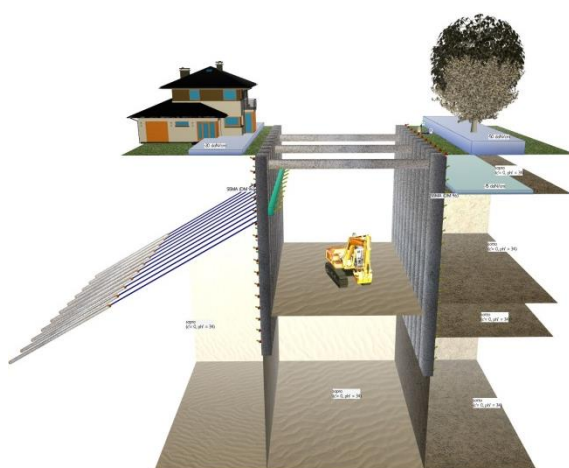




**CDM DOLMEN srl**  
SOFTWARE STRUTTURALE E GEOTECNICO - RESISTENZA AL FUOCO

# IS Paratie



**MANUALE UTENTE**

## *Indice*

<b>1</b>	<b>TEORIA</b>	<b>3</b>
1.1	Interazione terreno – struttura	3
1.2	Modello del terreno	3
1.3	Stima dei parametri	4
1.3.1	Rigidezza delle molle	4
1.3.2	Parametri di stato limite ultimo	5
1.3.3	Storia tensionale e spinta a riposo	5
1.4	Pressioni interstiziali	6
1.5	Sovraccarichi	7
1.6	Limitazioni	8
1.7	Definizione delle proprietà di strato nel programma di calcolo	9
1.7.1	Modello	9
1.7.2	Proprietà meccaniche del terreno	10
1.7.3	Proprietà idrauliche del terreno	10
1.7.4	Sovraccarichi	11
1.7.5	Indagini	11
1.7.6	Calcolo dei cedimenti a monte della paratia	11
1.8	Riferimenti Bibliografici	12
1.9	Verifica dell'ancoraggio dei tiranti	13
1.9.1	Calcolo della lunghezza sigillata	13
1.9.1.1	Diametro del bulbo della sigillatura	13
1.9.1.2	Attrito laterale unitario minimo	14
1.9.1.3	Coefficiente di sicurezza	17
1.9.2	Calcolo della lunghezza libera	17
<b>2</b>	<b>ESEMPIO DI UTILIZZO DEL PROGRAMMA</b>	<b>18</b>
2.1	Introduzione dei dati	18
2.1.1	Elementi strutturali	19
2.1.1.1	Paratie	19
2.1.1.2	Strati	19
2.1.1.3	Step (“Fasi”) di progetto	20
2.1.1.4	Scavo	21
2.1.1.5	Tiranti	21
2.1.1.6	Carichi sul terreno	22
2.1.1.7	Sisma	23
2.1.1.8	Puntoni	23
2.1.1.9	Eliminazione di elementi	23
2.1.1.10	Carichi sugli elementi strutturali	24
2.1.1.11	Vincoli posticipati	24
2.1.1.12	Materiali	25
2.1.1.13	Sezioni	25
2.1.2	Parametri	26
2.1.2.1	Visualizzazione	27
2.1.2.2	Disegno	27

2.1.2.3	Relazione	28
2.1.2.4	Modello	29
2.1.2.5	Nuovo lavoro	29
<b>2.2</b>	<b>Analisi del modello</b>	<b>29</b>
2.2.1	Impostazioni	30
2.2.2	Avvio del calcolo	30
2.2.3	Procedimento iterativo	31
2.2.4	Procedure di verifica e progetto	33
<b>2.3</b>	<b>Gestione dei risultati</b>	<b>34</b>
2.3.1	Lettura dei risultati a video	34
2.3.2	Esportazione risultati	34
<b>2.4</b>	<b>Calcolo dei cedimenti a monte della paratia</b>	<b>35</b>
<b>3</b>	<b>CONVENZIONI, SIMBOLI ED UNITÀ DI MISURA</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>VISUALIZZATORE 3D</b>	<b>39</b>

# 1 Teoria

## 1.1 Interazione terreno – struttura

L'analisi di una opera di sostegno flessibile (paratia o diaframma) costituisce un classico esempio di interazione terreno – struttura in cui il comportamento meccanico di quest'ultima viene fortemente influenzato dalla sua interazione con il terreno circostante, che nello specifico rappresenta sia il carico agente (spinta attiva a tergo dell'opera) che la reazione in grado di garantire la stabilità dell'opera (resistenza passiva a valle). In tale contesto assume chiaramente grande rilevanza la modellazione del comportamento meccanico del terreno chiamato ad interagire con l'opera di sostegno. In particolare è da notare la rilevanza della successione delle fasi realizzative per una corretta analisi del comportamento strutturale.

Il metodo “alla Winkler”, pur con le limitazioni che verranno richiamate nel seguito, costituisce da questo punto di vista un buon compromesso che consente l'analisi del fenomeno di interazione in modo efficace con un limitato numero di parametri per la definizione del comportamento meccanico del terreno.

## 1.2 Modello del terreno

Il modello si fonda sull'ipotesi che l'interazione tra terreno e struttura possa essere schematizzata con una serie di molle orizzontali discrete che rappresentano la reazione che il terreno oppone ai movimenti della struttura.

Pertanto l'interazione è descritta da una generica relazione tra lo spostamento orizzontale  $y$  e la reazione  $p$  del terreno in un determinato punto. Per descrivere tale relazione viene comunemente adottata una legge elastica-perfettamente plastica, assumendo una variazione lineare della reazione in funzione dello spostamento con limite inferiore individuato dal valore di spinta attiva, che corrisponde alla massima decompressione del terreno, e limite superiore corrispondente al valore della resistenza passiva. Pertanto schematicamente si può rappresentare l'elemento che simula il terreno nello schema FEM come una molla con blocco di attrito che rappresenta la pressione ultima del terreno (rottura attiva o passiva).

Per tenere conto dell'influenza della storia tensionale del terreno, è possibile differenziare la rigidità della molla tra le fasi di scarico – ricarico (ur) e le fasi di compressione vergine (vc), pervenendo pertanto ad una relazione  $p - y$  di tipo bilatera. Il punto di passaggio tra le due differenti rigidità è individuato dal massimo livello di carico cui è stato sottoposto l'elemento di terreno durante la sua storia tensionale ed è pertanto dipendente dal grado di sovraconsolidazione e dall'evoluzione della situazione statica dell'opera durante le varie fasi realizzative. La situazione iniziale del terreno prima dell'esecuzione dell'opera viene descritta dal coefficiente di spinta a riposo  $K_0$  che permette di determinare la tensione orizzontale geostatica, che costituisce lo stato di partenza per l'evoluzione tensionale indotta dalle fasi di realizzazione dell'opera.

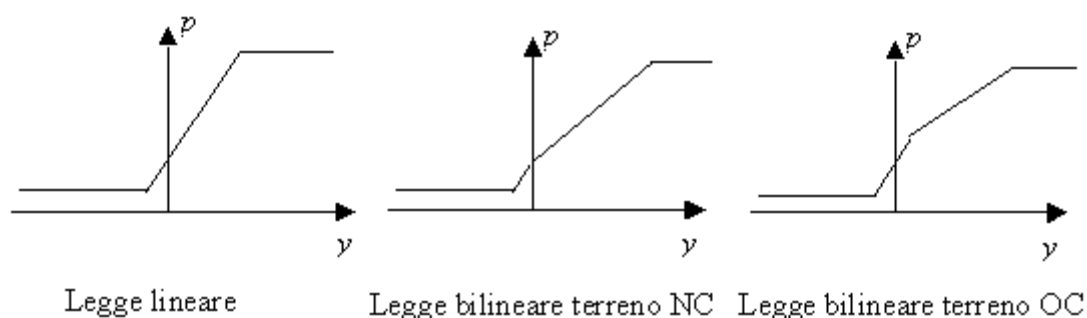


Figura 1 Legge forza-spostamento per le molle di interazione

## 1.3 Stima dei parametri

### 1.3.1 Rigidezza delle molle

La rigidezza delle molle che simulano la reazione del terreno nei confronti dell'opera di sostegno non costituisce una proprietà fisica del terreno stesso quanto un parametro dipendente dall'interazione terreno – struttura. Per tale ragione a rigore essa non può essere determinata facendo riferimento alle sole caratteristiche meccaniche del terreno. Inoltre bisogna tenere presente l'influenza che tale parametro assume nel modello, soprattutto per quanto riguarda la valutazione degli spostamenti. In virtù delle suddette motivazioni si suggerisce di effettuare comunque analisi con valori differenti di tale parametro al fine di valutarne l'influenza sui risultati finali e operare le conseguenti scelte progettuali secondo i dettami del giudizio ingegneristico.

Generalmente la rigidezza  $k$  della molla viene determinata facendo riferimento alle caratteristiche di deformazione del terreno espresse da un modulo di rigidezza equivalente. Diversi approcci sono stati proposti sulla base di confronti con simulazioni numeriche o misure sperimentali su modelli o opere in vera grandezza: alcuni di essi sono sintetizzati nel seguito. Oltre al modulo di rigidezza del terreno, intervengono alcuni coefficienti correttivi riferiti alla struttura ed una lunghezza caratteristica che rappresenta la dimensione della zona collaborante. Si sottolinea che tali formule hanno carattere semiempirico, basandosi sull'analisi a ritroso di casi reali, e pertanto devono essere considerate come suggerimenti operativi da utilizzare con la dovuta cautela.

- *Jamiolkowski e Pasqualini (1980)* suggeriscono di fare riferimento al modulo di elasticità secante del terreno corrispondente alla mobilitazione del 50% della pressione limite  $E_{s,50}$ :

$$k = \frac{E_{s,50}}{\rho \cdot t} \cdot C_p \quad (1)$$

dove  $t$  rappresenta la profondità di infissione;  $\rho$  è un coefficiente adimensionale pari ad uno 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 parziale al piede;  $C_p$  è

un coefficiente adimensionale di profondità pari a  $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{z}{t}$  dove  $z$  rappresenta la profondità dal piano di fondo scavo.

Per la valutazione di  $E_{s,50}$  gli stessi Autori consigliano di fare riferimento alle seguenti correlazioni basate sulla prova penetrometrica statica (CPT):

- terreni a grana fine (limi ed argille)

$$E_{s,50 \text{ non drenato}} \approx (8 \div 20) q_c$$

$$E_{s,50 \text{ drenato}} \approx (4 \div 6) q_c$$

- terreni sabbiosi

$$\text{NC } E_{s,50} \approx (2 \div 6) q_c$$

$$\text{OC } E_{s,50} \approx (6 \div 12) q_c$$

- *Schmitt (1995)* propone di fare riferimento al modulo edometrico del terreno  $E_{ed}$  ed alla rigidezza relativa dell'opera di sostegno (espressa attraverso la lunghezza caratteristica  $\lambda$  delle travi alla Winkler), ottenendo:

$$k = 2.1 \cdot \frac{E_{ed}^{4/3}}{EJ^{1/3}} \quad (2)$$

dove  $EJ$  rappresenta la rigidezza della paratia.

- *Menard e Bourdon* (1965) fanno riferimento al modulo pressiométrico del terreno  $E_M$ , ottenuto sperimentalmente con la prova pressiométrica, largamente diffusa in Francia:

$$k = \frac{E_M}{\alpha \cdot \frac{L}{2} + 0.13 \cdot (9 \cdot L)^\alpha} \quad (3)$$

dove  $\alpha$  è un coefficiente che tiene conto del comportamento viscoso del terreno e  $L$  è una lunghezza caratteristica che gli Autori pongono pari ai 2/3 della profondità di infissione della paratia.

- *Monaco e Marchetti* (2002) propongono l'uso del modulo ottenuto con il dilatometro piatto, maggiormente diffuso in Italia, in sostituzione del modulo pressiométrico.

### 1.3.2 Parametri di stato limite ultimo

Come esposto nella descrizione del modello, le molle che rappresentano la reazione del terreno agli spostamenti orizzontali della struttura sono collegate a dei blocchi ad attrito che rappresentano i valori limite dati dalla rottura attiva o passiva del terreno. I corrispondenti valori di spinta attiva o resistenza passiva possono essere determinati con i metodi classici della geotecnica a partire dai parametri di rottura del terreno (*Lancellotta*, 1993). Facendo riferimento alla legge di rottura di *Mohr – Coulomb* tali parametri sono l'angolo di resistenza al taglio e la coesione apparente. Inoltre per tenere conto dell'accoppiamento all'interfaccia muro terreno si fa riferimento all'angolo di attrito muro – terreno e all'aderenza muro – terreno. Nella prassi geotecnica l'angolo di attrito muro – terreno viene assunto pari ad una frazione dell'angolo di resistenza al taglio in funzione dei materiali adottati per la realizzazione dell'opera (ad esempio 1/2 o 2/3 nel caso di diaframmi in c.a.), mentre l'aderenza viene tipicamente trascurata a parte casi particolari.

Nel caso di verifiche a breve termine in materiali a bassa permeabilità (argille) può essere opportuno fare riferimento a verifiche in condizioni non drenate per le quali si considera un criterio di resistenza in termini di tensioni totali e la resistenza viene definita tramite la coesione non drenata  $c_u$  (o  $s_u$ ).

### 1.3.3 Storia tensionale e spinta a riposo

La storia tensionale del deposito di terreno interviene nella definizione del modello per altri due aspetti: la posizione del punto di variazione di pendenza nella legge bilineare e la definizione della spinta a riposo che costituisce il punto di partenza per valutare l'evoluzione della reazione del terreno nel corso della realizzazione dell'opera. La storia tensionale viene tipicamente descritta in termini di grado di sovraconsolidazione (*OCR*, dall'inglese *OverConsolidation Ratio*), dato dal rapporto tra la massima tensione verticale efficace subita dall'elemento di terreno nel corso della sua storia e la tensione efficace geostatica:

$$OCR = \frac{\sigma'_{v, \max}}{\sigma'_{v0}} \quad (4)$$

La determinazione del grado di sovraconsolidazione sulla scorta di prove di laboratorio (edométriche) è possibile solo per materiali campionabili in modo indisturbato, mentre diviene problematica per terreni a grana grossa, difficilmente campionabili.

Il grado di consolidazione influenza il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$  che rappresenta il rapporto tra le tensioni efficaci geostatiche orizzontali e verticali e permette la valutazione della spinta del terreno sull'opera prima dell'inizio delle fasi di scavo.

Il coefficiente  $K_0$  può essere determinato mediante prove in sito o prove di laboratorio su campioni indisturbati di terreno.

Correlazione empiriche largamente utilizzate per la stima di  $K_0$  sulla base dell'angolo di resistenza al taglio o dell'indice di plasticità per terreni coesivi sono (Jamiolkowski e Pasqualini, 1979):

$$\begin{aligned} K_0^{\text{NC}} &= 1 - \sin \phi' \\ K_0^{\text{NC}} &= 0.44 + 0.42 \cdot \frac{\text{IP}}{100} \end{aligned} \quad (5)$$

Il coefficiente di spinta a riposo per terreni sovraconsolidati è correlabile con il valore per terreni normalconsolidati mediante la relazione empirica (Lancellotta, 1993):

$$K_0^{\text{OC}} = K_0^{\text{NC}} \text{OCR}^{0.5} \quad (6)$$

Tali relazioni sono da considerare valide solo per sovraconsolidazione meccanica e per un solo ciclo di carico – scarico, infatti non tengono conto dell'intera storia geologica del deposito e di eventuali fenomeni di ageing.

## 1.4 Pressioni interstiziali

Una componente di spinta aggiuntiva rispetto a quella fino a qui discussa è data dalla presenza delle pressioni interstiziali disposte sul contorno dell'opera. Queste vengono definite in maniera autonoma mediante la ricostruzione del reticolo di flusso a lato del diaframma. Si impone, facendo ricorso ad alcune semplificazioni, la continuità del flusso idraulico (bilancio di massa della fase liquida in condizioni stazionarie). Indicando con  $h_w$  l'altezza piezometrica ed assumendo che ogni strato sia caratterizzato da una permeabilità  $K_w$  costante ed isotropa, la continuità del flusso idraulico viene espressa come:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( K_w \left( \frac{\partial h_w}{\partial z} + \frac{\partial h_w}{\partial y} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_w \left( \frac{\partial h_w}{\partial z} + \frac{\partial h_w}{\partial y} \right) \right) = 0 \quad (7)$$

I terreni vengono considerati completamente saturi al di sotto della quota piezometrica e completamente asciutti al di sopra. Vengono pertanto escluse situazioni di pressioni interstiziali negative tanto in condizioni sature (tensioni efficaci superiori a quelle totali) quanto in condizioni non sature (terreni il cui comportamento non è più modellabile in maniera soddisfacente facendo ricorso alle soli tensioni efficaci).

Osservando che il contorno dell'opera costituisce una linea di flusso per l'acqua di falda, ed assumendo che il suo spessore sia trascurabile rispetto al percorso di filtrazione, si perviene alla formulazione monodimensionale della (7), ossia:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( K_w \frac{\partial h_w}{\partial z} \right) = 0 \quad (8)$$

che integrata dà:

$$K_w \frac{\partial h_w}{\partial z} = \text{cost} \quad (9)$$

Il problema di flusso viene quindi risolto a partire dalle quote piezometriche imposte a monte ed a valle dell'opera. Se queste coincidono, la distribuzione delle pressioni interstiziali sarà di tipo idrostatico. Altrimenti, si avrà una distribuzione congruente con il regime dissipatorio instaurato in seguito alla differenza di carico esistente tra monte e valle.

Nel caso di presenza di un unico strato si otterrà:

$$\frac{\partial h_w}{\partial z} = -\frac{\Delta h_w}{L} \quad (10)$$

essendo  $L$  la lunghezza totale del percorso di filtrazione lungo il contorno dell'opera e  $\Delta h_w$  la differenza di quota piezometrica tra monte e valle dell'opera.

Nel caso siano invece presenti più strati con permeabilità differenti si avrà che:

$$-K_i \frac{\Delta h_w^i}{L_i} = \text{cost} \quad (11)$$

essendo  $K_i$  la permeabilità del generico strato  $i$  ed  $L_i$  lo spessore del medesimo.

Poiché  $\sum \Delta h_w^i = \Delta h_w$  ne consegue che

$$\Delta h_w^i = \frac{\Delta h_w \frac{L_i}{K_i}}{\sum_j \frac{L_j}{K_j}} \quad (12)$$

con distribuzione lineare della caduta di piezometrica all'interno di ciascuno strato.

Una volta ricavato il valore locale della piezometrica, le pressioni interstiziali  $p_w$  vengono imposte a partire dalla relazione  $p_w = \gamma_w (h_w - z)$ .

## 1.5 Sovraccarichi

La presenza di opere preesistenti o di materiali disposti a piano campagna implica precisi effetti sulla distribuzione tensionale nel terreno a tergo dell'opera. Il problema viene trattato in due maniere differenti, in funzione dell'estensione di detto carico.

Per un sovraccarico uniformemente distribuito agente a piano campagna ed esteso su area infinita, le tensioni verticali geostatiche vengono incrementate di una quota pari a quella del carico distribuito. In altre parole, se  $q$  è il carico distribuito, le tensioni efficaci verticali operative  $\sigma'_v$  saranno pari a

$$\sigma'_v = \sigma'_{v0} + q \quad (13)$$

essendo  $\sigma'_{v0}$  le tensioni geostatiche calcolate a partire dal piano campagna. Ne consegue che, valendo per la situazione iniziale il legame



$$\sigma'_b = K_0 \sigma'_v \quad (14)$$

anche la spinta orizzontale iniziale sarà più alta che non in assenza di sovraccarico.

Nel caso di una forza concentrata o di un carico distribuito avente ridotte dimensioni (dovuto ad esempio alla presenza della fondazione superficiale di un'altra opera) si dovrà ugualmente tenere conto di un incremento delle tensioni orizzontali inizialmente agenti sull'opera. Tuttavia, a differenza dal caso precedente, l'incremento non varierà linearmente con la profondità, ma sarà funzione della distanza (in direzione verticale ed orizzontale) dal carico.

E' pertanto necessario in questo caso fare riferimento a schemi più raffinati. In particolare ci si suole riferire alla formulazione data da *Boussinesq* (1885). Tale formulazione considera il terreno come un semispazio elastico omogeneo isotropo, con carichi (distribuiti o localizzati) applicati alla frontiera. Per un carico uniforme nastriforme si ha un incremento di tensione orizzontale dato da:

$$\sigma'_b = \frac{p}{\pi} (\alpha - \sin \alpha \cos 2\beta) \quad (15)$$

dove gli angoli  $\alpha$  e  $\beta$  sono quelli indicati in figura (2):

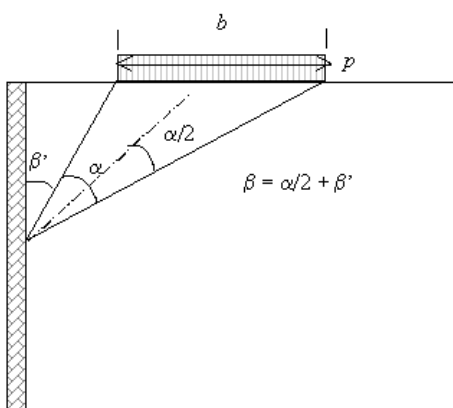


Figura 2 Effetto dei sovraccarichi

## 1.6 Limitazioni

Il modello di calcolo adottato consente una analisi di interazione terreno-struttura in modo efficace e con tempi di calcolo estremamente ridotti. Tuttavia è necessario tenere in debito conto le sue limitazioni (*Jamiolkowski e Pasqualini, 1979; Aversa, 1996; Pane e Tamagnini, 1996*). Le principali vengono elencate nel seguito:

- Le tensioni verticali nel terreno vengono assunte pari alle tensioni geostatiche, pertanto non è possibile tenere conto dell'influenza degli spostamenti dell'opera per quanto riguarda questo aspetto che può essere rilevante nel caso di opere flessibili.
- Il tipo di modellazione adottato non consente la previsione di rotture del fondo scavo dovute a fenomeni di rottura del terreno al di sotto del piano di posa del diaframma.
- Non è possibile valutare direttamente i cedimenti (spostamenti verticali) indotti a monte dell'opera di sostegno, che sovente costituiscono un aspetto critico nella progettazione, soprattutto in presenza di strutture adiacenti.
- Il fenomeno di filtrazione viene considerato in maniera disaccoppiata, imponendo la distribuzione di pressioni interstiziali (e quindi di tensioni verticali efficaci) corrispondenti al regime stazionario.

Ne consegue una semplificazione della storia tensionale del terreno, trascurando le deformazioni di consolidazione – rigonfiamento del terreno dovute a variazioni delle pressioni neutre.

- Il metodo non consente la presa in considerazione degli aspetti di sicurezza legati in modo diretto alle sovrappressioni indotte (sifonamento e sollevamento del fondo scavo)
- Non è possibile considerare in modo esplicito l'effetto della presenza di carichi concentrati.
- Non è possibile modellare la fase di realizzazione del diaframma con gli effetti di disturbo e/o rilascio tensionale indotti dalle fasi di messa in opera.

## **1.7 Definizione delle proprietà di strato nel programma di calcolo**

### **1.7.1 Modello**

I parametri necessari per la definizione delle molle con blocco ad attrito possono essere inseriti direttamente dall'utente o ricavati sulla base dei valori immessi nella sezione proprietà del terreno, utilizzando le formule reperibili in letteratura. Per comodità dell'utente, alcune formule di largo utilizzo possono essere richiamate dall'interno del programma.

In particolare per la definizione dei valori di spinta attiva e resistenza passiva sono implementate le seguenti formule, di cui si ricordano le principali caratteristiche (*Lancellotta, 1993*):

- *Rankine*

Assumendo l'assenza di attrito muro terreno porta ad una forte sottostima della reazione passiva (ipotesi eccessivamente cautelativa e poco attinente con la realtà), pertanto tale reazione dovrebbe essere utilizzata solo per la valutazione della spinta attiva.

- *Muller – Breslau*

Implementazione del metodo di *Coulomb* con superfici di rottura piane. Tiene conto dell'attrito e permette di considerare superficie del piano campagna e paramento inclinati, ma porta ad una forte sovrastima della reazione passiva a causa dell'assunzione di superfici di scivolamento piane.

- NAVFAC

Consente di tenere in conto dell'attrito muro terreno utilizzando superfici di scivolamento più consone ai reali fenomeni di rottura e portando a stime più realistiche della reazione passiva.

- Non drenato

Particolarizzazione della formulazione di *Rankine* per il caso di angolo di resistenza al taglio nullo e presenza di coesione.

Per quanto riguarda la definizione della rigidità delle molle, si può assumere che essa sia costante o variabile in modo lineare con la profondità. Inoltre come accennato nella descrizione del modello è possibile fare riferimento ad una legge lineare o bilineare.

Anche in questo caso è possibile utilizzare indicazioni fornite in letteratura, in particolare le seguenti alternative possono essere richiamate direttamente all'interno del programma di calcolo:

- Intervalli di valori tipici per diversi terreni sono forniti da *Bowles (1990)*.
- *Bowles (1991)* suggerisce di calcolare i valori di rigidità sulla scorta di formule analoghe a quelle utilizzate per la stima della capacità portante dei terreni.
- *Vesic (1961)* propone una formula per il calcolo di un coefficiente di reazione che fornisce una risposta della fondazione analoga a quella ottenuta modellando il continuo elastico lineare. Ingredienti di tale formula sono pertanto i parametri elastici lineari equivalenti, definiti nella sezione "terreno". Questa formula è stata originariamente proposta per le fondazioni superficiali:

l'utilizzo nel caso delle paratie trascura l'effetto tridimensionale legato alla larghezza della superficie di contatto struttura – terreno.

### 1.7.2 Proprietà meccaniche del terreno

Notare che alcune di tali proprietà non sono direttamente utilizzate dal programma di calcolo, ma vengono richiamate dalle formule implementate per “suggerire” i parametri di modello.

Le caratteristiche meccaniche di interesse di ciascuno strato vengono definite al percorso **Modello > Strati > Elenco**, o cliccando con il tasto destro del mouse sulla dicitura dello strato di interesse.

Il grado di sovraconsolidazione ( $OCR$ ) è legato alla massima tensione geostatica cui è stato sottoposto il terreno nella sua storia pregressa. Nell'ambito del modello utilizzato, tale valore stabilisce il punto di variazione di pendenza qualora si adotti una relazione bilineare per la rigidità delle molle.

Il coefficiente di spinta a riposo ( $K_0$ ) definisce il rapporto tra le tensioni efficaci geostatiche orizzontali e verticali. Tale valore individua la spinta del terreno sull'opera di sostegno per spostamenti nulli.

Il peso specifico del terreno secco e saturo viene utilizzato per la valutazione delle tensioni verticali totali ed efficaci.

L'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  e la coesione apparente definiscono i valori di progetto per i parametri di rottura per il terreno (legge *Mohr – Coulomb*). Al fine di valutare un valore operativo per  $\phi'$  di calcolo il programma consente di valutare il  $\phi'$  di picco ( $\phi'_p$ ) sulla base di un  $\phi'$  a volume costante ( $\phi'_{cv}$ ) immesso dall'utente e della densità relativa inserita nella sezione indagini. Il  $\phi'$  di calcolo viene scelto dall'utente e dovrebbe ricadere nell'intervallo individuato da  $\phi'_{cv}$  e  $\phi'_p$ . Per le analisi non drenate si assegnerà  $c'=c_u$  (coesione non drenata) e  $\phi'= \phi'_u=0$  (angolo di resistenza al taglio nullo), coerentemente al criterio di rottura non drenato.

I moduli di *Young* del terreno ( $E_{vc}$  modulo di compressione vergine e  $E_{ur}$  modulo di scarico – ricarico) sono da considerarsi valori operativi (pertanto moduli equivalenti tangenti o secanti per il livello deformativo atteso) e possono essere utilizzati per la definizione della rigidità delle molle nella sezione modello.

### 1.7.3 Proprietà idrauliche del terreno

In accordo con quanto espresso nella trattazione teorica, i parametri fondamentali da introdurre per il calcolo delle pressioni in regime di flusso stazionario sono la permeabilità e lo spessore di ciascuno strato, congiuntamente alla lunghezza complessiva di filtrazione ed alla quote piezometriche di monte e di valle.

La presa in considerazione delle pressioni interstiziali, tanto in presenza di filtrazione come in regime idrostatico, è resa possibile attivando la falda seguendo il percorso **Modello > Falda > Attiva / Disattiva**. Attivata la falda, sarà possibile definirne la quota piezometrica a monte ed a valle, o mediante il percorso **Modello > Falda > Quota a monte** e **Modello > Falda > Quota a valle**, oppure compilando la mascherina che si attiva cliccando con il tasto destro del mouse sul simbolo di falda.

La permeabilità di ciascuno strato viene introdotta in corrispondenza del valore ' $K$ ' nel percorso **Modello > Strati > Elenco**. La permeabilità può essere definita in maniera automatica, per ordini di grandezza, ricorrendo a relazioni basate sulla granulometria del deposito.

La lunghezza totale del percorso di filtrazione  $L$  è espressa come distanza tra la quota piezometrica di monte e quella di valle, misurata lungo il contorno dell'opera. La profondità, misurata a partire dal piano campagna, alla quale la direzione di filtrazione si inverte è definita attraverso la voce profondità di inversione nel sottomenù a tendina 'falda', aperto a partire dal menù modello o cliccando con il tasto destro del mouse sopra il simbolo di falda.

Per simulare la libera filtrazione lungo tutta la profondità della paratia, si introduce una profondità di infissione pari alla lunghezza dell'opera. Una profondità di inversione inferiore alla profondità della paratia sottointende un percorso di filtrazione limitato, ossia una comunicazione idraulica tra monte e valle senza passare per la base dell'opera.

Al contrario, una profondità di infissione molto elevata impone una distribuzione di pressioni pressoché idrostatica da entrambi i lati dell'opera, situazione coincidente con un diaframma la cui base si trovi immersa in uno strato impermeabile, così da annullare di fatto la filtrazione tra monte e valle dell'opera.

Per imporre che da un punto di vista puramente idraulico uno strato manifesti un comportamento non drenato, occorre scegliere l'opzione 'Terreno con comportamento non drenato' alla voce 'K' del percorso **Modello > Strati > Elenco > Generali**. Tale opzione impone la totale discontinuità tra il campo di pressioni interstiziali tra le zone sovrastanti e sottostanti lo strato non drenato. Di conseguenza il programma assume come completamente asciutto (pressioni interstiziali nulle) il terreno nella zona sottostante lo strato non drenato, mentre gli strati sovrastanti presentano una distribuzione delle pressioni interstiziali di tipo idrostatico.

Qualora si adotti l'opzione non drenato per il comportamento meccanico dello strato e non per il suo comportamento idraulico, non verrà imposta alcuna discontinuità idraulica. Questo significa che mentre l'analisi meccanica per lo strato in oggetto verrà condotta in condizioni non drenate, negli strati a valle del medesimo le pressioni interstiziali non saranno nulle, risultando bensì quelle derivanti dalla continuità del flusso idraulico.

#### 1.7.4 Sovraccarichi

E' permessa l'introduzione di carichi distribuiti, posizionati a qualsiasi quota da lato monte. L'introduzione avviene seguendo il percorso **Carichi > Terreno > Uniformi > Aggiungi** o **Carichi > Terreno > Nastriiformi > Aggiungi** e definendo il livello da piano campagna dove si intende introdurre il carico. L'estensione e l'intensità del carico viene poi definita da menu o cliccando con il tasto destro del mouse sull'icona di carico distribuito.

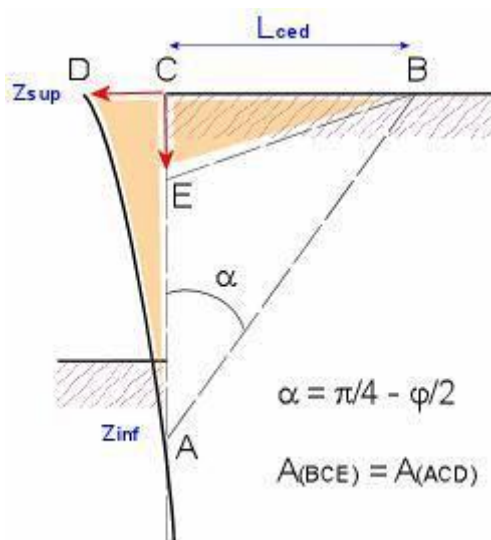
#### 1.7.5 Indagini

Nella sezione indagini è possibile inserire la densità relativa dello strato in esame che per terreni non coesivi consente una stima dell'effetto di dilatanza che innalza i valori dell'angolo di resistenza al taglio portandoli sul livello indicato come  $\phi'_p$  nella sezione proprietà del terreno. Per la stima della densità relativa l'utente può fare riferimento alle correlazioni con i risultati di prove penetrometriche standard (SPT) o statiche (CPT). In particolare sono riportate nel programma le correlazioni proposte da *Skempton* e *Bazaraa*, che richiedono come dato di partenza la  $N_{SPT}$  e la tensione geostatica efficace alla quota di esecuzione della prova ( $\sigma'_{v0}$ ) (*Lancellotta, 1993*).

#### 1.7.6 Calcolo dei cedimenti a monte della paratia

IS Paratie utilizza il metodo *Volume* per il calcolo dei cedimenti a monte della paratia.

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.



### 1.8 Riferimenti Bibliografici

- Aversa S. (1996) "Aspetti sperimentali e modellazione nella progettazione delle opere di sostegno e degli scavi", Atti IV Convegno Nazionale dei Ricercatori Universitari di Geotecnica, Perugia, pp. 121-207.
- Bowles J.E. (1991) "Fondazioni: progetto e analisi", McGraw-Hill, Milano.
- Jamiolkowski M, Pasqualini E. (1979) "Introduzione ai diversi metodi di calcolo dei diaframmi con riferimento ai parametri geotecnici che vi intervengono e alla loro determinazione sperimentale", Atti 9° ciclo delle Conferenze di Geotecnica di Torino, Istituto di scienza delle costruzioni, Politecnico di Torino.
- Lancellotta R. (1993) "Geotecnica", 2° ed., Zanichelli, Bologna.
- Menard L., Bourdon C. (1965) "Calcul des rideaux de soutènement. Methode nouvelle prenant en compte les conditions réelles d'encastrement", Sols-Soils, No. 12.
- Monaco P., Marchetti S. (2002) "Analisi per il progetto di diaframmi multivincolati a sostegno di uno scavo per la realizzazione di un parcheggio multipiano interrato in area urbana", Atti XXI Convegno Nazionale di Geotecnica, L'Aquila, Patron Ed., Bologna, pp. 227-234.
- Pane V., Tamagnini C. (1996) "Problemi generali della analisi delle opere di sostegno, Atti IV Convegno Nazionale dei Ricercatori Universitari di Geotecnica, Perugia, pp. 7-120.
- Schmitt P. (1995) "Methode empirique d'évaluation du coefficient de reaction di sol vis-a-vis des ouvrages de soutènement souples", Revue Francaise de Geotechnique, N.71, pp.3-10.
- Vesic A.S. (1961) "Bending of beams resting on isotropic elastic solid", Journal Eng. Mech. Division, ASCE, vol. 87, pp. 35-53.

## 1.9 Verifica dell'ancoraggio dei tiranti

### 1.9.1 Calcolo della lunghezza sigillata

La verifica della lunghezza del bulbo di ancoraggio viene eseguita secondo il metodo proposto e discusso da Bustamante e Doix (1985), per il quale si adotta la formula:

$$T_L = \pi D_s L_s q_s$$

$T_L$  : trazione limite del tirante o del micropalo isolato

$D_s$  : diametro medio del bulbo della sigillatura

$L_s$  : lunghezza della sigillatura

$q_s$  : attrito laterale unitario limite lungo la superficie laterale del bulbo

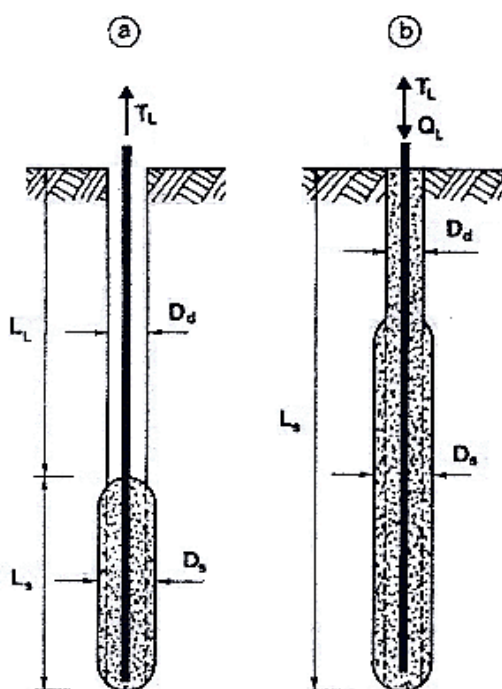


Fig 35 Rappresentazione schematica di un tirante (a) e di un micropalo (b)

#### 1.9.1.1 Diametro del bulbo della sigillatura

Il valore del diametro del bulbo di ancoraggio  $D_s$  viene valutato in funzione del diametro di perforazione  $D_d$  e della natura del terreno, con la relazione:

$$D_s = \alpha D_d$$

in cui il coefficiente di maggiorazione dipende dal metodo di iniezione (IRS o IGU) oltre che dalla natura del terreno, e viene quantificato per mezzo della seguente tabella:

Suoli	Coefficiente $\alpha$		Quantità minima di malta consigliata $V_e$
	IRS*	IGU**	
Ghiaia	1,8	1,3 ÷ 1,4	$1,5 \cdot V_s^*$
Ghiaia sabbiosa	1,6 ÷ 1,8	1,2 ÷ 1,4	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia ghiaiosa	1,5 ÷ 1,6	1,2 ÷ 1,3	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia grossolana	1,4 ÷ 1,5	1,1 ÷ 1,2	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia media	1,4 ÷ 1,5	1,1 ÷ 1,2	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia fina	1,4 ÷ 1,5	1,1 ÷ 1,2	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia limosa	1,4 ÷ 1,5	1,1 ÷ 1,2	$\begin{cases} 1,5 \div 2 \cdot V_s & \text{per IRS} \\ 1,5 \cdot V_s & \text{per IGU} \end{cases}$
Limo	1,4 ÷ 1,6	1,1 ÷ 1,2	$\begin{cases} 2 \cdot V_s & \text{per IRS} \\ 1,5 \cdot V_s & \text{per IGU} \end{cases}$
Argilla	1,8 ÷ 2	1,2	$\begin{cases} 2,5 \div 3 \cdot V_s & \text{per IRS} \\ 1,5 \div 2 \cdot V_s & \text{per IGU} \end{cases}$
Marna	1,8	1,1 ÷ 1,2	$(1,5 \div 2) \cdot V_s$ per strato compatto
Calcari marnosi	1,8	1,1 ÷ 1,2	
Gesso alterato e fratturato	1,8	1,1 ÷ 1,2	$(2 \div 6) \cdot V_s$ o più, se strato fratturato
Roccia alterata e fratturata	1,2	1,1	$(1,1 \div 1,5) \cdot V_s$ se lo strato è finemente fessurato 2 o più: se lo strato è fratturato
$V_s$ : volume del bulbo della sigillatura; IRS : iniezione ripetitiva e selettiva; IGU : iniezione globale con processo di messa in pressione unico. * : con $p_i > p_f$ ** : con $0,5 \cdot p_f < p_i < p_f$			

Il volume  $V_i$  rappresenta la quantità minima di malta da immettere nel terreno in corrispondenza della lunghezza  $L_s$ .

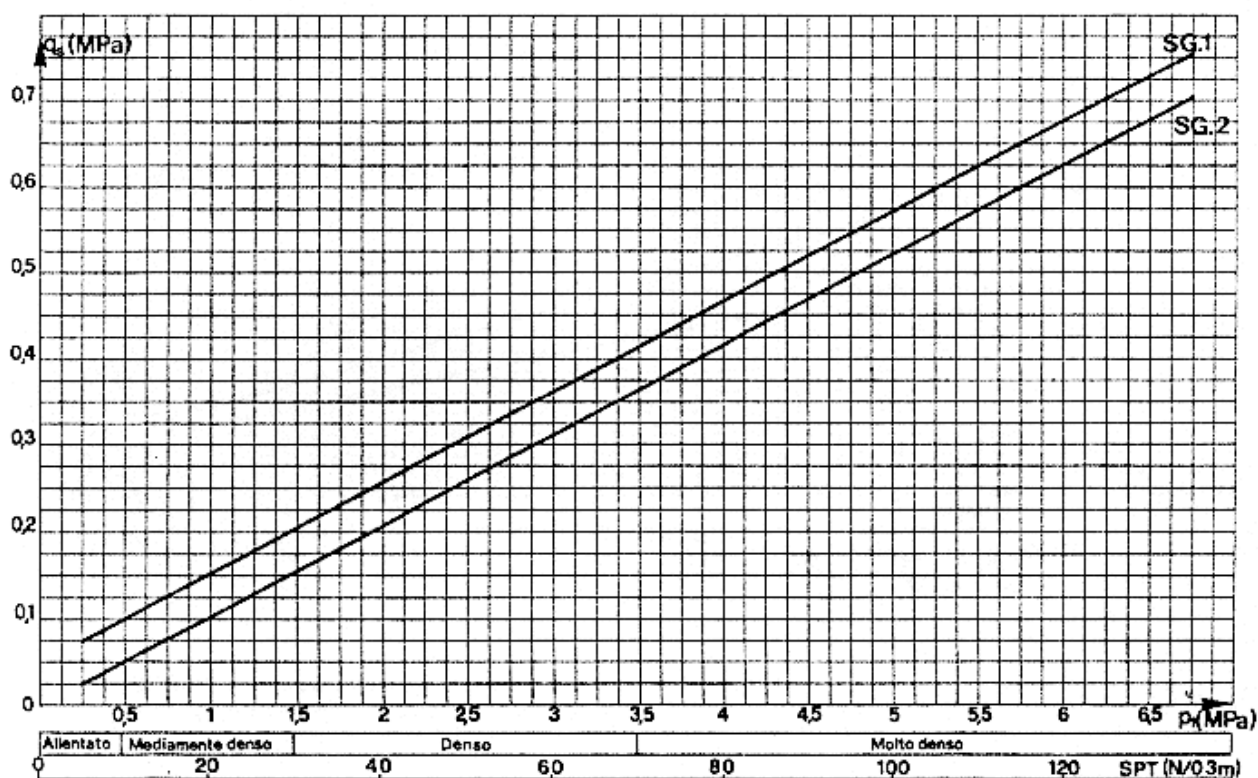
### 1.9.1.2 Attrito laterale unitario minimo

Il valore di  $q_s$  non viene fatto dipendere dal diametro del bulbo o dal diametro di perforazione, ma solo dal metodo di iniezione (IRS o IGU) e dalla natura del terreno. La seguente tabella riassume gli orientamenti per la scelta degli abaci relativi al calcolo di  $q_s$ :



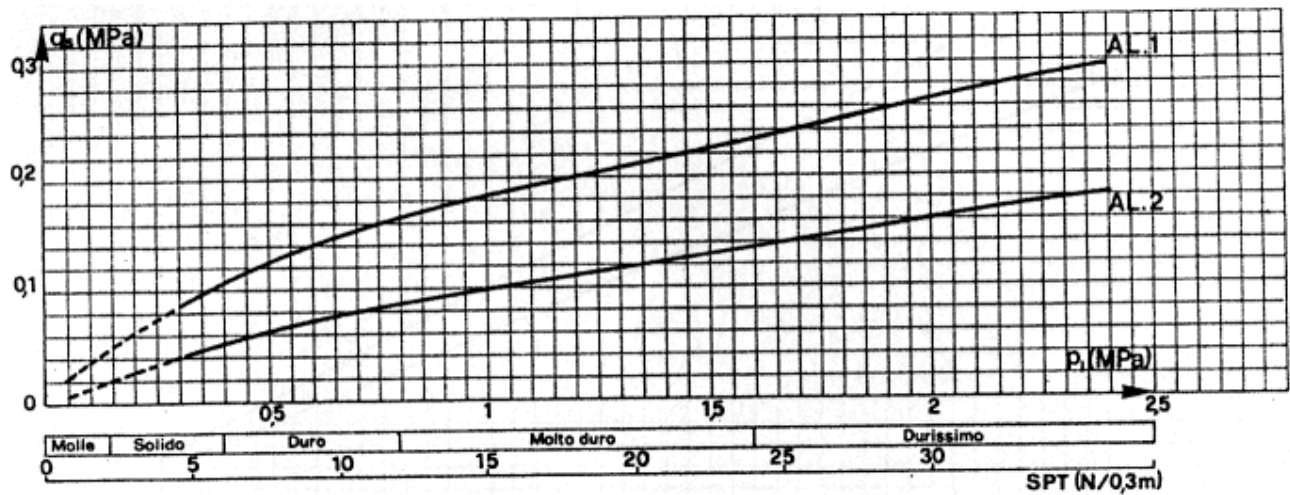
Suoli	Metodo per l'iniezione	
	IRS*	IGU**
Ghiaia Ghiaia sabbiosa Sabbia ghiaiosa Sabbia grossolana Sabbia media Sabbia fina Sabbia limosa	SG 1	SG 2
Limo Argilla	AL 2	AL 2
Marna Calcari marnosi Gesso alterato e fratturato	MC 1	MC 2
Roccia alterata e fratturata	$\geq R. 1$	$\geq R. 2$
* : con $p_i \leq p_l$ ** : con $0,5 \cdot p_l < p_i < p_l$		

Abaco SG1 - SG2:

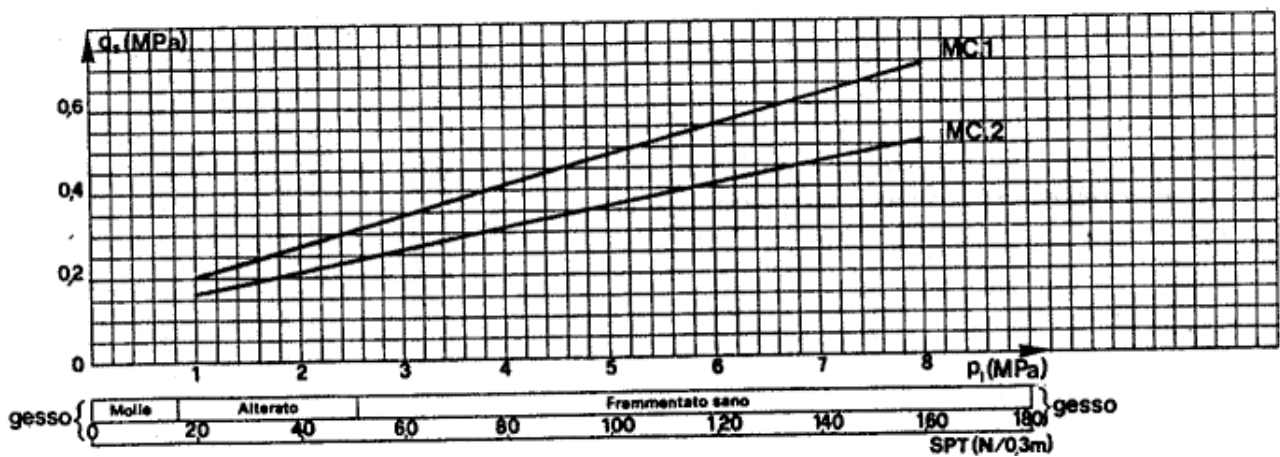


Abaco AL1 - AL2:

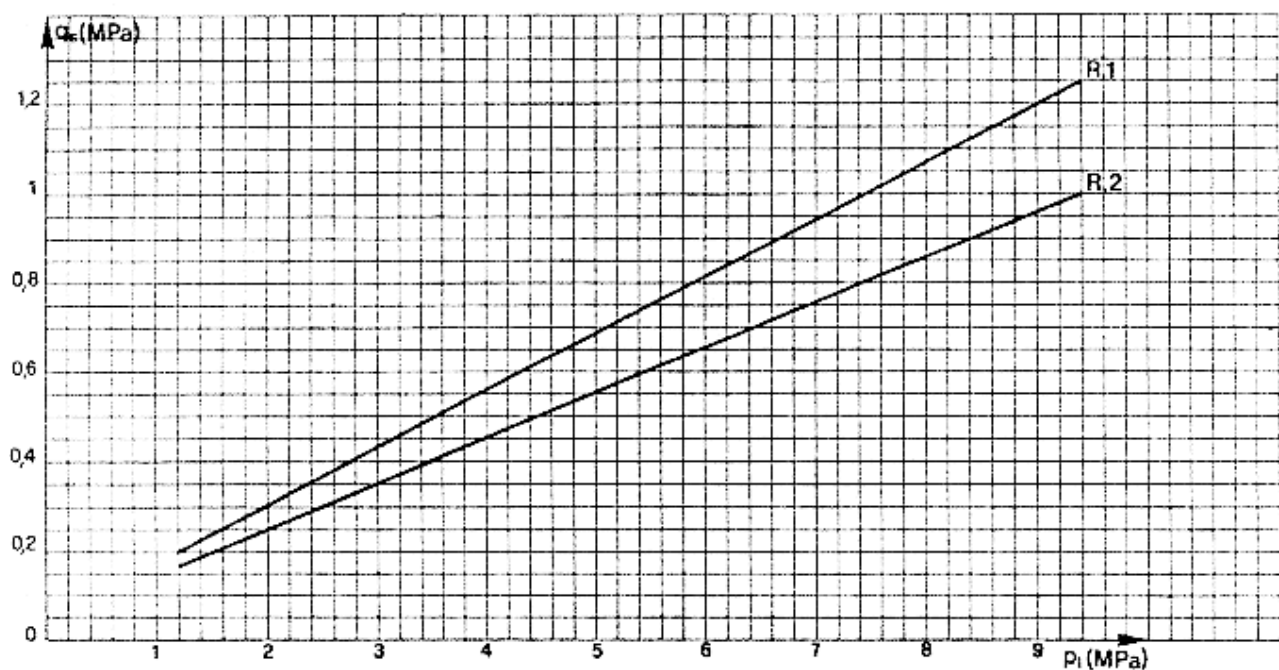




Abaco MC1 - MC2:



Abaco R1 - R2:



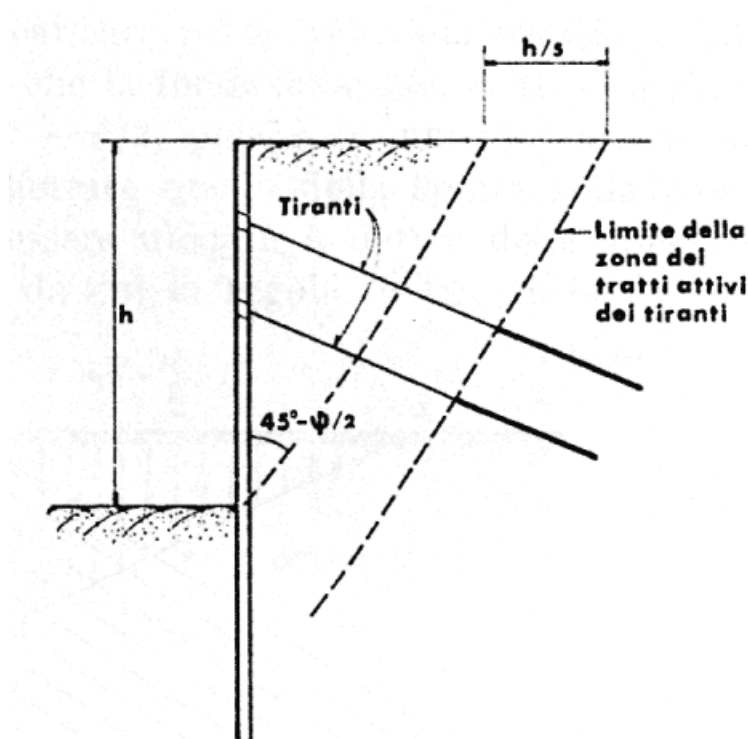
### 1.9.1.3 Coefficiente di sicurezza

Il metodo proposto prevede l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza, riassunti dalla seguente tabella:

Tipo di fondazione	Durata di utilizzo	Valore del coefficiente di sicurezza $F_s$ secondo lo stile di sollecitazione.	
		sradicamento	compressione
Tirante	Provvisorio	1,8	—
	Permanente	2,0	—
Micropalo	Provvisorio	2,0	1,8
	Permanente	2,2	2,0

### 1.9.2 Calcolo della lunghezza libera

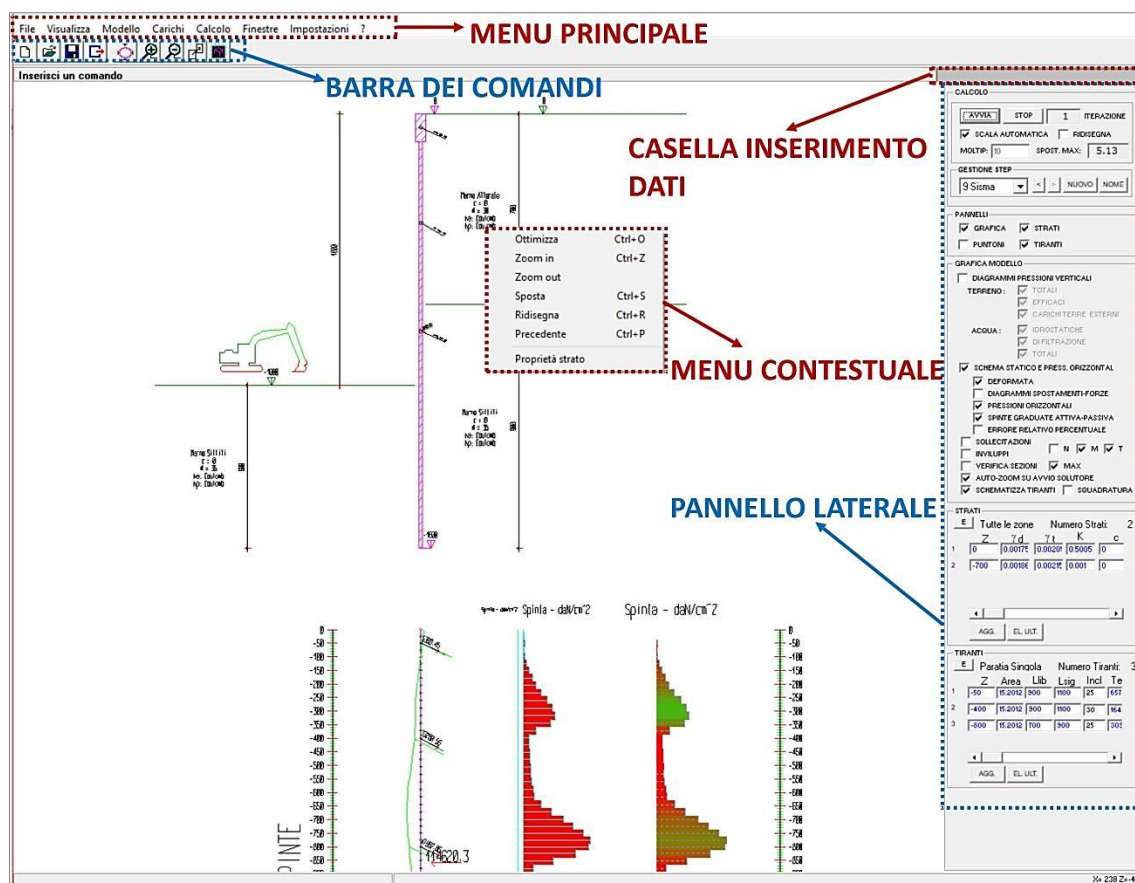
La lunghezza libera di un tirante o di un micropalo deve essere sufficiente per garantire che il volume di suolo raccolto nell'intorno dell'elemento e ad esso strettamente associato nel tratto della sigillatura non corra alcun rischio di rottura d'insieme. La seguente figura rappresenta la zona di terreno a tergo dell'opera oltre la quale debbono essere portate le fondazioni dei tiranti o dei micropali:



## 2 Esempio di utilizzo del programma

### 2.1 Introduzione dei dati

L'introduzione del modello è semplice ed immediata, ed avviene in modo analogo per tutti gli elementi che lo compongono. IS Paratie offre diverse strade per inserire o modificare i parametri del modello, adattandosi in tal modo alle preferenze di ogni utente. In particolare, è possibile utilizzare i seguenti elementi e metodi dell'interfaccia:



- **menu a tendina (o menu principale)**: dà accesso all'insieme completo delle funzionalità.
- **pannello laterale**: riassume le caratteristiche dei principali elementi del modello, e permette la modifica o l'introduzione diretta dei dati.
- **"doppio click"**: le principali caratteristiche del modello possono essere modificate semplicemente premendo due volte il tasto sinistro del mouse, in rapida successione, sulla rappresentazione grafica dei parametri. Si rivela particolarmente utile per la lettura dei dati in uscita, ad esempio nel caso dei diagrammi di sollecitazione.
- **menu contestuale**: premendo il tasto destro del mouse si apre un menu la cui ultima voce ("Proprietà") dà accesso alla finestra di dialogo dedicata all'oggetto intercettato dal mouse. Si rivela particolarmente utile per modificare gli elementi strutturali rappresentati a video, perché offre un accesso rapido e particolarmente schematico ai dati.
- **caselle di testo colorate**: il colore dei caratteri rappresentati nelle caselle di testo corrisponde ad un preciso significato e dà accesso ad ulteriori informazioni. Il colore rosso acceso significa che il valore

inserito non può essere accettato dal programma, il blu significa che è disponibile un servizio di conversione fra diverse unità di misura (tramite doppio click).

Di seguito vengono illustrate le procedure necessarie ad introdurre i dati per un lavoro di esempio.

## 2.1.1 Elementi strutturali

### 2.1.1.1 Paratie

La scelta del numero di paratie utilizzate va fatta all'inizio del lavoro, perché non è possibile cambiarla in seguito se non aprendo un nuovo lavoro. Si deve quindi scegliere il numero di paratie utilizzate e quindi aprire un nuovo lavoro.

Spostare il cursore del mouse sul **menu principale**  
Selezionare **Impostazioni > Modello > Nuovo Lavoro**  
Nella finestra di dialogo che viene aperta dal programma, selezionare la linguetta **1) PARATIE**  
Al centro della finestra di dialogo, spuntare la casella **Due paratie** se si desidera lavorare con due paratie, oppure lasciarla in bianco per lavorare con una sola paratia.  
Premere il tasto **ACCETTA E ESCI** per confermare la scelta e tornare al programma.  
Spostare il cursore del mouse sul **menu principale**  
Selezionare **File > Nuovo**

Il nuovo lavoro così creato conterrà il numero desiderato di paratie. Il lavoro viene generato da un modello predefinito, ma è possibile modificare tutti i valori che lo caratterizzano.

Per modificare le caratteristiche di una paratia, è sufficiente premere una volta il tasto destro del mouse quando il cursore vi è sopra, e scegliere la voce "Proprietà" dal menu contestuale che viene aperto dal programma (è l'ultima voce disponibile).

Premere il **tasto destro del mouse** (una sola volta) sulla rappresentazione grafica della paratia da modificare.  
Selezionare la voce **"Proprietà paratia"** dal menu a tendina generato dal programma.  
Nella **finestra di dialogo** che viene aperta, modificare a piacimento le proprietà della paratia.  
Uscire dalla finestra di dialogo premendo il tasto **OK** (oppure **Cancel** per annullare le eventuali modifiche).

Il programma accetta passivamente tutti i dati imposti dall'utente, ma effettua alcuni semplici controlli per evitare errori grossolani dovuti a distrazione o errori di battitura dei dati, come ad esempio quote incompatibili fra una paratia e gli strati di terreno che la circondano.

### 2.1.1.2 Strati

La definizione degli strati di terreno rappresenta la fase più delicata di definizione del modello strutturale, ed è quella che influenza l'interazione terreno – struttura. L'infissione di una o due paratie suddivide il terreno in due o tre zone, rispettivamente "sinistra" – "destra" nel caso di una paratia, e "sinistra" – "centro" – "destra" nel caso di due. All'interno di queste zone è possibile avere strati completamente

differenti, anche in numero. L'impostazione predefinita di IS Paratie prevede che le zone siano collegate, nel senso che ogni modifica ad una di loro viene applicata anche alle altre, in modo da avere la stessa stratigrafia ovunque senza dover intervenire su ogni singolo strato.

Premere il **tasto destro del mouse** (una sola volta) sulla rappresentazione grafica delle caratteristiche di uno strato.  
Selezionare la voce "**Proprietà strato**" dal menu a tendina generato dal programma.  
A lato della finestra di dialogo, spuntare la casella **Blocca Zone** se si desidera lavorare con una sola stratigrafia in tutte le zone di terreno, oppure lasciarla in bianco per lavorare con i singoli strati.  
Premere il tasto **OK** per confermare la scelta e tornare al programma.

Per aggiungere un nuovo strato è sufficiente un comando, dopodiché si può intervenire sui parametri predefiniti dal programma. Le caratteristiche di uno strato possono essere scelte direttamente dall'utente, oppure valutate utilizzando alcune fra le correlazioni più comunemente utilizzate nella pratica progettuale e proposte da vari Autori.

Premere il **tasto destro del mouse** (una sola volta) sulla rappresentazione grafica delle caratteristiche di uno strato.  
Selezionare la voce "**Proprietà strato**" dal menu a tendina generato dal programma.  
Nella **finestra di dialogo** che viene aperta, modificare a piacimento le proprietà dello strato.  
La linguetta "**Terreno**" permette di inserire o modificare i dati disponibili circa le caratteristiche del terreno.

- La linguetta "**Generali**" permette la definizione delle caratteristiche generali dello strato (peso di volume, permeabilità, ecc.).
- La linguetta "**Resistenza**" permette l'inserimento delle caratteristiche meccaniche del terreno.
- La linguetta "**Deformabilità**" permette l'inserimento dei dati riguardanti la compressibilità del terreno.
- La linguetta "**Indagini**" permette l'inserimento dei risultati di eventuali indagini geognostiche sul terreno.

La linguetta "**Modello**" permette l'inserimento di tutti e soli parametri utilizzati nel modello di calcolo non lineare implementato nel programma.  
La pressione di uno dei tasti "<" dà accesso alle correlazioni implementate dal programma.  
Il **doppio click** sulle caselle di testo con caratteri colorati in blu dà accesso al pannello di conversione fra le unità di misura.

E' possibile cambiare i parametri predefiniti per i nuovi strati. Per l'esecuzione dell'analisi è sufficiente inserire i dati necessari al modello.

### 2.1.1.3 Step ("Fasi") di progetto

Gli step di progetto rappresentano la sequenza degli interventi operati in cantiere per la realizzazione dell'opera. E' opportuno dedicare uno step ad ogni fase costruttiva, anche se non c'è limite al numero di



modifiche introdotte in uno step. In questo modo è possibile separare eventi cronologicamente successivi da altri ritenuti contemporanei (almeno dal punto di vista strutturale).

Spostare l'attenzione sul **pannello laterale** di paratie (se non fosse visibile, premere **F8**).  
Nel riquadro "**GESTIONE STEP**" (il secondo dall'alto), premere una volta il tasto "**CREA NUOVO...**".  
Nella finestra di dialogo che viene aperta, premere il tasto **OK** (il programma crea un nuovo step copiando tutti i dati dal precedente).

E' possibile muoversi facilmente da uno step all'altro utilizzando il pannello laterale, che dispone di due tasti per scorrere la sequenza cronologica degli step e di una lista che permette di passare a qualunque step attivato.

Spostare l'attenzione sul **pannello laterale** di paratie (se non fosse visibile, premere **F8**).  
Cercare il riquadro "**GESTIONE STEP**" (il secondo dall'alto).  
Spostarsi allo step precedente (1) premendo il tasto "<".  
Spostarsi allo step successivo (2) premendo il tasto ">".

Passando da uno step all'altro, il programma aggiorna tutte le rappresentazioni grafiche a video, compresi i diagrammi di sollecitazione.

#### 2.1.1.4 Scavo

IS Paratie permette di definire una diversa quota di scavo ad ogni step in modo totalmente libero, includendo la possibilità di effettuare dei rinterri.

Accertarsi di trovarsi al secondo step.  
Spostare l'attenzione sulla **finestra principale** del programma.  
Effettuare un **doppio click** sulla rappresentazione dell'escavatore.  
Il programma visualizza la scritta "MODIFICA QUOTA SCAVO" nella **barra di stato** (nei pressi dell'estremo inferiore sinistro della finestra) e "**Inserisci la quota ...**" nella barra situata di sotto alla **barra degli strumenti** (appena sotto al menu principale, contiene le icone corrispondenti ai comandi principali).  
Il programma visualizza un cursore lampeggiante nella **casella di inserimento dati** presente in alto a destra (in corrispondenza della scritta "Inserisci la quota ..."), oltre al valore precedentemente impostato per la quota dello scavo.  
Impostare un nuovo valore per la quota di scavo, semplicemente digitando il valore in cm e premendo **Invio** (ad esempio, inserire "-200").

E' possibile modificare la quota di scavo relativa ad un certo step in ogni momento, semplicemente tornando allo step d'interesse e modificando nuovamente la quota.

#### 2.1.1.5 Tiranti

L'utente ha la possibilità di inserire dei tiranti inclinati alle quote desiderata sulle paratie. Un tirante è definito dalla lunghezza, inclinazione, area, e dal tiro iniziale.

Inserire un nuovo step (3).

Spostare l'attenzione sul **pannello laterale** di IS Paratie (se non fosse visibile, premere **F8**).

Nel riquadro "**PANNELLI**" (il terzo dall'alto), spuntare la casella "**TIRANTI**".

Scorrere l'eventuale barra di scorrimento verticale fino a visualizzare completamente il riquadro "**TIRANTI**".

Premere una volta il tasto "**AGG.**".

Il programma inserisce un nuovo tirante (con valori predefiniti eventualmente modificabili dall'utente) ed aggiorna il disegno ed il riquadro "**TIRANTI**".

Ancora all'interno del riquadro "**TIRANTI**", agire sull'eventuale barra di scorrimento orizzontale per avere accesso alle caratteristiche salienti del tirante.

Modificare la quota di inserimento del tirante "**Z**" inserendo il valore -150 nella relativa casella di testo.

E' possibile inserire un tirante in qualunque step, e rimuoverlo in qualunque altro. Si può accedere alle caratteristiche di un tirante modificando direttamente i valori riportati nel riquadro "TIRANTI" del pannello laterale oppure premendo una volta il tasto destro del mouse sulla rappresentazione grafica del tirante di interesse e scegliendo la voce "Proprietà tirante" dal menù contestuale visualizzato. E' importante prendere atto del fatto che il tirante non viene inserito nel modello immediatamente al primo step di attivazione, ma solo dal secondo. Questo perché nel primo step il programma assume che il tirante non sia ancora solidale alla paratia, ma che si stia esercitando il tiro al martinetto necessario a portare il tirante alla tensione iniziale desiderata. A partire dal secondo step il tirante viene bloccato e diviene solidale col resto della struttura.

### 2.1.1.6 Carichi sul terreno

L'utente ha la possibilità di inserire dei carichi uniformi o nastriformi sul terreno ai lati delle paratie. L'influenza dei carichi sul modello viene valutata adottando un modello alla *Boussinesq*.

Inserire un nuovo step (4).

Spostare l'attenzione sul **menu principale** di IS Paratie.

Selezionare **Carichi > Terreno > Nastriformi > Aggiungi**.

Nel caso di due paratie, il programma chiede quale sia interessata dall'inserimento del carico: premere una volta col **tasto sinistro** del mouse la paratia di sinistra.

Il programma chiede la quota di inserimento: inserire il valore desiderato (ad esempio "0") nella **casella di inserimento dati** in alto a destra e premere **Invio**.

E' possibile inserire un carico sul terreno in qualunque step, e rimuoverlo in qualunque altro. Si può accedere alle caratteristiche del carico premendo una volta il tasto destro del mouse sulla rappresentazione grafica del carico di interesse e scegliendo la voce "Proprietà carico nastriforme" (o "Proprietà carico uniforme") dal menù contestuale visualizzato.

### 2.1.1.7 Sisma

IS Paratie consente di applicare l'azione sismica calcolata secondo numerose Normative, tra cui le più recenti NTC 2018. Occorre scegliere la categoria topografica, la categoria di sottosuolo, i valori di  $F_0$  e  $a_g$  e l'altezza di applicazione della forza sulla paratia. Nella parte destra della finestra c'è un riassunto di quanto calcolato dal programma.

Parametro	Valore
Categoria topografica	T1
Categoria suolo	D
fattore di amp. max. $F_0$	2.45
accel. al sito $a_g$ [ $m/s^2$ ]	0.5
spostamento tollerabile $u_s$ [cm]	1
coeff. $\alpha$	0.825
coeff. $\beta$	0.83
accel. di picco $a$ [ $m/s^2$ ]	0.9

### 2.1.1.8 Puntoni

L'inserimento dei puntoni è del tutto analogo a quello dei tiranti.

Inserire un nuovo step (5).  
 Approfondire lo scavo a -500 cm.  
 Inserire un nuovo step (6).  
 Spostare l'attenzione sul **menu principale** di IS Paratie.  
 Selezionare **Modello > Puntoni Aggiungi**.  
 Il programma chiede la quota di inserimento: inserire il valore desiderato (ad esempio "0") nella **casella di inserimento dati** in alto a destra e premere **Invio**.

I puntoni possono essere incernierati o incastrati, e possono ricevere dei carichi in qualunque step (permettendo in tal modo di simulare la realizzazione di solette fra due paratie). Si può accedere alle caratteristiche di un puntone modificando direttamente i valori riportati nel riquadro "PUNTONI" del pannello laterale oppure premendo una volta il tasto destro del mouse sulla rappresentazione grafica del puntone di interesse e scegliendo la voce "Proprietà puntone" dal menù contestuale visualizzato.

### 2.1.1.9 Eliminazione di elementi

Tutti gli elementi definiti possono essere eliminati in due modi, con due scopi differenti:

- eliminazione definitiva dal modello, perché si ritiene che l'elemento in questione sia stato inserito per errore



- eliminazione dal modello da un certo step in avanti, perché si ritiene che l'elemento venga rimosso o si vuole valutare il comportamento strutturale nell'ipotesi che il contributo dell'elemento in questione venga meno.

Nel primo caso è sufficiente selezionare la voce **"Elimina"** corrispondente all'elemento da rimuovere dal **menu principale** di IS Paratie, e poi premere una volta il **tasto sinistro del mouse** sulla rappresentazione grafica dell'elemento stesso. Nel secondo caso è necessario modificare una proprietà dell'elemento, cioè il valore dello step di rimozione.

Premere il **tasto destro del mouse** (una sola volta) sulla rappresentazione grafica del tirante precedentemente inserito.  
Selezionare la voce **"Proprietà tirante"** dal menu a tendina generato dal programma.  
Nella **finestra di dialogo** che viene aperta, modificare il valore **"Step elim."** inserendo il valore 6.  
Uscire dalla finestra di dialogo premendo il tasto **OK**.

Con procedura analoga è possibile modificare anche il valore dello step di inserimento di un elemento del modello. Un elemento viene inserito o rimosso all'inizio dello step indicato.

#### 2.1.1.10 Carichi sugli elementi strutturali

L'utente ha la possibilità di inserire dei carichi sulle paratie e sui puntoni:

- forze concentrate (sulle paratie)
- coppie concentrate (sulle paratie)
- carichi distribuiti uniformi e trapezi (sulle paratie e sui puntoni).

Il programma richiede di indicare l'elemento su cui inserire il carico, poi apre il pannello che permette di definirne le proprietà.

Spostare l'attenzione sul **menu principale** di IS Paratie.  
Selezionare **Carichi > Struttura > Aggiungi > Uniforme**.  
Il programma chiede di indicare l'elemento su cui va inserito il carico: premere una volta il **tasto sinistro del mouse** in corrispondenza della rappresentazione grafica del puntone precedentemente inserito.  
Il programma apre una finestra di dialogo che riassume le caratteristiche del carico inserito: uscire dalla finestra di dialogo premendo il tasto **OK**.

E' possibile inserire un carico in qualunque step, e rimuoverlo in qualunque altro. Si può accedere alle caratteristiche del carico premendo una volta il tasto destro del mouse sulla rappresentazione grafica del carico di interesse e scegliendo la voce "Proprietà carico esterno" dal menù contestuale visualizzato.

#### 2.1.1.11 Vincoli posticipati

L'utente ha la possibilità di inserire dei vincoli in corrispondenza di qualunque sezione delle paratie inserite. E' possibile inserire vincoli alla traslazione ed alla rotazione, relativi allo spostamento raggiunto all'ultimo step oppure assoluti (cioè relativi alla situazione iniziale indeformata). Ad ogni vincolo è abbinabile un cedimento di entità definibile a piacere. E' possibile inserire un vincolo in qualunque step, e rimuoverlo in qualunque altro. Si può accedere alle caratteristiche del vincolo premendo una volta il tasto destro del

mouse sulla rappresentazione grafica dello stesso e scegliendo la voce “Proprietà vincolo” dal menù contestuale visualizzato.

### 2.1.1.12 Materiali

IS Paratie permette di definire i materiali utilizzati nelle sezioni utilizzate. Sono disponibili quattro diversi materiali: cemento armato, acciaio per profilati, acciaio per tiranti e materiale utente. I primi due possono essere configurati velocemente fornendo la classe del materiale. Il terzo viene definito direttamente nel pannello dei tiranti. Il quarto è completamente a discrezione dell'utente.

Spostare l'attenzione sul **menu principale** di IS Paratie.  
Selezionare **Impostazioni > Materiali**.  
Il programma apre una finestra di dialogo che riassume le caratteristiche dei materiali definiti: dopo aver effettuato le eventuali modifiche uscire dalla finestra di dialogo premendo il tasto **OK** (oppure **ANNULLA**).

I materiali possono essere liberamente assegnati alle sezioni utilizzate.

### 2.1.1.13 Sezioni

Il programma permette di impostare liberamente le sezioni utilizzate dalle paratie e dai puntoni, ed una volta determinate le sollecitazioni, effettua le opportune verifiche tensionali. L'utente può definire le proprie sezioni a partire da alcuni modelli standard (rettangolare, circolare piena o cava, a T, a C, ecc.), oppure importarle da un profilario o ancora da un archivio utente. Il programma crea un database di sezioni che l'utente può decidere di utilizzare indipendentemente per paratie e puntoni, assegnando la stessa sezione ad uno o più elementi strutturali contemporaneamente.

Spostare l'attenzione sul **menu principale** di IS Paratie.  
Selezionare **Finestre > Sezioni**.  
Il programma apre la **finestra di gestione delle sezioni**, in cui è possibile definire le caratteristiche geometriche, i materiali e le eventuali armature.  
Selezionare **Sezioni > Nuova > Standard** del menu principale: IS Paratie apre una nuova finestra di dialogo.  
Inserire la stringa “Puntone” nella casella di testo **“Descrizione Sezione”** (si trova in alto a sinistra).  
Inserire il numero desiderato di sezioni al metro nella casella **“Numero sezioni per metro”** (ad esempio 1).  
Scegliere il materiale utilizzato nella casella a scelta multipla **“Materiale”** (ad esempio “acciaio”).  
Scegliere la forma geometrica desiderata premendo il tasto **OK** di fianco ad una di quelle disponibili, dopo aver eventualmente modificato le dimensioni geometriche.  
Il programma torna alla finestra delle sezioni, ed assegna alla nuova sezione l'indice progressivo “2”.  
Selezionare **File > Esci** del menu per tornare alla finestra principale del programma.  
Spostare il cursore del mouse sopra al puntone precedentemente inserito e premere il **tasto destro del mouse**.  
Selezionare **“Proprietà puntone”** dal menu aperto dal programma.

Il programma apre una finestra di dialogo che riassume le proprietà del puntone selezionato.

Selezionare la sezione appena definita (2) nella casella a scelta multipla "Sezione".

Chiudere la finestra di dialogo premendo il tasto **OK**.

### Definizione di una paratia composta da micropali:

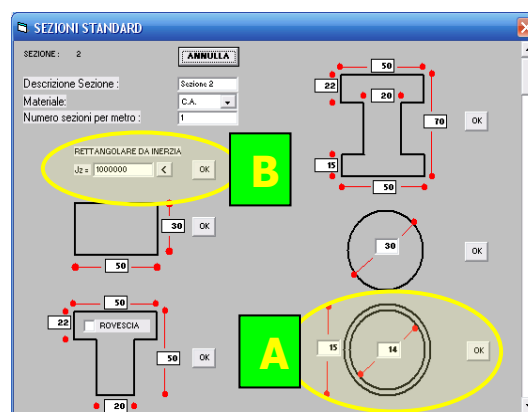
Per creare una paratia di micropali in IS Paratie occorre creare due sezioni, [A] e [B], una sarà il tubolare in acciaio al quale si affideranno le verifiche strutturali, l'altra sarà la sezione data dall'omogeneizzazione del tubolare d'acciaio e dal calcestruzzo iniettato con la quale il programma valuterà deformazioni e spostamenti.



- sezione **A**

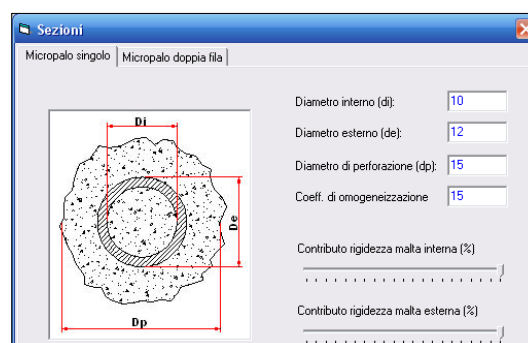
la prima sezione che si crea è il tubolare in acciaio; si definiscono il diametro interno ed esterno e si preme OK, sulla

destra occorrerà ancora dare una descrizione alla sezione, specificare che è acciaio e precisare il numero di sezioni al metro.



- sezione **B**

la seconda sezione che si crea sarà definita in automatico "per inerzie". Si preme l'icona [<] sotto "rettangolare da inerzie" e si accede al pannello di definizione del micropalo. Specificati i diametri e le % di contributo delle rigidità della malta (si consiglia 0-10% per la malta esterna e 60-70 % per la malta interna) si preme OK e di nuovo OK. Apparirà una sezione rettangolare, risultato dell'omogeneizzazione del micropalo. Si specifica a destra il nome della sezione, il materiale (c.a.) e il numero di sezioni al metro (deve essere coerente al numero inserito per la sezione A).



Per assegnare all'opera di contenimento le sezioni create occorre cliccare con il tasto destro sulla paratia → proprietà paratia e in questo pannello selezionare le due sezioni create: come sezione strutturale principale la sezione omogeneizzata e come sezione diversa per verifica il tubolare in acciaio.



### 2.1.2 Parametri

La maggior parte dei parametri utilizzati dal programma è liberamente configurabile da parte dell'utente. Le impostazioni dell'utente sono salvate automaticamente dal programma, ed è comunque possibile ripristinare quelle originali in ogni momento. IS Paratie consente di distinguere i parametri "globali", validi per ogni nuovo lavoro, da quelli "locali" utilizzati per tutti i file del lavoro corrente. I programmatori hanno avuto cura di separare i parametri più comunemente utilizzati da quelli a cui l'utente accede raramente, se non addirittura una volta sola.

### 2.1.2.1 Visualizzazione

Questa categoria di opzioni riguarda l'attivazione di informazioni grafiche sullo schermo. Il gruppo di parametri a cui l'utente fa accesso più frequentemente, per attivare o disattivare un diagramma o un gruppo di diagrammi, sono accessibili dal **pannello laterale** di IS Paratie.

Spostare l'attenzione sul **pannello laterale** di IS Paratie.  
Accertarsi che nel riquadro **PANNELLI** sia spuntata la casella **GRAFICA**.  
Dal pannello **GRAFICA** è possibile scegliere quali diagrammi visualizzare:

- **DIAGRAMMI PRESSIONI VERTICALI** attiva/disattiva i diagrammi delle tensioni verticali nel terreno
- **SCHEMA STATICO E PRESSIONI ORIZZONTALI** attiva/disattiva il disegno dello schema FEM del modello e delle spinte delle terre (visibile solo se viene avviato il calcolo)
- **SOLLECITAZIONI** attiva/disattiva il disegno dei diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione (visibile solo se viene avviato il calcolo)
- **INVILUPPI** attiva/disattiva il disegno dei diagrammi di inviluppo delle sollecitazioni (visibile solo se viene avviato il calcolo)
- **VERIFICA TENSIONI** attiva/disattiva il disegno delle verifiche tensionali delle sezioni definite (visibile solo se viene avviato il calcolo).
- **AUTO ZOOM SU AVVIO SOLUTORE** attiva/disattiva lo zoom automatico sull'intero disegno ogni volta che viene avviato il calcolo.
- **SCHEMATIZZA TIRANTI** attiva/disattiva la rappresentazione schematica dei tiranti in tutti i disegni prodotti sullo schermo.
- **SQUADRATURA** attiva/disattiva la squadratura del disegno.

Alle impostazioni di visualizzazione di secondaria importanza è dedicata una finestra di dialogo accessibile dal menu principale del programma.

Spostare l'attenzione sul **menu principale** di IS Paratie.  
Selezionare **Impostazioni > Visualizza**.  
Il programma apre una finestra di dialogo in cui è possibile leggere e modificare le impostazioni attuali.  
Uscire dalla finestra di dialogo premendo il tasto **ACCETTA ED ESCI** o **ANNULLA**.

### 2.1.2.2 Disegno

Il gruppo di opzioni che riguarda le caratteristiche delle rappresentazioni grafiche fornite da IS Paratie è probabilmente il più numeroso di tutto il programma. La maggior parte di queste opzioni verranno esaminate ed impostate una volta sola dall'utente, che una volta scelto lo stile più congeniale ai propri gusti lo utilizzerà in tutti i propri lavori.

Spostare l'attenzione sul **menu principale** di IS Paratie.  
Selezionare **Impostazioni > Disegno**.

Il programma apre una finestra di dialogo in cui è possibile leggere e modificare le impostazioni attuali, suddivise in numerose categorie. Accedere alla categoria di interesse premendo la linguetta che ne porta la descrizione:

- **GENERALI** impostazioni riguardanti tutti i disegni eseguiti dal programma.
- **TESTI** impostazioni riguardanti i testi del CAD utente.
- **QUOTE 1** primo stile predefinito per le quote del CAD utente.
- **STRUTTURA** impostazioni riguardanti la rappresentazione degli elementi strutturali (paratie, puntoni, tiranti).
- **STRATI** impostazioni riguardanti la rappresentazione degli strati di terreno.
- **FALDA** impostazioni riguardanti la rappresentazione della falda acquifera.
- **CARICHI E VINCOLI** impostazioni riguardanti la rappresentazione dei carichi sul terreno, dei carichi sulla struttura e dei vincoli posticipati.
- **SPINTE TERRE** impostazioni riguardanti i grafici di spinta orizzontali del terreno sulle paratie.
- **SCHEMA STATICO** impostazioni riguardanti la rappresentazione dello schema statico (modello FEM ed azioni).
- **SOLLECITAZIONI** impostazioni riguardanti i grafici delle caratteristiche di sollecitazione.
- **INVILUPPO** impostazioni riguardanti i grafici di inviluppo delle sollecitazioni.
- **VERIFICHE** impostazioni riguardanti i grafici delle verifiche tensionali sulle sezioni degli elementi strutturali.
- **DXF** impostazioni riguardanti l'esportazioni dei disegni in formato DXF.
- **DOC** impostazioni riguardanti l'esportazioni dei disegni in formato Word® (.doc).

Uscire dalla finestra di dialogo premendo il tasto **ACCETTA ED ESCI** o **ANNULLA**.

### 2.1.2.3 Relazione

Le opzioni riguardanti la generazione automatica delle relazioni sono salvate localmente per ogni paratia di un lavoro ed a livello globale per i nuovi lavori. Di solito, una volta impostate le opzioni riguardanti lo stile della relazione e gli elementi da introdurre (immagini, inviluppi, verifiche, modello FEM, ecc.), l'utente non apporta ulteriori modifiche a questa sezione dei parametri di IS Paratie.

Spostare l'attenzione sul **menu principale** di IS Paratie.

Selezionare **Impostazioni > Relazione**.

Il programma apre una finestra di dialogo in cui è possibile leggere e modificare le impostazioni attuali.

Uscire dalla finestra di dialogo premendo il tasto **OK** o **Cancel**.

La relazione in formato Word può essere generata solo se sul pc in uso è installata una copia di Microsoft Word®.

### 2.1.2.4 Modello

Questo gruppo di parametri riguarda la generazione del modello di calcolo. Il programma. I valori predefiniti di queste parametri sono stati scelti con cura dai progettisti del programma, ed in genere l'utente non dovrebbe modificarle tranne in casi molto particolari.

Spostare l'attenzione sul **menu principale** di IS Paratie.

Selezionare **Impostazioni > Modello > Generali**.

Il programma apre una **finestra di dialogo** in cui è possibile leggere e modificare le impostazioni attuali, suddivise in alcune categorie.

Accedere alla categoria di interesse premendo la **linguetta** che ne porta la descrizione:

- **MODELLO FEM** impostazioni riguardanti la modellazione ad elementi finiti del problema strutturale e la verifica delle sollecitazioni.
- **CONVERGENZA** impostazioni riguardanti il procedimento iterativo di calcolo.
- **GENERALI** impostazioni generali riguardanti il modello. In particolare:
  - **Considera effetti della variazione di tensione verticale su quella orizzontale fra gli step** se spuntato, indica che tutte le variazioni di carico verticale che hanno avuto effetto fra due step comportano variazioni dello stato pensionale orizzontale.
  - **Impone congruenza per i modelli di calcolo delle spinte** se spuntato, impone diversi vincoli che guidano l'utente nella definizione dei parametri di modello riguardanti i limiti di spinta attiva e passiva.

Uscire dalla finestra di dialogo premendo il tasto **ACCETTA ED ESCI** o **ANNULLA**.

### 2.1.2.5 Nuovo lavoro

Questo gruppo di parametri riguarda la generazione dei nuovi lavori. In genere, quando si utilizzano dei valori simili per le paratie che si progettano è bene impostarli in questa sezione, in modo da risparmiare parte del lavoro di modifica dei parametri del modello.

Spostare l'attenzione sul **menu principale** di IS Paratie.

Selezionare **Impostazioni > Modello > Nuovo Lavoro**.

Il programma apre una **finestra di dialogo** in cui è possibile leggere e modificare le impostazioni attuali, suddivise in alcune categorie.

Accedere alla categoria di interesse premendo la **linguetta** che ne porta la descrizione.

Uscire dalla finestra di dialogo premendo il tasto **ACCETTA ED ESCI** o **ANNULLA**.

## 2.2 Analisi del modello

Il programma IS Paratie utilizza un solutore ad elementi finiti con comportamento non lineare e memoria dello stato deformativo. La paratia viene schematizzata con una serie di aste incastrate, mentre il terreno è rappresentato da una serie di molle con comportamento di tipo elasto – plastico. L'interasse fra le molle

viene determinato automaticamente dal programma, ma l'utente ha comunque la possibilità di imporre la distanza massima fra i nodi sulle paratie. Il programma valuta automaticamente il contributo di tutte le azioni esterne definite nel modello, compresa la falda. Durante l'esecuzione del calcolo, l'utente ha la possibilità di seguire l'evoluzione del processo iterativo di convergenza. Tutte le grandezze utilizzate sono rappresentate a video, in particolare:

- l'utente può interrompere il calcolo alla fine di ogni step
- è possibile visualizzare la legge forze – spostamenti di ogni molla e seguire l'evoluzione dello spostamento e della relativa risposta
- alcuni grafici mostrano il contributo di ogni molla all'equilibrio e danno la possibilità di valutare l'entità delle risorse mobilitate e di quelle ancora disponibili
- le risultanti di spinta e le reazioni vincolari sono esplicitamente rappresentate
- i grafici della deformata e le sollecitazioni sono rappresentati e possono essere interrogati in ogni momento

Il calcolo ha inizio dal primo step e procede in ordine cronologico fino all'ultimo definito nel modello. Concluso il calcolo, per analizzare i risultati è sufficiente muoversi da uno step all'altro, nello stesso modo utilizzato per definire il modello, ed interrogare grafici con un "doppio click" del mouse.

## 2.2.1 Impostazioni

L'utente può impostare alcuni parametri che influenzano il comportamento del solutore, in particolare riguardo all'utilizzo di acceleratori di convergenza.

Spostare il cursore del mouse sul **menu principale**  
 Selezionare **Impostazioni > Modello > Generali**  
 Nella finestra di dialogo che viene aperta dal programma, selezionare la linguetta **3) CONVERGENZA**  
 Assicurarsi che i seguenti controlli abbiano il valore specificato:

• Numero massimo iterazioni:	<b>10000</b>
• Interrompi al termine di ogni step:	<b>spuntato (attivo)</b>
• Attiva sostituzione molle con forze:	<b>spuntato (attivo)</b>
• Rigidezza delle molle costante:	<b>vuoto (non attivo)</b>
• Aggiorna tutte le molle, non solo quelle...:	<b>spuntato (attivo)</b>

Premere il tasto **ACCETTA E ESCI** per confermare la scelta e tornare al programma.

Le impostazioni predefinite sono state scelte in modo accurato, conviene modificarle solo in casi particolari.

## 2.2.2 Avvio del calcolo

Per avviare un calcolo è sufficiente la pressione di un tasto. Prima di avviarne l'esecuzione, conviene scegliere le rappresentazioni grafiche che si desidera seguire sullo schermo (risultanti, deformata, sollecitazioni, legge sforzi – deformazioni delle molle, spinte del terreno, ecc.). Tutti i grafici possono essere attivati o disattivati durante le iterazioni di convergenza, ed è possibile effettuare degli zoom su qualunque area dello schermo, nonché interrogare i valori dei diagrammi.

Spostare l'attenzione sul **pannello laterale** di IS Paratie (se non fosse visibile, premere **F8**).  
 Nel riquadro "**PANNELLI**" (il terzo dall'alto) spuntare la casella "**GRAFICA**".

Nel riquadro **"GRAFICA"** spuntare le caselle corrispondenti ai grafici che si desidera siano visualizzati durante il calcolo. In particolare si suggerisce di attivare **"SCHEMA STATICO E PRESS. ORIZZONTALI"** e quindi **"DEFORMATA"** e **"SPINTE GRADUATE ATTIVA - PASSIVA"**.

Nel riquadro **"CALCOLO"** (il primo dall'alto), premere il tasto **"AVVIA"**.

Al termine di ogni step si apre una finestra di dialogo: premere il tasto **"OK"** per proseguire.

Nel caso ci si attenda un gran numero di iterazioni o non interessi seguire l'evoluzione del comportamento strutturale, è possibile disattivare completamente l'aggiornamento dei disegni sullo schermo per sveltire l'elaborazione dei risultati. E' anche possibile interrompere l'elaborazione premendo il tasto **"STOP"** nel riquadro **"CALCOLO"**.

### 2.2.3 Procedimento iterativo

IS Paratie adotta un procedimento iterativo alla ricerca della configurazione equilibrata e congruente. L'utente ha la possibilità di seguire direttamente sullo schermo l'evoluzione del ciclo di ricerca della convergenza. Al termine della fase di calcolo, l'utente può analizzare i risultati step per step. Le informazioni visuali offerte da IS Paratie sono particolarmente preziose, in ogni fase del progetto. Si suggerisce in particolare di attivare ed analizzare i grafici che rappresentano la situazione delle molle con cui è schematizzato il comportamento del terreno.

Spostare l'attenzione sul **pannello laterale** di IS Paratie (se non fosse visibile, premere **F8**).

Nel riquadro **"PANNELLI"** (il terzo dall'alto) spuntare la casella **"GRAFICA"**.

Nel riquadro **"GRAFICA"**:

- Assicurarsi che la casella **"SCHEMA STATICO E PRESS. ORIZZONTALI"** sia spuntata (attiva).
- Assicurarsi che la casella **"DEFORMATA"** sia spuntata (attiva).
- Assicurarsi che la casella **"DIAGRAMMI SPOSTAMENTI - FORZE"** sia spuntata (attiva).
- Assicurarsi che la casella **"SPINTE GRADUATE ATTIVA - PASSIVA"** sia spuntata (attiva).

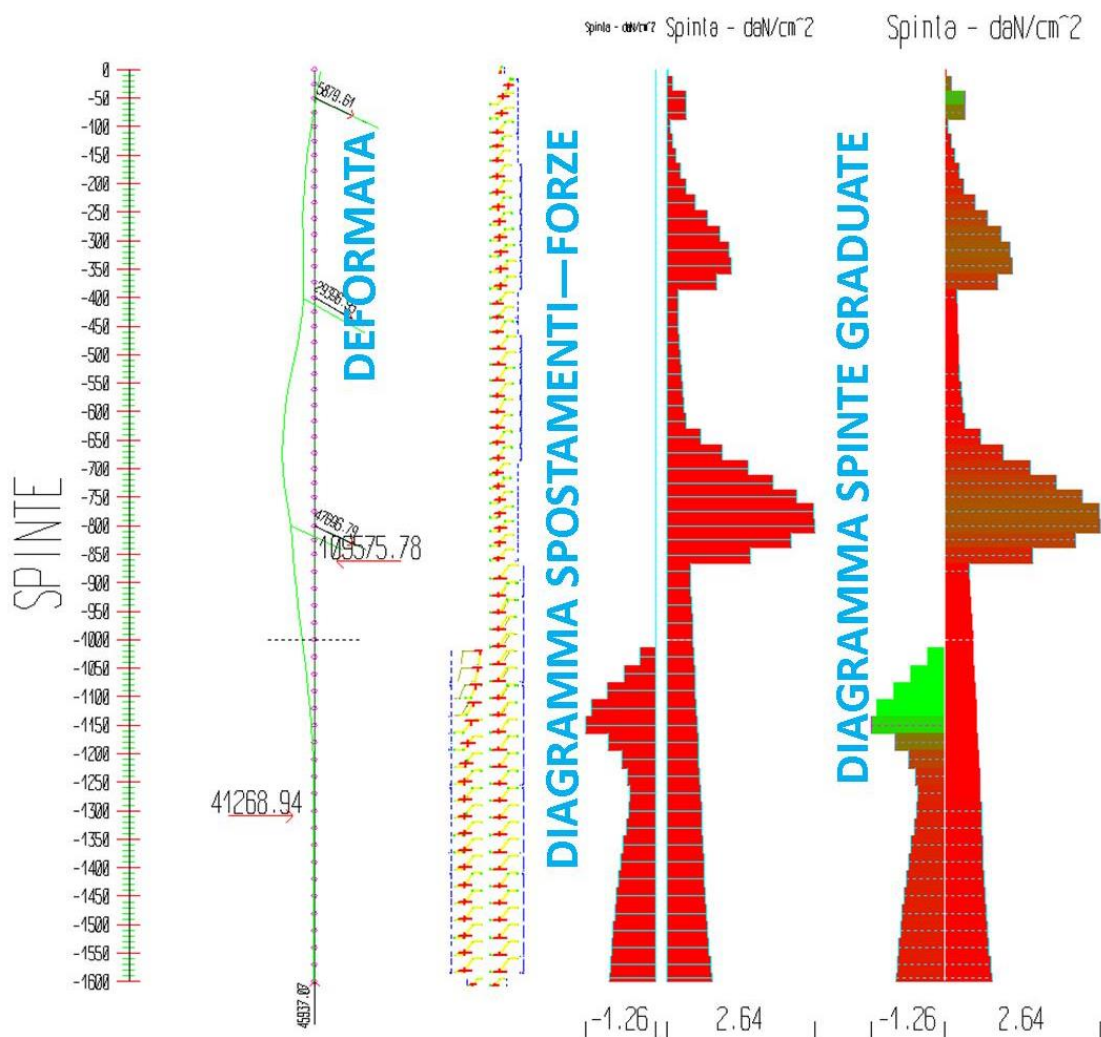
Di seguito viene rappresentata una classica schermata di IS Paratie visibile sia durante il calcolo che a calcolo terminato. Si evidenziano i tre diagrammi a cui l'utente dovrebbe destinare maggior attenzione e da cui trarrà il maggior numero di informazioni.

- Il diagramma della **deformata**, sovrapposta allo schema del modello FEM, indica gli spostamenti attuali subiti dalla paratia. La scala del disegno è stabilita automaticamente dal programma, secondo alcuni parametri forniti dall'utente, ma spesso è meglio adottare un moltiplicatore di scala fisso e piuttosto amplificato, per evidenziare meglio il comportamento del modello. Questo risultato può essere ottenuto lasciando bianca (cioè non spuntata) la casella **"SCALA AUTOMATICA"** che si trova in alto a destra nel pannello laterale di IS Paratie, ed inserendo il valore desiderato (a volte anche 100 o 500) nella casella di testo **"MOLTIP"**, situata appena sotto alla precedente.
- I diagrammi **spostamenti - forze** delle molle legano gli spostamenti della paratia alla reazione del terreno. In essi viene rappresentato (con una croce) il punto attualmente raggiunto. Durante il calcolo è possibile effettuare un ingrandimento (con uno "zoom") sul diagramma di ciascuna molla



e seguirne l'evoluzione. Il grafico spostamenti – forze è piuttosto complesso e richiede un tempo di elaborazione grafica significativo, si consiglia perciò di disattivarlo quando si abbia acquisito una sufficiente familiarità col programma, nel caso si disponga di un calcolatore lento.

- Il diagramma di **spinte graduate** è quello che offre il maggior numero di informazioni nel minor spazio. In questo diagramma vengono assegnati due colori (scelti dall'utente) alle situazioni estreme di rottura per spinta attiva (rosso, nel disegno) e rottura per spinta passiva (verde, nel disegno). Ogni barra colorata rappresenta una molla, a monte o a valle della paratia, e la sua lunghezza (in scala) esprime la reazione comunicata alla paratia. A seconda del caso, ogni barra del diagramma sarà disegnata in modo diverso. Se in una zona il terreno è giunto a rottura, la barra del diagramma viene rappresentata col corrispondente colore pieno, senza alcun tratteggio intermedio. Se il terreno si trova in una condizione intermedia fra rottura per spinta attiva e per spinta passiva, la barra sarà rappresentata con un colore intermedio e presenterà una linea tratteggiata al centro.



Leggendo il diagramma delle spinte graduate rappresentato nell'immagine, è immediato distinguere una zona completamente verde a valle, dove il terreno ha raggiunto il massimo valore di spinta passiva compatibile con le proprie caratteristiche. In questa zona non possono essere mobilitate ulteriori risorse per l'equilibrio. Più in basso si trova il punto attorno a cui ruota la paratia, ben identificabile dalla

deformata. Sotto a questo punto avviene un'inversione nel diagramma delle spinte, nel senso che la zona di spinta passiva si trova ora a monte e non più a valle. In questa zona di monte le barre che rappresentano la reazione del terreno sono rosse con un tratteggio bianco al centro: ciò sta ad indicare che non si è ancora raggiunta la condizione di rottura per spinta passiva (dai diagrammi spostamenti – forze al centro si può leggere l'esatto punto attuale), e perciò il terreno dispone ancora di una riserva di resistenza mobilitabile per l'equilibrio. Approfondendo lo scavo e ripetendo il calcolo si potrà seguire l'evoluzione della situazione sopra rappresentata.

## 2.2.4 Procedure di verifica e progetto

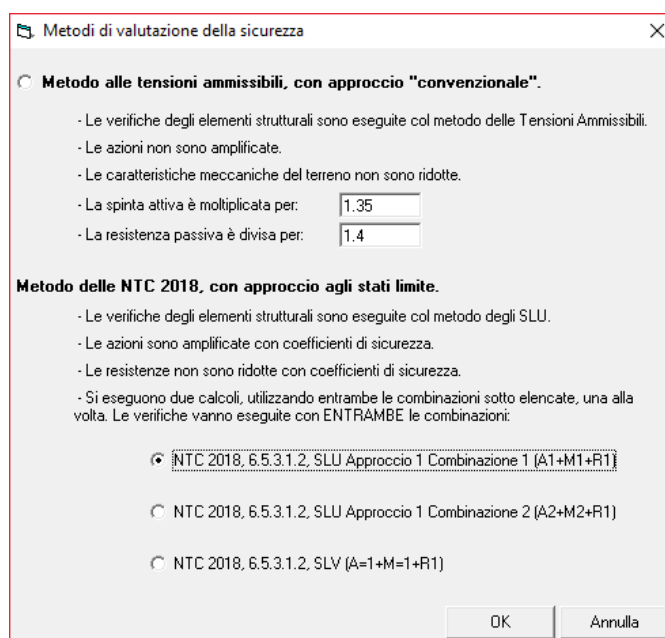
IS Paratie è uno strumento agile e funzionale, e permette sia la verifica che il progetto di strutture di sostegno flessibili. La verifica di una struttura non può prescindere dall'adozione di alcuni coefficienti di sicurezza. IS Paratie non adotta alcun coefficiente di sicurezza implicito sui parametri inseriti dall'utente. La sicurezza è quindi completamente a carico dell'utente che può decidere di operare autonomamente nel modo che ritiene migliore.

Spostare il cursore del mouse sul **menu principale**.

Selezionare **Calcolo > Opzioni > Coefficienti di sicurezza**.

- Nella finestra di dialogo che viene aperta dal programma premere il tasto "Premendo QUI si impostano TUTTE le opzioni automaticamente".
- Scegliere l'approccio di calcolo.

Premere il tasto **OK** per confermare la scelta e tornare al programma.



In IS Paratie occorre effettuare il calcolo con il primo e con il secondo approccio, nel caso in cui venga considerata l'azione sismica anche con il terzo, considerandone gli effetti solo nello step in cui è inserito il carico sismico.

Il progetto con IS Paratie è veloce e piacevole. Il programma permette di modificare rapidamente l'altezza della paratie e fornisce indicazioni visuali immediate sulla quantità di risorse mobilitate, fornendo così all'utente un mezzo ideale per progettare la propria struttura con un veloce procedimento iterativo.

## 2.3 Gestione dei risultati

Il programma permette di analizzare direttamente a video i risultati ottenuti dal calcolo non lineare, permettendo all'utente di analizzare la situazione in corrispondenza di ogni step, nonché l'involuppo degli step. E' anche possibile esportare immagini singole di ogni diagramma in diversi formati (.bmp, .dxf, .dis) e generare una relazione di calcolo in formato testo (.txt), HTML (.html) o direttamente in Word® (.doc).

### 2.3.1 Lettura dei risultati a video

Al termine del calcolo, spostandosi ad un generico step, l'utente ha la possibilità di visualizzare i seguenti diagrammi:

- deformata alla fine dello step selezionato
- caratteristiche di sollecitazione (N, M, T) alla fine dello step selezionato
- spinte del terreno sulla paratia alla fine dello step selezionato
- risultanti di spinta alla fine dello step selezionato
- reazioni vincolari alla fine dello step selezionato
- diagramma spostamenti – forze di ciascuna molla, con punto attuale, alla fine dello step selezionato
- disegno di insieme delle deformate dal primo step fino a quello selezionato
- involuppo oppure sovrapposizione delle sollecitazioni dal primo step fino a quello selezionato
- verifica sezionale della tensione nei materiali definiti.

È possibile attivare o disattivare tutti i diagrammi che si desiderano.

Spostare l'attenzione sul **pannello laterale** di IS Paratie (se non fosse visibile, premere **F8**).  
Nel riquadro **"PANNELLI"** (il terzo dall'alto) spuntare la casella **"GRAFICA"**.  
Nel riquadro **"GRAFICA"** spuntare le caselle corrispondenti ai grafici che si desidera siano visualizzati a video.  
Nel riquadro **"GESTIONE STEP"** (il secondo dall'alto), premere i tasti **"<"** o **">"** per portarsi allo step desiderato.  
Spostare il cursore del mouse sul diagramma che si vuole interrogare e premere per due volte in rapida successione il tasto sinistro del mouse ("doppio click"): il programma visualizza di fianco al cursore l'entità del valore rappresentato graficamente.

L'utente ha completo controllo sull'aspetto dei grafici (dimensioni, colori, testi).

### 2.3.2 Esportazione risultati

I risultati possono essere esportati in diversi formati. Una possibilità che si offre all'utente è di salvare il disegno attualmente rappresentato sullo schermo per esportarlo e presumibilmente completarlo o integrarlo con altri elaborati in programmi esterni (Autocad®, Word®, ecc.). Quest'opzione, sebbene molto utile, si rivela in realtà secondaria in IS Paratie, per le seguenti ragioni:

- IS Paratie offre un CAD interno, che permette di completare i disegni generati automaticamente con testi, linee, quote.
- IS Paratie implementa la creazione di una relazione di calcolo direttamente in HTML o in Word®, di cui sfrutta appieno le capacità di formattazione.

Spostare l'attenzione sul **menu principale** di IS Paratie.

Selezionare **File > Salva relazione**.

Il programma apre una finestra di dialogo che permette di inserire il tipo di relazione ed il nome del file.

Nella casella a scelta multipla "**Salva come**" (in basso al centro) selezionare "**WORD (\*.DOC)**".

Nella casella di testo "**Nome File**" (appena sopra alla precedente) inserire il nome del file da salvare (ad esempio, "**relazione**").

Premere il tasto "**Salva**".

Attendere il completamento della compilazione automatica della relazione.

Il programma permette di impostare le caratteristiche delle relazioni automatiche. Nel caso della relazione generata con Word®, l'utente ha la possibilità di ridefinire gli stili associati ai titoli, alle tabelle, ai paragrafi di testo normale e monospaziato, al sommario.

## 2.4 Calcolo dei cedimenti a monte della paratia

Cedimenti a monte

Nessuno [Volume]

Si ipotizza che la variazione di volume compressiva del terreno coinvolto sia nulla (deformandosi, i terreni tendono a dilatare). In questo caso, definito il cuneo di spinta, l'area BCE sarà uguale all'area ACD.

$\alpha = \pi/4 - \varphi/2$

$A_{(BCE)} = A_{(ACD)}$

Angolo di attrito interno medio del terreno [°]

**Volume**

Calcolo basato sull'equivalenza dei volumi di terreno spostati

Paratia di applicazione:

☐ Specifica la quota superiore di calcolo:

Passo di calcolo dei cedimenti, da asse paratia:

Step di calcolo:

Distanza [cm]	Coord. x [cm]	Cedim. dz [cm]
0	0	0.05
50	50	0.05
100	100	0.04
150	150	0.04
200	200	0.04
250	250	0.04
300	300	0.03
350	350	0.03
400	400	0.03
450	450	0.02
500	500	0.02
550	550	0.02
600	600	0.02
650	650	0.01
700	700	0.01
750	750	0.01
800	800	0.01
850	850	0
900	900	0
923.8	923.8	0

Paratia PAR\_1 Step 3

$z_{sup} = 0[\text{cm}]$   $z_{inf} = -1600[\text{cm}]$   $L_{ced} = 923.8[\text{cm}]$

Distanza [cm]	Coord. x [cm]	Cedim. dz [cm]
-	-	-

IS Paratie consente di effettuare il calcolo dei cedimenti a monte della paratia.

Per visualizzare tali valori occorre accedere dal menu principale alle voci "Calcolo" e "Cedimenti a monte". Si apre una nuova finestra in cui occorre scegliere se effettuare il calcolo e, in caso affermativo, occorre definire un angolo di attrito medio, un passo di calcolo dei cedimenti, valutati a partire dall'asse della paratia e lo step di calcolo. Quest'ultimo sarà a scelta tra:

- Tutti gli step
- Solo l'ultimo step
- Solo lo step peggiore

Nella parte a destra della finestra si può leggere un riassunto riguardante il metodo di calcolo utilizzato e si può leggere una tabellina in cui sono riportati i valori di cedimento a distanze progressive dalla testa della paratia.

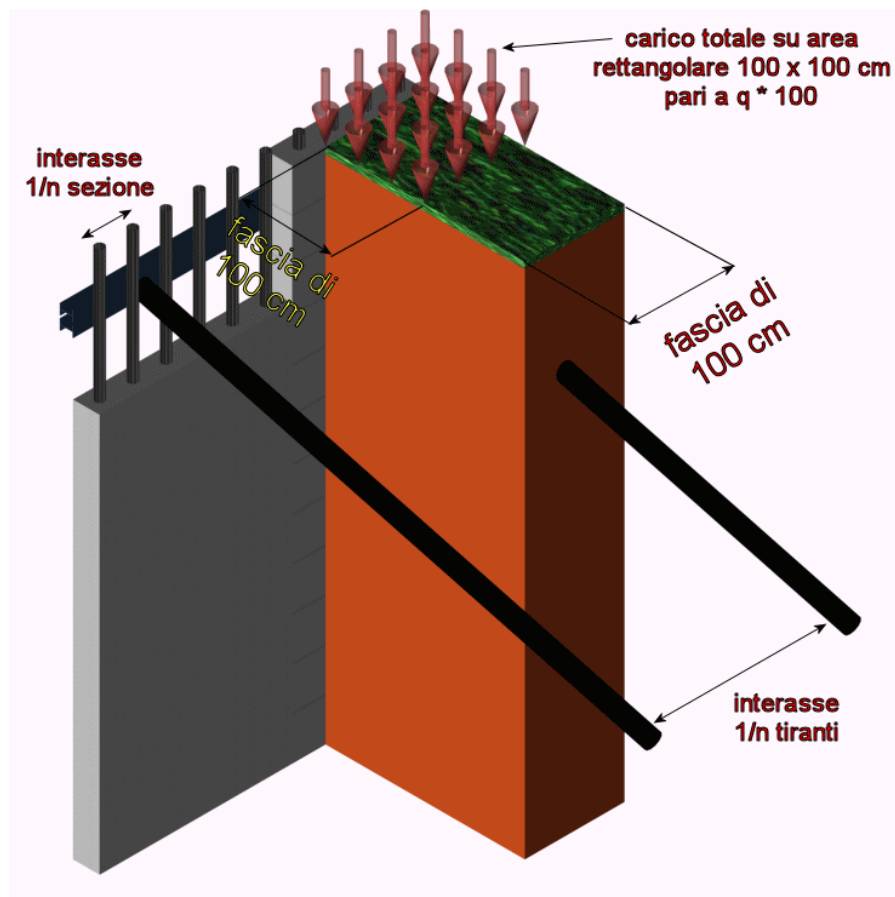
### 3 Convenzioni, simboli ed unità di misura

Nel programma sono presenti alcuni simboli di uso ricorrente per indicare le grandezze fisiche coinvolte nel problema.

Per comodità di utilizzo alcuni di essi vengono riportati di seguito.

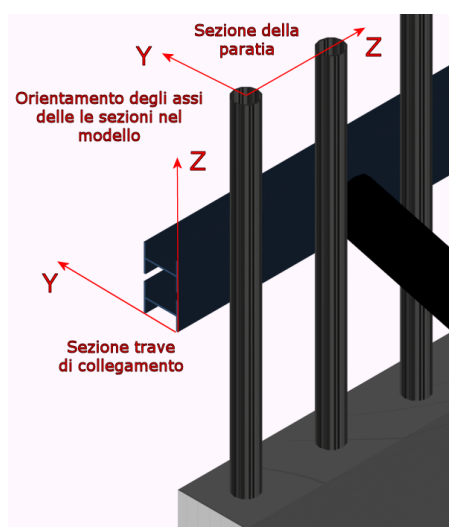
- Generiche
  - $z$ : quota, orientata verso l'alto.
  - $\gamma_d, \gamma_t$ : pesi di volume del terreno, secco e saturo.
- Tensioni
  - $\sigma_v$ : tensione verticale totale.
  - $\sigma'_v$ : tensione verticale efficace.
  - $u$ : pressione neutra.
- Valori del modello
  - $k_0$ : coefficiente di spinta a riposo.
  - $k_a$ : coefficiente di spinta attiva.
  - $k_p$ : coefficiente di spinta passiva.
  - $k_s$ : modulo di reazione del terreno.

Il programma **IS Paratie** analizza un tratto di paratia profondo un metro in senso longitudinale. Questa assunzione comporta, da parte dell'utente, una particolare attenzione nella fase di inserimento dei valori dei carichi distribuiti, nella definizione del numero di sezioni per metro e del numero di tiranti per metro. La seguente immagine esplicita le convenzioni utilizzate dal programma in fase di inserimento dei dati del problema.

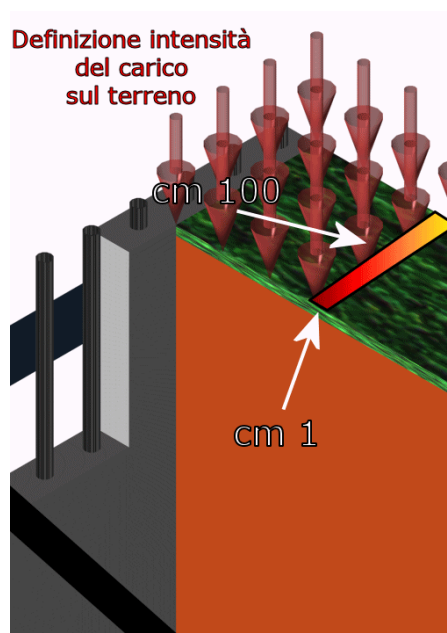


L'interasse della sezione della paratia deriva direttamente dal numero di sezioni per metro definite nella finestra dedicata alle sezioni. Per avere un interasse di 50 cm, ad esempio, è sufficiente specificare un numero di sezioni per metro pari a 2. L'interasse fra i tiranti, analogamente, deriva dal numero di tiranti per metro specificato nel pannello di proprietà del tirante. Per avere un interasse di 2 metri, ad esempio, è sufficiente specificare un numero di tiranti per metro pari a 0.5.

Le sezioni vengono definite in un pannello bidimensionale in un sistema cartesiano ortogonale di assi z (ascisse) e y (ordinate). Per entrambe le paratie il sistema di riferimento viene trasportato nello spazio nel modo indicato dalla seguente figura.



I carichi sul terreno vengono definiti per una striscia di 100 cm, coerentemente alle altre convenzioni utilizzate. Il valore indicato nel pannello di inserimento del carico si riferisce perciò al carico che insiste su una striscia profonda 100 cm in senso longitudinale, per ogni cm di sviluppo trasversale. Ad esempio, per inserire un carico di  $2000 \text{ kg}_f/\text{m}^2$  è necessario indicare un valore di  $20 \text{ kg}_f/\text{cm}$  ( $/100 \text{ cm}$ ). La figura seguente evidenzia questa assunzione.





## 4 Visualizzatore 3D

Il programma è dotato di un visualizzatore tridimensionale che consente di vedere l'intera opera in 3D. Tale applicativo consente di visualizzare ogni componente del progetto, ossia la stratigrafia, la sezione della paratia, i carichi, i tiranti, i puntoni e la falda. Si può, inoltre, vedere il passaggio da uno step all'altro in modo da analizzare le varie fasi di scavo, gli eventuali inserimenti di tiranti, puntoni, carichi, ecc.

Tale visualizzatore 3D è utile, quindi, per capire l'evoluzione spaziale e temporale del lavoro e per una conferma visiva delle scelte progettuali fatte. Il risultato grafico è gradevole, ha colori realistici ed è possibile visualizzare un escavatore avente le giuste proporzioni. Le immagini che se ne ricavano possono essere utili per migliorare e completare la relazione di calcolo.

