà dal basso verso l'alto.



*Direzione della spinta passiva*

L'angolo di attrito tra terreno e parete a valle deve essere minore di  $\phi/2$ . In caso contrario occorre valutare la non complanarità delle superfici di scorrimento.

Permeabilità  $K_x$ : Espresso in m/s (parametro necessario per tracciare il reticolo di flusso);

Permeabilità  $K_z$ : Espresso in m/s (parametro necessario per tracciare il reticolo di flusso);

Spessore dello strato: Valutato a partire dal punto più basso dello strato precedente a quello che si vuole definire, è espresso in m;

Inclinazione dello strato: Espressa in gradi;

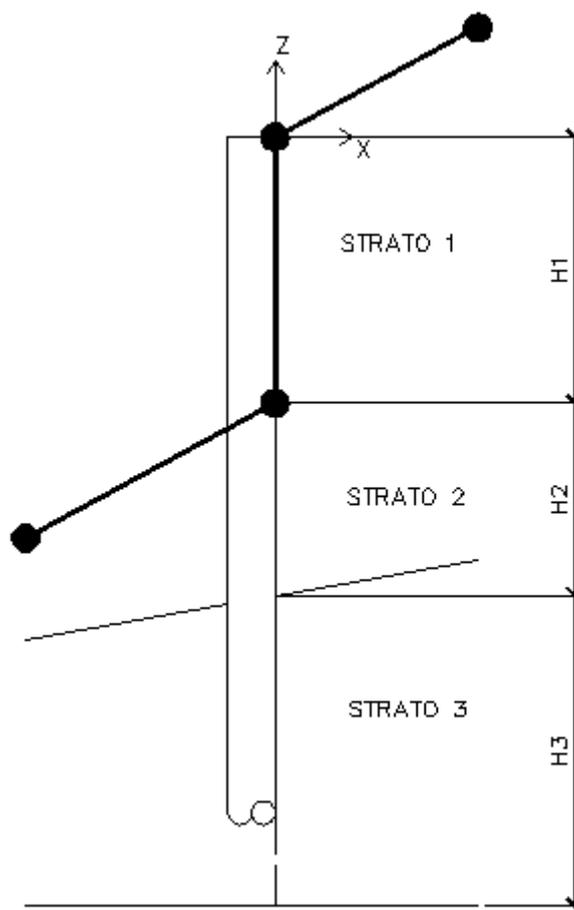
Colore: Identifica lo strato all'interno dell'area di disegno;

Descrizione: Nome associato dall'utente allo strato inserito.

N.B. Occorre fare riferimento ai parametri caratteristici del terreno.

Alcune precisazioni devono essere fatte in merito alla definizione dello spessore dello strato ed alla sua inclinazione dello strato:

Spessore dello strato: Lo spessore dello strato è misurato lungo la verticale che passa per l'origine del sistema di riferimento fissato (che si ricorda coincide con la testa della paratia). Per maggiore chiarezza fare riferimento alla seguente figura:



*Definizione dello spessore del generico strato*

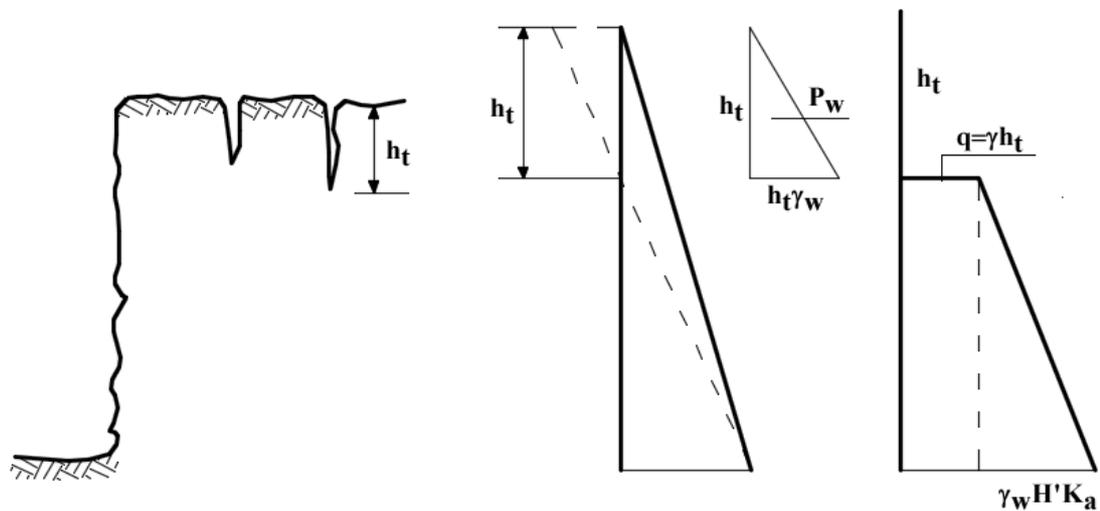
Inclinazione dello strato: L' inclinazione dello strato è l' angolo di rotazione del fondo dello strato considerato. La rotazione dello strato è definita rispetto al polo che si ottiene dall' intersezione tra la linea verticale passante per l' origine, e la linea orizzontale che identifica la parte inferiore dello strato da definire.

Quando il terrapieno è costituito da terreno coesivo, ci si può attendere che si manifestano delle zone di trazione.

Non bisogna fare affidamento sulla zona di trazione per ridurre la pressione laterale. Bisogna invece assumere che essa si possa formare e riempire d'acqua.

In presenza di zona di trazione si suggerisce di adottare entrambe le indicazioni riportate in figura, considerare il blocco di trazione come sovraccarico e considerare la spinta dell'acqua contenuta nelle fratture di trazione.

*E' noto che i terreni coesivi tendono a perdere coesione quando sono esposti a uno scavo in seguito all'assorbimento di umidità e/o alla formazione di fratture di trazione.*



Fratture di trazione e diagramma delle pressioni suggerito in presenza di terreni coesivi

### 1.6.7 Falda

La presenza di una eventuale falda condiziona il calcolo sia dal punto di vista geotecnico che strutturale. E' per questo motivo che nel software si tiene in considera l'effetto della falda, anche con riferimento ad eventuali problemi di filtrazione. L' ambiente per la gestione della presenza della falda è il seguente:

**Falda**

Profondità falda monte: 0.5 [m]

Profondità falda valle: 1 [m]

Verifica a sifonamento      Fs: 1

Attiva presenza falda in questa fase

**Reticolo di flusso**

Spessore strato impermeabile: 0 [m]

Passo linee di flusso: 0 [m]

Vista mesh       Vista linee di flusso

Colore: Mesh, linee flusso: [Orange] [Blue]

Genera reticolo di flusso

[Pencil icon]    Applica    Chiudi    ?

*Ambiente per la gestione della falda*

Relativamente alla falda i dati da inserire sono i seguenti:

**Profondità falda monte:** E' la profondità, rispetto al piano orizzontale passante per il sistema di riferimento generale, del pelo libero della falda a monte della paratia, espressa in m;

**Profondità falda valle:** E' la profondità, rispetto al piano orizzontale passante per il sistema di riferimento generale, del pelo libero della falda a valle della paratia, espressa in m;

**Verifica a sifonamento:** Permette di effettuare o non effettuare la verifica a sifonamento (ormai obbligatoria per normativa); tale verifica viene eseguita sulla prima linea di flusso, ossia la più corta.

**Attiva presenza falda in questa fase:** Come già accennato in precedenza il software permette di definire più fasi di calcolo. Attraverso questo dato è possibile scegliere se la falda deve essere considerata nel calcolo della fase corrente;

**Spessore strato impermeabile:** Individua a quale profondità è situato lo strato impermeabile, espresso in m;

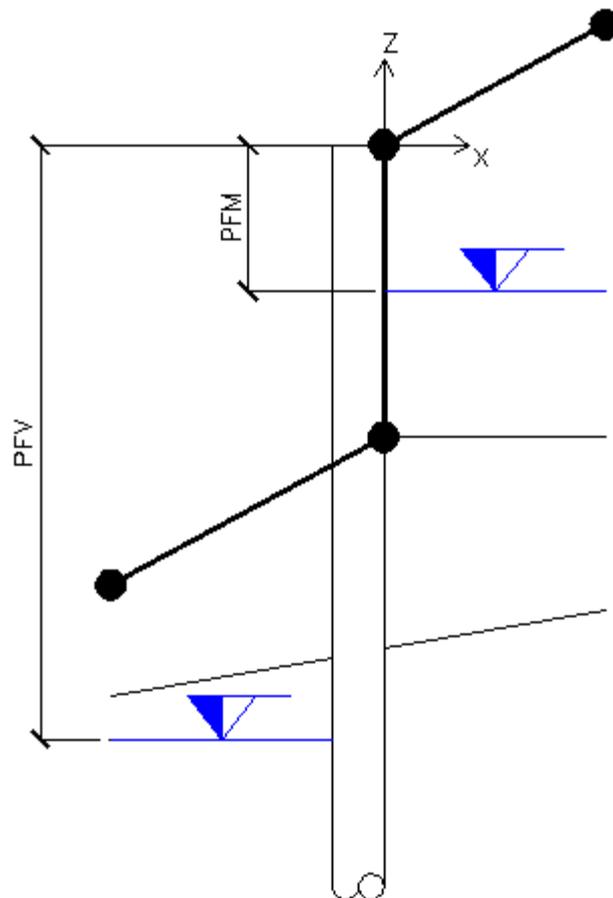
Passo linee di flusso: Definisce la densità di visualizzazione delle linee di flusso, espresso in m;

Vista mesh: Permette la visualizzazione della griglia di calcolo utilizzata per la soluzione del problema della filtrazione;

Vista linee di flusso: Permette la visualizzazione delle linee di flusso. E' possibile scegliere i colori della griglia di calcolo e della linea di flusso;

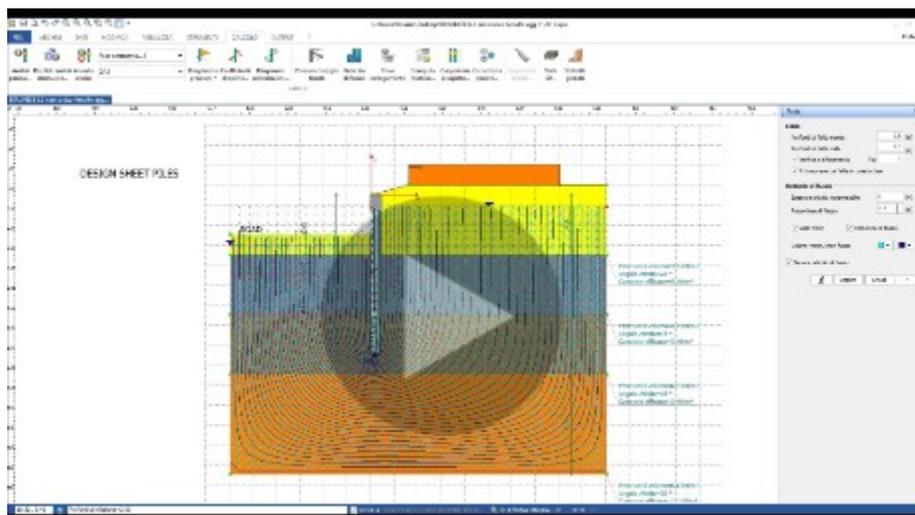
Genera reticolo di flusso: Permette di realizzare l'analisi di filtrazione.

Relativamente ai dati che definiscono il profilo della falda è opportuno fare riferimento alla seguente figura:



*Riferimento per la definizione del profilo della falda*

Nella figura PFM è quella che nella finestra dei dati di falda viene definita come profondità falda monte, mentre PFV è quella che nella finestra dei dati di falda viene definita come profondità falda valle.



### 1.6.8 Tiranti

Parte dell'argomento è stato già discusso nella sezione Cordoli di ancoraggio. Si discute in questa sezione dell'inserimento dei tiranti di ancoraggio. L'ambiente per l'inserimento dei tiranti di ancoraggio è il seguente:

Tiranti Fase...1

Descrizione	x [m]	z [m]	Inclinazione [°]	Interasse [m]	Angolo attrito [°]	Adesione [kN/m²]	Tipologia	Cordolo	Attivo Passivo	Tiro iniziale [kN]	Carico limite [kN] [0=Automatic]
Tirante		-0.4	35	2	18	12	Tirante 1	HE450A	Attivo	0	0

Fattore sicurezza FS: 
 Metodo equilibrio limite
   
 Estremo fisso
   
 Estremo libero
   
 Fattore sicurezza (Fs) = 1.1 temporanei max 18 mesi di vita, 1.2 permanenti con manutenzione
   

 Coefficiente riduttivo Rowe
   

 Coefficiente spinta (0=Automatico) K:

*Ambiente per l'inserimento dei tiranti di ancoraggio*

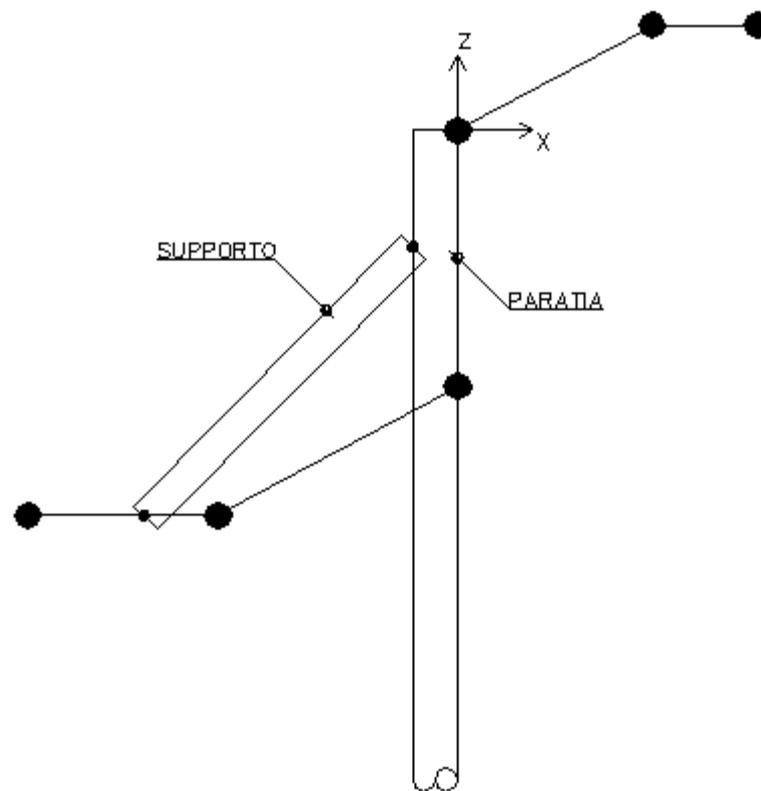
Per la corretta definizione dei tiranti di ancoraggio è opportuno inserire i seguenti dati:

- Descrizione: Permette all'utente di individuare, per mezzo di un nome, il tirante inserito;
- x: E' l'ascissa, misurata nel sistema di riferimento generale, alla quale viene inserito il tirante di ancoraggio, è espressa in m;
- z: E' la quota, misurata lungo la verticale passante per il sistema di riferimento generale, alla quale viene inserito il tirante di ancoraggio, è espressa in m; in fase di calcolo il programma aggancia l'azione del tirante al nodo più vicino.
- Inclinazione: E' l'angolo di inclinazione che l'asse del tirante forma con l'asse orizzontale del sistema di riferimento generale, è espresso in gradi (*n.b. l'inclinazione è definita positiva se in senso orario*);
- Interasse: E' la distanza, misurata nella direzione perpendicolare al piano del disegno (direzione generale y), che c'è tra due tiranti contigui, è espressa in m;
- Angolo di attrito: E' l'angolo di attrito tra il bulbo del tirante e il terreno in cui è ancorato il tirante (Ordine di grandezza = angolo di attrito interno del terreno), è espresso in gradi;
- Adesione: E' una misura della coesione che si misura all' interfaccia tra bulbo e terreno (nella zona di ancoraggio), è espressa in kN/m<sup>2</sup>;
- Tipologia: E' la tipologia di tirante d' ancoraggio. E' da scegliere dall' Archivio tiranti;
- Cordolo: E' il cordolo per mezzo del quale il tirante è ancorato alla paratia. E' da scegliere dall' archivio dei cordoli d'ancoraggio;
- Attivo/Passivo: E' l'opzione tramite la quale l'utente decide se il tirante è attivo (tirante preteso) o passivo (tirante scarico nelle fasi iniziali della vita della struttura);
- Tiro iniziale: Nel caso in cui il tirante sia attivo, definisce l'entità della pretensione, è espresso in kN;
- Carico limite: E' il carico limite del tirante, se posto pari a 0, il valore sarà determinato in automatico dal programma;
- Fattore di sicurezza: Fattore di sicurezza imposto, nei riguardi del collasso del tirante di ancoraggio;

- Coefficiente riduttivo di Rowe: E' un coefficiente che dipende dalla deformabilità della palificata. E' un coefficiente che va a ridurre il momento massimo calcolato sulla paratia;
- Estremo libero o fisso (ved. L.E.M.): Individua se l'inserimento del tirante comporta vincolo fisso per la paratia (Estremo fisso) o al contrario se in termini di vincolo può essere considerato inesistente;
- Coefficiente di spinta: Vedere calcolo del carico limite dei tiranti

### 1.6.9 Supporti

I supporti sono elementi che vanno ad incrementare le risorse di resistenza della paratia. Essi, però, a differenza dei tiranti di ancoraggio sono prevalentemente soggetti a compressione. Cambia quindi la natura delle verifiche da realizzare. Nella figura che segue è mostrato schematicamente l' utilizzo di un supporto a puntone:



*Schema di supporto a puntone*

Le verifiche di resistenza che si realizzano sul puntone sono quelle classiche che si eseguono su membrature compresse, quindi:

- Verifica di resistenza a compressione: In questa verifica si stima la massima tensione di compressione e si confronta con la tensione di rottura a compressione dell' elemento compresso;
- Verifica nei confronti del collasso per instabilità: Come è noto le membrature compresse soffrono del problema dell' instabilità strutturale. E' quindi necessario verificare che lo sforzo normale agente sul puntone sia minore, o al più uguale, del carico critico del puntone.

Il supporto è un elemento che può essere inserito solo se si sceglie il metodo FEM e l'elemento reagisce solo se si mobilita uno spostamento della paratia verso valle.

L'ambiente che permette di gestire i supporti è il seguente:

Descrizione	X [m]	Z [m]	Lunghezza [m]	Inclinazione [°]	Area [cm <sup>2</sup> ]	Interasse [m]	Materiale	Modulo reazione [kN/m]	Colore

*Ambiente per l'inserimento dei supporti*

- Descrizione: Permette all'utente di individuare, per mezzo di un nome, il supporto inserito;
- x: E' l'ascissa, misurata nel sistema di riferimento generale, alla quale viene inserito il supporto, è espressa in m;
- z: E' la quota, misurata lungo la verticale passante per il sistema di riferimento generale, alla quale viene inserito il supporto, è espressa in m; in fase di calcolo il programma aggancia l'azione del supporto al nodo più vicino.
- Lunghezza: E' la lunghezza del supporto espressa in m.
- Inclinazione: E' l'angolo di inclinazione che l'asse del supporto forma con l'asse orizzontale del sistema di riferimento generale, è espresso in gradi (*N.B. l'inclinazione è definita positiva se in senso orario*);
- Area: Area della sezione che definisce il supporto, espressa in cm<sup>2</sup>;

- Interasse: E' la distanza, misurata nella direzione perpendicolare al piano del disegno (direzione generale y), che c'è tra due supporti contigui, è espressa in m;
- Materiale: Materiale da associare al tipo di supporto, deriva da Archivio Materiali;
- Modulo reazione: Modulo di reazione del supporto, pari alla rigidezza assiale dell'elemento, è espressa in kN/m;
- Colore: E' inoltre possibile inserire il colore che individua il supporto nel modello.

Dopo aver inserito i dati richiesti, il programma calcola in automatico la rigidezza del puntone a metro lineare di opera.

Descrizione	X [m]	Z [m]	Lunghezza [m]	Inclinazione [°]	Area [cm <sup>2</sup> ]	Interasse [m]	Materiale	Modulo reazione [kN/m]	Colore
Puntone	0	-0.5	5	0	25	1.2	S355H	105000	

$K = \frac{E \cdot A}{L \cdot I}$

Le relazioni che permettono di calcolare la reazione e la resistenza del puntone sono:

$u$  = spostamento

$R = K \times u \times \text{interasse}$

Resistenza =  $f_{yd} \times \text{area sezione puntone}$

$F_s = \text{Resistenza} / \text{Reazione}$

Analisi

Fase Combinazione Fasi costruttive

FASI COSTRUTTIVE  
 FASE COSTRUTTIVA 1  
 DA1

Fase costruttiva...1  
 Stati limite S.L.U.  
 Nome combinazione DA1  
 Coefficiente sismici Kh 0.08 Kv 0.012  
 Tipo  GEO  STR  UPL, HYD

Sintesi risultati

Profondità di infissione 3.70 [m]  
 Pressione massima terreno 62.37 [kPa]  
 Momento massimo 28.79 [kNm/m]  
 Taglio massimo 39.50 [kN/m]  
 Spostamento massimo H 0.12 [cm]  
 Spostamento massimo V 0.38 [cm]  
 Numero di iterazioni eseguite 2 < 10  
 Carico limite verticale kN, F Rd=-- Fv=-- --  
 Fattore sicurezza sollevamento --

Puntone

kN 49.57 Fs 19.74

R

Nr.	Azioni	Fattori combinazioni [A]
5	y seismic thrust	1
6	Building	1.3
7	Puntone	1

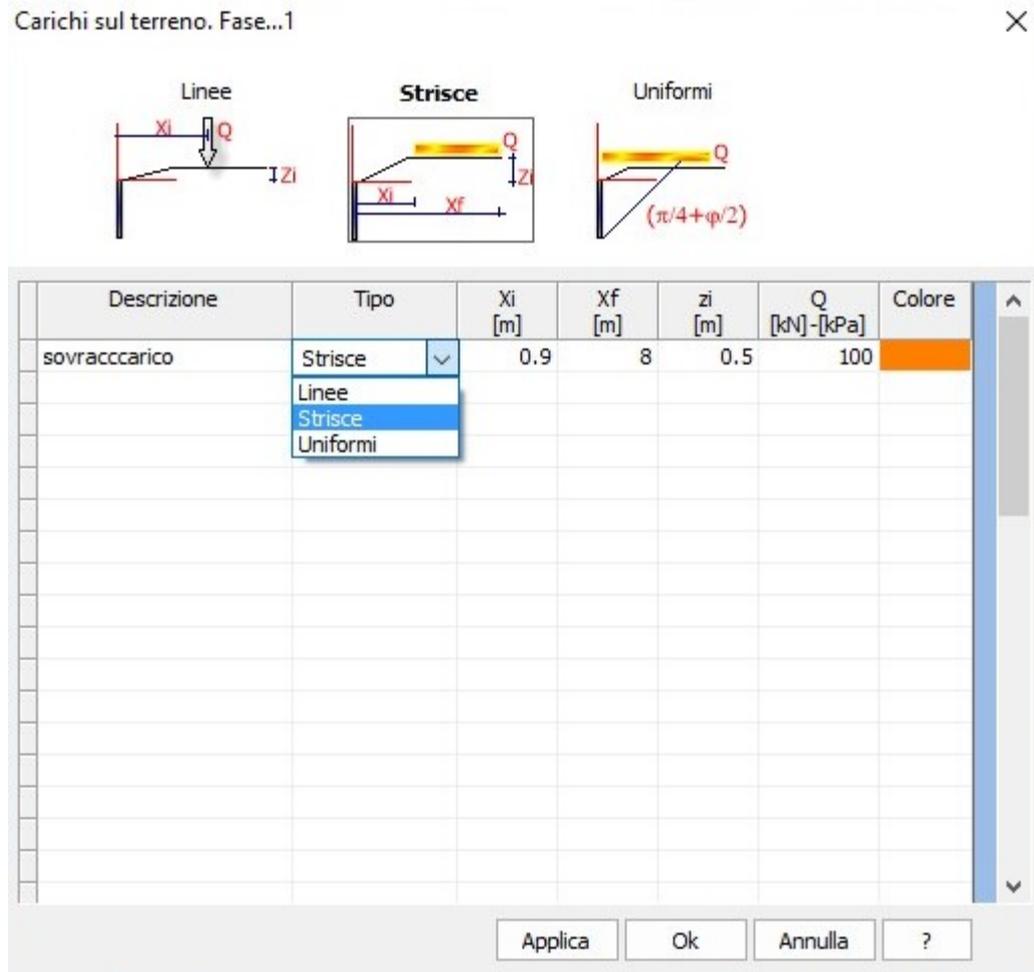
Nr.	Parametro	Coeff. Parziali [M]
	Tangente angolo res. taglio	1
	Coesione efficace	1
	Resistenza non drenata	1
	Peso unità volume	1
	Angolo di attrito terra parete	1

Nr	Capacità portante	Coefficienti resistenze [R]
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orientata	1

Calcola Ok Annulla >

### 1.6.10 Carichi

Nel software Paratie è possibile prendere in considerazione la presenza di eventuali carichi distribuiti sul terrapieno in termini di Linee, Strisce o Carichi Uniformi. L'ambiente per la gestione di queste tipologie di carico è il seguente:



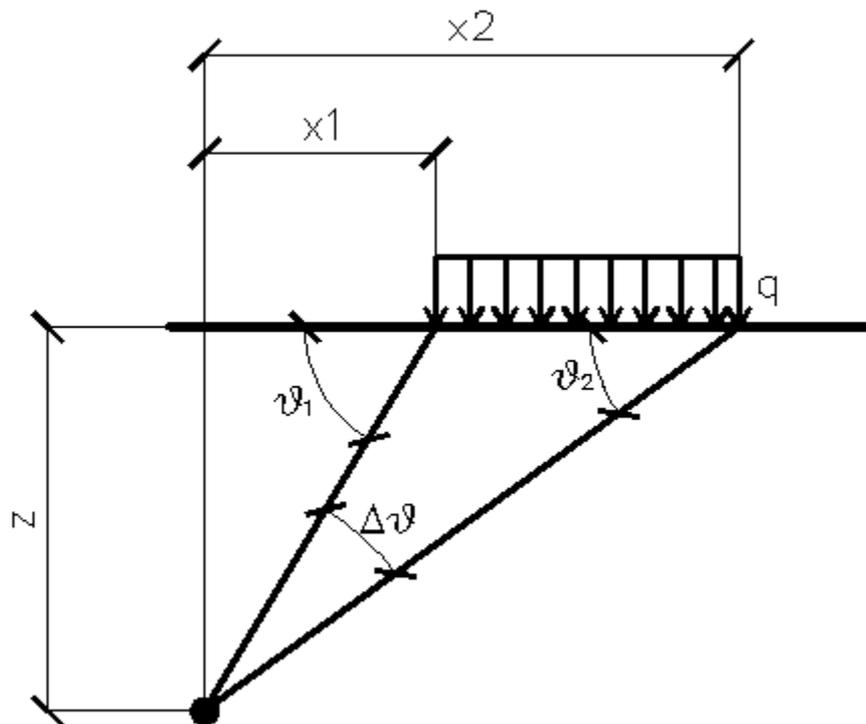
*Ambiente per la gestione dei carichi distribuiti.*

I dati da inserire per la corretta definizione di un carico sono i seguenti:

- **Descrizione:** Identifica il carico; dato necessario per l'individuazione dell'azione nelle combinazioni di carico;
- **Tipo:** Si può scegliere tra linee di carico, strisce di carico o carico uniformemente distribuito;
- **xi:** E' l' ascissa a partire dalla quale il carico inizia ad agire. Nel caso di linee di carico è l'ascissa che definisce l' applicazione della linea di carico; è espressa in m.
- **xf:** Tale dato è richiesto se si definiscono strisce di carico o carichi uniformi. E' l'ascissa finale del carico (definisce quindi l'estensione del carico); è espressa in m.
- **zi:** Profondità espressa in m, attualmente ha solo valenza grafica, pertanto l'incremento di tensione indotto dal sovraccarico viene comunque valutato a partire dalla testa della paratia.
- **Q:** Intensità del carico, espressa in kN (se si tratta di linea di carico) o in kN/m<sup>2</sup> se si tratta di striscia e di carico uniforme;
- **Colore:** Assegnazione del colore con il quale visualizzare la striscia di carico.

N.B. I carichi si intendono distribuiti a metro lineare in direzione longitudinale.

Per l' interpretazione delle diverse tipologie di carico può essere utile osservare le seguenti figure:



*Strisce di carico ortogonali*

Per le strisce di carico si valuta la distribuzione delle tensioni in funzione della profondità  $z$ .

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

$$\Delta\vartheta = \vartheta_1 - \vartheta_2;$$

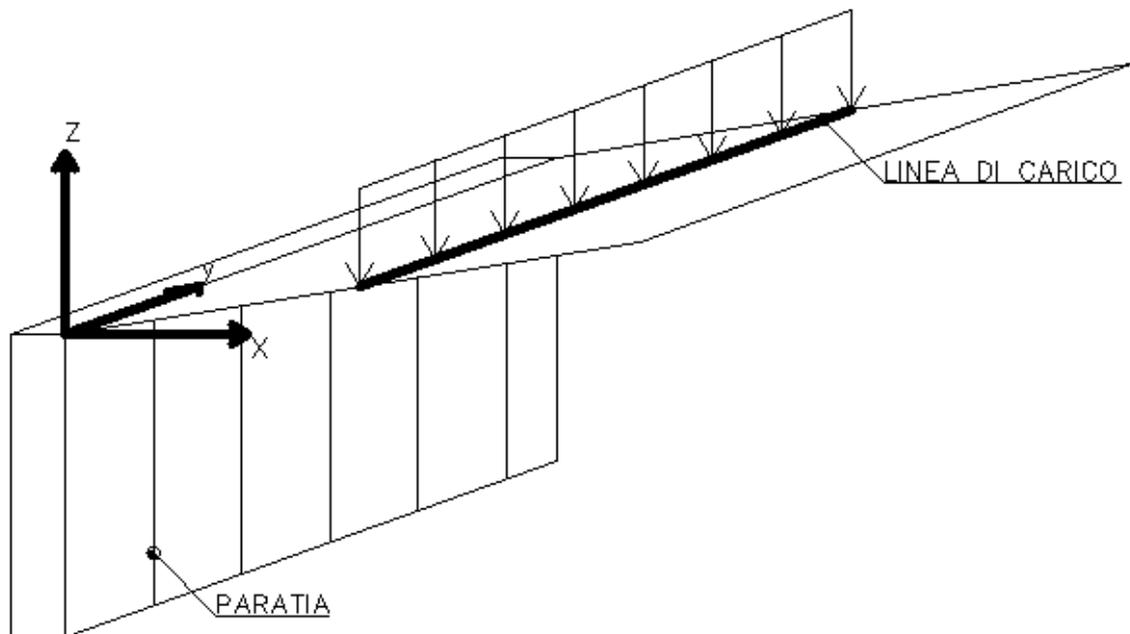
$$A = \text{sen}(2\vartheta_1) - \text{sen}(2\vartheta_2)$$

$$B = \text{cos}(2\vartheta_1) - \text{cos}(2\vartheta_2)$$

$$\vartheta_1 = \arctg(z/x_1)$$

$$\vartheta_2 = \arctg(z/x_2)$$

Per integrazione si otterrà la risultante ed il relativo braccio.



*Schematizzazione delle linee di carico*

Per le linee di carico, come per le strisce di carico, si valuta la distribuzione delle tensioni in funzioni della profondità  $z$ . Le linee di carico generano un incremento di pressioni sulla parete che secondo BOUSSINESQ, alla profondità  $z$ , possono essere espresse come segue:

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

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

Dove i simboli hanno il seguente significato:

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

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

Se il piano di azione è inclinato di  $\alpha$  e viene ruotato il sistema di riferimento  $(x, z)$  in  $(X, Z)$ , attraverso la seguente trasformazione:

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

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:

$\beta$  = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

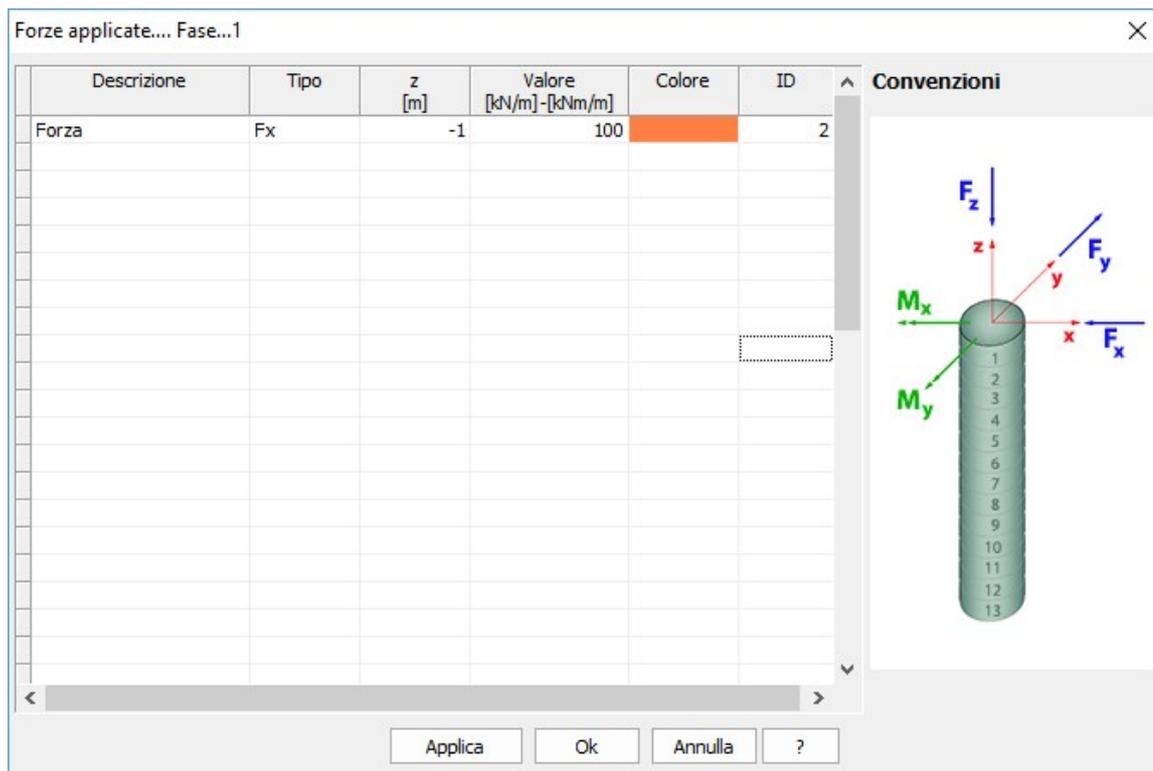
$\varepsilon$  = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale positiva se antioraria;

$k_a$  = Coefficiente di pressione attiva calcolato al paragrafo precedente.

N.B. Il carico uniforme viene distribuito in automatico dalla testa della paratia su tutta l'ampiezza del cuneo di rottura.

### 1.6.11 Forze applicate

Il software permette di considerare (solo per il metodo di analisi FEM) forze e momenti come carichi concentrati agenti sulla paratia. L'ambiente per la gestione delle forze concentrate è il seguente:



*Ambiente per la gestione delle forze concentrate e convenzione per le forze e i momenti*

Per la corretta definizione di una forza concentrata è necessario definire i seguenti dati:

- **Descrizione:** Questo dato identifica la forza con un nome; il suo inserimento è necessario ai fini dell'identificazione della stessa nelle combinazioni di carico;
- **Tipo:** Questo dato identifica il tipo e la direzione lungo la quale agisce la forza. Si può scegliere tra le seguenti tipologie di carico:
  - $F_z$ , espresso in kN/m. E' una forza verticale, avente quindi direzione coincidente con l'asse verticale di riferimento;
  - $F_x$ , espresso in kN/m. E' una forza orizzontale avente direzione coincidente con l'asse di riferimento orizzontale contenuto nel piano del disegno;
  - $F_y$ , espresso in kN/m. E' una forza orizzontale avente direzione coincidente con l'asse di riferimento ortogonale al piano del disegno;
  - $M_x$ , espresso in kNm/m. E' un momento avente per asse vettore l'asse orizzontale di riferimento contenuto nel piano del disegno;
  - $M_y$ , espresso in kNm/m. E' un momento avente per asse vettore l'asse di riferimento ortogonale al piano del disegno;

- z: Espressa in m. E' la quota alla quale è posizionato il punto di applicazione della forza (o del momento);
- Valore: E' il valore dell' intensità della forza. Il segno è concorde con il sistema di riferimento globale, espresso in kN/m (per le forze) o in kNm/m (per i momenti);
- Colore: E' il colore con il quale visualizzare il disegno della forza;
- I D: E' un indice identificativo della forza;

### 1.6.12 Pressioni assegnate

La distribuzione delle pressioni agenti sulla paratia (anche quando si tratta di calcolare le forze nodali con il metodo FEM) è determinata sulla base dell'applicazione dei metodi classici (ad esempio, calcolo della pressione orizzontale con il metodo di Rankine). Tuttavia è possibile trovarsi di fronte a situazioni nelle quali la distribuzione delle pressioni orizzontali, pur essendo nota, non ha l'andamento ipotizzato. Nel software è prevista la possibilità di gestire questa situazione tramite la manipolazione della distribuzione di pressioni calcolata, integrandola o sostituendola con una distribuzione inserita dall'utente. L' ambiente per la gestione delle pressioni assegnate è il seguente:

z [m]	valore [kPa]	Addiziona ai diagrammi	Colore
		<input type="checkbox"/>	

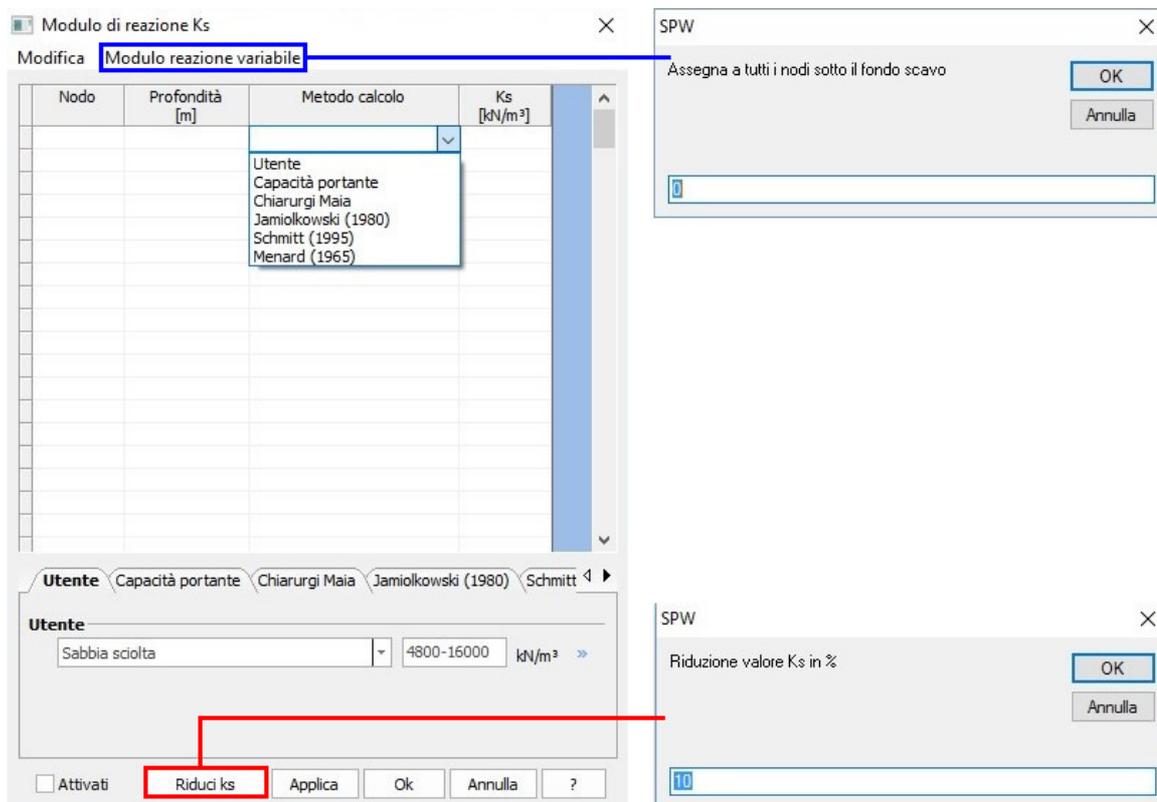
*Ambiente per la gestione delle pressioni assegnate*

I dati da inserire per una corretta definizione delle pressioni assegnate sono i seguenti:

- Z: Espressa in m. E' la quota alla quale si impone che la pressione assuma un determinato valore;
- Valore: Espresso in KPa. E' il valore della pressione alla corrispondente quota z;
- Addiziona ai diagrammi: Questo dato serve per determinare se la pressione assegnata deve sostituire o deve sovrapporsi a quella calcolata da diagramma;
- Colore: Indica il colore di visualizzazione del diagramma fino a quota z.

### 1.6.13 Modulo di reazione assegnato

E' possibile (nel contesto di analisi con il metodo degli elementi finiti) gestire la rigidezza delle molle che schematizzano il terreno. L'ambiente per la gestione dei moduli di rigidezza è il seguente:



*Ambiente per la gestione del modulo di reazione*

I dati relativi all' imposizione del valore del modulo di reazione sono i seguenti:

- **Nodo:** E' il nodo (nell'ambito della discretizzazione ad elementi finiti) sul quale si vuole imporre la rigidità assegnata;
- **Profondità:** E' la profondità alla quale è posizionato il nodo, o eventualmente la profondità alla quale si vuole fissare il modulo di reazione;
- **Metodo Calcolo:** E' il metodo di calcolo con il quale deve essere determinato il modulo di reazione. Il software permette di scegliere tra le seguenti possibilità:
  - **Utente:** L' utente può selezionare diversi terreni, dalla casella di testo a tendina, ad ognuno dei quali è associato un range di valori del modulo di reazione  $k_s$ . L' utente può inserire direttamente il valore numerico del valore del modulo di reazione e eseguire un click sulla doppia freccia azzurra per assegnare il valore inserito;
  - **Capacità portante:** Secondo il metodo che sfrutta i concetti della capacità portante, il modulo di reazione viene calcolato con la seguente formula:

L' utente deve inserire i parametri  $A_s$ ,  $B_s$  ed  $n$  così che il software potrà calcolare il modulo di reazione applicando la formula:

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

- **Metodo di Chiarurgi Maia:** Il metodo calcola il modulo di reazione in funzione del modulo edometrico, del diametro della palificata e del coefficiente di Poisson. La formula applicata per calcolare il modulo di reazione con questo metodo è la seguente:

$$k_s = \frac{E_{ed}}{d \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left( \frac{E_{ed} \cdot d^4}{EJ} \right)^{\frac{1}{12}}$$

Nella precedente formula  $E_{ed}$  è il modulo edometrico del terreno,  $d$  è il diametro del palo,  $\nu$  è il coefficiente di Poisson ed  $EJ$  è la rigidità flessionale della palificata.

- **Metodo di Jamiolkowski:**  
Il metodo calcola il modulo di reazione in funzione dei seguenti parametri:
  - Modulo di elasticità secante, espresso in kPa;
  - Coefficiente adimensionale che dipende dal modello di vincolo assunto per il calcolo della paratia (vale 1 per paratie libere);

- Coefficiente adimensionale che dipende dalla profondità alla quale calcolare il modulo di reazione;
- Profondità di infissione della paratia, espressa in m.

In particolare il metodo di Jamiolkowski si riferisce al modulo di elasticità secante del terreno corrispondente alla mobilitazione del 50% della pressione limite ( $E_{s,50}$ ). Per il calcolo del modulo di reazione si applica quindi la seguente formula:

$$k_s = \frac{E_{s,50}}{\rho \cdot t} \cdot C_p$$

nella formula precedente  $t$  è pari alla profondità di infissione,  $r$  è un coefficiente adimensionale pari ad 1 per diaframma libero al piede oppure al rapporto tra la posizione del punto a spostamento nullo al di sotto del fondo scavo e la profondità di infissione per diaframma con incastro parziale al piede.  $C_p$  è un coefficiente adimensionale di profondità, valutato con la seguente formula:

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{z}{t}\right)$$

- Metodo di Schmitt:

Questo metodo calcola il modulo di reazione in funzione del diametro della sezione, del modulo elastico del terreno e del modulo elastico del materiale che costituisce la struttura. In particolare Schmitt propone di fare riferimento al modulo edometrico del terreno  $E_{ed}$  ed alla rigidezza relativa dell'opera di sostegno (espressa attraverso la lunghezza caratteristica delle travi alla Winkler), ottenendo:

$$k_s = 2.1 \cdot \frac{E_{ed}^{\frac{4}{3}}}{EJ^{\frac{1}{3}}}$$

dove  $E_{ed}$  è il modulo edometrico del terreno, mentre  $EJ$  rappresenta la rigidezza flessionale della paratia.

- Metodo di Menard:

Questo metodo calcola il modulo di reazione del terreno in funzione dei risultati di prove eseguite con il pressiometro di Menard. In particolare il modulo di reazione è valutato in funzione di:

- Modulo pressiometrico  $E_M$  espresso in  $\text{kN/m}^2$
- Coefficiente che tiene conto del comportamento viscoso (coefficiente adimensionale);
- Lunghezza caratteristica, espressa in m.

In particolare questo metodo fa riferimento al modulo pressiométrico del terreno  $E_M$ , ottenuto sperimentalmente con la prova pressiométrica, largamente diffusa in Francia:

$$k_s = \frac{E_M}{\alpha \cdot \frac{L}{2} + 0.13 \cdot (9 \cdot L)^\alpha}$$

dove  $\alpha$  è un coefficiente che tiene conto del comportamento viscoso del terreno, ed  $L$  è una lunghezza caratteristica che l'autore pone pari a 2/3 della profondità di infissione della paratia.

Attraverso il pulsante Riduci  $k_s$  si attiva una finestra di dialogo in cui va inserito il valore percentuale di cui si intende ridurre il modulo di reazione. E' possibile inoltre assegnare in automatico un valore al modulo di reazione del terreno a tutti i nodi sotto il fondo scavo selezionare Modulo reazione variabile/Assegnare a tutti i nodi sotto il fondo scavo.

Selezionando l'opzione Attivati e cliccando su Applica, il programma considera, nel calcolo, i moduli di reazione assegnati dall'utente in questa finestra.

#### 1.6.14 Condizioni al contorno

In alcune situazioni è possibile che vi siano delle condizioni, sugli spostamenti, sulle rotazioni o sulle molle, che devono essere rispettate a priori nel procedimento di calcolo. Si parla cioè di imposizione delle condizioni al contorno. Il software Paratie permette di gestire le condizioni al contorno. L'ambiente per la gestione delle condizioni al contorno è il seguente:

Descrizione	Z [m]	Tipo	Valore [cm], [°] [kN/m²]	Colore	ID
		Libero			
		Spostamento			
		Rotazione			
		Molla			

*Ambiente per la gestione delle condizioni al contorno*

Per imporre correttamente una condizione al contorno è necessario inserire i seguenti dati:

- **Descrizione:** Identifica la condizione al contorno da imporre tramite un nome;
- **Z:** Espressa in m. E' la profondità alla quale imporre la condizione al contorno;
- **Tipo:** E' il tipo di condizione che è possibile gestire. In Paratie è possibile gestire le seguenti condizioni al contorno:
  - **Libero.** Tramite questa condizione si impone che il nodo a quota z sia libero e quindi non vincolato in alcun modo;
  - **Spostamento,** espresso in m. E' possibile imporre che, per una determinata profondità (z) lo spostamento sia uguale a quello imposto;
  - **Rotazione,** espressa in gradi. E' possibile imporre che, per una determinata profondità (z) la rotazione della linea elastica della paratia sia uguale a quella imposta;
  - **Molla.** E' possibile inserire alla profondità z una molla che simula un vincolo cedevole elasticamente.

- Valore: E' il valore della condizione al contorno imposta. L' unità di misura da prendere in considerazione è quella associata alla tipologia di condizione imposta (m per lo spostamento, gradi per le rotazioni, kN/m<sup>3</sup> per la molla);
- Colore: Colore con il quale visualizzare l'eventuale condizione imposta;
- ID: E' l'indice che individua in modo univoco la condizione al contorno imposta.

 Per convenzione la condizione al contorno non può essere imposta sul primo nodo, per spostare il punto di applicazione della condizione al contorno occorre attribuire un valore più elevato al nodo di fondo scavo in modo che gli elementi con cui è discretizzata la parte fuori terra della paratia aumentano (il secondo nodo si sposta così verso l'alto). Per ottimizzare il calcolo in termini di sollecitazioni e spostamenti si consiglia di discretizzare la parte fuori terra della paratia con elementi di lunghezza circa uguale al diametro del palo.

### 1.6.15 Fasi costruttive

Aggiungi fase: Permette di inserire una fase di analisi a profondità crescenti;

Cancella fase: Permette di cancellare la fase di analisi corrente;

Interferenza tra le fasi: Permette di avere interferenza tra le fasi.

Inizializza ogni fase in base all'interazione con la fase precedente. Anche in assenza di tiranti si rileverà una differenza tensionale tra le fasi, dovuta all'interazione del campo tensionale della fase corrente rispetto alla precedente.

I diagrammi delle pressioni saranno relativi al campo tensionale di fase. Con l'attivazione di questo comando, automaticamente saranno create le condizioni di carico nella fase corrente in base a quella precedente.

Qualora esista tra le fasi una differenza di spostamento, si attiveranno i tiranti passivi.

Nell'analisi per fasi non è possibile calcolare automaticamente la profondità di infissione ad elementi finiti

Qualora sia attiva l'opzione interferenza tra le fasi, ogni fase deve avere le stesse combinazioni.

N.B. Se il comando Interferenza tra le fasi non è attivo, in fase di calcolo, non si ha interferenza tra le fasi.

## 1.7 Calcolo

### 1.7.1 Analisi paratia

L'analisi della paratia è organizzata per fasi di analisi e per combinazioni di carico. In particolare è possibile definire più fasi di analisi, che si differenziano tra loro per dati di input. Per ogni fase di analisi è possibile definire più combinazioni di carico. L'ambiente da cui gestire l'analisi della paratia e le relative fasi di analisi e le combinazioni di carico è il seguente:

The screenshot shows the 'Analisi' window with the following components:

- Menu:** Nuova combinazione, Elimina, **Verifica**, Rigenera combinazione, ?
- Fasi costruttive:**
  - Fase costruttiva 1 (highlighted in red)
    - A1+M1+R1
    - A2+M2+R2
- Sintesi risultati:**
  - Profondità di infissione: 8.00 [m]
  - Pressione massima terreno: 134.58 [kPa]
  - Momento massimo: 529.32 [kNm/m]
  - Taglio massimo: 193.45 [kN/m]
  - Spostamento massimo H: 4.31 [cm]
  - Spostamento massimo V: -- [cm]
  - Numero di iterazioni eseguite: 2 > 0
  - Carico limite verticale: kN, Fs, Rd=--, Fv=--, --
  - Fattore sicurezza sollevamento: --
- Fase costruttiva...1:**
  - Stati limite: S.L.U.
  - Nome combinazione: A1+M1+R1
  - Coefficiente sismici: Kh=0, Kv=0
  - Tipo:  GEO,  STR,  UPL, HYD
- Table 1: Azioni**

Nr.	Azioni	Fattori combinazioni [A]
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1.3
3	Spinta falda	1.5
4	Spinta sismica x	1.5
5	Spinta sismica y	1
6	Capannone elettronica B.C.	1
- Table 2: Parametro**

Nr.	Parametro	Coeff. Parziali [M]
1	Tangente angolo res. taglio	1.25
2	Coesione efficace	1.25
3	Resistenza non drenata	1.4
4	Peso unità volume	1
- Table 3: Capacità portante**

Nr	Capacità portante	Coefficienti resistenze [R]
1	Punta	1.7
2	Laterale compressione	1.45
3	Totale	1.6
4	Laterale trazione	1.6
5	Orizzontale	1.6
- Buttons:** Calcola, Ok, Annulla, ?, ↕

*Ambiente per la gestione dell'analisi della paratia*

La finestra di cui alla figura precedente è sempre relativa alla fase di analisi (o fase costruttiva) corrente.

Le considerazioni principali da fare in merito alla procedura di analisi sono:

- E' possibile analizzare più fasi costruttive, e per ogni fase costruttiva è possibile analizzare più combinazioni di carico (Per aggiungere una nuova combinazione è sufficiente cliccare sul pulsante Nuova combinazione; per eliminare una combinazione, dopo aver selezionato la combinazione, cliccare sul pulsante Elimina; per tornare alle combinazioni di default cliccare su Rigenera combinazione);
- E' possibile associare ad ogni combinazione di carico le tipologie di verifiche da eseguire: verifiche agli stati limite ultimi (SLU) o verifiche agli stati limite di esercizio (SLE), di tipo GEO (geotecnico) oppure STR (strutturale) ed ancora UPL, HYD (idraulico) - ved. Combinazioni verifiche paratie NTC;
- E' possibile gestire, in linea con quanto prescritto dalla NTC i fattori parziali amplificativi per i carichi, i coefficienti parziali riduttivi per i parametri geotecnici e per le resistenze.
- I coefficienti sismici  $k_h$  e  $k_v$  da associare alle combinazioni sismiche possono essere calcolati automaticamente o inseriti manualmente.  
Il software consente di automatizzare il calcolo dei parametri sismici, secondo le NTC, attraverso la seguente finestra di dialogo, avviata per mezzo del pulsante :

### Calcolo coefficienti sismici



Il calcolo dei parametri sismici sul sito di riferimento può essere effettuato utilizzando il software GEOSTRU PS, connettendosi all'indirizzo [www.geostru.com/geoapp](http://www.geostru.com/geoapp)  
Per la ricerca automatica della zona digitare l'indirizzo nel seguente formato: Via..., Città, Provincia, Nazione

Dati Generali

**Località**

Indirizzo  
savigliano

Lat. Long.

**Dati opera**

Tipo opera

Classe d'uso

V. Nominale  V. Rif.

Parametri sismici su sito di riferimento

SL	TR [Anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
SLO	30.00	0.28	2.50	0.19
SLD	50.00	0.35	2.56	0.21
SLV	475.00	0.75	2.67	0.28
SLC	975.00	0.91	2.70	0.30

Zona sismica

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera

Altezza paratia (complessiva)  [m]

Us [Spost. ammissibile]  [m]

Coefficiente deformabilità Alfa=0

SL	amax [m/s <sup>2</sup> ]	$\beta$	k <sub>hk</sub> [-]	k <sub>vk</sub> [-]
SLO	0.42	0.6	0.0257	0.0128
SLD	0.525	0.6	0.0321	0.0161
SLV	1.125	0.6	0.0688	0.0344
SLC	1.365	0.6	0.0835	0.0418

Stato limite di riferimento

Calcolo parametri sismici [GeoStru PS...]
Importa da Geostru PS
Calcola
Ok
Annulla

#### Calcolo coefficienti sismici

Cliccando sul pulsante "Calcolo parametri sismici [GeoStru PS...]" l'utente ha la possibilità di collegarsi direttamente al software on line GeoStru PS (<http://geoapp.geostru.eu/>) e calcolare i parametri sismici del modello secondo le nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018), inserendo tutti i dati previsti dalla stessa norma (Tipo opera, Classe d'uso, Tr, ag ecc.) direttamente sul web.

E' altresì possibile importare direttamente report generati dal software on line cliccando sul pulsante Importa da GeoStru PS.

Una volta calcolati ed importati i parametri sismici su sito di riferimento, cliccando sul pulsante Calcola verranno visualizzati i coefficienti sismici orizzontali e verticali nella tabella in basso a destra della finestra. Tali parametri, una volta scelto lo stato limite di riferimento, verranno applicati alla combinazione in esame cliccando su Ok.

- Per eseguire l'analisi della paratia (tutte le fasi e tutte le combinazioni) è necessario eseguire un click sul pulsante Calcola della finestra Analisi.

N.B. I coefficienti di combinazione e la sintesi dei risultati riportati nella finestra di dialogo Analisi sono relativi alla combinazione che l'utente seleziona nel riquadro indicato in rosso (figura Ambiente per la gestione dell'analisi della paratia).

 *Al fine di considerare in fase di analisi i carichi inseriti, i sistemi di ancoraggio o di supporto è necessario che il fattore di combinazione A sia diverso da 0!*

#### Sintesi risultati

Per ogni fase costruttiva e per ogni combinazione è possibile visionare una sintesi dei risultati, in particolare saranno riportati i seguenti valori:

Profondità di infissione;

Pressione massima del terreno;

Momento massimo;

Taglio massimo;

Spostamento massimo orizzontale H in base al quale l'utente stabilirà se il valore è ammissibile per la paratia in esame (risultato ottenuto se è stata eseguita un'analisi di tipo F.E.M.);

Spostamento massimo verticale V (risultato ottenuto se è stata eseguita un'analisi di tipo F.E.M.);

Numero di iterazioni eseguite (risultato ottenuto se è stata eseguita un'analisi di tipo F.E.M.);

Carico limite verticale con Fattore di sicurezza FS (non viene determinato per le sezioni generiche di input A, E, I, G).

#### Risultati tiranti e puntoni

In presenza di tiranti e/o puntoni verranno visualizzati anche i risultati relativi a:

##### Tiranti

Denominazione assegnata al tirante in fase di input;

Q: carico limite, espresso in kN;

R: reazione del tirante, espressa in kN;

FS: fattore di sicurezza calcolato come:

$$FS=Q/R$$

Verifica soddisfatta per  $FS > 1$ .

N.B. -Il programma calcola la resistenza del tirante considerando la parte ancorata (lunghezza del bulbo), mentre il valore della reazione viene determinato in funzione della lunghezza della parte libera.

##### Puntoni

Denominazione assegnata al supporto in fase di input;

Reazione del puntone, espressa in kN;

Fattore di sicurezza calcolato come:

$$FS = (\text{Area} * F_{yd}) / \text{Reazione del puntone}$$

Verifica soddisfatta per  $FS > 1$ .

I risultati sono relativi ad un metro lineare di paratia.

Risultati aggiuntivi

Cliccando sul pulsante evidenziato in giallo nella figura seguente, sono disponibili dei risultati aggiuntivi:

The screenshot shows the 'Analisi' window with the following sections:

- Fasi costruttive:** Fase costruttiva 1 (A1+M1+R1, A2+M2+R1).
- Sintesi risultati:**
  - Profondità di infissione: 6.00 [m]
  - Pressione massima terreno: 44.20 [kPa]
  - Momento massimo: 70.76 [kNm/m]
  - Taglio massimo: 39.52 [kN/m]
  - Spostamento massimo H: 2.35 [cm]
  - Spostamento massimo V: 2.54 [cm]
  - Numero di iterazioni eseguite: 1<1
  - Carico limite verticale: kN, Fs Rd=-- Fv=-- --
  - Fattore sicurezza sollevamento: --
- Fase costruttiva...1:**
  - Stati limite: S.L.U.
  - Nome combinazione: A1+M1+R1
  - Coefficiente sismici: Kh=0, Kv=0
  - Tipo:  GEO  STR  UPL, HYD
- Table 1: Azioni**

Nr.	Azioni	Fattori combinazioni [A]
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1.3
3	Spinta falda	1.5
4	Spinta sismica x	1.5
5	Spinta sismica y	1
- Table 2: Parametri**

Nr.	Parametro	Coeff. Parziali [M]
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1
- Table 3: Capacità portante**

Nr	Capacità portante	Coefficienti resistenze [R]
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1
- Table 4: Sintesi risultati (highlighted in red)**

z [m]	Pressione terreno [kPa]	Pressione neutra [kPa]	Pressione linee carico [kPa]	Pressione strisce carico [kPa]	Pressione Sismica [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo Reazione [kN/m <sup>2</sup> ]
1.60	9.38	--	--	--	--	6.16	-1.62	-6.34	1.59	--
1.87	10.94	--	--	--	--	7.19	-3.31	-9.31	1.47	--
- Table 5: Dettagli risultati (highlighted in red)**

ID	Descrizione	Profondità media bulbo [m]	Coefficiente spinta	Pressione media bulbo [kPa]	Carico limite terreno [kN]	Resistenza aderenza [kN]	Carico limite [kN]	Meccanismo rottura

Finestra risultati aggiuntivi

Nella prima tabella vengono riportati i valori della pressione del terreno, della pressione neutra, della pressione dovuta alle linee di carico, della pressione sismica (ved. Diagrammi delle pressioni), delle sollecitazioni (ved. Diagrammi delle sollecitazioni) e del modulo di reazione per tutti gli

elementi in cui viene discretizzata la paratia. Se il modulo di reazione non viene assegnato dall'utente, sarà determinato in automatico dal software. La seconda tabella si riferisce alla verifica dei tiranti e riporta la profondità media del bulbo, il coefficiente di spinta, la pressione media del bulbo, il carico limite del terreno, la resistenza ad aderenza, il carico limite del tirante ed il meccanismo di rottura.

### 1.7.2 Risultati analisi strutturale

E' possibile avere informazioni immediate sui risultati del calcolo strutturale delle sezioni della paratia, in termini di armatura, deformazioni estreme, risultato verifica ecc.

L'ambiente per la gestione dei risultati dell'analisi strutturale è il seguente:

Z [m]	Nome sezione	N [kN]	M [kNm]	T [kN]	Nr. Barre Diametro	Nu [kN]	Mu [kNm]	Cond. Verifica Flessione	Ver. Flessione	Def.Max Clz	Def.Max Fe	Asse Neutro [cm]	Passo Staffe [cm]	Res. Taglio [kN]	Sicurezza taglio OK <= 1	Cond. Verifica Taglio	Ang. ind. Puntori [°]	Dominio
0.4	palo 400	19.64	149.10	-2.98	150 16	19.63	152.54	1.02	Verificata	3.50E-03	-6.18E-03	6.99	19.10 10	Calcestruzzo=243.40 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
0.8	palo 400	144.91	147.86	-8.23	140 16	144.92	153.56	1.04	Verificata	3.50E-03	-5.41E-03	5.86	19.10 10	Calcestruzzo=260.35 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
1.2	palo 400	147.18	144.46	-13.97	130 16	147.18	146.00	1.01	Verificata	3.50E-03	-5.43E-03	5.89	19.10 10	Calcestruzzo=260.66 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
1.7	palo 400	148.96	138.69	-20.22	130 16	148.96	146.09	1.05	Verificata	3.50E-03	-5.42E-03	5.87	19.10 10	Calcestruzzo=260.90 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
2.1	palo 400	151.73	130.33	-26.96	120 16	151.72	137.56	1.06	Verificata	3.50E-03	-5.69E-03	6.29	19.10 10	Calcestruzzo=261.27 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
2.5	palo 400	154.50	119.19	-34.05	100 16	154.50	119.62	1.00	Verificata	3.50E-03	-6.11E-03	6.89	19.10 10	Calcestruzzo=261.65 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
2.9	palo 400	157.78	105.11	-41.99	80 16	157.78	112.38	1.07	Verificata	3.50E-03	-6.23E-03	7.08	19.10 10	Calcestruzzo=262.09 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
3.3	palo 400	161.05	101.72	-49.97	80 16	161.04	104.68	1.03	Verificata	3.50E-03	-6.19E-03	7.00	19.10 10	Calcestruzzo=262.53 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
3.7	palo 400	164.32	95.12	-58.04	80 16	164.32	104.88	1.10	Verificata	3.50E-03	-6.17E-03	6.97	19.10 10	Calcestruzzo=262.98 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
4.1	palo 400	167.60	85.20	-66.23	80 16	167.60	105.08	1.23	Verificata	3.50E-03	-6.14E-03	6.93	19.10 10	Calcestruzzo=263.42 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
4.5	palo 400	170.37	71.83	-74.46	80 16	170.37	105.25	1.47	Verificata	3.50E-03	-6.12E-03	6.90	19.10 10	Calcestruzzo=263.79 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
5.0	palo 400	173.64	54.90	-82.65	80 16	173.64	105.44	1.92	Verificata	3.50E-03	-6.09E-03	6.86	19.10 10	Calcestruzzo=264.24 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
5.4	palo 400	177.92	34.25	-90.84	80 16	177.92	105.70	3.09	Verificata	3.50E-03	-6.05E-03	6.81	19.10 10	Calcestruzzo=264.81 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
5.8	palo 400	181.69	9.72	-99.03	80 16	181.68	105.92	10.89	Verificata	3.50E-03	-6.02E-03	6.76	19.10 10	Calcestruzzo=265.33 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
6.2	palo 400	185.96	-17.08	-107.22	80 16	185.96	-106.18	6.22	Verificata	3.50E-03	-5.98E-03	-6.71	19.10 10	Calcestruzzo=265.90 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
6.4	palo 400	244.52	-28.36	-115.41	80 16	244.52	-109.65	3.87	Verificata	3.50E-03	-5.52E-03	-6.02	19.10 10	Calcestruzzo=273.83 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
6.6	palo 400	245.08	-36.78	-123.60	80 16	245.07	-109.68	2.98	Verificata	3.50E-03	-5.51E-03	-6.02	19.10 10	Calcestruzzo=273.90 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
6.7	palo 400	245.64	-42.67	-131.79	80 16	245.64	-109.72	2.57	Verificata	3.50E-03	-5.51E-03	-6.01	19.10 10	Calcestruzzo=273.98 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
6.9	palo 400	246.19	-46.35	-139.98	80 16	246.19	-109.75	2.37	Verificata	3.50E-03	-5.50E-03	-6.00	19.10 10	Calcestruzzo=274.05 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
7.1	palo 400	246.75	-48.13	-148.17	80 16	246.75	-109.78	2.28	Verificata	3.50E-03	-5.50E-03	-6.00	19.10 10	Calcestruzzo=274.13 Staffe=219.25	0.99	Verificata	21.80	
7.3	palo 400	247.31	-48.29	-156.36	80 16	247.32	-109.81	2.27	Verificata	3.50E-03	-5.49E-03	-5.99	19.10 10	Calcestruzzo=274.20 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
7.5	palo 400	247.87	-47.10	-164.55	80 16	247.87	-109.85	2.33	Verificata	3.50E-03	-5.49E-03	-5.98	19.10 10	Calcestruzzo=274.28 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
7.6	palo 400	248.42	-44.82	-172.74	80 16	248.43	-109.88	2.45	Verificata	3.50E-03	-5.49E-03	-5.98	19.10 10	Calcestruzzo=274.35 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
7.8	palo 400	248.98	-41.66	-180.93	80 16	248.98	-109.91	2.64	Verificata	3.50E-03	-5.48E-03	-5.97	19.10 10	Calcestruzzo=274.43 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
8.0	palo 400	249.54	-37.84	-189.12	80 16	249.54	-109.94	2.91	Verificata	3.50E-03	-5.48E-03	-5.96	19.10 10	Calcestruzzo=274.50 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
8.2	palo 400	250.10	-33.55	-197.31	80 16	250.11	-109.98	3.28	Verificata	3.50E-03	-5.47E-03	-5.96	19.10 10	Calcestruzzo=274.58 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
8.4	palo 400	250.65	-28.99	-205.50	80 16	250.65	-110.01	3.79	Verificata	3.50E-03	-5.47E-03	-5.95	19.10 10	Calcestruzzo=274.66 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
8.6	palo 400	251.21	-24.31	-213.69	80 16	251.21	-110.04	4.53	Verificata	3.50E-03	-5.46E-03	-5.94	19.10 10	Calcestruzzo=274.73 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
8.7	palo 400	251.77	-19.68	-221.88	80 16	251.76	-110.07	5.59	Verificata	3.50E-03	-5.46E-03	-5.94	19.10 10	Calcestruzzo=274.81 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
8.9	palo 400	252.33	-15.23	-230.07	80 16	252.32	-110.11	7.23	Verificata	3.50E-03	-5.46E-03	-5.93	19.10 10	Calcestruzzo=274.88 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
9.1	palo 400	252.88	-11.11	-238.26	80 16	252.88	-110.14	9.91	Verificata	3.50E-03	-5.45E-03	-5.92	19.10 10	Calcestruzzo=274.96 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
9.3	palo 400	253.44	-7.46	-246.45	80 16	253.45	-110.17	14.77	Verificata	3.50E-03	-5.45E-03	-5.92	19.10 10	Calcestruzzo=275.03 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
9.5	palo 400	254.00	-4.40	-254.64	80 16	254.01	-110.20	25.07	Verificata	3.50E-03	-5.44E-03	-5.91	19.10 10	Calcestruzzo=275.11 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
9.6	palo 400	254.56	-2.05	-262.83	80 16	254.55	-110.24	53.80	Verificata	3.50E-03	-5.44E-03	-5.90	19.10 10	Calcestruzzo=275.18 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	
9.8	palo 400	255.11	-0.54	-271.02	80 16	255.11	-110.27	203.05	Verificata	3.50E-03	-5.43E-03	-5.90	19.10 10	Calcestruzzo=275.26 Staffe=219.25	1.00	Verificata	21.80	

#### Risultati calcolo strutturale

I risultati che è possibile consultare sono quelli classici di un'analisi strutturale (Sforzi allo stato limite ultimo, deformazioni massime, tensioni massime, posizione asse neutro, esito verifiche ecc.). I colori blu e rosso che evidenziano alcuni risultati della verifica non hanno alcun significato ai fini della verifica stessa, indicano soltanto quali sono le sezioni più caricate con armatura a flessione e a taglio.

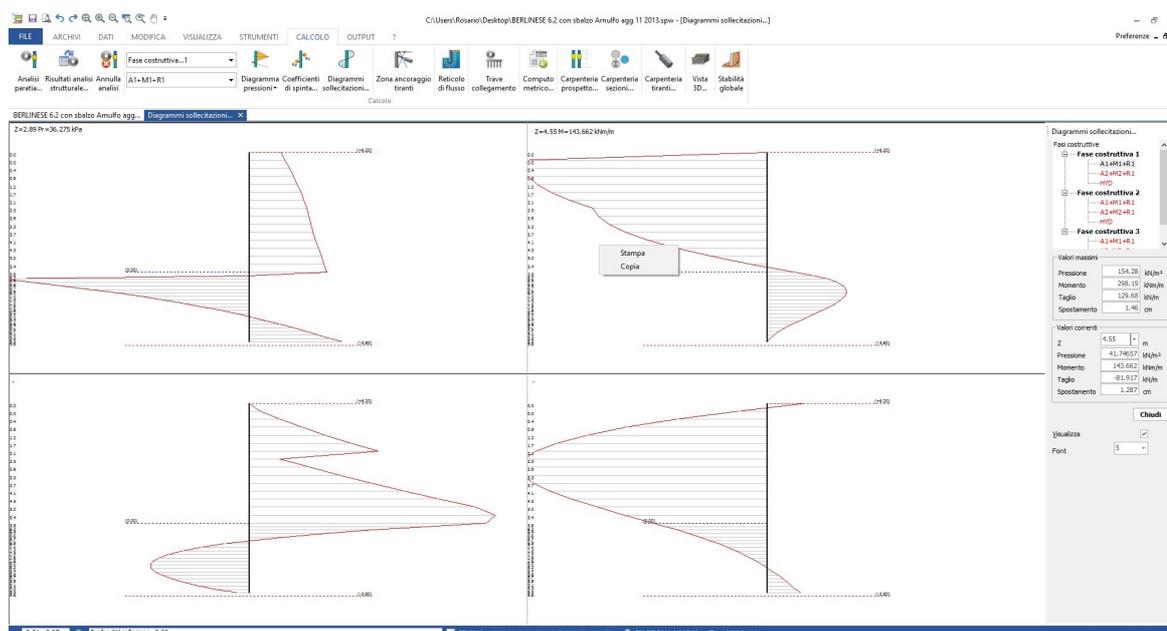
N.B. Questi vengono restituiti per le combinazioni che sono state associate alla tipologia STR nella finestra di Analisi.

### 1.7.3 Diagrammi sollecitazioni

E' possibile visualizzare i diagrammi risultanti dall'analisi delle sollecitazioni, fase per fase costruttiva e combinazione per combinazione di carichi.

In particolare si possono visualizzare i diagrammi delle pressioni, del momento, del taglio e dello spostamento (quest'ultimo solo in caso di analisi FEM).

Si può scegliere di visualizzare i diagrammi per qualunque fase di analisi e per qualunque combinazione di carico.



*Visualizzazione dei diagrammi delle sollecitazioni*

N.B. Cliccando con il tasto destro del mouse sui diagrammi è possibile stampare o copiare l'immagine visualizzata.

### 1.7.4 Diagrammi delle pressioni

E' possibile visualizzare i diagrammi delle pressioni generate nel calcolo. Per visualizzare i diagrammi è necessario eseguire un click su Diagramma pressioni dal menu Calcolo:

Pressioni terreno: Permette la visualizzazione del diagramma delle pressioni del terreno sulla paratia;

Pressioni sismiche: Permette la visualizzazione del diagramma dell'incremento di pressioni sismiche;

Pressioni neutre: Nel caso in cui sia presente una falda, permette la visualizzazione del diagramma delle pressioni neutre, viene rappresentato

soltanto il diagramma che agisce sulla parte di scavo e non di quella interrta;

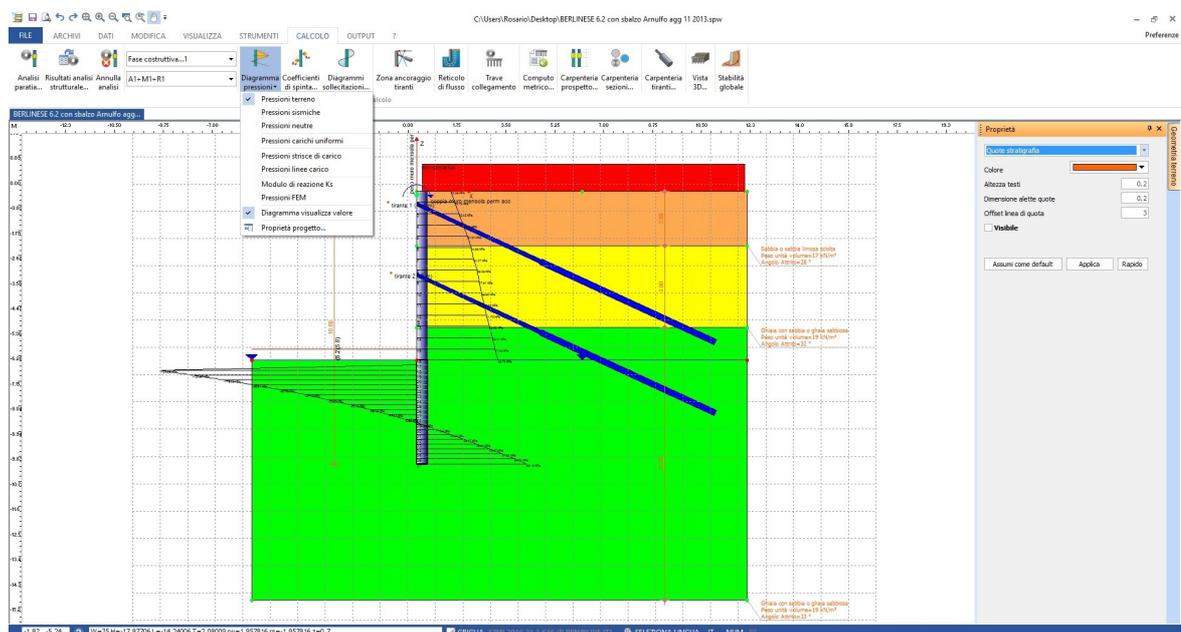
Pressioni carichi distribuiti: Permette di gestire la visualizzazione del diagramma delle pressioni generate dalla presenza di sovraccarichi;

Pressioni linee carico: Permette di gestire la visualizzazione del diagramma delle pressioni generate dalla presenza di linee di carico;

Pressioni FEM: Permette la visualizzazione del diagramma delle pressioni nell'ambito dell'utilizzo del metodo FEM;

Pressioni visualizza valore: Permette la visualizzazione, per tutte le categorie di diagramma viste in precedenza, del valore delle pressioni al variare della profondità;

Proprietà progetto: Permette di definire le impostazioni generali legati alla grafica del progetto: Altezza dei testi, dimensione alette delle quote, offset linea di quota.



*Tracciamento del diagramma delle pressioni*

N.B. E' possibile stampare i diagrammi delle pressioni cliccando su Anteprima di stampa dal menù principale del programma.

### 1.7.5 Zona ancoraggio tiranti

Permette di visualizzare la zona stabile di terreno all'interno della quale è consigliato (ed ovviamente necessario) ancorare eventuali tiranti.

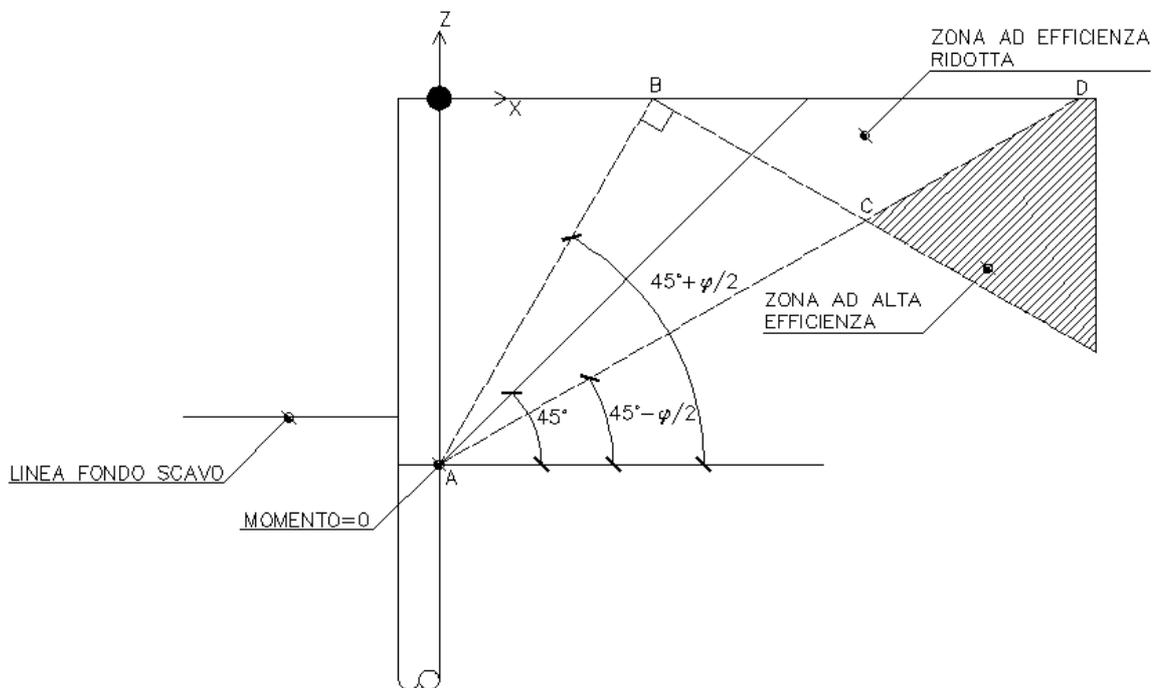
Il tirante di ancoraggio, visto come elemento che va ad integrare le risorse di resistenza della paratia, ha senso solo se ancorato in zone di terreno che sono stabili. E' necessario quindi valutare con cura la zona in cui è conveniente ancorare il tirante.

Il principio secondo il quale si valuta la zona di ancoraggio è: "determinare quella zona di terreno in cui la zona attiva non si interseca con la zona passiva (Bowles Fondazioni progetto e analisi pag. 693)".

Il procedimento utilizzato nel software è il seguente:

- Determinare lungo la paratia, in prossimità (o al di sotto) della linea di fondo scavo, la posizione del punto in cui si annulla il momento flettente;
- A partire dal punto di nullo del momento tracciare due linee inclinate rispettivamente di  $45^\circ - \varphi/2$  e  $45^\circ + \varphi/2$  (zone di Rankine);
- A questo punto posizionare l' ancoraggio in modo tale che la sua estremità si trovi nella zona tratteggiata e al di sotto della linea AD della seguente figura, per ottenere la massima efficienza. Se si dispone l' estremità di ancoraggio (punto fisso) nella zona BCD si limita il cuneo di ancoraggio alla linea BC ma non si può ottenere la massima efficienza dall' ancoraggio.

N.B. Per maggiori chiarimenti osservare la seguente figura:



*Determinazione della zona di ancoraggio*

### 1.7.6 Programma servizio trave continua

Il software mette a disposizione un programma di servizio per l'analisi delle sollecitazioni di una trave continua schematizzante o la trave di testata o la trave di ancoraggio. L'ambiente per l'utilizzo del programma di servizio è il seguente:

Trave continua

Tipo di calcolo: Progetto

**Dati paratia [m]**

File di pali: Singola

Diametro pali: 0.800

Interasse pali x: 1.000

Lunghezza: 10.000

Interasse pali y: 0.000

Sfalsamento file: 0.000

**Sezione trave**

Materiale

Modulo elasticità: 206000000 [kN/m<sup>2</sup>]

Coefficiente Poisson: 0.400 [-]

Geometria

Area: 0.640 [m<sup>2</sup>]

Momento di inerzia: 0.034 [m<sup>4</sup>]

**Modello di calcolo**

Forza di calcolo: 15 [kN]

n°	x [m]	F [kN]	Appoggio	ks [kN/m]
1	0.000	0.000	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000
2	0.500	15.000	<input type="checkbox"/>	0.000
3	1.000	0.000	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000

Genera modello

**Output**

Mmax: 2.5613 [kN m]

Mmin: -2.3774 [kN m]

Tmax: 9.8774 [kN]

Tmin: -9.8774 [kN]

Wmax: 0.00000234 [cm]

Wmin: 0.00000000 [cm]

**Output x**

x: 0.1028807 [m]

M: 0.5270 [kN m]

T: 5.1226 [kN]

w: 0.00000078 [cm]

— Deformata  
— Momento  
— Taglio

Calcola Chiudi ?

Programma di servizio per il calcolo di travi continue

I dati principali per un corretto funzionamento del programma sono:

- Geometria della palificata, in termini di diametro dei pali, interasse tra i pali ecc.;
- Caratteristiche meccaniche (E e  $\nu$ ) e geometriche (A e J) della trave da calcolare;
- E' possibile inserire vincoli esterni alla trave o forze esterne;
- L'output è fornito in termini di momento flettente, sforzo normale e taglio (per ogni ascissa);
- Sono inoltre calcolati i valori massimi e minimi di *Momento flettente*, *Taglio*, *Spostamento*.

N.B. -Dopo aver assegnato tutti i dati richiesti occorre cliccare sul pulsante Genera modello, il modello della trave continua verrà visualizzato sull'area di lavoro e dopo aver digitato il pulsante Calcola il programma fornisce in output le sollecitazioni.

 Il programma esegue la verifica della sezione della trave di collegamento per via iterativa, aggiornando di volta in volta il

numero dei ferri longitudinali finchè le condizioni di verifica (sollecitazioni, minimi di armatura) risultano soddisfatte.

L'armatura longitudinale di calcolo è quella riportata nella relazione di output della trave di collegamento (vedi immagine) e può differire da quella di carpenteria che invece viene visualizzata a video.

Il numero dei ferri longitudinali della trave di collegamento (armatura di carpenteria) dipende dall'armatura di calcolo ma anche dalle dimensioni geometriche della sezione della trave (si può verificare che l'armatura di carpenteria sia maggiore di quella di calcolo ma non il contrario).

### 1.7.7 Computo metrico

Permette l'apertura della finestra relativa alla stima delle quantità dei materiali. Il computo dei materiali viene effettuato sulla base della lunghezza inserita. Per la personalizzazione dei prezzi in base al prezzario regionale si può personalizzare il file: elencoprezzi.csv presente nella cartella di installazione del programma. Il file può essere aperto con Excel oppure con blocco note, non modificare la colonna codice geo.

Dopo aver inserito la lunghezza della paratia basta cliccare sul comando Computo metrico... Il computo metrico può essere personalizzato a cura dell'utente aggiungendo ulteriori voci di spesa direttamente nella griglia attraverso il comando aggiungi riga.

Nr	Codice	Codice Art.	Descrizione	Descrizione tagli	Unità misura	Quantità	Prezzo applicato	Importo
1	100	Trivellazione art.	Trivellazione palo. Nr.	---	m	250	52	13000
2	200	Fornitura CLS	Palo: CLS Nr. Pali=25	---	m³	31.41593	100	3142
3	300	Acciaio in barre	Palo: Cerchi irrigidimento Nr.	Cerchi irrigidimento:40 10	kg	61.98111	2	124
4	400	Tiranti perforazione	Tirante: Lunghezza totale Nr.	Diametro foratura: 0.15	m	48	34	1632
5	500	Armatura tiranti	Tirante: Acciaio Nr. Tiranti=4	---	Kg	157.1256	2	314
								<b>18212</b>

157.1256      Numero cifre:    Importo totale: 0      SALVA E CHIUDI

*Ambiente computo dei materiali***1.7.8 Stabilità globale**

Avvia la procedura di calcolo di stabilità globale del modello. La stabilità globale opera terreno è effettuata automaticamente dal programma per ogni fase e combinazione. Per ogni calcolo di stabilità è possibile, selezionare una serie di opzioni quali: *Tipo di calcolo stati limite o equilibrio limite, autore, forma superficie ecc.*

Dati generali	
Fase costruttiva	1 Fase costruttiva
Combinazione	A2+M2+R2
Profondità di infissione	3.8
Coefficiente sismico orizzontale	0.0835
Coefficiente sismico verticale	0.0418
Fattore sicurezza	1.1
Autore calcolo	Bishop
Forma superficie	Circolare
Tipo di analisi	Stati limite
Numero di strisce	10

Parametri terreno	
Angolo di resistenza a taglio	1
Coesione efficace	1
Resistenza non drenata	1
Peso unità di volume	1

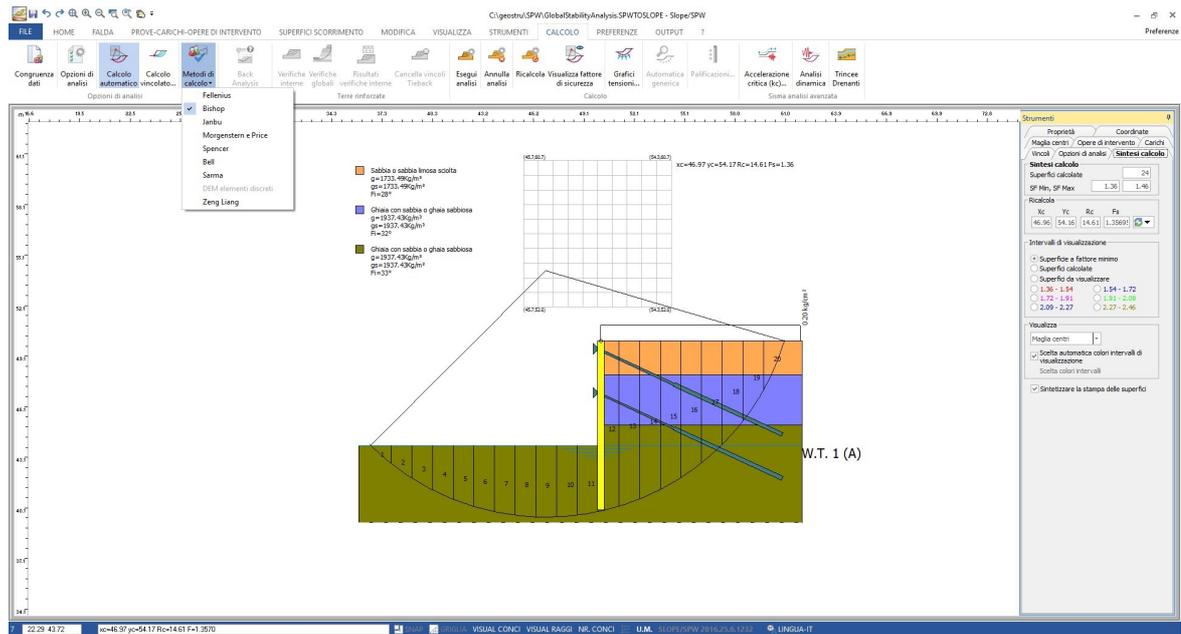
  

Slope file	
File	C:\geostru\SLOPE\Slope.exe

*Ambiente per la procedura di avvio dell'analisi di stabilità globale*

Cliccando sul pulsante Esegui verrà avviato il software Slope/SPW.

Dal menù Calcolo è possibile selezionare il metodo da utilizzare per l'analisi di stabilità globale ed avviare il calcolo attraverso il comando Esegui Analisi.



Nella scheda Sintesi di calcolo (posizionata a destra rispetto all'area di lavoro) viene riportato il valore minimo del fattore di sicurezza da confrontare con il grado di sicurezza ritenuto accettabile.

La stampa del report sulla stabilità globale può essere gestita dal menù Output - Crea Relazione...

N.B. Per maggiori informazioni sull'analisi di stabilità globale consultare l'Help in linea di Slope.

## 1.8 Output

### 1.8.1 Esportazione DXF

Il software permette l'esportazione dei risultati in formato dxf (si tratta della generazione di un elaborato grafico). Per esportare in formato dxf basta eseguire un click sul pulsante Esporta Dxf... dalla sezione Output. Si aprirà una finestra che permetterà di selezionare il percorso sul quale salvare il file Dxf. Nel file d'esportazione si possono manipolare le armature e il modello geometrico del calcolo.



Pulsante Esporta Dxf

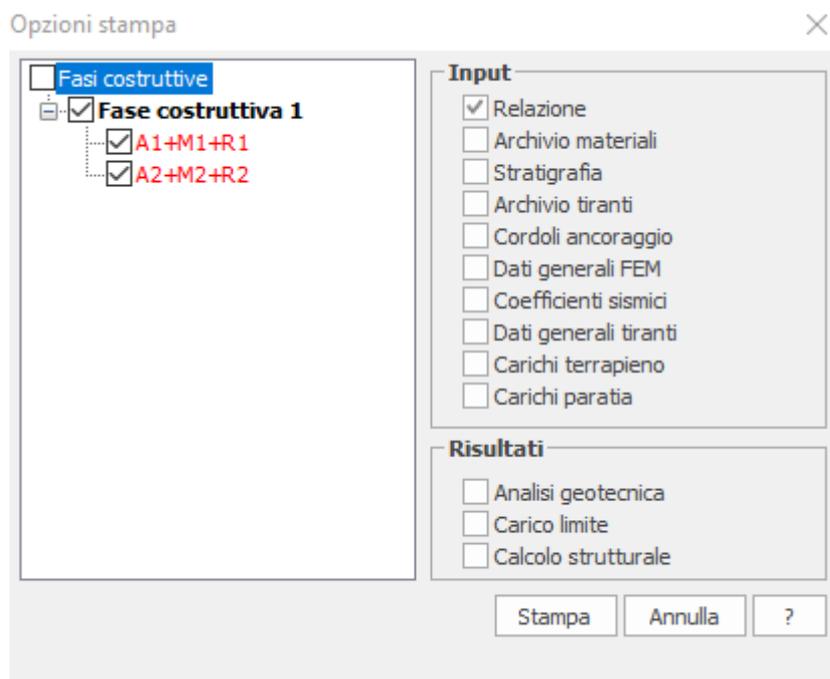
## 1.8.2 Relazione..

Il software permette l'esportazione dei risultati in formato .doc (si tratta della generazione della relazione di calcolo). Per esportare in formato .doc basta eseguire un click sul pulsante Relazione... dalla sezione Output.



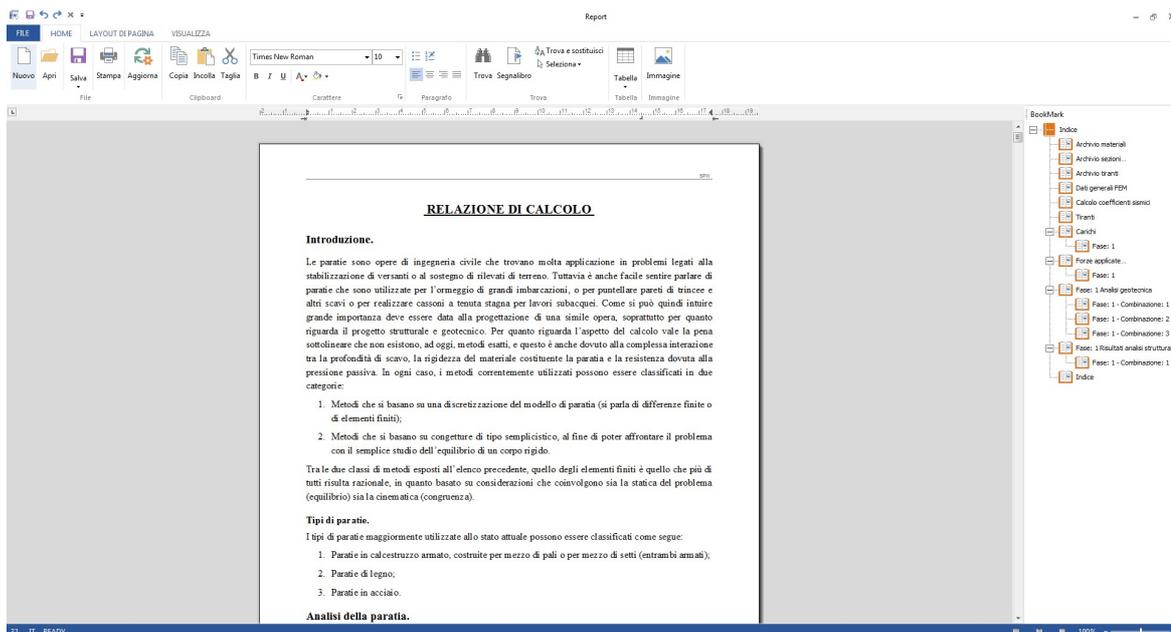
*Pulsante Esporta doc*

Si aprirà una finestra che permetterà di selezionare le parti della relazione da stampare:



*Ambiente per l'esportazione della relazione in formato .doc*

Come è facile osservare la selezione delle parti da stampare può essere fatta sia con riferimento alle fasi costruttive, sia con riferimento alle combinazioni, sia con riferimento ai dati ed ai risultati. Ne risulta la stampa di un documento efficiente, snello ma allo stesso tempo significativo rispetto all'oggetto della relazione.



*Editor relazione di calcolo*

### 1.8.2.1 Esempio relazione di calcolo

## RELAZIONE DI CALCOLO

### Introduzione.

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

1. Metodi che si basano su una discretizzazione del modello di paratia (si parla di differenze finite o di elementi finiti);

2. Metodi che si basano su congetture di tipo semplicistico, al fine di poter affrontare il problema con il semplice studio dell'equilibrio di un corpo rigido.

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

## Tipi di paratie

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

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

## Analisi della paratia.

### Alcune considerazioni preliminari.

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

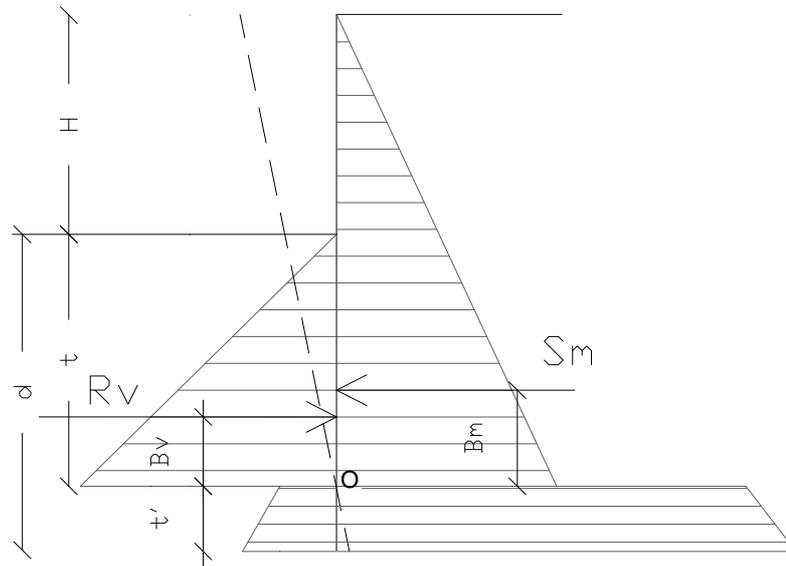


Figura 1: Schema delle pressioni agenti sulla paratia

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

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

Calcolo delle spinte.

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

Calcolo della spinta attiva.

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

*Metodo di Coulomb.*

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

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

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:

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

$\gamma_t$  = Peso unità di volume del terreno;

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

f = Angolo di resistenza al taglio del terreno;

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

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

*Metodo di Caquot.*

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

$$K_a = \rho \cdot K_a^{Coulomb}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

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

$\rho$  è un coefficiente moltiplicativo calcolato con la seguente formula:

$$\rho = \left[ 1 - 0.9 \cdot \lambda^2 - 0.1 \cdot \lambda \right] \cdot \left[ 1 - 0.3 \cdot \lambda^3 \right]^n$$

Dove i simboli sono calcolati con le seguenti formule:

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

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

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

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

e l'inclinazione del profilo di monte misurata rispetto all'orizzontale;

$j$  è l'angolo di attrito interno del terreno spingente;  
 e l'angolo di attrito all'interfaccia opera-terreno;

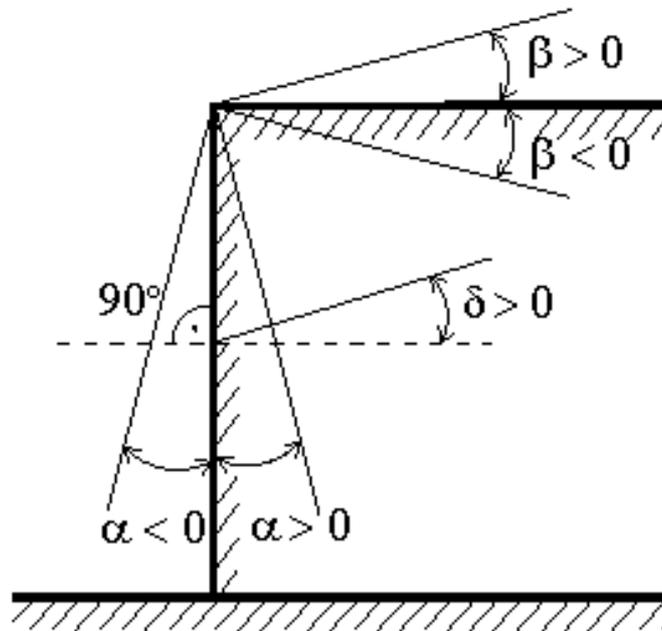


Figura: Convenzione utilizzata per il calcolo del coefficiente di pressione secondo la teoria di Caquot

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:

$\beta$  = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede

$\varepsilon$  = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale positiva se antioraria

$K_a$  = Coefficiente di pressione attiva calcolato al paragrafo precedente

### Striscia di carico su pc inclinato

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

### Striscia di carico ortogonale al piano di azione

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

$$\sigma_q(z) = \frac{Q}{2\pi \times (2\Delta\theta + A)}$$

$$\tau_{xz} = -\frac{Q}{2\pi B}$$

Con:

$$Dq = q_1 - q_2;$$

$$A = \text{sen}(2q_1) - \text{sen}(2q_2)$$

$$B = \text{cos}(2q_1) - \text{cos}(2q_2)$$

$$q_1 = \text{arctg}(z/x_1)$$

$$q_2 = \text{arctg}(z/x_2)$$

Per integrazione si otterrà la risultante ed il relativo braccio.

### Striscia di carico tangenziale al p.c.

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

$$T = \text{Intensità del carico [F/L}^2\text{]}$$

$$D = 4 \cdot \log[\text{sen}q_1/\text{sen}q_2]$$

$$E = \text{sen}^2q_1 - \text{sen}^2q_2$$

### Linee di carico sul terrapieno

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

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

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

Dove i simboli hanno il seguente significato:

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

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

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

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

Spinta in presenza di falda acquifera

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

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

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

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

Avendo indicato con  $H$  l'altezza totale di spinta e con  $g_w$  il peso dell'unità di volume dell'acqua. La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo  $g_t$  con  $g't$  ( $g't = g_{\text{saturo}} - g_w$ ), peso specifico del materiale immerso in acqua. In condizioni sismiche la sovrappinta esercitata dall'acqua viene valutata nel seguente modo:

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

Effetto dovuto alla presenza di coesione

La coesione induce delle pressioni negative costanti pari a:

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

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:

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

Dove i simboli hanno il seguente significato

$Q$  = Carico agente sul terrapieno eventualmente presente.

$\gamma_t$  = Peso unità di volume del terreno

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

$e$  = 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.

Sisma

### *Spinta attiva in condizioni sismiche*

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

Dove i simboli hanno il seguente significato:

$H$  = altezza di scavo

$K_v$  = coefficiente sismico verticale

$g$  = 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  $\beta$  della formula di Mononobe & Okabe così come di seguito:

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

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

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

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

#### Resistenza passiva

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

#### *Metodo di Coulomb*

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:

Avendo indicato al solito con  $H$  l'altezza di spinta,  $g$  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:  $d < b - f - e$  (Muller-Breslau).

### Metodo di Caquot

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

Coefficient of passive earth pressure $K_p$ for = -												
[°]	[°]	$K_p$ when °										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
	10	1,17	1,41	1,53								
	15	1,30	1,70	1,92	2,08							
	20	1,71	2,08	2,42	2,71	2,92						
	25	2,14	2,81	2,98	3,88	4,22	4,43					
-30	30	2,78	3,42	4,18	5,01	5,98	8,94	7,40				
	35	3,75	4,73	5,87	7,21	8,78	10,80	12,50	13,80			
	40	5,31	8,87	8,77	11,00	13,70	17,20	24,80	25,40	28,40		
	45	8,05	10,70	14,20	18,40	23,80	90,60	38,90	49,10	60,70	69,10	
	10	1,36	1,58	1,70								
	15	1,68	1,97	2,20	2,38							
	20	2,13	2,52	2,92	3,22	3,51						

	25	2,7 8	3,3 4	3,99	4,8 0	5,29	5,5 7				
-20	30	3,7 8	4,8 1	8,58	8,8 1	7,84	9,1 2	9,7 7			
	35	5,3 8	8,8 9	8,28	10, 10	12,20	14, 80	17, 40	19,00		
	40	8,0 7	10, 40	12,0 0	18, 50	20,00	25, 50	38, 50	37,80	42,20	
	45	13, 2	17, 50	22,9 0	29, 80	38,30	48, 90	82, 30	78,80	97,30	111 ,04
	10	1,5 2	1,7 2	1,83							
	15	1,9 5	2,2 3	2,57	2,8 8						
	20	2,5 7	2,9 8	3,42	3,7 5	4,09					
	25	3,5 0	4,1 4	4,90	5,8 2	8,45	8,8 1				
-10	30	4,9 8	8,0 1	7,19	8,5 1	10,10	11, 70	12, 80			
	35	7,4 7	9,2 4	11,3 0	13, 80	18,70	20, 10	23, 70	26,00		
	40	12, 0	15, 40	19,4 0	24, 10	29,80	37, 10	53, 20	55,10	61,80	
	45	21, 2	27, 90	38,5 0	47, 20	80,80	77, 30	908 ,20	124,0 0	153,00	178 ,00
	10	1,8 4	1,8 1	1,93							
	15	2,1 9	2,4 6	2,73	2,9 1						
	20	3,0 1	3,4 4	3,91	4,4 2	4,66					
	25	4,2 8	5,0 2	5,81	8,7 2	7,71	8,1 6				
0	30	8,4 2	7,6 9	9,19	10, 80	12,70	14, 80	15, 90			
	35	10, 2	12, 60	15,3 0	18, 80	22,30	28, 90	31, 70	34,90		

	40	17,5	22,30	28,00	34,80	42,90	53,30	78,40	79,10	88,70		
	45	33,5	44,10	57,40	74,10	94,70	120,00	153,00	174,00	240,00		275,00
	10	1,73	1,87	1,98								
	15	2,40	2,65	2,93	3,12							
	20	3,45	3,90	4,40	4,96	5,23						
10	25	5,17	5,99	6,90	7,95	9,11	9,67					
	30	8,17	9,69	11,40	13,50	15,90	18,50	19,90				
	35	13,8	16,90	20,50	24,80	29,80	35,80	42,30	46,60			
	40	25,5	32,20	40,40	49,90	61,70	76,40	110,00	113,00	127,00		
	45	52,9	69,40	90,90	116,00	148,00	188,00	239,00	303,00	375,00	431,00	
	10	1,78	1,89	2,01								
	15	2,58	2,82	3,11	3,30							
	20	3,90	4,38	4,92	5,53	5,83						
20	25	6,18	7,12	8,17	9,39	10,70	11,40					
	30	10,4	12,30	14,40	16,90	20,00	23,20	25,00				
	35	18,7	22,80	27,60	33,30	40,00	48,00	56,80	62,50			
	40	37,2	46,90	58,60	72,50	89,30	111,00	158,00	164,00	185,00		
	45	84,0	110,00	143,00	184,00	234,00	297,00	378,00	478,00	592,00	680,00	

Tabella: Valutazione del coefficiente di pressione passiva con la teoria di Caquot

*Carico uniforme sul terrapieno*

La resistenza indotta da un carico uniformemente distribuito  $S_q$  vale:

$$S_q = k_p \cdot Q \cdot H \cdot \frac{\text{sen}\beta}{\text{sen}(\beta + \varepsilon)}$$

Con punto di applicazione pari a  $H/2$  ( essendo il diagramma delle tensioni orizzontali costante per tutta l'altezza ). Nella precedente formula  $k_p$  è il coefficiente di spinta passiva valutato al paragrafo precedente.

### *Coesione*

La coesione determina un incremento di resistenza pari a:

$$P_c = 2c \times \sqrt{k_p}$$

Tale incremento va a sommarsi direttamente al diagramma principale di spinta.

### 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:

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:

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

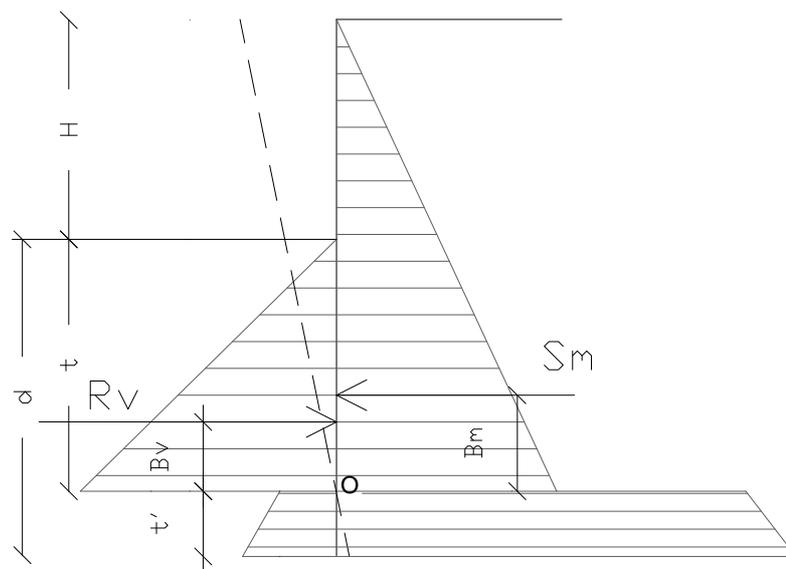


Figura 2: Schema di riferimento per il calcolo dell'equilibrio della paratia

#### 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  $F$ . È 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  $R_v$ .

Noto  $t$ , 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.

Coefficiente di sicurezza  $F$  sulle resistenze

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

### Metodo degli elementi finiti (FEM)

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

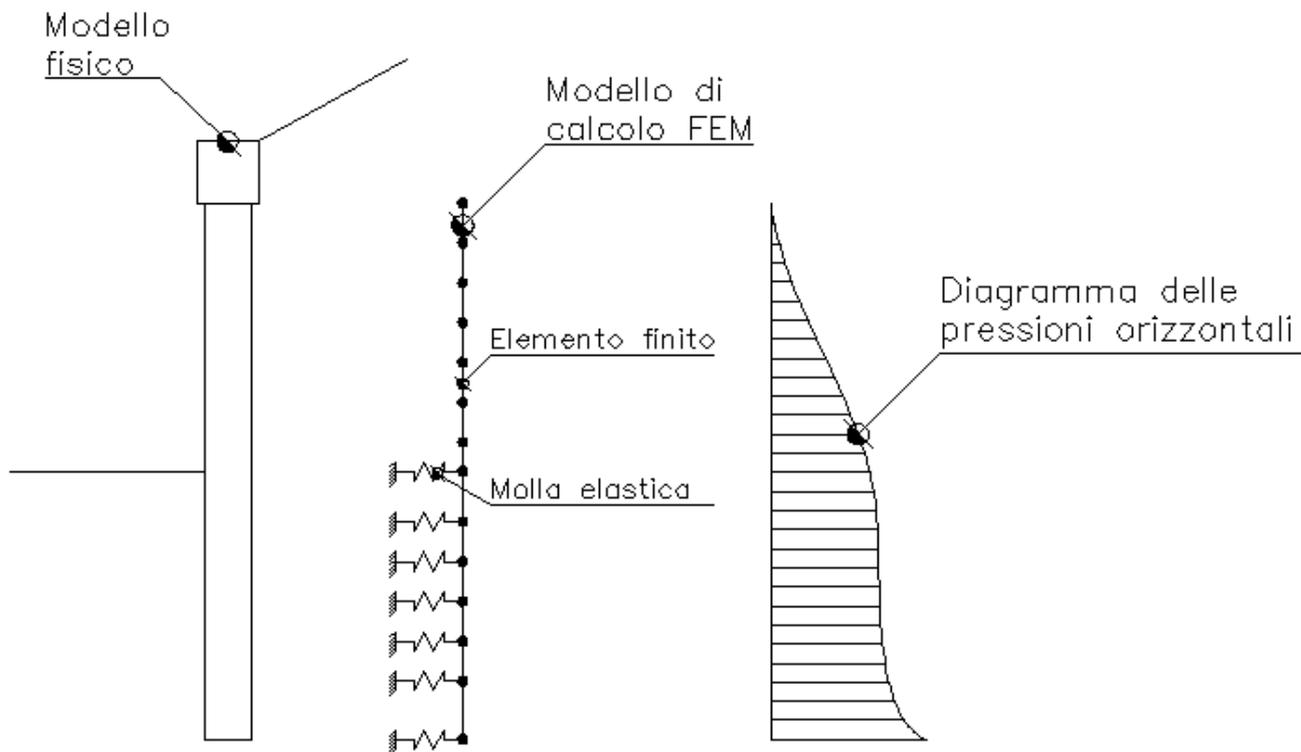


Figura 3: Schematizzazione della paratia ad elementi finiti

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

#### Calcolo del modulo di rigidezza $K_s$ del terreno

Come già detto in precedenza, il terreno viene schematizzato con delle molle di rigidezza  $K_s$  applicate sui nodi dei conci compresi tra il nodo di fondo scavo e l'estremità di infissione. La stima della rigidezza  $K_s$  è stata

effettuata sulla base della capacità portante delle fondazioni secondo la seguente formula:

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

Dove i simboli hanno il seguente significato:

$A_s$  = costante, calcolata come segue  $A_s = C \cdot (c \cdot N_c + 0.5 \cdot G \cdot B \cdot N_g)$

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

$Z$  = Profondità in esame

$C$  = 40 nel sistema internazionale SI

$n = \rho \cdot \tan j$

$N_q = \exp[n \cdot (\tan^2(45^\circ + j/2))]$

$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot j$

$N_g = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan j$

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  $\beta$  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.

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).

Descrizione:

Messa in sicurezza discarica xxxxxx- Paratia

Località:

---

Archivio materiali

CONGLOMERATI

Nr.	Classe r. calcestruzzo	fck, cubi [MPa]	Ec [MPa]	fck [MPa]	fcd [MPa]	fctd [MPa]	fctm [MPa]
1	C20/25	25	29380.7	19.6	11.1	1	2.2
2	C25/30	30	30861.5	24.5	13.9	1.2	2.5
3	C28/35	35	31675.5	27.5	15.6	1.3	2.7
4	C40/50	50	34539	39.2	19.4	1.5	3.1

Acciai:

Nr.	Classe acciai	Es [MPa]	fyk [MPa]	fyd [MPa]	ftk [MPa]	ftd [MPa]	ep_tk	epd_u lt	β1*β2 iniz.	β1*β2 finale
1	B450 C	19613 3	441.3	383.7	529.6	441.3	.075	.0675	1	0.5
2	FeB44k	19613 3	421.7	366.7	529.6	366.7	.05	.04	1	0.5

GEOMETRIA SEZIONE

Sezione Circolare Barre  
 Calcestruzzo C20/25  
 Acciaio FeB44k  
 Nome Circolare da 0.8  
 Diametro 0.8 m  
 Disposizione Singola fila  
 Interasse Longitudinale 1 m

## Archivio cordoli ancoraggio tiranti

Nr.	Descrizione	Materiali	Base [cm]	Altezza [cm]	Altezza [cm <sup>2</sup> ]	Wx [cm <sup>3</sup> ]	Wy [cm <sup>3</sup> ]
1	HE100A	ACCIAIO	10.00	9.60	21.24	72.76	26.76
2	trefolo	2	--	--	4	--	--

## Archivio tiranti

Nr.	Descrizione	Area armatura [cm <sup>2</sup> ]	Diametro foro [m]	Diametro bulbo [m]	Lunghezza libera [m]	Lunghezza bulbo [m]	Materiali Acciaio	Materiali Calcestruzzo
1	Tirante 1	12	0.25	0.5	8	8	B450C	C20/25

## Dati generali FEM

Massimo spostamento lineare terreno 1.5 cm  
 Fattore tolleranza spostamento 0.005 cm  
 Tipo analisi Lineare  
 Massimo numero di iterazioni 20  
 Fattore riduzione molla fondo scavo 1  
 Profondità infissione iniziale 2.8 m  
 Incremento profondità infissione 0.2 m  
 Numero di elementi 36  
 Numero nodo di fondo scavo 16

## Stratigrafia

Fase: 1

Nr.	Peso specifico [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso specifico saturato [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeficiente [kN/m <sup>2</sup> ]	Angolo attrito [°]	O.C.R.	Modulo edometrico [kN/m <sup>2</sup> ]	Attrito terreno muro monte [°]	Attrito terreno muro valle [°]	Spessore [m]	Inclinazione [°]	Descrizione


Calcolo coefficienti sismici

Dati generali

Descrizione zona

Latitudine 43.9966 [°]

Longitudine 11.3492 [°]

Dati opera

Tipo opera Opere ordinarie

Classe d'uso II

Vita nominale 50 [anni]

Vita di riferimento 50 [anni]

Parametri sismici su un sito di riferimento

Categoria sottosuolo C

Categoria topografica T1

SL	Tr [Anni]	ag [m/sec <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TS* [sec]
SLO	30	0.640	2.450	0.260
SLD	50	0.810	2.420	0.260
SLV	475	2.020	2.370	0.290
SLC	975	2.570	2.400	0.290

Coefficienti sismici orizzontale e verticale

Opera: Stabilità dei pendii

SL	Amax [m/sec <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [-]
SLO	0.960	0.200	0.020	0.010
SLD	1.215	0.200	0.025	0.012
SLV	2.842	0.280	0.081	0.041
SLC	3.399	0.280	0.097	0.049

## Tiranti

Fase: 1

Descrizione	x [m]	z [m]	Inclinazione [°]	Intersse [m]	Angolo attrito [°]	Adesione [kN/m <sup>2</sup> ]	Tipologia	Cordolo	Attivo Passivo	Tiro iniziale [kN]
tirante a 3 trefoli	0	-0.36	35	2	18	12	Tirante 1	1	Attivo	0

## Analisi Paratia

Profondità massima di infissione 3 [m]

Fase: 1 Analisi geotecniche Fase: 1 - Combinazione: 1

Altezza scavo 4 [m]

Tipo: S.L.U. [STR]

Nome: A1+M1+R1

Coefficienti sismici:  $K_h = 0$  ,  $K_v = 0$ 

Coefficienti parziali azioni

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1
3	Spinta falda	1.5
4	Spinta sismica x	0
5	Spinta sismica y	0
6	tirante a 3 trefoli	1

Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1.25
2	Coesione efficace	1.25
3	Resistenza non drenata	1.4
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1.7

2	Laterale compressione	1.45
3	Totale	1.6
4	Laterale trazione	1.6
5	Orizzontale	1.6

Profondità di infissione 3.00 [m]  
 Pressione massima terreno 27.17 [kPa]  
 Momento massimo 42.63 [kNm/m]  
 Taglio massimo 26.32 [kN/m]

## Carico limite tiranti

Descrizione	Profondità Media bulbo [m]	Coefficiente spinta	Pressione media bulbo [kPa]	Carico limite terreno [kN]	Resistenza aderenza [kN]	Carico limite [kN]	Meccanismo rottura
tirante a 3 trefoli	7.24	1.30	136.49	2380.48	1369.14	460.44	Acciaio

tirante a 3 trefoli

Reazione tirante 51.66 [kN]  
 Fattore sicurezza 8.91

## Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m <sup>3</sup> ]
0.27	1.41	37.06	-0.02	25.35	0.2144	--
0.53	2.87	40.35	6.75	24.60	0.2098	--
0.80	4.74	43.64	13.31	23.39	0.2051	--
1.07	6.61	46.92	19.55	21.64	0.2002	--
1.33	8.48	50.21	25.33	19.30	0.1952	--
1.60	10.35	53.49	30.48	16.60	0.1898	--

1. 87	12.22	56.78	34 .9 1	13.35	0.1840	--
2. 13	14.09	60.07	38 .4 7	9.61	0.1779	--
2. 40	15.96	63.35	41 .0 4	5.30	0.1712	--
2. 67	17.82	66.64	42 .4 6	0.59	0.1641	--
2. 93	19.69	69.93	42 .6 3	-4.63	0.1565	--
3. 20	21.56	73.21	41 .3 8	-10.26	0.1484	--
3. 47	23.43	76.50	38 .6 3	-16.51	0.1397	--
3. 73	25.30	79.78	34 .2 2	-22.86	0.1306	--
4. 00	27.17	83.07	28 .1 3	-26.32	0.1211	15783.94
4. 14	--	84.83	24 .3 5	-23.77	0.1159	15783.94
4. 29	-17.45	86.59	20 .9 5	-21.68	0.1106	15783.94
4. 43	-16.60	88.35	17 .8 5	-19.27	0.1052	15783.94
4. 57	-15.74	90.11	15 .0 8	-17.24	0.0997	15783.94
4. 71	-14.87	91.87	12 .6 1	-15.38	0.0942	15783.94
4. 86	-14.00	93.63	10 .4 0	-13.22	0.0887	15783.94
5. 00	-13.11	95.39	8. 50	-11.51	0.0831	15783.94
5. 14	-12.23	97.15	6. 87	-10.05	0.0775	15783.94

5. 29	-11.34	98.92	5. 43	-8.40	0.0718	15783.94
5. 43	-10.45	100.68	4. 23	-7.17	0.0662	15783.94
5. 57	-9.55	102.44	3. 21	-5.90	0.0605	15783.94
5. 71	-8.65	104.20	2. 37	-4.73	0.0548	15783.94
5. 86	-7.75	105.96	1. 69	-3.64	0.0491	15783.94
6. 00	-6.86	107.72	1. 16	-2.81	0.0434	15783.94
6. 14	-5.96	109.48	0. 76	-2.09	0.0377	15783.94
6. 29	-5.05	111.24	0. 46	-1.50	0.0320	15783.94
6. 43	-4.15	113.00	0. 24	-0.93	0.0263	15783.94
6. 57	-3.25	114.76	0. 11	-0.55	0.0206	15783.94
6. 71	-2.35	116.52	0. 04	-0.20	0.0149	15783.94
6. 86	-1.45	118.28	0. 01	-0.03	0.0092	15783.94

Fase: 1 - Combinazione: 2

Altezza scavo 4 [m]

Tipo: S.L.U.

Nome: A2+M2+R2

Coefficienti sismici:  $K_h = 0$ ,  $K_v = 0$

Coefficienti parziali azioni

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1
3	Spinta falda	1.3
4	Spinta sismica x	0
5	Spinta sismica y	0
6	tirante a 3 trefoli	1

Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1.25

2	Coesione efficace	1.25
3	Resistenza non drenata	1.4
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

## Coefficients resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1.7
2	Laterale compressione	1.45
3	Totale	1.6
4	Laterale trazione	1.6
5	Orizzontale	1.6

Profondità di infissione 3.00 [m]

Pressione massima terreno 27.17 [kPa]

Momento massimo 42.63 [kNm/m]

Taglio massimo 26.32 [kN/m]

## Carico limite tiranti

Descrizione	Profondità Media bulbo [m]	Coefficienti spinta	Pressione media bulbo [kPa]	Carico limite terreno [kN]	Resistenza aderenza [kN]	Carico limite [kN]	Meccanismo rottura
tirante a 3 trefoli	7.24	1.30	136.49	2380.48	1369.14	460.44	Acciaio

tirante a 3 trefoli

Reazione tirante 51.66 [kN]

Fattore sicurezza 8.91

## Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m <sup>3</sup> ]
0.27	1.41	37.06	-0.02	25.35	0.2144	--
0.53	2.87	40.35	6.75	24.60	0.2098	--
0.80	4.74	43.64	13.31	23.39	0.2051	--

1.07	6.61	46.92	19.55	21.64	0.2002	--
1.33	8.48	50.21	25.33	19.30	0.1952	--
1.60	10.35	53.49	30.48	16.60	0.1898	--
1.87	12.22	56.78	34.91	13.35	0.1840	--
2.13	14.09	60.07	38.47	9.61	0.1779	--
2.40	15.96	63.35	41.04	5.30	0.1712	--
2.67	17.82	66.64	42.46	0.59	0.1641	--
2.93	19.69	69.93	42.63	-4.63	0.1565	--
3.20	21.56	73.21	41.38	-10.26	0.1484	--
3.47	23.43	76.50	38.63	-16.51	0.1397	--
3.73	25.30	79.78	34.22	-22.86	0.1306	--
4.00	27.17	83.07	28.13	-26.32	0.1211	15783.94
4.14	--	84.83	24.35	-23.77	0.1159	15783.94
4.29	-17.45	86.59	20.95	-21.68	0.1106	15783.94
4.43	-16.60	88.35	17.85	-19.27	0.1052	15783.94
4.57	-15.74	90.11	15.08	-17.24	0.0997	15783.94
4.71	-14.87	91.87	12.61	-15.38	0.0942	15783.94
4.86	-14.00	93.63	10.40	-13.22	0.0887	15783.94
5.00	-13.11	95.39	8.50	-11.51	0.0831	15783.94
5.14	-12.23	97.15	6.87	-10.05	0.0775	15783.94
5.29	-11.34	98.92	5.43	-8.40	0.0718	15783.94
5.43	-10.45	100.68	4.23	-7.17	0.0662	15783.94
5.57	-9.55	102.44	3.21	-5.90	0.0605	15783.94
5.71	-8.65	104.20	2.37	-4.73	0.0548	15783.94
5.86	-7.75	105.96	1.69	-3.64	0.0491	15783.94
6.00	-6.86	107.72	1.16	-2.81	0.0434	15783.94
6.14	-5.96	109.48	0.76	-2.09	0.0377	15783.94
6.29	-5.05	111.24	0.46	-1.50	0.0320	15783.94
6.43	-4.15	113.00	0.24	-0.93	0.0263	15783.94
6.57	-3.25	114.76	0.11	-0.55	0.0206	15783.94
6.71	-2.35	116.52	0.04	-0.20	0.0149	15783.94
6.86	-1.45	118.28	0.01	-0.03	0.0092	15783.94

Fase: 1 - Combinazione: 3

Altezza scavo 4 [m]

Tipo: S.L.U. [GEO-STR]

Nome: Sismica

Coefficienti sismici:  $K_h = 0.0196$  ,  $K_v = 0.0098$

Coefficienti parziali azioni

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1
3	Spinta falda	1

4	Spinta sismica x	1
5	Spinta sismica y	1
6	tirante a 3 trefoli	1

## Coefficients parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1.25
2	Coesione efficace	1.25
3	Resistenza non drenata	1.4
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

## Coefficients resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1.7
2	Laterale compressione	1.45
3	Totale	1.6
4	Laterale trazione	1.6
5	Orizzontale	1.6

Profondità di infissione 3.00 [m]  
 Pressione massima terreno 30.09 [kPa]  
 Momento massimo 47.04 [kNm/m]  
 Taglio massimo 29.16 [KN/m]

## Carico limite tiranti

Descrizione	Profondità Media bulbo [m]	Coefficienti spinta	Pressione media bulbo [kPa]	Carico limite terreno [kN]	Resistenza aderenza [kN]	Carico limite [kN]	Meccanismo rottura
tirante a 3 trefoli	7.24	1.30	136.49	2380.48	1369.14	460.44	Acciaio

tirante a 3 trefoli

Reazione tirante 56.65 [KN]  
 Fattore sicurezza 8.13

## Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m <sup>3</sup> ]
0.27	1.45	38.81	-0.02	27.85	0.2351	--
0.53	2.98	42.10	7.41	27.03	0.2301	--
0.80	5.07	45.38	14.62	25.77	0.2250	--
1.07	7.15	48.67	21.50	23.84	0.2197	--
1.33	9.24	51.96	27.86	21.35	0.2142	--
1.60	11.32	55.24	33.56	18.33	0.2083	--
1.87	13.41	58.53	38.46	14.74	0.2020	--
2.13	15.49	61.82	42.40	10.65	0.1953	--
2.40	17.58	65.10	45.25	5.96	0.1881	--
2.67	19.66	68.39	46.84	0.76	0.1803	--
2.93	21.75	71.67	47.04	-5.01	0.1720	--
3.20	23.83	74.96	45.71	-11.36	0.1631	--
3.47	25.92	78.25	42.68	-18.19	0.1536	--
3.73	28.00	81.53	37.83	-25.22	0.1437	--
4.00	30.09	84.82	31.11	-29.16	0.1332	15783.94
4.14	--	86.58	26.97	-26.43	0.1275	15783.94
4.29	-19.20	88.34	23.18	-23.85	0.1217	15783.94
4.43	-18.27	90.10	19.78	-21.43	0.1158	15783.94
4.57	-17.33	91.86	16.72	-19.10	0.1098	15783.94
4.71	-16.38	93.62	14.00	-16.90	0.1037	15783.94
4.86	-15.42	95.38	11.55	-14.74	0.0977	15783.94
5.00	-14.45	97.14	9.44	-12.77	0.0915	15783.94
5.14	-13.48	98.90	7.62	-10.96	0.0854	15783.94
5.29	-12.50	100.66	6.05	-9.27	0.0792	15783.94
5.43	-11.52	102.42	4.71	-7.90	0.0730	15783.94
5.57	-10.54	104.18	3.58	-6.60	0.0668	15783.94
5.71	-9.55	105.95	2.65	-5.22	0.0605	15783.94
5.86	-8.57	107.71	1.89	-4.04	0.0543	15783.94
6.00	-7.58	109.47	1.31	-3.16	0.0480	15783.94
6.14	-6.60	111.23	0.86	-2.38	0.0418	15783.94
6.29	-5.61	112.99	0.52	-1.68	0.0355	15783.94
6.43	-4.62	114.75	0.27	-1.04	0.0293	15783.94
6.57	-3.63	116.51	0.13	-0.59	0.0230	15783.94
6.71	-2.64	118.27	0.04	-0.24	0.0167	15783.94
6.86	-1.66	120.03	0.01	-0.03	0.0105	15783.94

Carico limite verticale

Fase 1 Combinazione 1

Fattore Nc 9.136

Fattore Nq 3.968

Carico limite punta 151.316 kN

Carico limite laterale 399.584 kN  
 Carico limite totale 550.900 kN

Forza verticale agente 118.281 kN  
 Fattore sicurezza 4.658 kN

Fase 1 Combinazione 2

Fattore Nc 9.136  
 Fattore Nq 3.968  
 Carico limite punta 151.316 kN  
 Carico limite laterale 399.584 kN  
 Carico limite totale 550.900 kN

Forza verticale agente 118.281 kN  
 Fattore sicurezza 4.658 kN

Fase 1 Combinazione 3

Fattore Nc 9.136  
 Fattore Nq 3.968  
 Carico limite punta 151.316 kN  
 Carico limite laterale 399.584 kN  
 Carico limite totale 550.900 kN

Forza verticale agente 120.029 kN  
 Fattore sicurezza 4.590 kN

Risultati analisi strutturale

Fase: 1 Risultati analisi strutturale

Fase: 1 - Combinazione: 1

Z [m]	Nome sezione	N [kN]	M [kNm]	T [kN]	Nr. Ba rre Diam etro	Nu [kN]			

0.27	Circol are da 0.8	37.06	- 0. 0 2	25.35	8Ø16	37.07			
0.53	Circol are da 0.8	40.35	6. 7 5	24.60	8Ø16	40.36			
0.80	Circol are da 0.8	43.64	1 3. 3 1	23.39	8Ø16	43.64			
1.07	Circol are da 0.8	46.92	1 9. 5 5	21.64	8Ø16	46.92			
1.33	Circol are da 0.8	50.21	2 5. 3 3	19.30	8Ø16	50.21			

1.60	Circol are da 0.8	53.49	3 0. 4 8	16.60	8Ø16	53.49			
1.87	Circol are da 0.8	56.78	3 4. 9 1	13.35	8Ø16	56.79			
2.13	Circol are da 0.8	60.07	3 8. 4 7	9.61	8Ø16	60.07			
2.40	Circol are da 0.8	63.35	4 1. 0 4	5.30	8Ø16	63.35			
2.67	Circol are da 0.8	66.64	4 2. 4 6	0.59	8Ø16	66.64			

2.93	Circol are da 0.8	69.93	4 2. 6 3	-4.63	8Ø16	69.93			
3.20	Circol are da 0.8	73.21	4 1. 3 8	-10.26	8Ø16	73.21			
3.47	Circol are da 0.8	76.50	3 8. 6 3	-16.51	8Ø16	76.51			
3.73	Circol are da 0.8	79.78	3 4. 2 2	-22.86	8Ø16	79.79			
4.00	Circol are da 0.8	83.07	2 8. 1 3	-26.32	8Ø16	83.07			

4.14	Circol are da 0.8	84.83	2 4. 3 5	-23.77	8Ø16	84.84			
4.29	Circol are da 0.8	86.59	2 0. 9 5	-21.68	8Ø16	86.59			
4.43	Circol are da 0.8	88.35	1 7. 8 5	-19.27	8Ø16	88.36			
4.57	Circol are da 0.8	90.11	1 5. 0 8	-17.24	8Ø16	90.11			
4.71	Circol are da 0.8	91.87	1 2. 6 1	-15.38	8Ø16	91.87			

4.86	Circol are da 0.8	93.63	1 0. 4 0	-13.22	8Ø16	93.62			
5.00	Circol are da 0.8	95.39	8. 5 0	-11.51	8Ø16	95.39			
5.14	Circol are da 0.8	97.15	6. 8 7	-10.05	8Ø16	97.16			
5.29	Circol are da 0.8	98.92	5. 4 3	-8.40	8Ø16	98.92			
5.43	Circol are da 0.8	100.6 8	4. 2 3	-7.17	8Ø16	100.6 7			

5.57	Circol are da 0.8	102.4 4	3. 2 1	-5.90	8Ø16	102.4 3			
5.71	Circol are da 0.8	104.2 0	2. 3 7	-4.73	8Ø16	104.2 0			
5.86	Circol are da 0.8	105.9 6	1. 6 9	-3.64	8Ø16	105.9 5			
6.00	Circol are da 0.8	107.7 2	1. 1 6	-2.81	8Ø16	107.7 2			
6.14	Circol are da 0.8	109.4 8	0. 7 6	-2.09	8Ø16	109.4 7			

6.29	Circol are da 0.8	111.2 4	0. 4 6	-1.50	8Ø16	111.2 5			
6.43	Circol are da 0.8	113.0 0	0. 2 4	-0.93	8Ø16	113.0 0			
6.57	Circol are da 0.8	114.7 6	0. 1 1	-0.55	8Ø16	114.7 5			
6.71	Circol are da 0.8	116.5 2	0. 0 4	-0.20	8Ø16	116.5 2			
6.86	Circol are da 0.8	118.2 8	0. 0 1	-0.03	8Ø16	118.2 9			

z r	e f f M a x i m u m v e l o z i t e t n u m v e l o z i t e t n u m	e f f M a x i m u m v e l o z i t e t n u m	A s s e r n e u t n o c o n d i t i o n e n t	F a s s e s s e s s e s s e s s e s s e s s e s s	F e s s i s t e n t n o c o n d i t i o n e n t	M i s u n a s i d e n t n o c o n d i t i o n e n t	V e r i f i c a t i o n e n t	A n g l i c o n d i t i o n e n t
z r	e f f M a x i m u m v e l o z i t e t n u m	e f f M a x i m u m v e l o z i t e t n u m	A s s e r n e u t n o c o n d i t i o n e n t	F a s s e s s e s s e s s e s s e s s e s s	F e s s i s t e n t n o c o n d i t i o n e n t	M i s u n a s i d e n t n o c o n d i t i o n e n t	V e r i f i c a t i o n e n t	A n g l i c o n d i t i o n e n t

|  | SPW |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | SPW |
|  | SPW |
|  | SPW |
|  | SPW |
|  | SPW |
|  | SPW |



	C	N	S	C	N	S	C	N

<p>SPW</p>								
<p>SPW</p>								


| Nicht-Ferrous-Metalle |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Nicht-Ferrous-Metalle |




4 0 0 4	3 0 0 3	1 0 0 1	2 0 0 2	1 0 0 1	2 0 0 2	1 0 0 1	2 0 0 2	1 0 0 1	2 0 0 2
4 0 0 4	3 0 0 3	1 0 0 1	2 0 0 2	1 0 0 1	2 0 0 2	1 0 0 1	2 0 0 2	1 0 0 1	2 0 0 2


4 . 4 3	3 . 5 7	3 . 5 7	3 . 5 7	2 . 7 4	1 . 9 1	0 . 4 3	4 . 8 1	1 . 7 0	2 . 8 0





	30.0 E C T N 30.0							
30.0 E C T N 30.0								








<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">C N S P L S C</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">C L E P S C E F L S C</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">L N C L E P S C E F L S C</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">C L E P S C E F L S C</p>					
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">C L E P S C E F L S C</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">C L E P S C E F L S C</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">C L E P S C E F L S C</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">C L E P S C E F L S C</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">C L E P S C E F L S C</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">C L E P S C E F L S C</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">C L E P S C E F L S C</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">C L E P S C E F L S C</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">C L E P S C E F L S C</p>

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fase: 1 - Combinazione: 3













C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C




		C	20			r U Z N C =		a t a	
		3				Q S 8 t s t f e C N : C s t f e C N : C s t f e			
		3				Q S 8 t s t f e C N : C s t f e C N : C s t f e			
		3				Q S 8 t s t f e C N : C s t f e C N : C s t f e			
		3				Q S 8 t s t f e C N : C s t f e C N : C s t f e			
		3				Q S 8 t s t f e C N : C s t f e C N : C s t f e			

	2.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20

						1			
						1			
						1			
						1			
						1			
						1			
						1			
						1			
						1			
						1			







4	3	2	1	2	3	4	5	6	7

4 1 1	3 0 0	1 0 0	2 7 4	1 8 8	0 2 0	4 1 8	1 0 0	2 7 4
4 8 0	3 0 0	1 0 0	2 7 4	1 8 8	0 2 0	4 1 8	1 0 0	2 7 4








CO. S									
CO. S									





## Indice

1. Archivio materiali	17
2. Archivio sezioni...	17
3. Archivio cordoli ancoraggio tiranti	17
4. Archivio tiranti	17
5. Dati generali FEM	17
6. Calcolo coefficienti sismici	18
7. Tiranti	19
8. Fase: 1 Analisi geotecnica	19
8.1. Fase: 1 - Combinazione: 1	19
8.2. Fase: 1 - Combinazione: 2	21
8.3. Fase: 1 - Combinazione: 3	23
9. Fase: 1 Risultati analisi strutturale	26
9.1. Fase: 1 - Combinazione: 1	26
9.2. Fase: 1 - Combinazione: 3	31
Indice	37

### 1.8.3 Preferenze

#### Opzioni

Visualizza la finestra di dialogo per il settaggio dei parametri relativi all'area di lavoro e all'output.

#### Seleziona lingua

Permette di selezionare la lingua tra quelle disponibili.

## 1.9 Cenni teorici

Nella cartella report di questo programma sono presenti i files contenenti tutte le delucidazioni teoriche: metodo di calcolo delle spinte, soluzione ad elementi finiti ed equilibrio limite, analisi in presenza di falda, calcolo degli elementi strutturali etc.

### 1.9.1 Metodo 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:

- Paratia a sbalzo;
- Paratia tirantata ad estremo libero;
- 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;

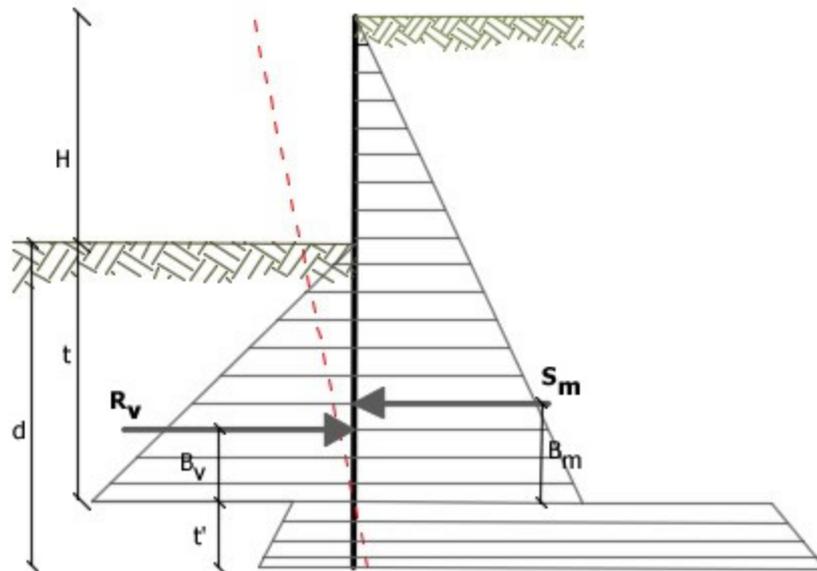
$B_v$  = braccio di  $R_v$  rispetto ad O centro di rotazione;

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:

$$t' = a \cdot t$$

$$d = t + t' = t \cdot (1 + a)$$

dove  $a = 0.2$  (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  $F$ . È 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  $B_1$

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  $R_v$ .

Noto  $t$ , 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.

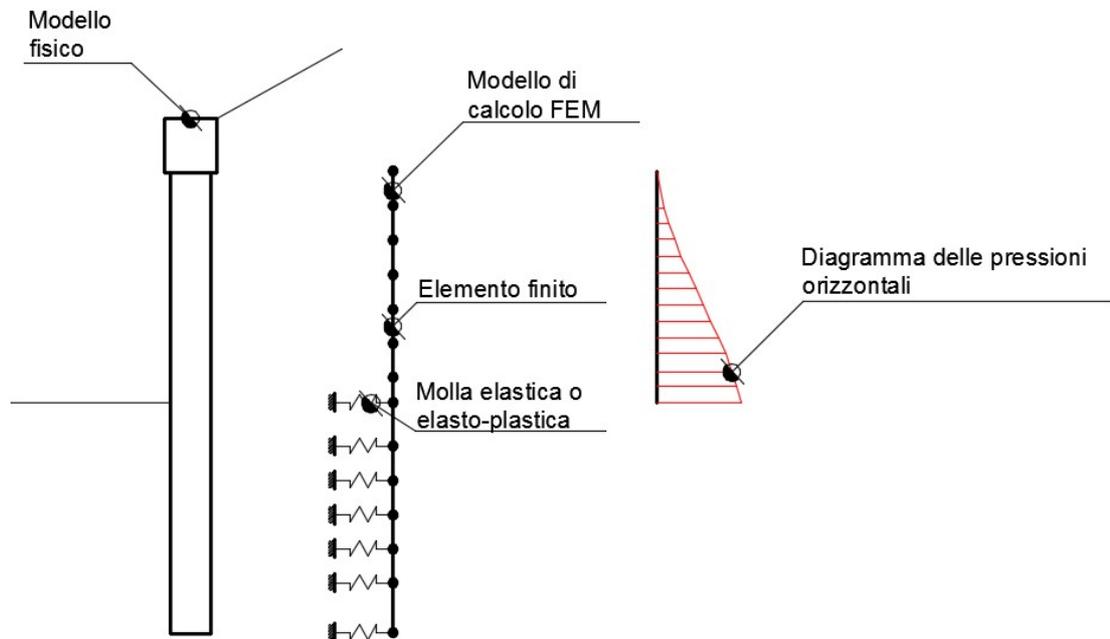
### Coefficiente di sicurezza $F$ sulle resistenze

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

## 1.9.2 Metodo FEM

Il metodo degli elementi finiti è il metodo che più di tutti si fonda su basi teoriche solide e razionali. Di fatto 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). Nel metodo FEM la paratia è modellata come un insieme di travi (elementi beam), con vincolo di

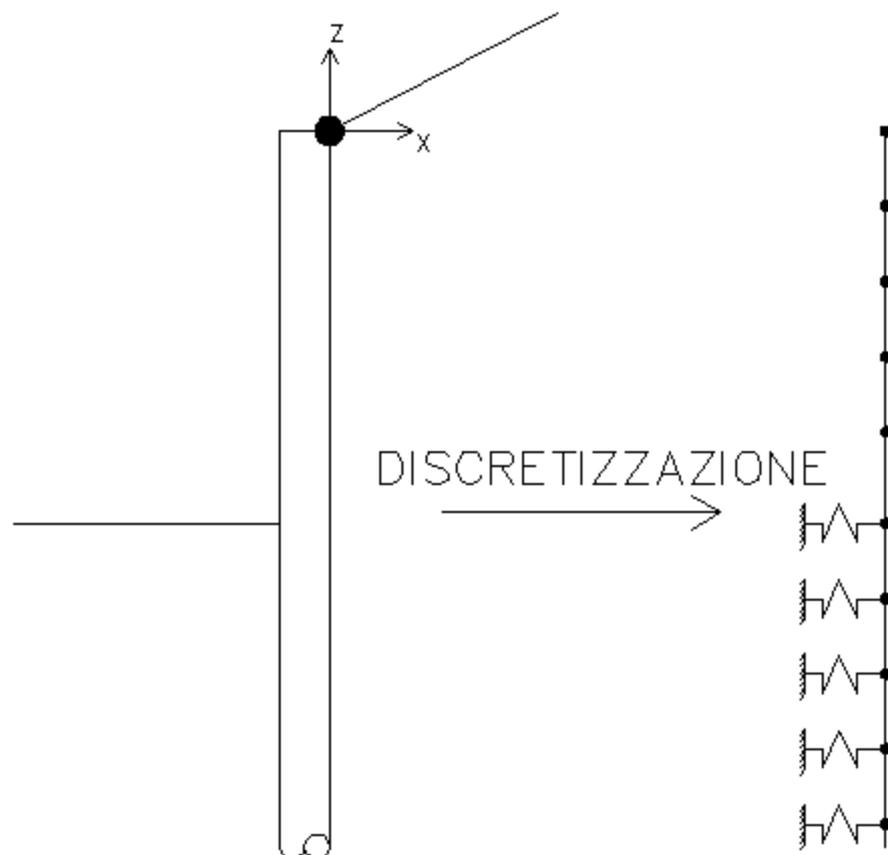
continuità al terreno mediante molle elastiche, la cui rigidità è valutata in funzione delle proprietà elastiche del terreno. Nella figura che segue è mostrato schematicamente il modello utilizzato per l'analisi ad elementi finiti:



*Schematizzazione del complesso paratie-terreno mediante elementi finiti*

Il metodo degli elementi finiti richiede comunque la conoscenza delle proprietà del terreno e della struttura (a differenza del metodo LEM in cui si impone una condizione di equilibrio di corpo rigido). In particolare è necessario conoscere il modulo di reazione del terreno. Le principali parti in cui si articola l'applicazione del metodo sono le seguenti:

- **Caratterizzazione dei materiali e della struttura mediante**
  - la valutazione di coefficienti di spinta attiva e passiva, oltre che del modulo di reazione per il terreno;
  - la valutazione della rigidità flessionale, tagliante e normale della paratia;
- Discretizzazione della paratia in elementi finiti e modellazione delle molle



*Procedimento di discretizzazione*

- **Assemblaggio dei contributi dei singoli elementi finiti**

In questa fase si riporta il problema nel globale, assemblando i contributi di rigidezza dei singoli elementi finiti.

- **Soluzione del problema**

Il problema ad elementi finiti è posto in termini di sistema non lineare nelle variabili spostamento. In questa fase si imposta quindi una procedura iterativa che permette la soluzione di un problema non lineare del tipo:

$$K(u) \cdot u = p$$

Nella precedente equazione  $K(u)$  è la matrice di rigidezza del problema (di tipo non lineare),  $u$  è il campo di spostamenti che è soluzione del problema, e  $p$  è il vettore dei carichi esterni (vettore associato alla distribuzione di pressioni del terreno).

- **Assemblaggio ed interpretazione della soluzione**

Una volta determinati i valori delle componenti del vettore  $u$  si possono derivare tutte le informazioni (relative all' analisi strutturale). In particolare si determinano:

- Momento;
- Taglio;
- Sforzo normale.

### 1.9.3 Carico limite tiranti

I tiranti di ancoraggio hanno la funzione di contribuire all' aumento di risorse di resistenza della paratia. Il calcolo del carico limite di un tirante di ancoraggio deve essere effettuato considerando tre diversi meccanismi di collasso. Infatti è possibile che il collasso avvenga per sfilamento del bulbo di ancoraggio, per sfilamento della parte in acciaio dal calcestruzzo che lo contiene, o eventualmente per rottura dell'ancoraggio (raggiungimento della soglia di resistenza dell' acciaio). Il procedimento utilizzato nel software calcola il carico limite nei confronti di tutti e tre i meccanismi di collasso, e definisce come carico limite del tirante il minimo tra i tre.

#### Carico limite per collasso in aderenza all'interfaccia bulbo - terreno

In questo caso il carico limite si calcola con la seguente formula (*Schneebeli*):

$$N_u = \sigma'_n \cdot K \cdot A_b + c_a \cdot A_b$$

nella precedente formula il significato dei simboli è il seguente:

- $\sigma'_n$  è la tensione effettiva agente nel centro del bulbo di ancoraggio;
- K è un coefficiente che rappresenta, mediamente e per l'intera lunghezza, l'interazione tra bulbo e terreno (vedi tabella);
- $A_b$  è la superficie del bulbo a contatto con il terreno, valutata con la seguente formula:

$$A_b = \pi \cdot D \cdot L_b$$

dove D è il diametro del bulbo e  $L_b$  è la lunghezza del bulbo.

- $c_a$  è l'adesione all'interfaccia tra bulbo e terreno. Osservare la figura contenuta nella sezione Tiranti di ancoraggio per una migliore comprensione dei simboli.

$\varphi$	K
20°	1,3
30°	5,5
40°	30,0

Valori forniti nell'opera del Prof. Carlo Cestelli Guidi "Geotecnica e tecnica delle fondazioni", Vol. 2, Ed. Hoepli, anno 1980.

### Carico limite per collasso in aderenza all'interfaccia acciaio - bulbo

In questo caso è chiamata in causa la tensione tangenziale di aderenza ultima tra acciaio e calcestruzzo. La formula che esprime il carico di collasso del sistema è in questo caso la seguente:

$$N_u = \pi \cdot D_a \cdot L_b \cdot \tau_{ud}$$

nella formula i simboli hanno il seguente significato:

- $D_a$  è il diametro dell' armatura che costituisce il tirante;
- $L_b$  è la lunghezza del bulbo di ancoraggio.
- $\tau_{ud}$  è la tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo

La resistenza tangenziale di aderenza di calcolo  $f_{bd}$  vale:

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$$

dove:

$\gamma_c$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo, pari a 1,5;

$f_{bk}$  è la resistenza tangenziale caratteristica di aderenza data da:

$$f_{bk} = 2,25 \times \eta \times f_{ctk}$$

in cui

$\eta = 1,0$  per barre di diametro  $\phi < 32$  mm

$\eta = (132 - \phi)/100$  per barre di diametro superiore.

Nel caso di armature molto addensate o ancoraggi in zona di calcestruzzo teso, la resistenza di aderenza va ridotta dividendola almeno per 1,5.

### Carico limite per collasso per rottura dell'armatura

Questa è una verifica puramente strutturale e riguarda la circostanza in cui la tensione nell'acciaio raggiunge quella limite di rottura. In questo caso il carico di collasso si calcola con la seguente formula:

nella precedente formula precedente i simboli hanno il seguente significato:

- $D_a$  è il diametro dell' armatura che costituisce il tirante;
- $F_{yd}$  è la tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio;

Una volta calcolati i carichi di collasso per i tre diversi meccanismi, il carico limite del tirante può essere determinato con la seguente formula:

$$N_u^T = \min(\min(N_u^{at}, N_u^{ac}), N_u^r)$$

dove i simboli hanno il seguente significato:

- $N_u^T$  è il carico limite ultimo del tirante;
- $N_u^{at}$  è il carico limite ultimo che si ha per collasso in aderenza tra bulbo e terreno;
- $N_u^{ac}$  è il carico limite ultimo che si ha per collasso in aderenza tra bulbo e acciaio;
- $N_u^r$  è il carico limite ultimo che si ha per collasso dell' acciaio del tirante.

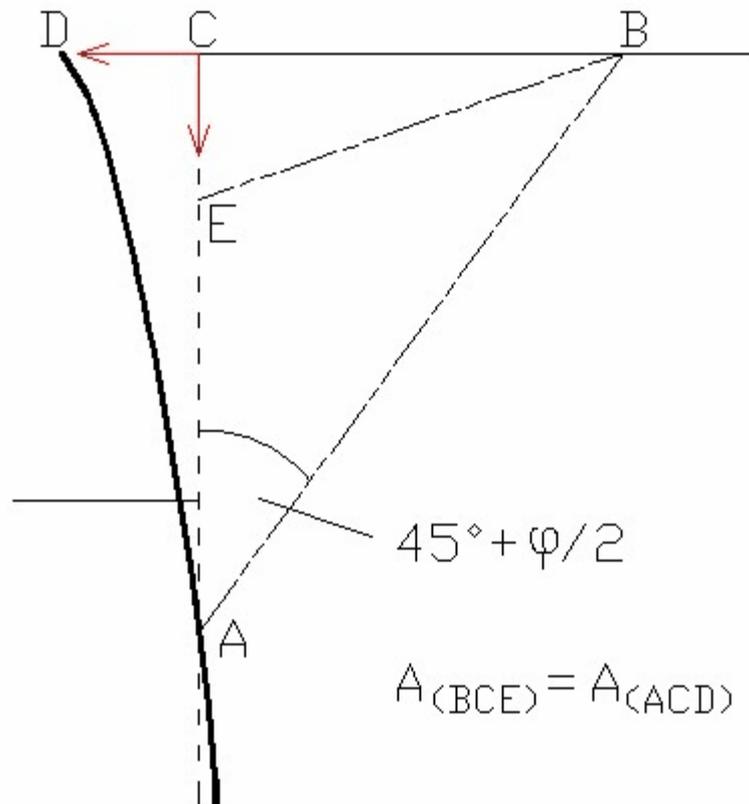
Per ogni ancoraggio viene restituito il meccanismo di rottura: rottura terreno, resistenza aderenza, resistenza acciaio.

#### 1.9.4 Cedimenti verticali

Per il calcolo dei cedimenti verticali a monte della paratia, si utilizza il metodo 'Volume Costante'.

Si ipotizza che la variazione di volume complessiva del terreno coinvolto nel processo deformativo sia nulla (deformandosi, i terreni tendono a dilatare). In questo caso, definito il cuneo di spinta, si ha uguaglianza tra il volume che il terreno occupa in seguito allo spostamento della paratia e quello che il terreno libera per i cedimenti verticali a monte dell'opera.

Si assume come angolo di spinta attiva rispetto all'orizzontale  $45+\varphi/2$ . Rispetto alla verticale  $45-\varphi/2$ .

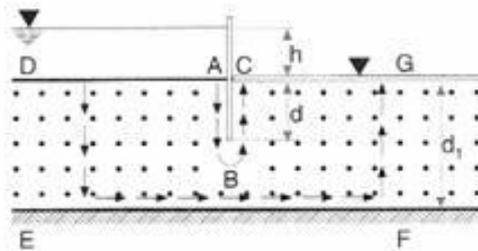


*Schema di riferimento per il calcolo dei cedimenti verticali*

### 1.9.5 Filtrazione

Con il termine filtrazione si indica quel fenomeno fisico per il quale si verifica il passaggio dell' acqua da una zona con una data energia a un' altra zona con energia minore, attraverso un mezzo poroso. L' energia può essere espressa come somma dell' energia cinetica legata alla velocità del fluido, di quella potenziale dipendente dalla posizione del punto e di quella di pressione del liquido nello stesso punto. Dato che la velocità di filtrazione è sempre molto piccola il termine cinetico è trascurabile. Nello studiare la filtrazione dell' acqua si possono presentare problemi, sia di moto permanente che di moto vario. Con riferimento alla pressione dell' acqua, che gioca un ruolo importante nella maggior parte dei problemi di stabilità, si ricorda che in moto permanente essa rimane costante nel tempo, mentre in moto vario è funzione del tempo e quindi può crescere o diminuire con esso. Con riferimento alla quantità d' acqua che nel fenomeno di filtrazione attraversa una certa zona, si ricorda che in regime permanente la quantità d' acqua che entra è eguale a quella che esce,

mentre in regime vario non vi è uguaglianza e la differenza rappresenta il volume d' acqua che viene accumulato o espulso dal terreno nell' intervallo di tempo considerato. Nel fenomeno della consolidazione, che è una particolare condizione di regime vario, entra in gioco anche la compressibilità del terreno. In regime permanente la zona di terreno nella quale si sviluppa la filtrazione, nello schema di rappresentazione che si adotta, ha due tipi di confini: uno è il luogo dove si conosce il carico d' acqua e si definisce confine o condizione limite del potenziale; l' altro è un contorno di materiali impermeabili, come roccia impermeabile, argilla, ecc. che delimita lo strato in cui avviene la filtrazione e si definisce quindi confine o condizione limite del flusso d'acqua. Per precisare quanto detto basta ricordare ad esempio le condizioni di flusso dell'acqua nella prova di permeabilità a carico costante. In questa prova evidentemente i confini del potenziale sono le superfici di entrata e di uscita dell'acqua dal campione di terra. Poiché le pareti del contenitore sono impermeabili il flusso è parallelo al contenitore e la parete costituisce il confine del flusso d'acqua:



*Schema relativo al flusso d'acqua*

Un caso pratico è costituito dalla palancolata (figura precedente) che sostiene un livello costante  $h$  di acqua e che è infissa nel terreno fino alla profondità  $d$  in uno strato omogeneo di terreno permeabile (sabbia o ghiaia) di spessore  $d_1$ , che appoggia su uno strato impermeabile (roccia o argilla). In questo caso si ha un moto confinato, poiché le condizioni al contorno della regione in cui avviene il moto sono geometricamente definite. Il flusso dell'acqua è causato dal carico idraulico  $h$ ; sulla superficie AD agisce un carico costante e questa superficie costituisce il primo confine del potenziale nel nostro problema; anche su CG il carico è costante e questa superficie costituisce il secondo confine. Ovviamente per assolvere i suoi compiti la palancolata deve essere impermeabile, quindi la sua superficie ABC costituisce uno dei confini del flusso mentre la superficie EF dello strato impermeabile costituirà l'altro confine. Ovviamente in linea teorica se le caratteristiche dell'acqua, del terreno e dello strato impermeabile, a monte e a valle della palancolata, si mantengono costanti si può considerare che i punti D, E, F e G siano all'infinito; in pratica generalmente si considera che la lunghezza interessata sia compresa entro 4-5 volte lo spessore dello strato. Per determinare la quantità d'acqua che

filtra nel terreno si fanno le ipotesi che il flusso dell'acqua sia retto dalla legge di Darcy e che il terreno sia omogeneo, isotropo e incompressibile:

$$v = -k \cdot i$$

Si ricordi che la legge di Darcy è valida per moto laminare, condizione che si verifica per certi valori del numero di Reynolds,  $R$ . Il valore di  $R$ , che caratterizza il passaggio da moto laminare a turbolento, assume valore diverso a seconda degli autori; Taylor (1948) ha indicato come criterio di validità per la legge di Darcy  $R \leq 1$ . Altri ricercatori hanno esaminato, specialmente per le argille, il collegamento tra le condizioni di moto e il gradiente idraulico; in particolare Tavenas e altri (1983) sono arrivati alla conclusione che, per quanto riguarda le argille, la legge di Darcy è valida per gradienti compresi tra 0,1 e 50. Per calcolare la portata di filtrazione attraverso i terreni è utile determinare la distribuzione della pressione dell'acqua dei pori mediante la costruzione del reticolato di flusso, cioè del sistema di linee di corrente e di linee equipotenziali che rappresentano il flusso dell'acqua attraverso un terreno incompressibile. Accettando l'ipotesi di terreno incompressibile per i moti di filtrazione in regime permanente e piani l'equazione di continuità può essere scritta nella forma:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

Le due componenti della velocità del liquido, in base alla legge di Darcy possono essere espresse nella forma:

$$v_x = -k \cdot i_x = -k \cdot \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$v_z = -k \cdot i_z = -k \cdot \frac{\partial h}{\partial z}$$

Unendo queste tre equazioni si ottiene:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2}$$

che è l'equazione di Laplace per moto permanente su un piano, nell'ipotesi di materiale omogeneo, isotropo e incompressibile. Questa equazione può essere espressa a mezzo di due funzioni coniugate  $\phi$  e  $\psi$ . Possiamo infatti esprimere le componenti di velocità come derivate parziali rispetto ad  $x$  e  $z$  della funzione  $\phi = k h$  e quindi:

$$v_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}$$

Allora possiamo anche scrivere:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}$$

L'esistenza della funzione  $\varphi = k h$ , funzione a potenziale di velocità per un fluido in moto, implica vorticità nulla e che il moto sia irrotazionale.

Possiamo allora dire che si ha una funzione di corrente tale che:

$$v_x = \frac{\partial \psi}{\partial z}$$

E quindi si ha:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial z}$$

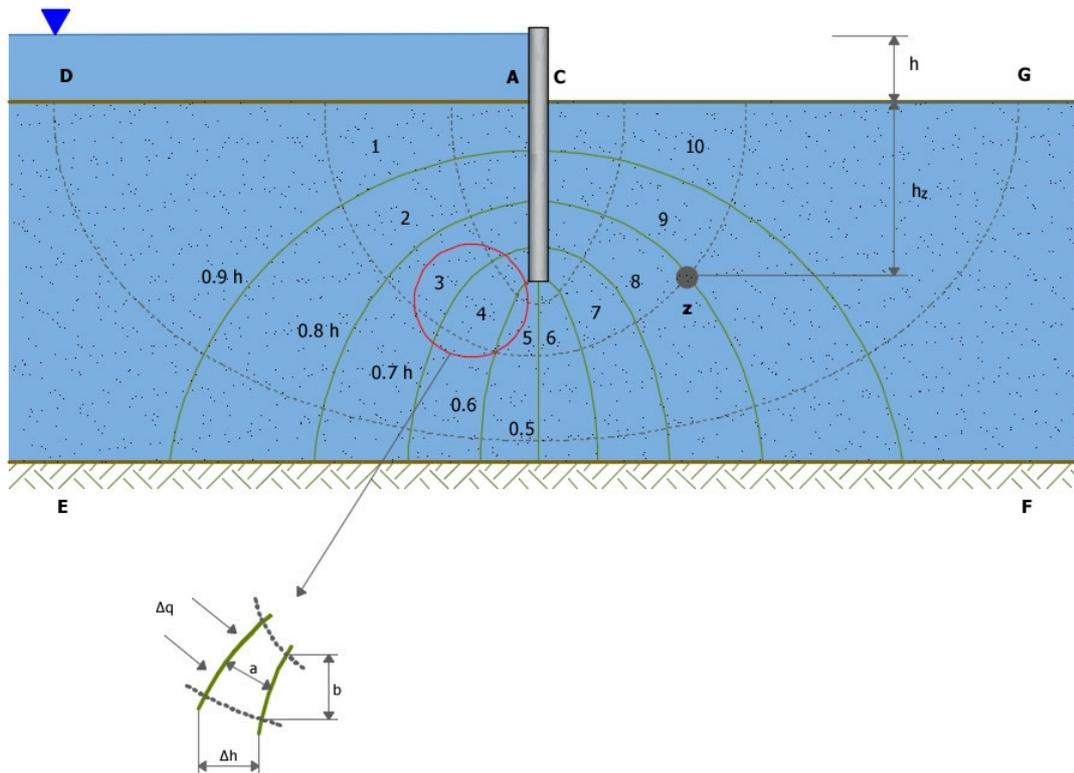
$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$

E possiamo anche scrivere

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}$$

e  $\psi$  sono conosciute rispettivamente come funzione di potenziale e funzione di corrente. Riprendendo ora il caso, prima indicato, dell'acqua che filtra attraverso il terreno al di sotto di una palancolata (figura seguente) si ha che due linee equipotenziali sono le superfici del terreno a monte e a valle della stessa palancolata; inoltre la superficie dello strato impermeabile è una linea di corrente o di flusso. Risolvendo l'equazione di Laplace in accordo con queste condizioni limite, possiamo costruire la rete di flusso. Ogni striscia compresa tra due linee di flusso adiacenti è un canale di flusso ed ogni parte del canale di flusso compresa tra due linee equipotenziali è un campo. È pertanto conveniente costruire le linee equipotenziali in maniera che il dislivello piezometrico tra due linee successive sia costante e le linee di flusso in modo tale che ogni canale di flusso abbia una portata costante. Se  $h$  è il carico idraulico totale e  $N_a$  è il numero di dislivelli piezometrici individuati, la differenza di carico idraulico tra due linee equipotenziali successive è:

In un punto  $z$  come indicato nella seguente figura la pressione vale:



Schematizzazione del reticolo di flusso  
essendo  $n$  il numero di dislivelli piezometrici attraversati per giungere in  $z$ .  
Nell'esempio relativo alla figura precedente si ha:

$$\frac{n}{N_a} = \frac{8}{10}$$

Se non ci fosse alcun flusso d'acqua, cioè se la superficie a valle fosse impermeabile, la pressione idrostatica in questo punto varrebbe:

$$p = (h + h_z) \cdot \gamma_w$$

poiché l'acqua si muove, si ha una perdita di carico che secondo la rete di filtrazione disegnata nel punto  $z$  è pari a  $8/10h$ . La sovrappressione dell'acqua nel punto  $z$  è data quindi da:

$$\left( h - \frac{8}{10} \cdot h \right) \cdot \gamma_w = \frac{2}{10} \cdot h \cdot \gamma_w$$

Per conoscere la portata di filtrazione consideriamo un campo, cioè un'area compresa fra due linee di flusso e due linee equipotenziali; la lunghezza del lato nella direzione delle linee di flusso è  $a$  e quindi il gradiente idraulico in un campo è:

$$i = \frac{\Delta h}{a}$$

e la velocità:

$$v = k \cdot i = k \cdot \frac{\Delta h}{a} = \frac{k}{a} \cdot \frac{h}{N_a}$$

Poniamo che l'altro lato del campo sia di lunghezza  $b$  allora la portata attraverso il campo per unità di lunghezza di palancolata sarà:

$$\Delta q = v \cdot b = \frac{k}{a} \cdot \frac{h}{N_a} \cdot b$$

per ogni tubo di flusso; se si pone  $b = a$ , cioè se gli elementi della rete di filtrazione sono quadrati, si ottiene:

$$\Delta q = k \cdot \frac{h}{N_a}$$

Se  $N_b$  è il numero totale di canali di flusso la portata totale per unità di lunghezza di palancolata sarà:

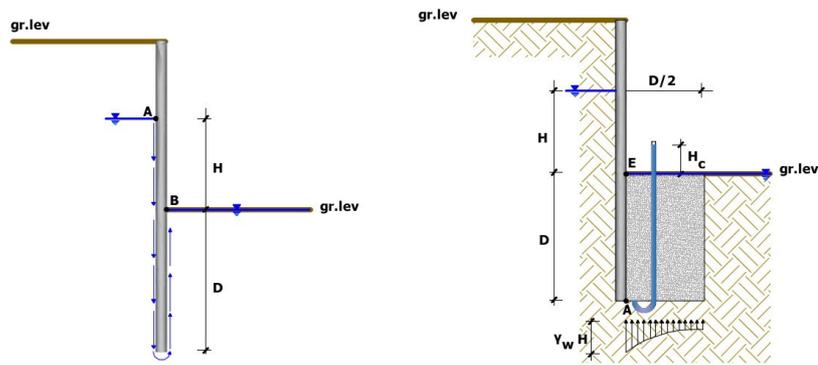
$$Q = \sum \Delta q = k \cdot h \cdot \frac{N_b}{N_a}$$

In questo modo, quando si sia costruita la rete di flusso, si può calcolare facilmente la portata. La rete di filtrazione viene spesso costruita con metodi sperimentali in laboratorio, con modelli analogici o graficamente per tentativi. In situazioni complesse del sottosuolo, per successione di strati e per anisotropia della permeabilità, si può ottenere la rete di filtrazione per mezzo di metodi numerici (FEM, BEM, metodo delle differenze finite).

### 1.9.6 Verifica a sollevamento

Nel caso di un diaframma infisso nel terreno, la presenza della falda in posizioni tali da innescare un moto di filtrazione comporta l'instaurarsi di una forza di filtrazione che, se diretta verso l'alto, può annullare il peso del terreno il quale, in assenza di coesione, può essere trascinato dal flusso dell'acqua e compromettere la stabilità dell'opera. Il fenomeno della stabilità del fondo scavo, analogo a quello del sifonamento, è stato affrontato per la prima volta da Terzaghi (1943). A differenza del

sifonamento, che è un fenomeno localizzato nel punto di sbocco della prima linea di flusso, quello del sollevamento del fondo scavo si estende per una profondità pari a quella d'infissione della paratia per una larghezza pari a metà di tale infissione.



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

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

Da cui si ottiene:

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

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

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

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

### 1.9.6.1 Verifica a sifonamento

In presenza di falda e in condizioni di innesco di un moto di filtrazione, si genera nel terreno una forza di filtrazione diretta verso l'alto che può annullare il peso del terreno e, se questo è privo di coesione, può trascinare le particelle e produrre un il collasso del terreno. Questo meccanismo di collasso è noto come sifonamento; esso si manifesta nel punto di sbocco della prima linea di flusso, ossia quella in aderenza alla paratia. Ulteriore fenomeno da verificare in condizioni di flusso è quello di sollevamento del fondo scavo.

- Tensione verticale efficace in presenza di gradiente idraulico:  
In presenza di un gradiente idraulico  $i$ , la tensione verticale efficace si calcola con la seguente formula:

$$\sigma'_v = z \cdot (\gamma' - i \cdot \gamma_w)$$

nella precedente formula il significato dei simboli è il seguente:

- $\gamma'$  è il peso per unità di volume del terreno efficace;
- $i$  è il gradiente idraulico;
- $\gamma_w$  è il peso per unità di volume dell'acqua.

La tensione verticale si annulla quando:

$$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

Il fattore di sicurezza nei confronti del sifonamento è dato dal rapporto tra il gradiente critico  $i_c$  e quello di efflusso  $i_E$

$$F_S = \frac{i_c}{i_E}$$

## 2 Normative

### 2.1 Eurocodici

#### 2.1.1 Combinazioni EUROCODICE 7

In accordo con l'EUROCODICE 7, le verifiche delle paratie devono essere effettuate considerando le seguenti combinazioni di coefficienti:

## APPROCCIO 1

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

## APPROCCIO 2

- Combinazione 1: (A1+M1+R2)

## APPROCCIO 3

- Combinazione 1: (A1 o A2\* +M2+R3)

\* coefficienti A1 per le azioni di tipo strutturale, A2 per quelle di tipo geotecnico tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle seguenti:

**Tab. EUROCODICE 7 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni**

Carichi	Effetto	Coefficiente Parziale $F^o (E)$	A1	A2
Permanenti	Sfavorevole	G	1,35	1,00
	Favorevole	G,fav	1,00	1,00
Variabili	Sfavorevole	Q	1,50	1,30
	Favorevole	Q,fav	0,00	0,00

**Tab. EUROCODICE 7 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente Parziale $M$	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi$	$\varphi$	1,00	1,25
Coesione efficace	$c'$	$c'$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$c_u$	$c_u$	1,00	1,40
Resistenza compressione non confinata	$q_u$	$q_u$	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume			1,00	1,00

**Tab. EUROCODICE 7 - Coefficienti parziali  $R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO**

Verifica	Coefficiente Parziale (R1)	Coefficiente Parziale (R2)	Coefficiente Parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$R=1,00$	$R=1,40$	$R=1,00$
Scorrimento	$R=1,00$	$R=1,10$	$R=1,00$
Resistenza del terreno a valle	$R=1,00$	$R=1,40$	$R=1,00$

**Tab. EUROCODICE 7 - Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sifonamento**

Carichi	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma$	Sifonamento (HYD)
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{G,dst}$	1,35
	Favorevole	$\gamma_{G,stab}$	0,90
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Q,dst}$	1,50
	Favorevole	$\gamma_{Q,stab}$	0,00

### 2.1.2 Parametri sismici EUROCODICE 8

In accordo con l'EUROCODICE 8 l'accelerazione orizzontale  $a_h$  a cui è assoggettato, statisticamente l'ammasso di terreno direttamente interagente con l'opera è espressa come:

$$a_h = \pm k_h \cdot g$$

con

$$k_h = \frac{S \cdot (a_g / g)}{r}$$

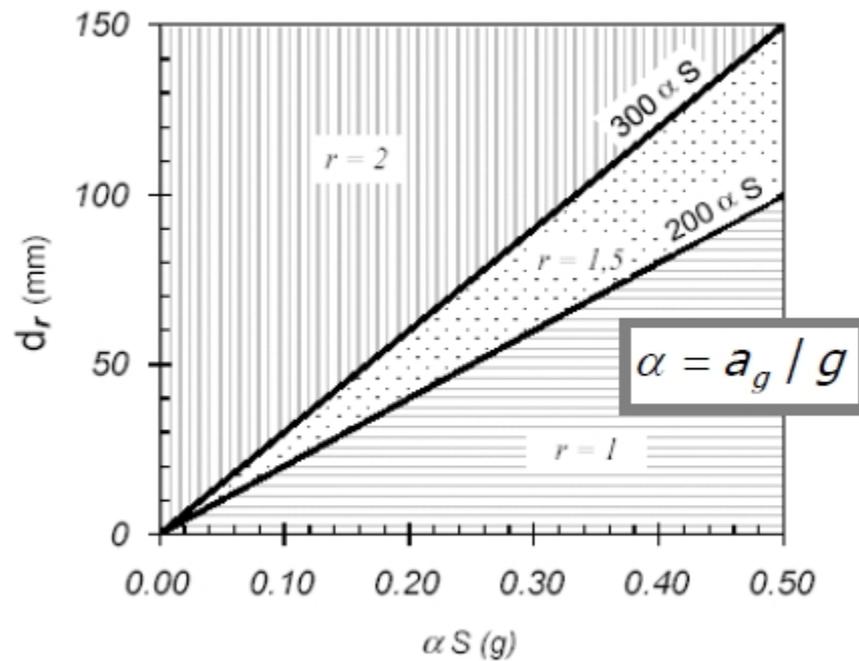
cioè

$$a_h = \frac{S \cdot a_g}{r}$$

dove  $a_g$  è l'intensità sismica del sito,  $S$  il coefficiente d'amplificazione funzione della stratigrafia locale ed  $r$  un parametro che permette di scalare l'intensità dell'azione sismica nel calcolo delle azioni di progetto della struttura. Il coefficiente  $r$  può assumere valori compresi tra 1 e 2, a seconda della tipologia dell'opera in relazione al comportamento durante il sisma ed al danno permanente tollerabile.

Nel caso di opere di sostegno, l'EC8 propone alcune correlazioni che permettono di legare  $r$  all'entità della deformazione accettabile (figura seguente).

In presenza di terreni incoerenti saturi si dovrà comunque assumere  $\rho = 1$ .



*Determinazione del coefficiente  $\rho$  e lo spostamento ammissibile  $d_r$  (mm)*

Il coefficiente di amplificazione locale  $S$  viene determinato in ragione della stratigrafia al di sopra del substrato:

*Coefficiente di amplificazione locale  $S$*

Terreno	$S$
A	1,00
B	1,25
C	1,25
D	1,35
E	1,25

Per quanto riguarda le deformazioni ammissibili ci si deve riferire alla destinazione dell'opera ed all'ambito in cui è inserita.

La componente verticale sarà calcolata come

con

Le accelerazioni  $k_h$  e  $k_v$  dovranno essere poi moltiplicati per il coefficiente d'importanza  $I$

Tab. EUROCODICE 8 - Classe d'importanza

Classe d'importanza	Costruzioni	I
I	Costruzioni di minore importanza per la pubblica sicurezza.	0.8
II	Costruzioni ordinarie, non appartenenti alle altre categorie.	1.0
III	Costruzioni la cui resistenza sismica è di un'importanza in vista delle conseguenze associate al collasso.	1.2
IV	Costruzioni la cui integrità durante il terremoto è di un'importanza vitale per la protezione civile.	1.4

### 2.1.3 Parametri caratteristici del terreno EUROCODICE

L'Eurocodice 7: "Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules", introduce il concetto dei valori caratteristici dei parametri geotecnici. Il valore caratteristico, inteso come una stima cautelativa del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite in considerazione, dovrà essere utilizzato in qualsiasi tipo di verifica geotecnica, che si tratti di SLU (stati limite ultimi ovvero potenziale presenza di una superficie di rottura) o di SLE (stati limite di esercizio ossia deformazioni di tipo elastico o di consolidazione a prescindere dallo stato di rottura).

L'unica metodologia delineata dall'EC7 per la definizione dei valori caratteristici è di natura statistica.

"If statistical methods are used, the characteristic value should be derived such that the calculated probability of a worse value governing the occurrence of the limit state under consideration is not greater than 5%.

*NOTE In this respect, a cautious estimate of the mean value is a selection of the mean value of the limited set of geotechnical parameter values, with a confidence level of 95%; where local failure is concerned, a cautious estimate of the low value is a 5% fractile".*

## 2.2 LRFD

### 2.2.1 Combinazioni LRFD

Il metodo LRFD (*Load Resistance Design Factor*) introduce due tipi di coefficienti di progetto: i fattori di carico ed i fattori di resistenza. E' un metodo che dà importanza allo Stato Limite Ultimo della struttura e non

tiene conto del concetto di resistenza *“caratteristica”*. Il metodo si basa sulla disequazione:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i < \varphi \cdot R_n$$

dove Q è la sommatoria dei carichi nominali agenti sulla struttura moltiplicati per i *“fattori di carico”*, e un *“fattore di resistenza”* ed  $R_n$  è la resistenza nominale.

**Tab. 3.4.1-1 LRFD - Combinazioni di carico e fattori di carico**

Load Combination Limit State	DC DD DW EH EV ES EL	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU CR SH	TG	SE	Use One of These at a Time			
										EQ	IC	CT	CV
STRENGTH I (unless noted)	$\gamma_p$	1.75	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—
STRENGTH II	$\gamma_p$	1.35	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—
STRENGTH III	$\gamma_p$	—	1.00	1.40	—	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—
STRENGTH IV	$\gamma_p$	—	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	—	—	—	—	—	—
STRENGTH V	$\gamma_p$	1.35	1.00	0.40	1.0	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—
EXTREME EVENT I	$\gamma_p$	$\gamma_{EQ}$	1.00	—	—	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
EXTREME EVENT II	$\gamma_p$	0.50	1.00	—	—	1.00	—	—	—	—	1.00	1.00	1.00
SERVICE I	1.00	1.00	1.00	0.30	1.0	1.00	1.00/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—
SERVICE II	1.00	1.30	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	—	—	—	—	—	—
SERVICE III	1.00	0.80	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—
SERVICE IV	1.00	—	1.00	0.70	—	1.00	1.00/1.20	—	1.0	—	—	—	—
FATIGUE— LL, IM & CE ONLY	—	0.75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

**Tab. 3.4.1-2 LRFD - Fattori di carico per carichi permanenti**

Type of Load, Foundation Type, and Method Used to Calculate Downdrag		Load Factor	
		Maximum	Minimum
DC: Component and Attachments		1.25	0.90
<b>DC: Strength IV only</b>		<b>1.50</b>	<b>0.90</b>
DD: Downdrag	<b>Piles, <math>\alpha</math> Tomlinson Method</b>	<b>1.4</b>	<b>0.25</b>
	<b>Piles, <math>\lambda</math> Method</b>	<b>1.05</b>	<b>0.30</b>
	<b>Drilled shafts, O'Neill and Reese (1999) Method</b>	<b>1.25</b>	<b>0.35</b>
DW: Wearing Surfaces and Utilities		1.50	0.65
EH: Horizontal Earth Pressure			
• Active		1.50	0.90
• At-Rest		1.35	0.90
• AEP for anchored walls		1.35	N/A
EL: Locked-in Erection Stresses		1.00	1.00
EV: Vertical Earth Pressure			
• Overall Stability		1.00	N/A
• Retaining Walls and Abutments		1.35	1.00
• Rigid Buried Structure		1.30	0.90
• Rigid Frames		1.35	0.90
• Flexible Buried Structures other than Metal Box Culverts		1.95	0.90
• Flexible Metal Box Culverts		1.50	0.90
ES: Earth Surcharge		1.50	0.75

**Tab. 11.5.6-1 LRFD - Fattori di resistenza per opere di contenimento**

WALL-TYPE AND CONDITION		RESISTANCE FACTOR
Nongravity Cantilevered and Anchored Walls		
Axial compressive resistance of vertical elements		Article 10.5 applies
Passive resistance of vertical elements		0.75
Pullout resistance of anchors <sup>(1)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cohesionless (granular) soils</li> <li>• Cohesive soils</li> <li>• Rock</li> </ul>	0.65 <sup>(1)</sup> 0.70 <sup>(1)</sup> 0.50 <sup>(1)</sup>
Pullout resistance of anchors <sup>(2)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Where proof tests are conducted</li> </ul>	1.0 <sup>(2)</sup>
Tensile resistance of anchor tendon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mild steel (e.g., ASTM A 615M bars)</li> <li>• High strength steel (e.g., ASTM A 722M bars)</li> </ul>	0.90 <sup>(3)</sup> 0.80 <sup>(3)</sup>
Flexural capacity of vertical elements		0.90
Mechanically Stabilized Earth Walls		
Bearing resistance		Article 10.5 applies
Sliding		Article 10.5 applies
Tensile resistance of metallic reinforcement and connectors	Strip reinforcements <sup>(4)</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Static loading</li> <li>• Combined static/earthquake loading</li> </ul> Grid reinforcements <sup>(4)(5)</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Static loading</li> <li>• Combined static/earthquake loading</li> </ul>	0.75 1.00 0.65 0.85
Tensile resistance of geosynthetic reinforcement and connectors	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Static loading</li> <li>• Combined static/earthquake loading</li> </ul>	0.90 1.20
Pullout resistance of tensile reinforcement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Static loading</li> <li>• Combined static/earthquake loading</li> </ul>	0.90 1.20
Prefabricated Modular Walls		
Bearing		Article 10.5 applies
Sliding		Article 10.5 applies
Passive resistance		Article 10.5 applies

## 2.3 NTC

### 2.3.1 Combinazioni verifiche paratie NTC

In accordo con le NTC (par. 6.5.3.1.2), le verifiche delle paratie devono essere effettuate considerando le seguenti combinazioni di coefficienti:

- *Combinazione 1: (A1+M1+R1)*
- *Combinazione 2: (A2+M2+R1)*

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

**Tab. 6.2.I NTC - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni**

Carichi	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_{F \text{ o } (E)}$	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	G1	0,90	1,00	1,00
	Sfavorevole		1,10	1,30	1,00
Permanenti non strutturali	Favorevole	G2	0,00	0,00	0,00
	Sfavorevole		1,50	1,50	1,30
Variabili	Favorevole	Qi	0,00	0,00	0,00
	Sfavorevole		1,50	1,50	1,30

**Tab. 6.2.II NTC - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente e Parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\varphi'$	1,00	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$c'$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$c_u$	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume			1,00	1,00

**Tab. 6.5.I NTC - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno**

Verifica	Coefficiente Parziale (R1)	Coefficiente Parziale (R2)	Coefficiente Parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$R=1,00$	$R=1,00$	$R=1,40$
Scorrimento	$R=1,00$	$R=1,00$	$R=1,10$
Resistenza del terreno a valle	$R=1,00$	$R=1,00$	$R=1,40$

La circolare esplicativa del 2 febbraio 2009, n. 617 al par. C.6.5.3.1.2 specifica:

*'Nelle verifiche agli stati limite ultimi per il dimensionamento geotecnico delle paratie (GEO), si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e, specificamente, dal raggiungimento delle condizioni di equilibrio limite nel terreno interagente con la paratia. L'analisi può essere condotta con la Combinazione 2 (A2+M2+R1), nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo  $M_2$ , i coefficienti  $R$  sulla resistenza globale (R1) sono unitari e le sole azioni variabili sono amplificate con i coefficienti del gruppo A2. I parametri di resistenza di progetto sono perciò inferiori a quelli caratteristici e di conseguenza il valore di progetto della spinta attiva è maggiore, e quello della resistenza passiva è minore, dei corrispondenti valori caratteristici. Le azioni di progetto Ed sono le risultanti o i momenti risultanti delle forze sulla paratia che producono il cinematismo di collasso ipotizzato, mentre le resistenze di progetto Rd sono le risultanti o i momenti risultanti delle forze che vi si oppongono.*

*Nelle verifiche STR si considerano gli stati limite ultimi per raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali. L'analisi può essere svolta utilizzando la Combinazione 1 (A1+M1+R1), nella quale i coefficienti sui parametri di resistenza del terreno (M1) e sulla resistenza globale del sistema (R1) sono unitari, mentre le azioni permanenti e variabili sono amplificate mediante i coefficienti parziali del gruppo A1. In questo caso, i coefficienti parziali amplificativi delle azioni possono applicarsi direttamente alle sollecitazioni, calcolate con i valori caratteristici delle azioni e delle resistenze. In particolare, le sollecitazioni (comprese quelle nei puntoni e negli ancoraggi) devono calcolarsi portando in conto, anche in maniera semplificata, l'interazione fra paratia e terreno, operando su configurazioni che rispettino l'equilibrio e la compatibilità con il criterio di resistenza.*

*Dato che i coefficienti parziali amplificativi delle azioni permanenti e variabili (gruppo A1) sono diversi, è necessario in genere distinguere le sollecitazioni prodotte dai carichi permanenti da quelle prodotte dai carichi variabili.'*

### Combinazione sismica

Sotto l'effetto dell'azione sismica di progetto le opere e i sistemi geotecnici devono rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio come previsto da normativa. Le verifiche agli stati limite ultimi devono essere effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni ed impiegando i parametri geotecnici e le resistenze di progetto, con i valori dei coefficienti parziali indicati nel capitolo 6 delle NTC.

La circolare esplicativa del 2 febbraio 2009, n. 617 al par. C.7.11.6.3 specifica:

*L'analisi sismica delle paratie si esegue con l'Approccio 1. Per l'analisi di stati limite ultimi per raggiungimento della resistenza del terreno, si utilizza la Combinazione 2. In particolare, le variazioni di spinta prodotte dalle azioni sismiche si calcolano con i coefficienti parziali M2, mentre i parametri A2 della Combinazione 2 devono essere posti pari ad uno. Per l'analisi di stati limite per raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali o nei vincoli, si adopera la Combinazione 1 dell'Approccio 1, nella quale però i coefficienti A1 devono essere posti pari ad uno.*

### Combinazione idraulica UPL/HYD

In presenza di falda, per le verifiche di stabilità al sollevamento, i relativi coefficienti parziali sulle azioni sono indicati nella Tabella 6.2.III delle NTC. Tali coefficienti devono essere combinati in modo opportuno con quelli relativi ai parametri geotecnici (M2). Per la stabilità al sifonamento, invece, si tiene conto dei coefficienti parziali della Tabella 6.2.IV delle NTC.

**Tab. 6.2.III NTC** - Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sollevamento

Carichi	Effetto	Coefficiente Parziale $F_0(\epsilon)$	Sollevamento (UPL)
Permanenti	Favorevole	G1	0,90
	Sfavorevole		1,10
Permanenti non strutturali	Favorevole	G2	0,00
	Sfavorevole		1,50
Variabili	Favorevole	Qi	0,00
	Sfavorevole		1,50

**Tab. 6.2.IV NTC** - Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sifonamento

Carichi	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_{F, E}$	Sifonamento (HYD)
Permanenti	Favorevole	G1	0,90
	Sfavorevole		1,30
Permanenti non strutturali	Favorevole	G2	0,00
	Sfavorevole		1,50
Variabili	Favorevole	Q <sub>i</sub>	0,00
	Sfavorevole		1,50

## COMBINAZIONE STABILITÀ GLOBALE

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera deve essere effettuata secondo la combinazione 2 dell'Approccio progettuale 1:

- *Combinazione 2: (A2+M2+R2)*

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I delle NTC.

**Tab. 6.8.I NTC** - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

Coefficiente	R2
R	1,10

### 2.3.2 Parametri sismici NTC- Paratie

GeoStru PS consente di individuare la pericolosità sismica direttamente dalla mappa geografica. Sarà così semplice ed immediato ricavare i coefficienti sismici secondo le Nuove norme tecniche per le costruzioni:

1. E' possibile ricercare automaticamente la zona di interesse digitando l'indirizzo o le coordinate oppure spostare il puntatore sul sito di interesse operando direttamente sulla mappa;
2. Selezionare la Classe d'uso e la Vita nominale dell'opera e cliccare su Calcola;

➤ In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, 'Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade', e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

➤ La vita nominale di un'opera strutturale VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.1 - NTC - e deve essere precisata nei documenti di progetto.

**Tab. 2.4.1 NTC - Vita nominale VN per diversi tipi di opere**

Tipi di costruzione		Vita nominale VN (in anni)
1	Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥100

3. Verranno così ricavati i parametri  $T_r$ ,  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ;

- TR: periodo di ritorno dell'azione sismica;
- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*_c$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

4. Selezionare l'opzione 'Paratie';

5. Indicare:

H: altezza complessiva della paratia;

$u_s$ : massimo spostamento che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza;

- Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente costante nello spazio e nel tempo. Le componenti orizzontale e verticale  $a_h$  e  $a_v$  dell'accelerazione equivalente devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera e della capacità dell'opera di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici,  $a_h$  può essere legata all'accelerazione di picco  $a_{max}$  attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

dove  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $k_h$  è il coefficiente sismico in direzione orizzontale,  $\alpha \leq 1$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e  $\beta \leq 1$  è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza. Per le paratie si può porre  $a_v = 0$ . L'accelerazione di picco  $a_{max}$  è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, ovvero come

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

dove  $S_s$  è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ), di cui al capitolo 3.2.3.2 delle NTC, ed  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Il valore del coefficiente  $\alpha$  può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva H della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il seguente diagramma

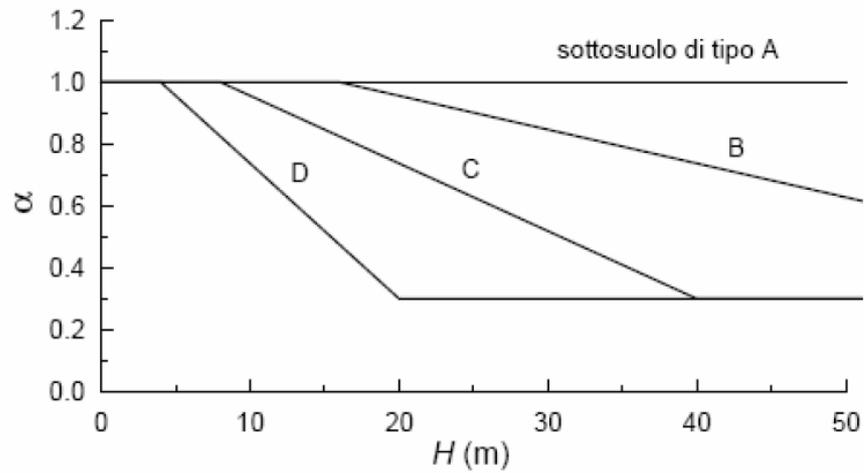


Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità

Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi  $\alpha = 1$ .

Il valore del coefficiente  $\alpha$  può essere ricavato dal diagramma seguente

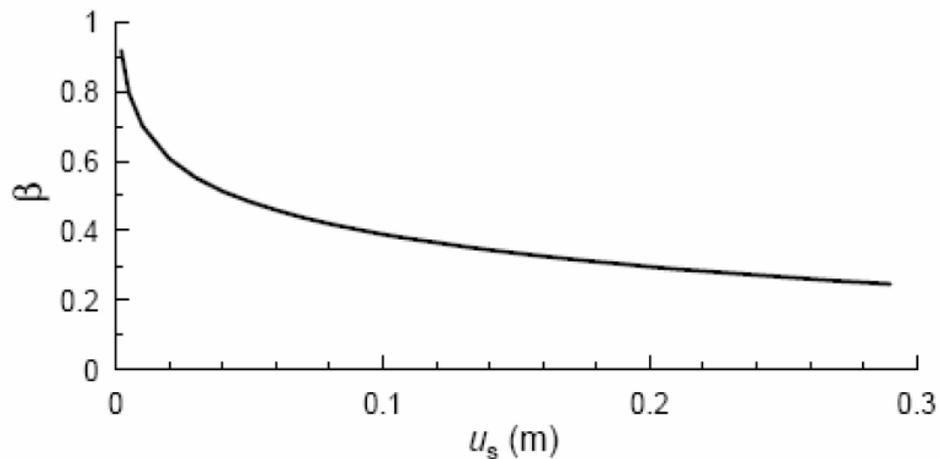


Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento

in funzione del massimo spostamento  $u_s$  che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza.

Per  $u_s = 0$  e  $\beta = 1$ . Deve comunque risultare:

Se  $\alpha\beta \leq 0,2$  deve assumersi  $k_h = 0,2a_{\max}/g$ .

Categoria sottosuolo: categoria di sottosuolo di riferimento;

Categoria topografica: categoria topografica di riferimento;

**Tab. 3.2.II NTC - Categorie di sottosuolo**

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SP7} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $N_{SP7} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SP7} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800 \text{ m/s}$ ).

**Tab. 3.2.III NTC - Categorie aggiuntive di sottosuolo**

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20 \text{ kPa}$ ), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

**Tab. 3.2.IV NTC - Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ .
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ .
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ .
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ .

E' possibile anche personalizzare l'accelerazione massima attesa al sito selezionando con un segno di spunta la relativa opzione ed inserendo il valore nella rispettiva casella.

6. Per ogni Stato limite verranno così ricavati il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_S$ , il coefficiente funzione della categoria di sottosuolo  $C_C$  ed il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ , valori che possono essere anche modificati manualmente dall'utente, sarà così possibile eseguire il calcolo dei coefficienti sismici cliccando sul pulsante "Calcola";

7. Cliccare sul pulsante centrale "Salva file" per salvare il report in formato .txt, da importare poi nella finestra Calcolo coefficienti sismici di SPW, o sul pulsante "Salva PDF" per salvare i risultati in formato .pdf.

### Cerca Posizione

Via  n°

Comune  Cap

Provincia

---

Coordinate WGS84

Latitudine

Longitudine

Isole

### Determinazione dei parametri sismici

(1)\* Coordinate WGS84  
Lat.  ° Long.  °

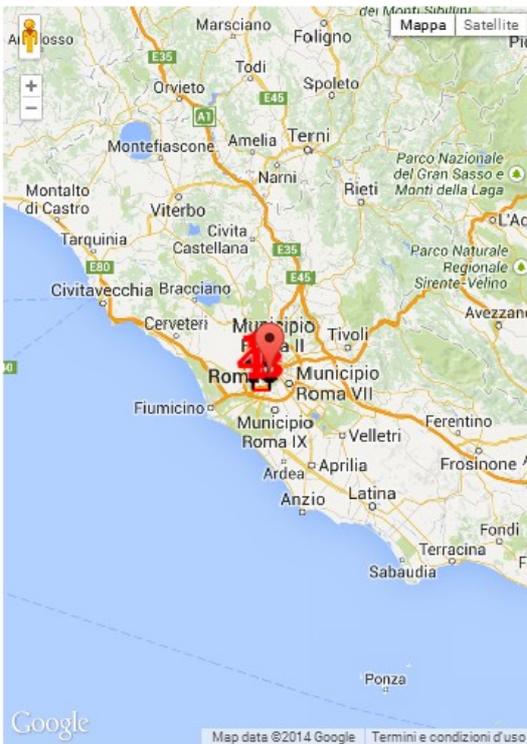
(1)\* Coordinate ED50  
Lat.  ° Long.  °

Classe dell'edificio  
II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubblici

Vita nominale

(Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

Interpolazione



41.872388, 12.480180

Visualizza vertici della maglia di appartenenza

(1)\* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.

(2)\* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>0</sub> [g]	F <sub>0</sub>	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,042	2,554	0,254
Danno (SLD)	50	0,054	2,505	0,268
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,121	2,633	0,290
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,153	2,616	0,296
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

### Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno  Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss *	1,50	1,50	1,50	1,46
Amplificazione stratigrafica	1,65	1,62	1,58	1,57
Cc *	1,20	1,20	1,20	1,20
Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20
St *				
Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s <sup>2</sup> ]	<input type="text" value="0.6"/>			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,030	0,038	0,086	0,105
kv	--	--	--	--
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,739	0,948	2,140	2,628
Beta	0,463	0,463	0,463	0,463

\* I valori di Ss, Cc ed St possono essere variati.

*Software on line GeoStru Parametri sismici*

### 2.3.3 Parametri caratteristici del terreno NTC

Il valore caratteristico, inteso come una stima cautelativa del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite in considerazione, dovrà essere utilizzato in qualsiasi tipo di verifica geotecnica: le opere dovranno essere

verificate per gli stati limite ultimi che possono presentarsi, in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni, e per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.

“Stato limite è la condizione superata la quale l’opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata”.

Si parla di Stato limite ultimo quando lo stato limite è associato al valore estremo della capacità portante della struttura, il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso. Si parla invece di Stato limite di esercizio quando è legato al raggiungimento di un particolare stato dell’opera che pur non generando il collasso compromette aspetti funzionali importanti che limitano le prestazioni in condizione d’esercizio.

Definire il valore caratteristico significa pertanto scegliere il parametro geotecnico che influenza il comportamento del terreno in quel determinato stato limite, ed adottarne un valore, o stima, a favore della sicurezza. Ai valori caratteristici trovati si applicano dei coefficienti di sicurezza parziali in funzione dello stato limite considerato.

Per quanto riguarda il calcolo geotecnico esistono due linee di pensiero seguite per la determinazione dei parametri caratteristici:

- Una prima linea si basa su un approccio probabilistico, considerando quindi le quantità statistiche ricavate su un opportuno campione di prove;
- Una seconda linea di pensiero invece porta avanti l’idea che l’approccio probabilistico non sia adatto a modellare il reale comportamento del terreno. In particolare questo secondo approccio si basa su procedimenti più razionali, ritenendo che i valori caratteristici delle proprietà del terreno vadano valutati in funzione del livello di deformazione previsto per lo stato limite considerato.

Con la Circolare del 02.02.2009 viene specificato come la scelta dei valori caratteristici dei parametri geotecnici deve avvenire in due fasi. La prima fase comporta l’identificazione dei parametri geotecnici appropriati ai fini progettuali. Tale scelta richiede una valutazione specifica da parte del progettista, per il necessario riferimento ai diversi tipi di verifica.

Identificati i parametri geotecnici appropriati, la seconda fase del processo decisionale riguarda la valutazione dei valori caratteristici degli stessi parametri.

Viene inoltre precisato come “nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi a quelli medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità...Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell’ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato.”

In particolare, le opere che coinvolgono grandi volumi di terreno sono quelle che portano a variazioni tensionali, all’interno di una porzione abbastanza elevata di sottosuolo, tali da dare origine a una compensazione delle resistenze.

Si parla in questo caso di resistenze compensate: le zone di terreno a resistenza minima e massima vengono sollecitate contemporaneamente e quello che emerge è un comportamento meccanico intermedio fra i due estremi. Per questo motivo, per ogni verticale d’indagine eseguita all’interno del volume significativo si effettua una stima cautelativa del valore medio dei parametri geotecnici.

Nel caso di opere che coinvolgono modesti volumi di terreno a essere sollecitate sono piccole porzioni di terreno in cui prevalgono le resistenze locali.

Nel caso vengano eseguite misure dirette all’esterno del volume significativo si parla di resistenze non compensate da misure estrapolate e il valore caratteristico andrà selezionato prendendo come riferimento un valore prossimo al minimo misurato, a vantaggio di sicurezza.

Nel caso invece in cui vengano eseguite misure dirette all’interno del volume significativo si parla di resistenze non compensate da misure dirette: in tal caso i valori caratteristici del terreno si stimano effettuando una valutazione cautelativa dei valori medi misurati.

## 2.4 NTC 2018

Enter topic text here.

### 2.4.1 Combinazioni verifiche paratie NTC 2018

In accordo con le NTC 2018 (par. 6.5.3.1.2), le verifiche delle paratie devono essere effettuate considerando le seguenti combinazioni di coefficienti:

- *Combinazione 1: (A1+M1+R1)*
- *Combinazione 2: (A2+M2+R1)*

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II, con i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R1 pari all'unità.

**Tab. 6.2.I NTC 2018- Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni**

Carichi	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_{F \text{ o } (E)}$	EQU	(A1)	(A2)
Permanenti $G_1$	Favorevole	$G_1$	0,90	1,00	1,00
	Sfavorevole		1,10	1,30	1,00
Permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$G_2$	0,80	0,80	0,80
	Sfavorevole		1,50	1,50	1,30
Variabili Q	Favorevole	$Q_i$	0,00	0,00	0,00
	Sfavorevole		1,50	1,50	1,30

(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I.

Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

**Tab. 6.2.II NTC 2018 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente e Parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\varphi'$	1,00	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$c'$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$c_u$	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume			1,00	1,00

Per le paratie, i calcoli di progetto devono comprendere la verifica degli eventuali ancoraggi, puntoni o strutture di controventamento.

Fermo restando quanto specificato nel § 6.5.3.1.1 per il calcolo delle spinte, per valori dell'angolo d'attrito tra terreno e parete  $\delta > \varphi'/2$ , ai fini della valutazione della resistenza passiva è necessario tener conto della non planarità delle superfici di scorrimento.

#### Combinazione sismica

Per le paratie devono essere soddisfatte le condizioni di sicurezza nei confronti dei possibili stati limite ultimi (SLV) verificando il rispetto della condizione [6.2.1] con i coefficienti di sicurezza parziali prescritti al § 7.11.1.

#### Verifica nei confronti dello stato limite a sollevamento

In presenza di falda, per le verifiche di stabilità al sollevamento, i relativi coefficienti parziali sulle azioni sono indicati nella Tabella 6.2.III delle NTC 2018. Tali coefficienti devono essere combinati in modo opportuno con quelli relativi ai parametri geotecnici (M2). Per la stabilità al sifonamento, invece, si tiene conto dei coefficienti parziali della Tabella 6.2.IV delle NTC.

**Tab. 6.2.III NTC 2018-** Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sollevamento

Carichi	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_{F \text{ o } (E)}$	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	G1	0,90
	Sfavorevole		1,10
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	G2	0,80
	Sfavorevole		1,50
Azioni variabili Q	Favorevole	Qi	0,00
	Sfavorevole		1,50

(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Esempio: *sollevamento del fondo scavo a breve termine*

#### Verifica a sifonamento

In condizioni di flusso prevalentemente verticale:

a) nel caso di frontiera di efflusso libera, la verifica a sifonamento si esegue controllando che il gradiente idraulico  $i$  risulti non superiore al gradiente idraulico critico  $i_c$  diviso per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 3$ , se si assume come effetto delle azioni il gradiente idraulico medio, e per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 2$  nel caso in cui si consideri il gradiente idraulico di efflusso;

b) in presenza di un carico imposto sulla frontiera di efflusso, la verifica si esegue controllando che la pressione interstiziale in eccesso rispetto alla condizione idrostatica risulti non superiore alla tensione verticale efficace calcolata in assenza di filtrazione, divisa per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 2$ .

*In tutti gli altri casi il progettista deve valutare gli effetti delle forze di filtrazione e garantire adeguati livelli di sicurezza, da prefissare e giustificare esplicitamente.*

#### COMBINAZIONE STABILITÀ GLOBALE

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera deve essere effettuata secondo la combinazione 2 dell'Approccio progettuale 1:

- *Combinazione 2: (A2+M2+R2)*

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I delle NTC 2018.

**Tab. 6.8.I NTC 2018 - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno**

Coefficiente	R2
R	1,10

#### 2.4.2 Parametri sismici NTC 2018- Paratie

GeoStru PS consente di individuare la pericolosità sismica direttamente dalla mappa geografica. Sarà così semplice ed immediato ricavare i coefficienti sismici secondo le Nuove norme tecniche per le costruzioni:

1. E' possibile ricercare automaticamente la zona di interesse digitando l'indirizzo o le coordinate oppure spostare il puntatore sul sito di interesse operando direttamente sulla mappa;
  2. Selezionare la Classe d'uso e la Vita nominale dell'opera e cliccare su Calcola;
- In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:
- *Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
  - *Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
  - *Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
  - *Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, 'Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade', e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.
- La vita nominale di un'opera strutturale VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita

nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I - NTC 2018- e deve essere precisata nei documenti di progetto.

**Tab. 2.4.I NTC 2018** - Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

Tipi di costruzione		Valori minimi d $V_N$ (in anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

3. Verranno così ricavati i parametri  $T_r$ ,  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ;

- $T_r$ : periodo di ritorno dell'azione sismica;
- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

4. Selezionare l'opzione 'Paratie';

5. Indicare:

H: altezza complessiva della paratia;

$u_s$ : massimo spostamento che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza;

- Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente costante nello spazio e nel tempo. Le componenti orizzontale e verticale  $a_h$  e  $a_v$  dell'accelerazione equivalente devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera e della capacità dell'opera di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici,  $a_h$  può essere legata all'accelerazione di picco  $a_{max}$  attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

dove  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $k_h$  è il coefficiente sismico in direzione orizzontale,  $\alpha \leq 1$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e  $\beta \leq 1$  è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

Per le paratie si può porre  $a_v = 0$ . L'accelerazione di picco  $a_{\max}$  è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, ovvero come

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

dove  $S_s$  è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ), di cui al capitolo 3.2.3.2 delle NTC 2018, ed  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Il valore del coefficiente  $\alpha$  può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva  $H$  della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il seguente diagramma

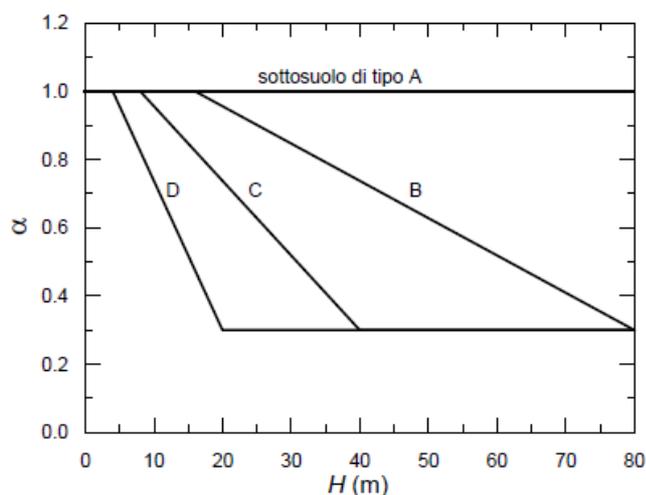


Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità

Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi  $\beta = 1$ .

Il valore del coefficiente  $\beta$  può essere ricavato dal diagramma seguente

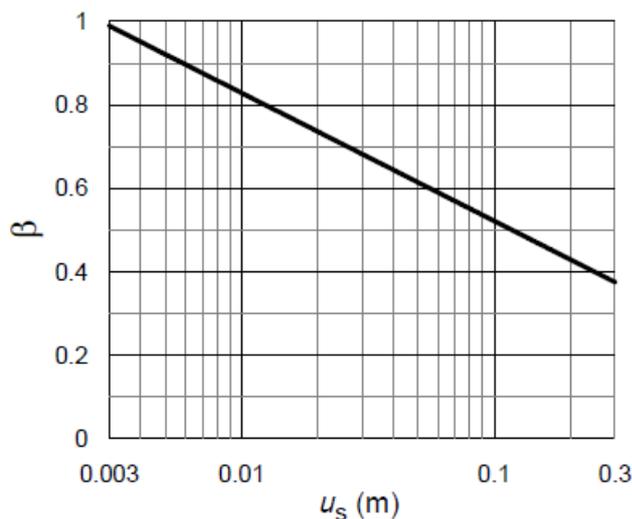


Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento

in funzione del massimo spostamento  $u_s$  che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza.

Per  $u_s = 0$  e  $\beta = 1$ . Deve comunque risultare:

$$u_s \leq 0,005 \cdot H$$

Se  $\alpha\beta \leq 0,2$  deve assumersi  $k_n = 0,2a_{\max}/g$ .

Categoria sottosuolo: categoria di sottosuolo di riferimento;

Categoria topografica: categoria topografica di riferimento;

**Tab. 3.2.II NTC 2018 - Categorie di sottosuolo**

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

**Tab. 3.2.III NTC 2018- Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianecciante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ .
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ .
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ .
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ .

E' possibile anche personalizzare l'accelerazione massima attesa al sito selezionando con un segno di spunta la relativa opzione ed inserendo il valore nella rispettiva casella.

6. Per ogni Stato limite verranno così ricavati il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_S$ , il coefficiente funzione della categoria di sottosuolo  $C_C$  ed il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ , valori che possono essere anche modificati manualmente dall'utente, sarà così

possibile eseguire il calcolo dei coefficienti sismici cliccando sul pulsante "Calcola";

7. Cliccare sul pulsante centrale "Salva file" per salvare il report in formato .txt, da importare poi nella finestra Calcolo coefficienti sismici di SPW, o sul pulsante "Salva PDF" per salvare i risultati in formato .pdf.

The screenshot displays the GeoStru web application interface. At the top, there is a navigation bar with the GeoStru logo and a banner for "NTC 2018: il decreto è in Gazzetta Ufficiale". Below the navigation bar, there are tabs for "Indirizzo", "Coordinate", and "Isole". The main area is divided into three sections:

- Map:** A Google Maps view showing a location in Rome, Italy, with a red pin and a red circle indicating the site location.
- Stati limite:** A panel showing the "Classe Edificio" (Class of Building) and "Vita Normale" (Normal Life) with a "CU = 1" indicator. Below this is a table of seismic parameters:

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_c$ [s]
Operatività (SLD)	30	0.043	2.927	0.297
Danno (SLD)	50	0.055	2.904	0.270
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.120	2.620	0.297
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.150	2.615	0.307

Below the table, it indicates "Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50".
- Coefficienti sismici:** A panel showing various seismic coefficients and amplification factors. It includes a table for "Coeff. funz. categoria" and "Coeff. funz. categoria" with values for SLD, SLD, SLV, and SLC.

Software on line GeoStru Parametri sismici

## 2.5 Geoapp

Geoapp: la più grande suite del web per calcoli online

Gli applicativi presenti in Geostru Geoapp sono stati realizzati a supporto del professionista per la soluzione di molteplici casi professionali. Geoapp comprende oltre 40 applicazioni per: Ingegneria, Geologia, Geofisica, Idrologia e Idraulica.

La maggior parte delle applicazioni sono gratuite, altre necessitano di una sottoscrizione (subscription) mensile o annuale.

*Perchè si consiglia la subscription?*

Perchè una subscription consente di:

- usare applicazioni professionali ovunque e su qualunque dispositivo;
- salvare i file in cloud e sul proprio PC;
- riaprire i file per elaborazioni successive;
- servizi di stampa delle relazioni ed elaborati grafici;

- notifica sull'uscita di nuove applicazioni ed inclusione automatica nel proprio abbonamento;
- disponibilità di versioni sempre aggiornate;
- servizio di assistenza tramite Ticket.

### 2.5.1 Sezione Geoapp

#### Generale ed Ingegneria, Geotecnica e Geologia

Tra le applicazioni presenti, una vasta gamma può essere utilizzata per Paratie. A tale scopo si consigliano i seguenti applicativi:

- Computo metrico estimativo
- Coefficiente di reazione orizzontale pali di fondazione
- Pali e micropali
- Prove di carico su pali
- Classificazione suoli NTC2018
- Classificazione delle terre SMC
- Tiranti
- Newmark

### 3 Utility

#### 3.1 Tabelle di conversione

Tabella di conversione da (°) in (%) e viceversa

Pendenza (%)	Angolo (°)	Pendenza (%)	Angolo (°)
1	0.5729	26	14.5742
2	1.1458	27	15.1096
3	1.7184	28	15.6422
4	2.2906	29	16.1722
5	2.8624	30	16.6992
6	3.4336	31	17.2234
7	4.0042	32	17.7447
8	4.5739	33	18.2629
9	5.1428	34	18.7780
10	5.7106	35	19.2900
11	6.2773	36	19.7989
12	6.8428	37	20.3045
13	7.4069	38	20.8068
14	7.9696	39	21.3058
15	8.5308	40	21.8014
16	9.0903	41	22.2936
17	9.6480	42	22.7824
18	10.2040	43	23.2677
19	10.7580	44	23.7495
20	11.3099	45	24.2277
21	11.8598	46	24.7024
22	12.4074	47	25.1735
23	12.9528	48	25.6410
24	13.4957	49	26.1049
25	14.0362	50	26.5651

Tabella di conversione delle forze

Da	A	Operazione	Fattore
N	kg	Dividere per	9.8
<del>kN</del>	kg	Moltiplicare per	102
<del>kN</del>	t	Dividere per	9.8
kg	N	Moltiplicare per	9.8
kg	kN	Dividere per	102
t	kN	Moltiplicare per	9.8

Conversione forze:

$$1 \text{ Newton (N)} = 1/9.81 \text{ Kg} = 0.102 \text{ Kg} ; 1 \text{ kN} = 1000 \text{ N}$$

Tabella di conversione delle pressioni

Da	A	Operazione	Fattore
t/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Dividere per	10
kg/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Dividere per	10000
Pa	kg/cm <sup>2</sup>	Dividere per	98000
kPa	kg/cm <sup>2</sup>	Dividere per	98
Mpa	kg/cm <sup>2</sup>	Moltiplicare per	10.2
kPa	kg/m <sup>2</sup>	Moltiplicare per	102
Mpa	kg/m <sup>2</sup>	Moltiplicare per	102000

### 3.2 Database Terreni

Valori indicativi del peso di volume in Kg/m<sup>3</sup>

Terreno	Valore minimo	Valore massimo
Ghiaia asciutta	1800	2000
Ghiaia umida	1900	2100
Sabbia asciutta compatta	1700	2000
Sabbia umida compatta	1900	2100
Sabbia bagnata compatta	2000	2200
Sabbia asciutta sciolta	1500	1800
Sabbia umida sciolta	1600	1900
Sabbia bagnata sciolta	1900	2100
Argilla sabbiosa	1800	2200
Argilla dura	2000	2100
Argilla semisolida	1900	1950
Argilla molle	1800	1850
Torba	1000	1100

Valori indicativi dell'angolo di attrito, in gradi, per terreni

Terreno	Valore minimo	Valore massimo
Ghiaia compatta	35	35
Ghiaia sciolta	34	35
Sabbia compatta	35	45
Sabbia sciolta	25	35
Marna sabbiosa	22	29
Marna grassa	16	22
Argilla grassa	0	30
Argilla sabbiosa	16	28
Limo	20	27

Valori indicativi della coesione in Kg/cm<sup>2</sup>

Terreno	Valore
Argilla sabbiosa	0.20
Argilla molle	0.10
Argilla plastica	0.25
Argilla semisolida	0.50
Argilla solida	1
Argilla tenace	2÷10
Limo compatto	0.10

Valori indicativi del modulo elastico, in Kg/cm<sup>2</sup>

Terreno	Valore massimo di E	Valore minimo di E
Argilla molto molle	153	20.4
Argilla molle	255	51
Argilla media	510	153
Argilla dura	1020	510
Argilla sabbiosa	2550	255
Loess	612	153
Sabbia limosa	204	51
Sabbia sciolta	255	102
Sabbia compatta	816	510
Argilloscisto	51000	1530
Limo	204	20.4
Sabbia e ghiaia sciolta	1530	510
Sabbia e ghiaia compatte	2040	1020

Valori indicativi del coefficiente di Poisson per terreni

Terreno	Valore massimo di $\nu$	Valore minimo di $\nu$
Argilla satura	0.5	0.4
Argilla non satura	0.3	0.1
Argilla sabbiosa	0.3	0.2
Limo	0.35	0.3
Sabbia	1.0	0.1
Sabbia ghiaiosa comunemente usata	0.4	0.3

Valori indicativi del peso specifico di alcune rocce in Kg/m<sup>3</sup>

Roccia	Valore minimo	Valore massimo
Granito	45	60
Dolerite	55	60
Basalto	50	55
Arenaria.	35	50
Argilloscisto	15	30
Calcarea	35	50
Quarzite	50	60
Marmo	35	50

Valori indicativi del modulo elastico e del coefficiente di Poisson per rocce

Roccia	E		$\nu$	
	Valore massimo	Valore minimo	Valore massimo	Valore minimo
Basalto	1071000	178500	0.32	0.27
Granito	856800	142800	0.30	0.26
Scisto cristallino	856800	71400	0.22	0.18
Calcarea	1071000	214200	0.45	0.24
Calcarea poroso	856800	35700	0.45	0.35
Arenaria	428400	35700	0.45	0.20
Argilloscisto	214200	35700	0.45	0.25
Calcestruzzo	Variabile		0.15	

## 4 Berlinesi

### MICROPALI PER BERLINESI

Trattasi di tubolari in acciaio per lo più S 275 (ex Fe 430 B), di spessore variabile da 6 mm fino a 30 mm, aventi diametro da 114 mm, ma si può arrivare fino ad un massimo di mm 300. L'estremità del palo che verrà infissa nel terreno è dotata di lama di forma triangolare. Il palo standard ha 6 mm di spessore e diametro 114 mm, lunghezza 6 m. La massima lunghezza di un palo è pari a 12 m, nel caso in cui servisse una dimensione maggiore la parte eccedente sarà unita tramite saldatura di testa. Ove richiesto la berlinese può essere dotata di tiranti, costituiti sempre da tubolari in acciaio aventi le caratteristiche sopra descritte.

Sia ai tiranti che eventualmente ai pali può essere saldata alla estremità inferiore un'elica dello stesso materiale, ma di diametro maggiore. Sia la lunghezza del tubo che il suo diametro, nonché le caratteristiche dell'elica, lo spessore e il diametro, dipendono dalle caratteristiche del terreno e dalle prestazioni richieste.

Messa in opera tramite un escavatore con braccio alla cui estremità è attaccato un rotore dotato di una cuffia all'interno della quale è inserita la testa del palo e che permetterà con la rotazione impressa la sua infissione. Anche i tiranti vanno infissi con lo stesso metodo. In seguito, se il progetto lo richiede, si può effettuare un getto di calcestruzzo entro il tubolare in acciaio. Il tubo funge allora da camicia e l'insieme si può considerare una struttura mista acciaio – calcestruzzo. La struttura di collegamento delle teste dei pali costituenti la berlinese e i tiranti è per lo più realizzata con cordoli in c.a. di dimensioni e armatura calcolati di volta in volta a seconda delle particolari esigenze del cantiere. Si possono anche utilizzare altri sistemi come putrelle in acciaio.

Come risulta dalle immagini il micropalo di cui trattasi è di veloce installazione, non provoca vibrazioni negli edifici adiacenti, non viene asportato terreno e non necessita di impianto cantiere complesso e infatti viene infisso, di solito, quando ancora l'impianto cantiere non è ancora completato.

### **CAPITOLATO BERLINESI**

Fornitura e posa in opera di palificata tipo berlinese avente lunghezza pari a .....m, realizzata con pali in acciaio S 275 (ex Fe 430) con passo di .....m, per un totale di .....pali. Per l'infissione si utilizzerà un'escavatore munito di trivella. I pali avranno le seguenti caratteristiche: lunghezza .

.....m, spessore .....mm, diametro .....mm. Saranno dotati di punta triangolare avente spessore di .....mm saldata all'estremità inferiore, e se necessario, di un'elica sempre saldata alla parte inferiore del palo avente le seguenti caratteristiche, diametro interno .....mm, diametro esterno .....mm, spessore interno .....mm, spessore esterno .....mm, passo .....mm.

I tiranti in acciaio Fe 430 con passo di .....m, per un totale di .....tiranti avranno le seguenti caratteristiche: lunghezza .....m, spessore .....mm, diametro .....mm. Saranno dotati di punta triangolare avente spessore di .....mm saldata all'estremità inferiore del palo e di un'elica sempre saldata alla parte inferiore del tirante avente le seguenti caratteristiche, diametro interno .....mm, diametro esterno .....mm, spessore interno

.....mm, spessore esterno .....mm, passo .....mm. I tiranti saranno vincolati nel cordolo di collegamento delle teste dei pali con .....barre di

.....mm di diametro. Per l'infissione si utilizzerà un'escavatore munito di trivella.

La posa della palificata dovrà essere preceduta da un'adeguata indagine stratigrafica dei terreni interessati.

E' comunque compreso nel prezzo l'eventuale scavo che si rendesse necessario per la realizzazione del cordolo fino ad un massimo di 100 cm di profondità dal piano campagna e 50 cm di larghezza.

Sono esclusi l'indagine stratigrafica dei terreni interessati, il tracciamento della palificata, la fornitura e posa del ferro per l'armatura del cordolo e per il collegamento tiranti, del calcestruzzo per l'eventuale riempimento dei pali e per la realizzazione del cordolo, oltre all'eventuale trasporto in discarica del terreno scavato.

## **COME CALCOLARE LE BERLINESI**

Le paratie berlinesi sono opere di ingegneria civile che trovano molta applicazione in problemi legati agli scavi in centri urbani. Per quanto riguarda l'aspetto del calcolo vale la pena sottolineare che non esistono, ad oggi, metodi esatti, e questo è anche dovuto alla complessa interazione tra la profondità di scavo, la rigidità del materiale costituente la paratia e la resistenza dovuta alla pressione passiva. In ogni caso, i metodi correntemente utilizzati possono essere classificati in due categorie:

Metodi che si basano su una discretizzazione del modello di paratia (si parla di differenze finite o di elementi finiti);

Metodi che si basano su congetture di tipo semplicistico, al fine di poter affrontare il problema con il semplice studio dell'equilibrio di un corpo rigido. Tra le due classi di metodi esposti all'elenco precedente, quello degli elementi finiti è quello che più di tutti risulta razionale, in quanto basato su considerazioni che coinvolgono sia la statica del problema (equilibrio) sia la cinematica (congruenza).

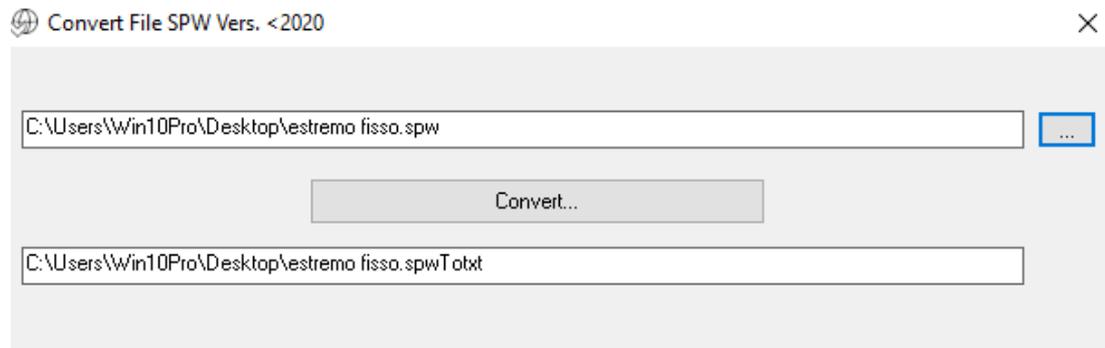
Per maggiori informazioni sulle metodologie di calcolo rimanda alla documentazione teorica di questo software.

## **5 Conversione file da .spw a .spwx**

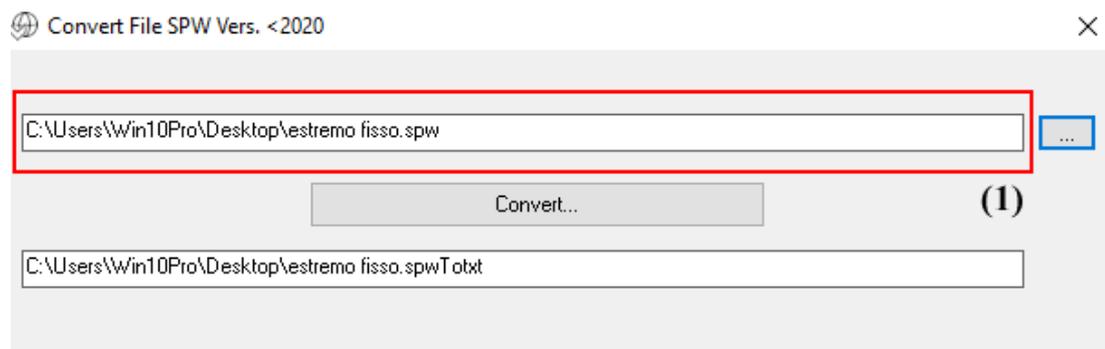
Dopo aver installato la versione 2022 di SPW, nella directory C:\GEOSTRU 2022 è presente la cartella Convert spw to spwTotxt all'interno della quale è contenuto l'eseguibile Spwtotxt.exe che consente di convertire il file con estensione .spw in .spwTotxt.

[Procedura di conversione dei file](#)

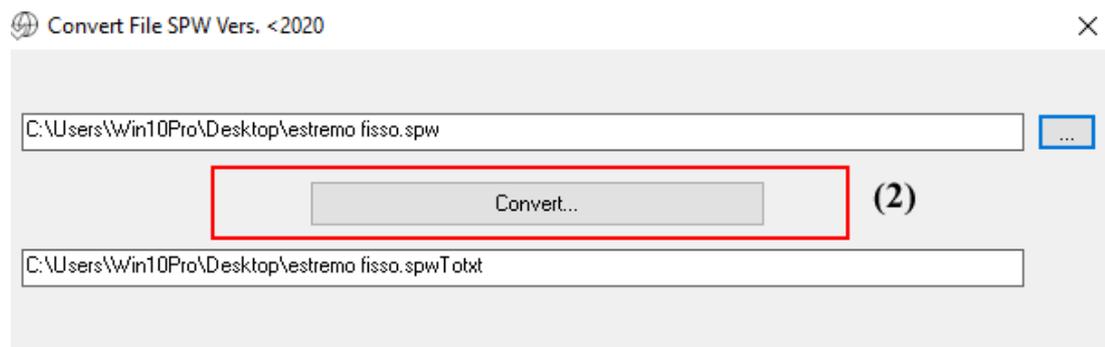
Avviare l'eseguibile Spwtotxt.exe, apparirà la seguente immagine



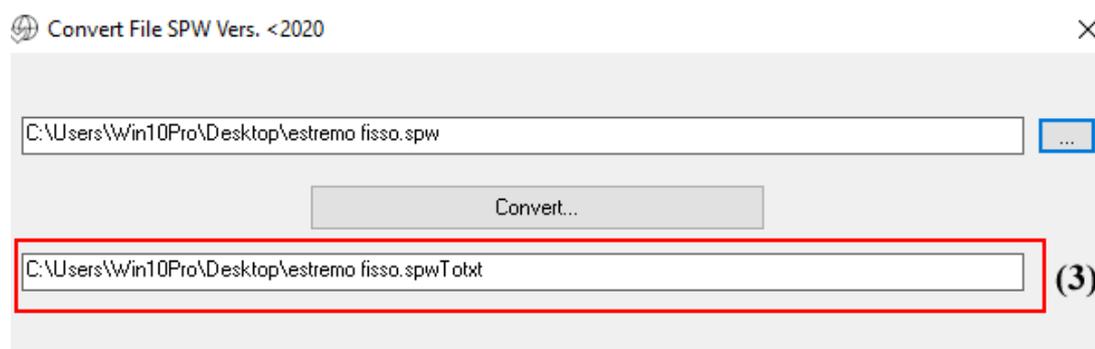
Sul campo (1) occorre riportare il percorso in cui si trova il file con estensione .spw che occorre convertire, eseguire la ricerca cliccando sul pulsante [...], dopo aver selezionato il file si attiverà il comando Converter.



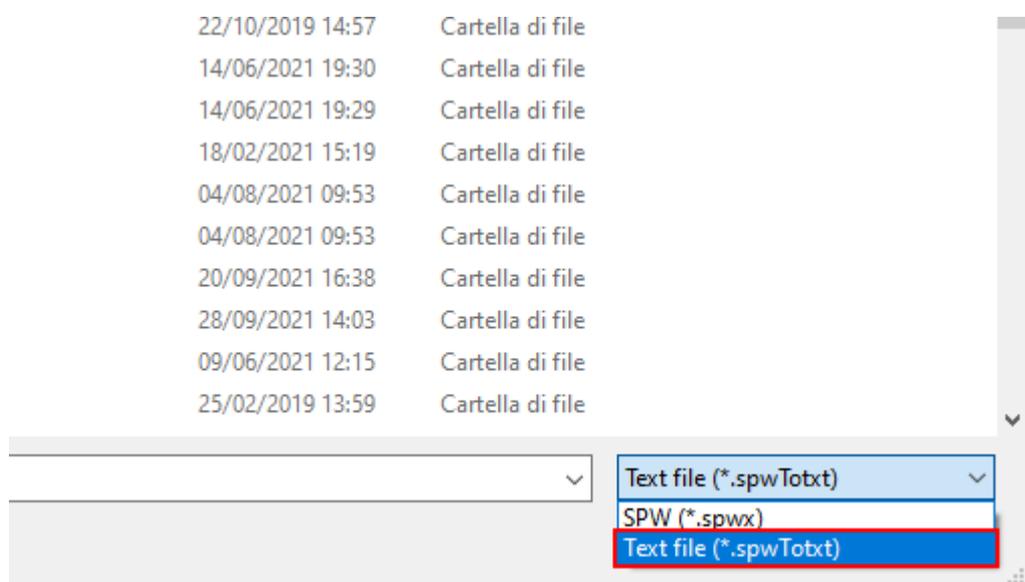
Selezionare il pulsante Converter (2)



Il file con estensione .spwTotxt verrà salvato sulla directory riportata sul campo (3).



Avviare il software SPW, dal menù a discesa File selezionare il comando Apri e scegliere l'estensione .spwTotxt selezionare il file generato dall'applicazione Spwtotxt.exe. Salvare il file con estensione .spwx.



## 6 Bibliografia

Bowles (1991)  
Fondazioni Progetto e Analisi Joseph E. Bowles, Ed. McGraw-Hill.

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (DECRETO 17  
gennaio 2018)

Ministero delle Infrastrutture-Ministero dell'Interno-Dipartimento della Protezione Civile  
Nuove norme tecniche per le costruzioni, DM Infrastrutture 14 gennaio 2008.

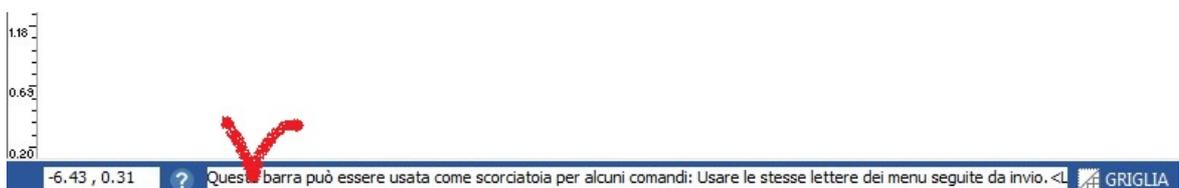
Bond A., Harris A. (2008)  
Decoding Eurocode7, Taylor & Francis Group.

Carlo Cestelli Guidi (1980)  
Geotecnica e tecnica delle fondazioni, Vol. 2, Ed. Hoepli.

## 7 Comandi di Short cut

La barra indicata in Figura può essere utilizzata per una serie di funzionalità:

- 1) Con le lettere di short cut dei menu, seguite da invio si ha l'accesso veloce ai comandi.  
Esemp.: N+Invio per creare un nuovo file.
- 2) Si può fare una domanda al programma seguita da ?+Invio. In tal caso saranno effettuate delle ricerche avanzate nell'help.  
Esemp.: Sisma+?+Invio per avere delle informazioni sull'analisi sismica.
- 3) Attivazione di un programma in modo rapido.  
Esemp.: Slope+Invio per aprire altro software GeoStru.
- 4) Accesso rapido ai contatti GeoStru.  
Esemp.: Contatti+?+Invio per accedere alla lista dei contatti.
- 5) Accesso rapido a funzionalità web:  
Esemp.: www.geostru.eu+Invio  
Scrivere geostru ps + Invio per l'accesso rapido al calcolo dei parametri sismici.



Figura

## 8 Contatti

	 Telefono
	0690289085
	 Email
	info@geostru.eu-office@geostru.eu
	 Orari
	Lunedì-Venerdì Ore 9-17
 Supporto	
<p>Per il servizio di assistenza usare preferibilmente l'area dedicata di supporto (Ticket). Da inizio 2016 l'assistenza per i clienti ITALIANI è alla SOEG &amp; C. Per informazioni si prega di visitare il sito <a href="http://www.soeg.it">www.soeg.it</a>.</p>	