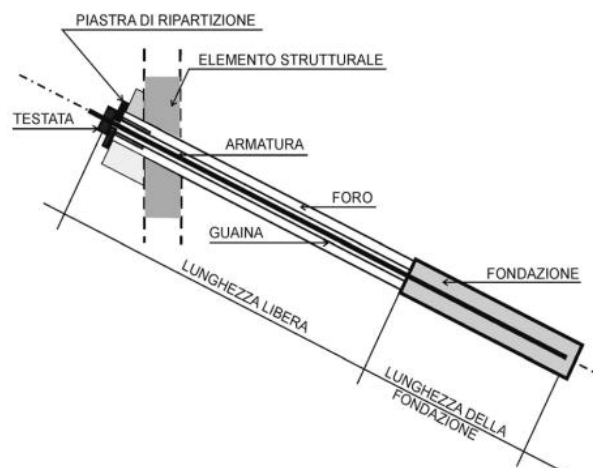


# ***Tiranti.Az***

***Software per il calcolo dei tiranti di ancoraggio in ambito geotecnico***

*(versione 2.0)*



## **Manuale d'uso**

### **Autore**

Ing. **Ciro Azzara**

Via E. Majorana, 8 – 90035 Marineo (PA)

Cell. 348 1514947

e-mail: [ing.azzara@libero.it](mailto:ing.azzara@libero.it) [azzara.ciro@gmail.com](mailto:azzara.ciro@gmail.com)

|  |                      |              |
|--|----------------------|--------------|
| <b><i>Tiranti.Az 2.0</i></b><br>(Ing. <i>Ciro Azzara</i> ) | <b>Manuale d'uso</b> | Pag. 2 di 28 |
|--|----------------------|--------------|

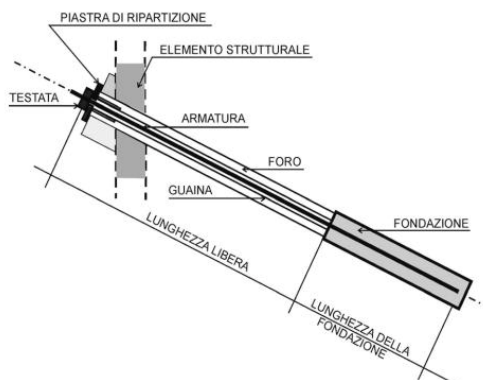
## Sommario

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUZIONE .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2. AVVIO DEL SOFTWARE.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>3. DATI GENERALI .....</b>  | <b>6</b>  |
| 3.1 Unità di misura .....  | 7         |
| 3.2 Normativa di riferimento .....   | 7         |
| 3.3 Determinazione resistenza allo sfilamento .....                              | 9         |
| <b>4. TIPOLOGIA.....</b>   | <b>10</b> |
| <b>5. GEOMETRIA.....</b>   | <b>10</b> |
| 5.1 Tiranti.....   | 10        |
| 5.2 Stratigrafia.....  | 11        |
| <b>6. MENÙ MATERIALI .....</b>   | <b>11</b> |
| 6.1 Terreni.....   | 11        |
| 6.2 Terreni-sfilamento .....   | 12        |
| 6.3 Tirante-verifiche strutturali .....  | 16        |
| <b>7. CARICHI ESTERNI .....</b>  | <b>17</b> |
| <b>8. IMPOSTAZIONI .....</b>   | <b>17</b> |
| 8.1 Scelte di calcolo .....  | 17        |
| 8.2 Coefficienti parziali e di sicurezza .....                                   | 18        |
| <b>9. CALCOLO .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>10. OUTPUT (MENÙ VISUALIZZA) .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>11. LICENZA D'USO E RESTRIZIONI DEL SOFTWARE.....</b>                         | <b>19</b> |
| <b>APPENDICE 1 – Valori indicativi proprietà fisico-meccaniche terreni .....</b> | <b>21</b> |
| <b>APPENDICE 2 – Gestione errori.....</b>  | <b>21</b> |
| <b>APPENDICE 3 – Novità ultime versioni del software .....</b>                   | <b>22</b> |
| <b>APPENDICE 4 – Esempi svolti .....</b>   | <b>23</b> |
| 1) tirante di ancoraggio – calcolo agli stati limite .....                       | 23        |
| 2) tiranti di ancoraggio – calcolo agli stati limite .....                       | 24        |
| <b>Bigliografia.....</b>   | <b>28</b> |

|   |                             |                     |
|---|-----------------------------|---------------------|
| <p><b>Tiranti.Az 2.0</b><br/>(Ing. Ciro Azzara)</p> | <p><b>Manuale d'uso</b></p> | <p>Pag. 3 di 28</p> |
|---|-----------------------------|---------------------|

## 1. INTRODUZIONE

Il presente applicativo, sviluppato in ambiente Microsoft Excel<sup>®1</sup>, effettua il calcolo dei tiranti di ancoraggio in ambito geotecnico, attivi e passivi, provvisori e permanenti.



I tiranti oggetto di calcolo sono quelli realizzati in opera con la struttura in acciaio e bulbo di fondazione in calcestruzzo o altro materiale simile (es. resina) iniettato a pressione più o meno elevata.

Vengono effettuate le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- **sfilamento** (SLU di tipo geotecnico)
- raggiungimento della **resistenza nel materiale costituente il tirante** (SLU di tipo strutturale);
- **aderenza acciaio - calcestruzzo** (SLU di tipo strutturale).

Gli stati limite ultimi si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e dal raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono il tirante stesso.

Il software è aggiornato alle nuove **Norme Tecniche sulle Costruzioni del 2018** (nel seguito NTC) e consente anche il calcolo con le previgenti normative tecniche (metodo “alle tensioni ammissibili” di cui al D.M. 11/03/1988 e “stati limite” di cui al D.M. 14/01/2008).

Come per ogni software tecnico, l'utente di *Tiranti.Az* deve essere un tecnico dotato di buona padronanza della materia (Geotecnica, Idraulica, Scienza e Tecnica delle Costruzioni) e deve conoscere i metodi e i principi a base delle tecniche risolutive adottate dal software; è sempre necessario che l'utente verifichi l'attendibilità dei risultati ottenuti.

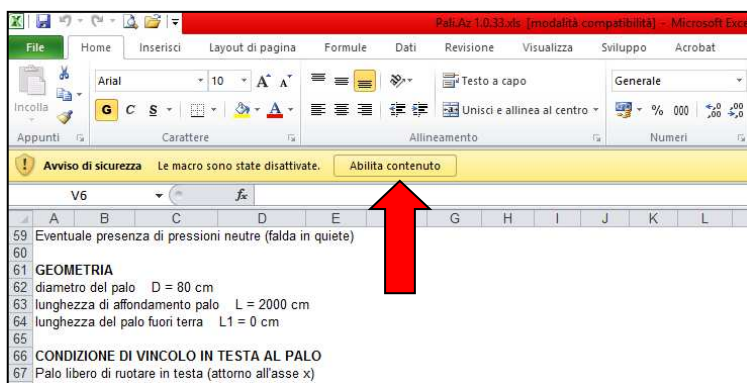
L'applicativo, abbastanza semplice ed intuitivo, è molto indicato ai fini didattici oltre che per scopi professionali.

## 2. AVVIO DEL SOFTWARE

Il file contenente l'applicativo si **installa** come uno comune file e può essere allocato in qualsiasi cartella.

<sup>1</sup> Per l'utilizzo di *Tiranti.Az* è necessario che l'utente disponga del software Microsoft Excel<sup>®</sup> con regolare licenza d'uso.

Per il funzionamento del software occorre che alla sua apertura le **macro** ivi inserite



vengano attivate. Se compare l'**Avviso di sicurezza** di cui all'immagine accanto occorre premere sul pulsante **"Abilita contenuto"**.

Se non compare la schermata di presentazione del

programma di cui sotto (il che vuol dire che le macro non si sono attivate), occorre impostare il livello di protezione delle macro a "medio" o "basso". Per fare ciò occorre:

- ✓ se si utilizza Microsoft Excel 1997, 2000, 2003: scegliere il menù *Strumenti*, quindi *Macro*, *Protezione* e scegliere il livello di protezione: se si sceglie "media" occorre premere il bottone "attiva macro" quando si aprirà l'applicativo *Tiranti.Az*;
- ✓ se si utilizza Microsoft Excel 2007, 2010 o 2013 o successivi: occorre mantenere il file come *Cartella di lavoro di Excel 97-2003* e visualizzare il menù **Sviluppo** con la seguente procedura:
  - con Excel 2007: fare clic sul pulsante in alto a sinistra **Microsoft Office** e quindi su **Opzioni di Excel**, scegliere **Impostazioni generali** e quindi selezionare la casella di controllo **Mostra scheda Sviluppo** sulla **barra multifunzione**;
  - con Excel 2010/2013: fare clic sul pulsante in alto a sinistra **Microsoft Office** e quindi su **Opzioni di Excel**, scegliere **Personalizza barra multifunzione** e spuntare, nell'elenco *Schede principali*, la voce *Sviluppo*.

Successivamente dal menù Sviluppo scegliere **Protezione macro** => **Impostazioni macro** => scegliere **Attiva tutte le macro** o **Disattiva tutte le macro con notifica**, quindi chiudere e riaprire *Tiranti.Az*. Nella barra dei menù in alto a destra si formerà il menù *"Componenti aggiuntivi"* che comprenderà i menù personalizzati di *Tiranti.Az*.

Il software funziona perfettamente ma ha una durata limitata nel tempo. Per eliminare la limitazione temporale occorre **attivarlo** dal menù INFORMAZIONI SU inserendo il codice di attivazione fornito dall'autore. A tale scopo l'utente deve preventivamente comunicare all'autore il **codice HD** che viene visualizzato nel menù INFORMAZIONI SU, tenendo conto che alle volte detto codice è preceduto da un segno meno "-". Il codice di attivazione è riferito al solo PC su cui è stato installato il software e sui cui quindi si è letto il codice HD. Ad attivazione avvenuta è possibile inserire il titolare della licenza d'uso.

|   |                      |              |
|---|----------------------|--------------|
| <b>Tiranti.Az 2.0</b><br>(Ing. Ciro Azzara) | <b>Manuale d'uso</b> | Pag. 5 di 28 |
|---|----------------------|--------------|

Il software non attivato è comunque funzionante per un certo periodo di tempo e per un determinato numero di volte ma **non può essere utilizzato per scopi professionali** (il tabulato di calcolo e ogni altro riferimento al software non possono essere allegati a progetti sia pubblici che privati).

Avviato il software (anche se non attivato) appare la seguente schermata di presentazione in cui è indicato, tra l'altro, il titolare della licenza d'uso.

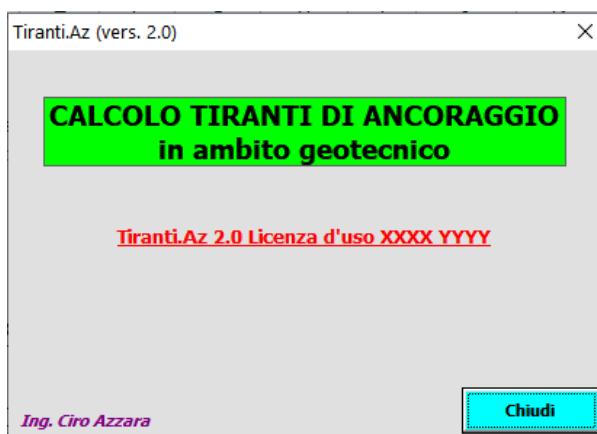
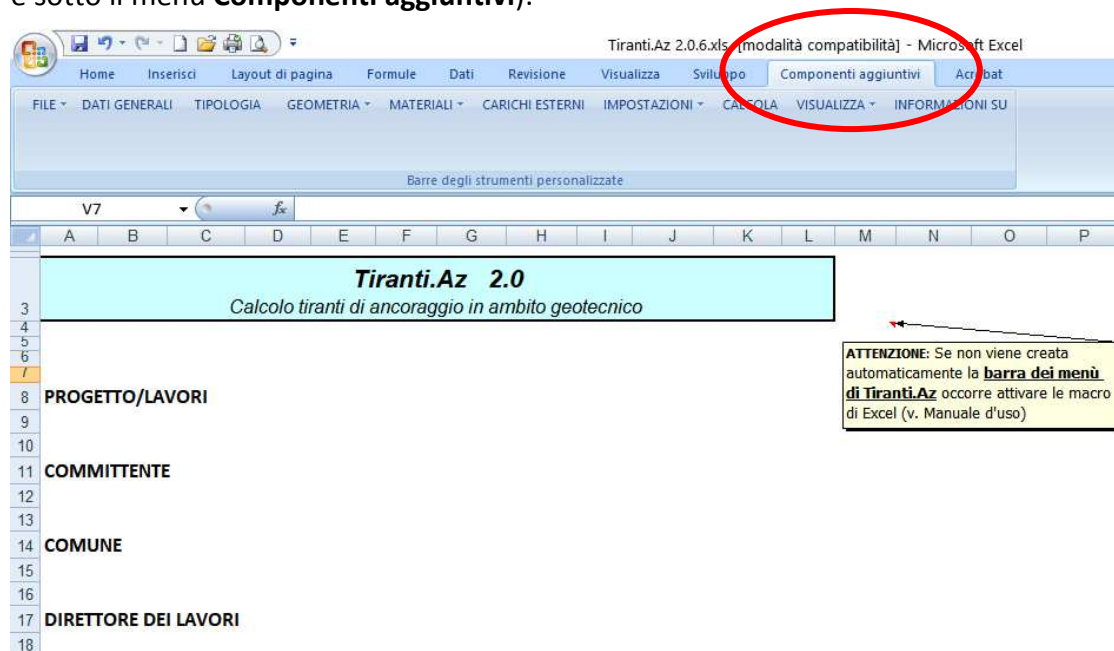


Fig. 1 Schermata di presentazione del software

Chiusa la schermata di presentazione, l'area di lavoro di *Tiranti.Az* si presenta come segue (notare la barra menù personalizzata, che in Excel 2007/2010/2013 e successivi è sotto il menù **Componenti aggiuntivi**):



Il **menù FILE** (il primo da sinistra) contiene i comandi per:

- effettuare un nuovo calcolo: vengono cancellati tutti i dati riferiti al precedente calcolo, previo avviso di conferma;

- salvare il calcolo con le modifiche apportate;
- salvare le modifiche in un altro file (Salva con nome...), da allocare ovunque si vuole;
- effettuare l'anteprima di stampa;
- stampare il tabulato di calcolo;
- impostare l'area di stampa;
- cancellare l'area di stampa precedentemente impostata.

### 3. DATI GENERALI

Per i dati di input rappresentati da numeri decimali usare il carattere virgola “,”. Durante la fase di inserimento dei dati di input è opportuno effettuare ogni tanto il “salvataggio” degli stessi per mezzo del menù FILE o premendo il relativo pulsante



**DATI GENERALI**

Progetto/Lavori  
Committente  
Comune  
Progettista/Tecnico  
Direttore Lavori  
Impresa esecutrice  
Luogo e data  
esecuzione calcoli  
Annotazioni

Ing. Ciro Azzara

**Sistema per le unità di misura**  
☐ Sistema Tecnico (kg, m)  
☒ Sistema Internazionale (N, m)

**Normativa di riferimento**  
☐ D.M. 11/03/1988 + D.M. 16/01/1996 (Tensioni Ammiss.)  
☐ D.M. 14/01/2008 (Stati Limite)  
☒ D.M. 17/01/2018 (Stati Limite)

3  
3  
1

n° ordini di tiranti  
n° strati terreno (1 se terr. omogeneo)  
n° profili di indagine

**Determinaz. resistenza allo sfilamento**  
☐ con risultati di prove di progetto su ancoraggi di prova  
☒ metodo di Bustamante e Doix, 1985 (preferib.)  
☐ integrazione tensione tangenziale

**Condizioni di rottura**  
☐ drenate (terreni a grana grossa o media;  
☐ terreni a grana fina con verifica a lungo termine o con applicazione lenta dei carichi)  
☒ presenza di falda in quiete  
☒ non drenate (terreni a grana fina - verifica sia breve che a lungo termine)

Annulla

Salva e chiudi

Il pannello DATI GENERALI permette di inserire le informazioni generali sul calcolo da effettuare.

Il nominativo indicato nel campo

“Progettista/Tecnico” viene riportato in calce al tabulato di calcolo.

Possono essere calcolati fino a un massimo di cinque **ordini di tiranti** contemporaneamente (ad esempio tiranti su varie altezze che interessano una paratia o un muro di sostegno).

|   |                      |              |
|---|----------------------|--------------|
| <b>Tiranti.Az 2.0</b><br>(Ing. Ciro Azzara) | <b>Manuale d'uso</b> | Pag. 7 di 28 |
|---|----------------------|--------------|

Il terreno può essere anche **stratigrafico**, potendo inserire fino a sei strati. Nel caso di terreno omogeneo occorre inserire il numero 1.

Il numero dei **profili di indagine** (fino a un massimo di 20) consente di inserire i parametri geotecnici, necessari al calcolo della resistenza allo scorrimento dei tiranti, per tutti i profili di cui si dispongono i relativi dati. Più è alto il numero dei profili di indagine disponibile, più è accurato il calcolo e conseguentemente le NTC prevedono coefficienti di sicurezza premianti.

### 3.1 Unità di misura

Per le unità di misura si può adottare sia il Sistema Tecnico che il Sistema Internazionale

| grandezza  | Unità di misura    |                        |
|--|--------------------|------------------------|
|  | Sistema Tecnico    | Sistema Internazionale |
| <b>Calcoli generali e geotecnici</b>   |                    |                        |
| dimensioni geometriche, lunghezze, coordinate [L]  | m                  | m                      |
| aree sezioni   | m <sup>2</sup>     | m <sup>2</sup>         |
| volumi   | m <sup>3</sup>     | m <sup>3</sup>         |
| momenti di inerzia sezioni   | m <sup>4</sup>     | m <sup>4</sup>         |
| forze concentrate, resistenza alla punta e laterali, sforzi normali e di taglio [F]                      | kg                 | kN                     |
| momenti stabilizzanti e instabilizzanti, momenti flettenti e torcenti, coppie                            | Kg m               | KN m                   |
| carichi distribuiti per unità di lunghezza   | kg/m               | kN/m                   |
| carichi distribuiti per unità di superficie, coesione terreno, tensioni nel sottosuolo, pressioni neutre | kg/m <sup>2</sup>  | kN/m <sup>2</sup> =kPa |
| carichi limite unitari   | kg/cm <sup>2</sup> | N/mm <sup>2</sup>      |
| pesi specifici materiali e terreni   | kg/m <sup>3</sup>  | kN/m <sup>3</sup>      |
| <b>Calcoli strutturali</b>   |                    |                        |
| dimensioni, copriferro, interferro   | cm                 | cm                     |
| diametri tondini metallici, trefoli, staffe e spirali  | mm                 | mm                     |
| aree sezioni   | cm <sup>2</sup>    | cm <sup>2</sup>        |
| volumi   | cm <sup>3</sup>    | cm <sup>3</sup>        |
| momenti statici e moduli di resistenza sezioni   | cm <sup>3</sup>    | cm <sup>3</sup>        |
| momenti di inerzia sezioni   | cm <sup>4</sup>    | cm <sup>4</sup>        |
| tensioni/pressioni, resistenze caratteristiche, tensioni ammissibili, moduli elastici dei materiali      | kg/cm <sup>2</sup> | N/mm <sup>2</sup>      |

**Attenzione:** quando si varia il sistema di riferimento (ad esempio da S.T. a S.I.) con i dati di input già inseriti, ricordarsi di cambiare i valori dei vari parametri di input per adeguarli alle nuove unità di misura; ad esempio il valore di  $R_{ck}$  del calcestruzzo di 250 kg/cm<sup>2</sup> nel S.T. passa a 25 N/mm<sup>2</sup> nel S.I.

### 3.2 Normativa di riferimento

La normativa di riferimento ha riflessi essenzialmente su:

- coefficienti di amplificazione delle azioni (A), coefficienti di riduzione delle resistenze dei materiali (M) e coefficienti di sicurezza dei sistemi geotecnici (R);
- metodo per le verifiche di sicurezza strutturali (Stati Limite Ultimi o Tensioni Ammissibili).

Con le NTC del 2018 e con quelle del 2008 si adotta, per le verifiche di sicurezza, il **metodo agli Stati Limite Ultimi (SLU)**. Vengono introdotti i cosiddetti coefficienti parziali da applicare alle azioni (A), ai parametri di resistenza dei terreni (M) e alle

resistenze globali dei sistemi geotecnici (R). La scelta appropriata di tali coefficienti parziali, i cui valori sono fissati dalla norma, individua i cosiddetti **Approccio 1** e **Approccio 2**, utilizzati per la progettazione geotecnica. L'approccio progettuale 1 comprende due combinazioni di coefficienti (combinazione 1: A1+M1+R1; combinazione 2: A2+M2+R2). L'approccio 2 invece è costituito dall'unica combinazione A1+M1+R3.

Per i tiranti di ancoraggio, le NTC impongono che le verifiche vengano fatte con la combinazione dei coefficienti parziali **A1+M1+R3**, dove i coefficienti parziali sono individuati dalle seguenti tabelle.

#### Coefficienti relativi alle azioni $\gamma_F$ :

**Tabella 6.2.I** – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

| CARICHI                                   | EFFETTO     | Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ ) | EQU | (A1) STR | (A2) GEO |
|---|-------------|--|-----|----------|----------|
| Permanenti                                | Favorevole  | $\gamma_{G1}$                                    | 0,9 | 1,0      | 1,0      |
|   | Sfavorevole |  | 1,1 | 1,3      | 1,0      |
| Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup> | Favorevole  | $\gamma_{G2}$                                    | 0,0 | 0,0      | 0,0      |
|   | Sfavorevole |  | 1,5 | 1,5      | 1,3      |
| Variabili                                 | Favorevole  | $\gamma_{Qi}$                                    | 0,0 | 0,0      | 0,0      |
|   | Sfavorevole |  | 1,5 | 1,5      | 1,3      |

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

#### Coefficienti relativi ai parametri geotecnici $\gamma_M$ :

**Tabella 6.2.II** – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

| PARAMETRO                                    | GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE | COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$ | (M1) | (M2) |
|--|---|----------------------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \phi'_k$  | $\gamma_\phi$                    | 1,0  | 1,25 |
| Coesione efficace                            | $c'_k$  | $\gamma_c$                       | 1,0  | 1,25 |
| Resistenza non drenata                       | $c_{uk}$  | $\gamma_{cu}$                    | 1,0  | 1,4  |
| Peso dell'unità di volume                    | $\gamma$  | $\gamma_\gamma$                  | 1,0  | 1,0  |

Con la combinazione **A1+M1+R3** quindi:

- le azioni permanenti G, tra cui il terreno e l'acqua, non vengono amplificate quando sono a favore di sicurezza ( $\gamma_{G,fav} = \gamma_{G,inf} = 1,0$ ), mentre vengono amplificate ( $\gamma_{G,sfav} = \gamma_{G,sup} = 1,3$ ) in caso opposto;
- le azioni variabili  $Q_k$  vengono amplificate moltiplicandole per il coefficiente  $\gamma_{Q,sup} = 1,5$  quando hanno effetto sfavorevole per la sicurezza, mentre vengono azzerate se il loro effetto è a favore di sicurezza ( $\gamma_{Q,inf} = 0$ );
- i parametri di resistenza al taglio dei terreni non vengono ridotti ( $\gamma_M = 1$ );
- si assume come coefficiente di sicurezza nei riguardi dello SLU allo sfilamento il seguente valore (R3):



|   |                      |              |
|---|----------------------|--------------|
| <b>Tiranti.Az 2.0</b><br>(Ing. Ciro Azzara) | <b>Manuale d'uso</b> | Pag. 9 di 28 |
|---|----------------------|--------------|

**Tab. 6.6.I - Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi**

|            | Simbolo    | Coefficiente parziale |
|------------|------------|-----------------------|
| Temporanei | $\gamma_R$ | 1,1                   |
| Permanenti | $\gamma_R$ | 1,2                   |

Con la normativa di cui ai DD.MM. 11/03/1988 e 16/01/1996 si adotta, invece, per le verifiche di sicurezza il **metodo alle Tensioni Ammissibili**. Le azioni non vengono amplificate, i parametri di resistenza dei terreni non vengono ridotti (si utilizzano i valori caratteristici) e si assume come coefficiente di sicurezza nei riguardi della verifica allo sfilamento del tirante il valore 2.

### 3.3 Determinazione resistenza allo sfilamento

Il software permette l'utilizzo di **tre metodi** per il calcolo della resistenza allo sfilamento dei tiranti.

Il primo è quello di ricorrere ai risultati di prove di progetto su ancoraggi di prove. Il metodo è da preferire quando si possono eseguire prove dirette su ancoraggi identici a quelli da realizzare.

Il metodo di Bustamante e Doix (1985), preferibile rispetto al terzo metodo e di tipo semi-empirico, è basato sull'utilizzo di un parametro di resistenza  $q_s$ , dipendente dalle caratteristiche e resistenza del terreno e dalle modalità di esecuzione del tirante.

Il terzo metodo si basa sull'integrazione della tensione tangenziale  $\tau$  presente al contatto bulbo-terreno. Nel caso di terreni a grana fina in condizione non drenate si può assumere  $\tau=c_u$  (coesione non drenata), o un valore molto prossimo a tale coesione  $\tau=\alpha c_u$  con  $\alpha \leq 1$ . Nel caso di terreni a grana grossa in condizioni drenate si assume la relazione  $\tau=a+\sigma'_n \tan \delta'$ , con "a" adesione,  $\delta'$  angolo di attrito terreno-bulbo e  $\sigma'_n$  tensione normale effettiva all'interfaccia bulbo-terreno. Il metodo può fornire risultati incerti in quanto è difficile determinare lo stato tensionale  $\sigma'$  al contatto bulbo-terreno.

Per questo terzo metodo occorre, quindi, precisare le Condizioni di rottura tra "drenate" e "non drenate". In assenza di falda si hanno sempre le condizioni drenate. In terreni a grana grossa o media, anche in presenza di falda, essendo la permeabilità molto elevata la pressione dell'acqua non subisce incrementi anche per movimenti bruschi dell'opera, per cui si opera con l'analisi in termini di pressioni efficaci (condizioni di rottura drenate).

In terreni a grana fina (argille e limi) con analisi a breve e medio termine, la pressione dell'acqua subisce incrementi rispetto al valore idrostatico anche per movimenti normali dell'opera; in questo caso si opera in termini di pressioni totali (condizioni di rottura non drenate). Scegliendo l'opzione "Condizioni di rottura non drenate" il software effettua anche la verifica a lungo termine in condizioni drenate in termini di pressioni efficaci. È bene precisare che nei terreni a grana fina quasi sempre le condizioni più gravose sono quelle drenate a lungo termine (con poche eccezioni relative a terreni argillosi di consistenza molto bassa).

Si precisa, infine, che nel caso di terreno stratigrafico con contemporanea presenza di strati in condizioni non drenate (es. argille) e strati in condizione drenate (es. sabbie e ghiaie), volendo effettuare anche le verifiche a breve termine occorre scegliere l'opzione "Condizione di rottura non drenate" e precisare il comportamento a breve termine dei vari strati in *MATERIALI>Terreni*. Se invece non si è interessati alle condizioni a breve termine si può scegliere l'opzione "Condizioni di rottura drenate".

## 4. TIPOLOGIA

**TIPOLOGIA TIRANTI**

**Tiranti**

☒ provvisori

☐ permanenti

**Presollecitazione**

☒ attivi o presollecitati

☐ passivi o non presollecitati

**Annulla** **Salva e chiudi**

Permette di scegliere la tipologia di tirante da calcolare.

Per i tiranti provvisori sono previsti coefficienti di sicurezza allo sfilamento minori.

## 5. GEOMETRIA

### 5.1 Tiranti

**GEOMETRIA TIRANTI DI ANCORAGGIO**

|   | 1° ordine | 2° ordine | 3° ordine | 4° ordine | 5° ordine |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| posizione punto di ancoraggio $z_a$ (m)                 | 1,75      | 5,5       | 8         |           |           |
| angolo di inclin. alfa rispetto all'orizz. ( $^\circ$ ) | 0         | 25        | 31        |           |           |
| lunghezza libera tirante (m)                            | 8         | 7,5       | 5,2       |           |           |
| lunghezza bulbo fondazione (m)                          | 5         | 5         | 5         |           |           |
| diametro perforazione (m)                               | 0,2       | 0,2       | 0,2       |           |           |
| area sezione trasversale acciaio (cmq)                  | 4,17      | 4,17      | 4,17      |           |           |

**Annulla** **Salva e chiudi**

Permette di inserire i dati geometrici riguardanti i tiranti (predimensionamento che può essere effettuato in base a criteri empirici rintracciabili in manuali tecnici e in letteratura tecnica o in base alla propria esperienza). È necessario evitare ogni sovrapposizione tra la zona passiva di pertinenza dell'ancoraggio e quella attiva a tergo

|   |                      |               |
|---|----------------------|---------------|
| <b>Tiranti.Az 2.0</b><br>(Ing. Ciro Azzara) | <b>Manuale d'uso</b> | Pag. 11 di 28 |
|---|----------------------|---------------|

dell'opera di sostegno.

La lunghezza della fondazione non può mai essere inferiore a 3 m (2 m per tiranti in roccia).

L'angolo di inclinazione  $\alpha$  del tirante rispetto all'orizzontale è positivo se, come in figura, l'orizzontale deve ruotare in senso orario per sovrapporsi alla direzione del tirante.

Se l'armatura del tirante è costituita da  $n_{tr}$  trefoli di acciaio, ognuno di area  $A_{1tr}$ , la sezione di acciaio da inserire è  $A = n_{tr} \cdot A_{1tr}$

Ove le dimensioni geometriche impostate non diano luogo a verifiche tutte soddisfatte, l'utente le potrà modificare, in uno ad altri parametri che incidono il calcolo (caratteristiche dei materiali, ecc.).

## 5.2 Stratigrafia

Nel caso di terreno stratigrafico è necessario specificare la profondità  $z_t$  del profilo topografico di base del generico strato. Gli strati sono numerati a partire da uno dall'alto verso il basso. Per l'ultimo strato si considera il profilo topografico di base a profondità infinita.

## 6. Menù MATERIALI

### 6.1 Terreni

Il presente pannello è attivo quando si sceglie il terzo metodo (Dati Generali) per il calcolo della resistenza allo sfilamento dei tiranti. Per ogni strato di terreno vengono inseriti i pesi dell'unità di volume.

PARAMETRI GEOTECNICI DEGLI STRATI DI TERRENO
✕

Descrizione strato

Peso dell'unità di volume g ( kN/mc)

Peso dell'unità di volume saturo gsat ( kN/mc)

Condizione a breve termine

| descrizione | g    | g_sat | BT          |
|-------------|------|-------|-------------|
| strato 1    | 18   | 19    | Non drenate |
| strato 2    | 19   | 19,5  | Non drenate |
| strato 3    | 19,5 | 20    | Non drenate |

Carica >>
Modifica
Elimina

Annulla
Salva e chiudi

Il campo “Condizione a breve termine”, attivo solo se in Dati Generali si è scelto “Condizioni non drenate”, permette di specificare se lo strato di terreno a breve termine è in condizioni drenate (terreno a grana grossa) o in condizioni non drenate (terreno a grana fina). Ciò consente di modellare situazioni di coesistenza di terreni in condizioni non drenate e in condizioni drenate (ad. esempio terreno a grana grossa che poggia su terreno argilloso saturo).

## 6.2 Terreni-sfilamento

Qui si inseriscono i dati geotecnici dei terreni necessari per la determinazione della resistenza caratteristica allo sfilamento dell’ancoraggio.

Come da normativa vigente sono possibili due metodologie, come già indicato in precedenza. La prima, preferibile, è quella di effettuare prove di progetto su ancoraggi di prova, misurando direttamente in sito tali resistenze.

La seconda metodologia è quella di applicare metodi di calcolo analitici, come ad esempio quello di *Bustamante e Doix (1985)* o di *integrazione della tensione tangenziale* presente al contatto bulbo-terreno.

Per tutti i metodi implementati nel software occorre inserire i dati per ogni **profilo di indagine** disponibile. Infatti, con le NTC sono previsti dei coefficienti di correlazione che premiano la numerosità dei profili di indagine effettuati, penalizzando il calcolo quando si hanno dati relativi ad un solo profilo di indagine.

RESISTENZE ALLO SFILAMENTO DEI TIRANTI MISURATE
✕

Resistenza allo sfilamento misurata Ra,mis ( kN)

*N.B. Massimo 50 misure*

Carica >>
Modifica
Elimina

5000
10000
15000

Annulla
Salva e chiudi

Con la prima metodologia occorre inserire direttamente le resistenze allo sfilamento misurate.

Per i metodi di calcolo analitici il pannello di input dei parametri geotecnici è il seguente:

**DATI GEOTECNICI TERRENI E AL CONTATTO BULBO FONDAZ.-TERRENI** (calcolo della resistenza allo sfilam. dei tiranti) X

**Profilo di indagine n.** 1 **Descrizione** profilo 1

| <u>terreno di fondazione</u>                          | strato 1 | strato 2 | strato 3 | strato 4 | strato 5 | strato 6 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'$ (°)    | 30       | 31       | 32       |          |          |          |
| Coesione drenata $c'$ (kN/mq)                         | 0        | 0        | 0        |          |          |          |
| Coesione non drenata $c_u$ (kN/mq)                    | 50       | 60       | 70       |          |          |          |
| <u>proprietà al contatto bulbo fondaz.-terreno</u>    |          |          |          |          |          |          |
| Adesione (kN/mq)                                      | 0        | 0        | 0        |          |          |          |
| coeff. mu di attrito fra bulbo fondazione e terreno   | 0,5      | 0,52     | 0,54     |          |          |          |
| coefficiente empirico di spinta k                     | 0,4      | 0,42     | 0,43     |          |          |          |
| coefficiente alfa (x adesione non drenata)            | 0,8      | 0,83     | 0,85     |          |          |          |
| tensione tangenziale x attrito laterale $q_s$ (kN/mq) | 50       | 100      | 150      |          |          |          |

Chiudi
Salva

Con il metodo di calcolo di Bustamante e Doix, in base al tipo di terreno e di iniezione<sup>2</sup> vengono individuati il parametro  $\alpha$  (valori compresi tra 1,1 e 2,0 da inserire in *Impostazioni*) e la curva sperimentale dalla quale ricavare il parametro  $q_s$  (resistenza unitaria o tensione tangenziale ad attrito laterale all'interfaccia bulbo-terreno), in funzione della resistenza del terreno espressa dal valore della pressione limite della prova pressiometrica o dalla resistenza alla penetrazione ricavata con prove SPT, come da tabelle e grafici seguenti:

| Terreno  | Valori del coefficiente $\alpha_d$ |                        | Quantità minima di miscela consigliata $V_s$   | Rapporto A/C |
|--|------------------------------------|------------------------|--|--------------|
|  | IRS<br>( $p_1 \geq p_0$ )          | IGU<br>( $p_1 < p_0$ ) |  |              |
| Ghiaia   | 1,8                                | 1,3 ÷ 1,4              | 1,5 $V_s$  | 1,7 ÷ 2,4    |
| Ghiaia sabbiosa  | 1,6 ÷ 1,8                          | 1,2 ÷ 1,4              | 1,5 $V_s$  |              |
| Sabbia ghiaiosa  | 1,5 ÷ 1,6                          | 1,2 ÷ 1,3              | 1,5 $V_s$  |              |
| Sabbia grossa  | 1,4 ÷ 1,5                          | 1,1 ÷ 1,2              | 1,5 $V_s$  |              |
| Sabbia media   | 1,4 ÷ 1,5                          | 1,1 ÷ 1,2              | 1,5 $V_s$  |              |
| Sabbia fine  | 1,4 ÷ 1,5                          | 1,1 ÷ 1,2              | 1,5 $V_s$  |              |
| Sabbia limosa  | 1,4 ÷ 1,5                          | 1,5 ÷ 2,0              | IRS: (1,5 ÷ 2) $V_s$ ; IGU: 1,5 $V_s$  |              |
| Limo   | 1,4 ÷ 1,6                          | 1,1 ÷ 1,2              | IRS: 2 $V_s$ ; IGU: 1,5 $V_s$  | 1,7 ÷ 2,4    |
| Argilla  | 1,8 ÷ 2,0                          | 1,2                    | IRS: (2,5 ÷ 3) $V_s$ ; IGU: (1,5 ÷ 2) $V_s$  |              |
| Marna  | 1,8                                | 1,1 ÷ 1,2              | (1,5 ÷ 2) $V_s$ per strati compatti  | 1,7 ÷ 2,4    |
| Calcarei marnosi   | 1,8                                | 1,1 ÷ 1,2              | (2 ÷ 6) $V_s$ o più per strati fratturati  |              |
| Calcarei alterati o fratturati   | 1,8                                | 1,1 ÷ 1,2              |  |              |
| Roccia alterata e/o fratturata   | 1,2                                | 1,1                    | (2÷6) $V_s$ o più per strati poco fratturati<br>2 $V_s$ o più per strati fratturati                    | 1,7 ÷ 2,4    |
| IRS: iniezione ad alta pressione a più stadi e ripetuta<br>IGU: iniezione a bassa pressione in unica soluzione<br>$p_1$ : pressione limite dalla prova pressiometrica Menard<br>$p_0$ : pressione di iniezione |                                    |                        | $V_s = L_f D_s^2 / 4$<br>$L_f$ : lunghezza della fondazione<br>$D_s$ : diametro reale della fondazione |              |
| Nota: nella tabella sono riportati i valori teorici della quantità in volume della miscela di iniezione nelle diverse condizioni operative ed il rapporto acqua cemento ottimale (da Bustamante e Doix, 1985)  |                                    |                        |  |              |

<sup>2</sup> **IRS** (micro-pali Tubfix): iniezione ad alta pressione a più stadi e ripetuta; **IGU** (micro-pali Radice): iniezione a bassa pressione in unica soluzione

| Terreno   | Tipo di iniezione |      |
|---|-------------------|------|
|   | IRS               | IGU  |
| Da ghiaia a sabbia limosa                         | SG1               | SG2  |
| Limo e argilla                                    | AL1               | AL2  |
| Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato | MC1               | MC2  |
| Roccia alterata e/o fratturata                    | ≥ R1              | ≥ R2 |

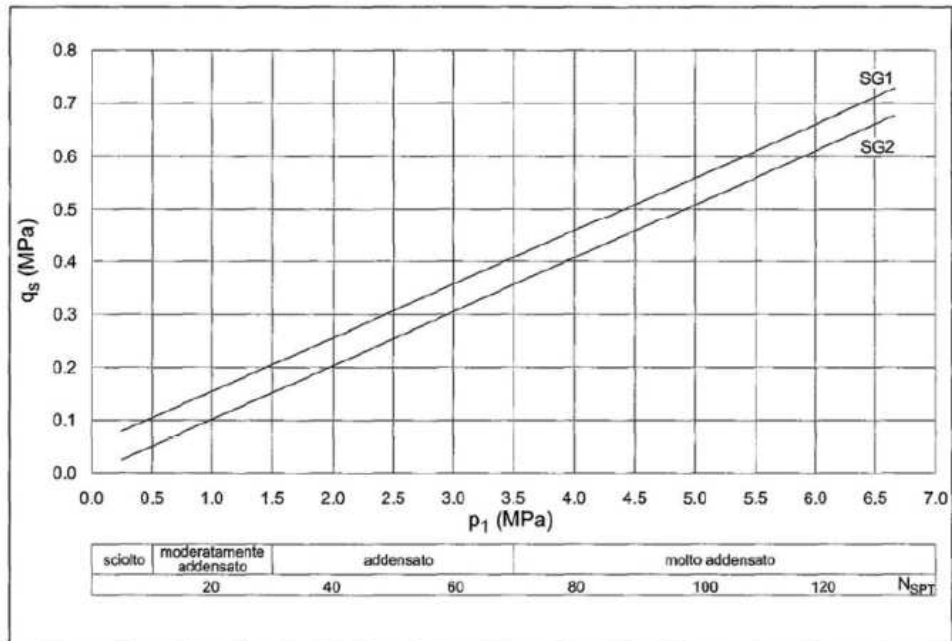


Figura 3-3: Resistenza unitaria limite per terreni incoerenti (AGI, AICAP, Ancoraggio nei Terreni e nelle Rocce, 2012).

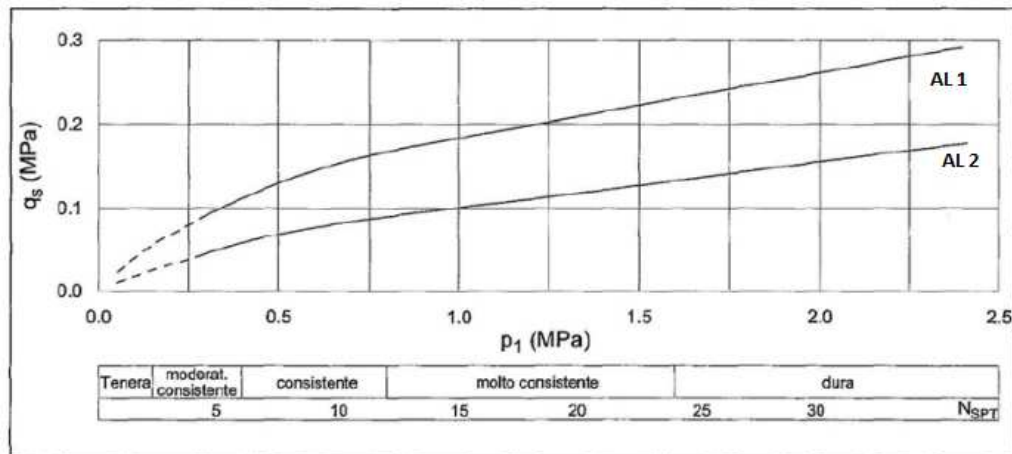
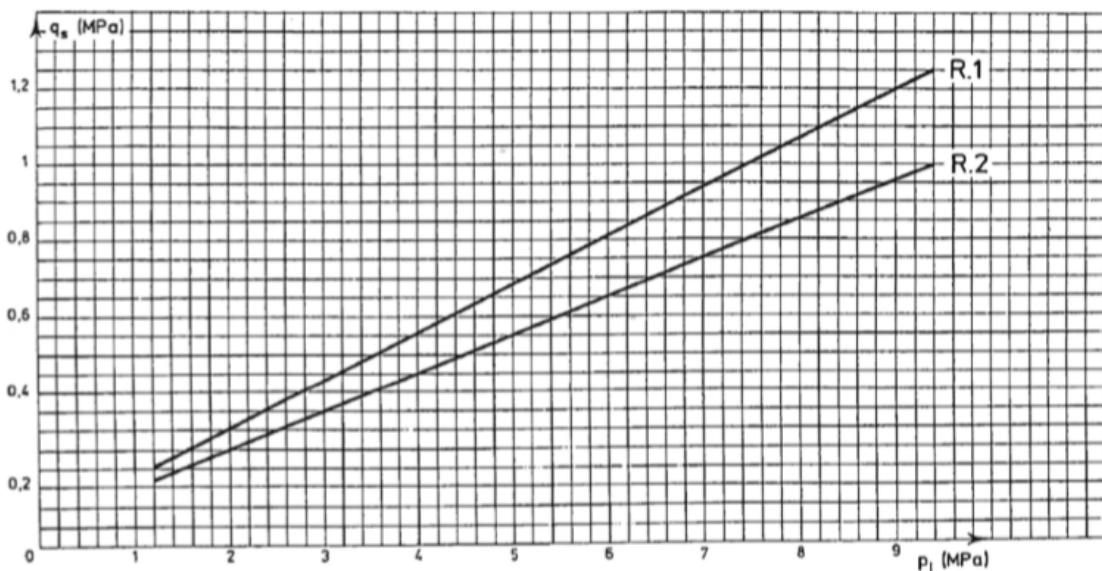
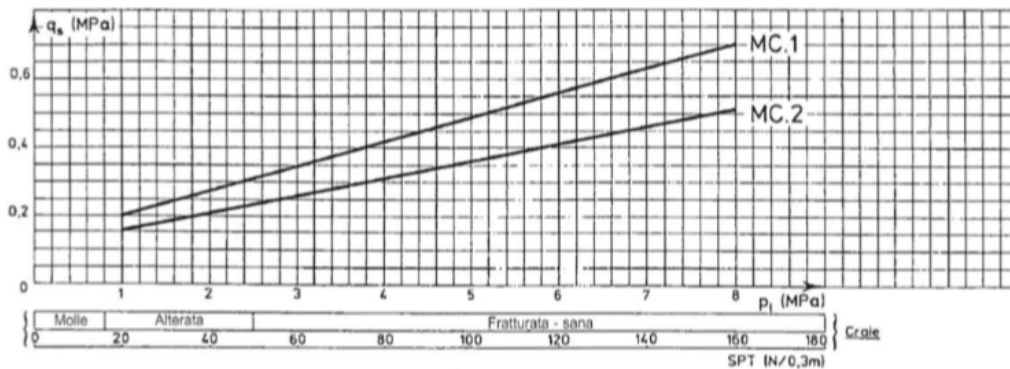


Figura 3-4: Resistenza unitaria limite per terreni a grana fine (AGI, AICAP, Ancoraggio nei Terreni e nelle Rocce, 2012).



Con il metodo di Bustamante e Doix, dunque, per ogni profilo di indagine presente in progetto occorre inserire il solo parametro  $q_s$ , per ogni strato.

Con il terzo metodo, di integrazione della tensione tangenziale all'interfaccia laterale bulbo-terreno (criterio di Coulomb):

$$\tau = a + \sigma_n \cdot \mu$$

occorre inserire più parametri ("a" è un termine di tipo coesivo - *adesione* e  $\mu$  è il coefficiente di attrito bulbo-terreno). In condizioni drenate si può porre  $\sigma_n = \sigma'_n = k \cdot \sigma'_{vz}$ , dove  $\sigma'_{vz}$  è la tensione effettiva litostatica verticale alla profondità  $z$  e  $k$  è il coefficiente (empirico) di spinta che tiene conto del fatto che la tensione verticale effettivamente agente nell'intorno del bulbo non è una tensione principale e differisce da quella litostatica

$$\tau = a + k \cdot \sigma'_{vz} \cdot \mu$$

Occorre quindi inserire, per ogni profilo di indagine e per ogni strato, l'adesione "a" e i coefficienti  $k$  e  $\mu$ . Per quest'ultimi, valori consigliati in letteratura sono ( $\varphi'$  angolo di resistenza al taglio del terreno):



$$\mu = \tan \delta' \quad \text{con} \quad \delta' = (3/4 - 1) \varphi'$$

$$k = \text{da } 0,4 \text{ a } 1$$

Il valore di k va scelto in funzione dello stato di addensamento del terreno (k aumenta se lo stato di addensamento aumenta) e dell'inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale (k=1 per tiranti orizzontali, k<1 negli altri casi).

In condizioni non drenate si assume che l'adesione sia pari ad un'aliquota  $\alpha$  della coesione non drenata e che  $\mu$  sia nullo e quindi:

$$\tau = a = \alpha \cdot c_u \quad \alpha \leq 1$$

### 6.3 Tirante-verifiche strutturali

Qui si impostano i dati dei materiali costituente il tirante, necessari per le verifiche strutturali.

Occorre specificare: 1) con la normativa alle tensioni

ammissibili: la resistenza caratteristica del calcestruzzo  $R_{ck}$  e la tensione ammissibile dell'acciaio costituente il tirante; 2) con la normativa agli stati limite: la resistenza caratteristica del calcestruzzo  $R_{ck}$ , i coefficienti parziali di sicurezza del calcestruzzo e dell'acciaio e la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio  $f_{yk}$  (nel caso di trefoli di acciaio da precompresso occorre inserire la tensione caratteristica all'1% di deformazione totale  $f_{p(1)k}$  pari in genere a  $1670 \text{ N/mm}^2 = 16.700 \text{ kg/cm}^2$  – paragrafo 11.3.3.2 NTC):

Tab. 11.3.VIII

| Tipo di acciaio   | Barre       | Fili        | Trefoli e trecce | Trefoli compattati |
|---|-------------|-------------|------------------|--------------------|
| Tensione caratteristica al carico massimo $f_{ptk} \text{ N/mm}^2$  | $\geq 1000$ | $\geq 1570$ | $\geq 1860$      | $\geq 1820$        |
| Tensione caratteristica allo 0,1 % di deformazione residua - scostamento dalla proporzionalità $f_{p(0,1)k} \text{ N/mm}^2$ | na          | $\geq 1420$ | na               | na                 |
| Tensione caratteristica all'1 % di deformazione totale ..... $f_{p(1)k} \text{ N/mm}^2$                                     | na          | na          | $\geq 1670$      | $\geq 1620$        |
| Tensione caratteristiche di snervamento $f_{pyk} \text{ N/mm}^2$  | $\geq 800$  | na          | na               | na                 |
| Allungamento totale percentuale a carico massimo $A_{gt}$   | $\geq 3,5$  | $\geq 3,5$  | $\geq 3,5$       | $\geq 3,5$         |

na=non applicabile

Il bottone **Imposta parametri** consente di impostare la tensione ammissibile dell'acciaio ( $0,85 \cdot 1670 \text{ N/mm}^2$ ), i coefficienti parziali di sicurezza sul cls (1,5), sull'acciaio (1,15) e la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio (1670



N/mm<sup>2</sup>). Resta comunque salva la possibilità per l'utente impostare valori diversi di tali parametri.

Il bottone **Calcola parametri** consente di determinare gli altri parametri relativi al cls e all'acciaio in funzione della classe del calcestruzzo ( $R_{ck}$ ) e dei parametri impostati di cui prima. Resta comunque salva la possibilità per l'utente di modificare i dati calcolati in automatico.

## 7. CARICHI ESTERNI

**AZIONE AGENTE SUL TIRANTE**

**Azione permanente (valore caratteristico)**

Forze massime di trazione  $F_a$  agenti sui tiranti (kN)

|        |                     |
|--------|---------------------|
| 439,10 | tirante ordine n° 1 |
| 623,54 | tirante ordine n° 2 |
| 586,78 | tirante ordine n° 3 |
|        | tirante ordine n° 4 |
|        | tirante ordine n° 5 |

**Annulla Salva e chiudi**

Diagramma: Tirante ancorato in un elemento di calcestruzzo. La forza di trazione  $F_a$  agisce sull'ancora. L'angolo di inclinazione è  $+ \alpha$ . La lunghezza di ancoraggio è  $L_{ib}$ . La distanza dall'angolo è  $L_b$ . Il diametro del bulbo è  $D_p$ .

Permette di inserire, se presente, la forza massima di trazione  $F_a$  che agisce sui vari ordini di tirante (valori caratteristici).

Tali forze sono o quelle di pretenzione dei tiranti attivi o quelle che si ottengono dall'analisi globale del sistema geotecnico, ad esempio paratia tirantata, muro di sostegno con tiranti, ancoraggio di un bacino di carenaggio o di una scarpata ecc. Queste analisi vengono condotte in genere in condizioni di equilibrio limite (se necessario con specifici software), ipotizzando meccanismi di collasso opportunamente scelti (interazione tra terreno, struttura ancorata e tirante).

## 8. IMPOSTAZIONI

### 8.1 Scelte di calcolo

**OPZIONI ED IMPOSTAZIONI DI CALCOLO**

**Condizioni di aderenza cls-acciaio**

☒ condizione di buona aderenza

☐ condizione di non buona aderenza (armature molte addensate e ancoraggi in stato di trazione, a meno che non si adottino idonei provvedimenti)

parametro alfa di espansione del diametro del foro di perforazione a seguito dell'iniezione

|          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| strato 1 | strato 2 | strato 3 | strato 4 | strato 5 | strato 6 |
| 1,4      | 1,4      | 1,45     |          |          |          |

**Annulla Salva e chiudi**

Con le NTC occorre precisare le condizioni di aderenza cls-acciaio ai fini della verifica strutturale di aderenza acciaio-bulbo di fondazione.

Con i metodi analitici di calcolo della resistenza allo sfilamento dei tiranti occorre indicare il parametro  $\alpha$  (compreso tra 1,1 e 2) per ogni strato di terreno, di cui al precedente paragrafo 6.2, per la stima del diametro del bulbo di fondazione a seguito delle iniezioni per la loro realizzazione:  $D = \alpha$

$D_p$  in cui  $D_p$  è il diametro di perforazione.

## 8.2 Coefficienti parziali e di sicurezza

COEFFICIENTI PARZIALI SULLE AZIONI, SUI MATERIALI E SULLE RESISTENZE - COEFFICIENTI DI SICUREZZA

| Coeff. parziali per le azioni (A)                 |             |                      |                      | Coeff. parziali per i parametri geotecnici (M)        |                      |                      |  |
|---|-------------|----------------------|----------------------|---|----------------------|----------------------|--|
| <input type="button" value="imposta valori NTC"/> |             |                      |                      | <input type="button" value="imposta valori NTC"/>     |                      |                      |  |
|   | Effetto     | A1                   | A2                   |   | M1                   | M2                   |  |
| <u>carichi permanenti</u>                         | favorevole  | 1                    | 1                    | Tangente angolo resistenza al taglio                  | 1                    | 1,25                 |  |
|   | sfavorevole | 1,3                  | 1                    | Coesione efficace                                     | 1                    | 1,25                 |  |
| <u>carichi variabile</u>                          | favorevole  | 0                    | 0                    | Coesione non drenata                                  | 1                    | 1,4                  |  |
|   | sfavorevole | 1,5                  | 1,3                  |   |                      |                      |  |
| Coeff. parziali resistenze caratteristiche (R)    |             |                      |                      | Coefficienti di sicurezza verifiche                   |                      |                      |  |
| <input type="button" value="imposta valori NTC"/> |             |                      |                      | <input type="button" value="imposta valori DM 1988"/> |                      |                      |  |
|   | R3          | tranti<br>provvisori | tranti<br>permanenti |   | tranti<br>provvisori | tranti<br>permanenti |  |
| Resistenza allo sfilamento tiranti                |             | 1,1                  | 1,2                  | Sfilamento tiranti                                    | 2                    | 2                    |  |

In questo pannello si possono modificare, per specifiche esigenze dell'utente, i coefficienti parziali previsti dalla normativa di

riferimento (v. capit. 3.2).

In genere non occorre nessuna modifica di tali coefficienti, essendo i valori definiti dalla normativa prescelta.

## 9. CALCOLO

Finita la fase di input è possibile avviare il calcolo premendo il relativo pulsante. Il calcolo si può ripetere tutte le volte che si vuole, ad es. variando singoli parametri di input.

Durante la fase di calcolo il programma controlla la compatibilità dei dati introdotti segnalando eventuali errori che comportano l'interruzione del calcolo. Si precisa comunque che il programma si limita a verificare le incongruenze geometriche o nelle unità di misura che non permettano l'elaborazione; non segnala eventuali errori del progettista sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali, né altri tipi di errori.

Le metodologie e le teorie di calcolo implementate nel software sono riportate nella **Relazione di calcolo** che correda il software.

## 10. OUTPUT (menù VISUALIZZA)

L'applicativo fornisce i seguenti risultati riportati nel **Tabulato di calcolo**, per ogni tirante:

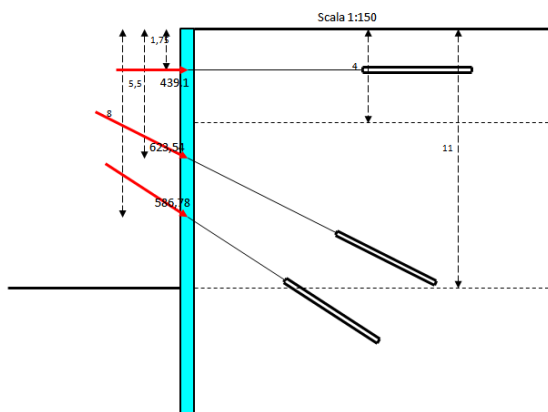
- a) **Azione esterna di progetto** (per effetto del coefficiente parziale A sulle azioni)

|   |                      |               |
|---|----------------------|---------------|
| <b>Tiranti.Az 2.0</b><br>(Ing. Ciro Azzara) | <b>Manuale d'uso</b> | Pag. 19 di 28 |
|---|----------------------|---------------|

- b) **Resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio** (nel calcolo di tale resistenza il software tiene conto della quota parte della lunghezza del bulbo di fondazione che è interessata da ogni singolo strato di terreno)
- c) **Resistenza strutturale del tirante** (dell'acciaio che compone il tirante)
- d) **Resistenza di aderenza cls-acciaio**
- e) **Esito delle verifiche geotecniche e strutturali** (l'esito negativo delle verifiche viene messo in risalto con carattere grassetto e colore **rosso**. Pertanto se nel tabulato di calcolo non risultano scritte di colore rosso significa che tutte le verifiche sono soddisfatte).

Dal menù VISUALIZZA possono essere visualizzati:

1. il **Tabulato di calcolo**
2. il **disegno** dei tiranti, con indicazione anche dei carichi applicati e della stratigrafia del terreno



3. (solo nei software attivati) la **Relazione di calcolo**, in formato .doc modificabile, contenente anche le teorie ed i metodi implementati in *Tiranti.Az*, a cui allegare il Tabulato di calcolo. Il progettista/tecnico apporterà alla Relazione di calcolo le modifiche e le integrazioni dipendenti dal caso in studio.

## 11. LICENZA D'USO E RESTRIZIONI DEL SOFTWARE

L'autore conferisce licenza d'uso non esclusiva dell'applicativo, ma rimane titolare sia dello stesso che della relativa documentazione. L'uso è consentito **su un singolo computer** e, pertanto, non potrà essere utilizzato in rete, venduto, dato in locazione o in comodato ad un altro utente, né essere decodificato o decompilato, adattato o modificato, senza previo consenso scritto dell'autore.

L'utente non potrà rimuovere o alterare il nome dell'applicativo o altre indicazioni di riserva di diritti apposti o inseriti nel programma. Non è consentito l'inserimento in

|   |                             |                      |
|---|-----------------------------|----------------------|
| <p><b><i>Tiranti.Az 2.0</i></b><br/>(Ing. <i>Ciro Azzara</i>)</p> | <p><b>Manuale d'uso</b></p> | <p>Pag. 20 di 28</p> |
|---|-----------------------------|----------------------|

pacchetti destinati all'editoria o alla vendita senza la preventiva autorizzazione scritta dell'autore.

L'autore si riserva il diritto di apportare modifiche al software e alla documentazione senza preavviso.

Per potere utilizzare l'applicativo è indispensabile che l'utente disponga ed abbia già installato sul proprio computer il programma Excel® della Microsoft, non fornito dall'autore e senza il quale questo software non può essere utilizzato.

L'autore garantisce che l'applicativo funziona in conformità con il presente manuale d'uso e che esso non contiene virus.

L'uso dell'applicativo è subordinato alla conoscenza dei problemi ingegneristici di che tratta (si presume che l'uso dell'applicativo avvenga da parte di persone qualificate). È stato curato in gran parte il controllo dei dati inseriti.

La verifica dell'idoneità, dell'uso e della gestione dell'applicativo sono responsabilità esclusiva dell'utente. L'autore non garantisce che le funzioni contenute nell'applicativo siano idonee a soddisfare le esigenze dell'utente, né garantisce che i difetti riscontrati nell'applicativo vengano corretti. Non garantisce altresì circa i danni od i benefici ottenuti dalla utilizzazione del software.

L'autore è espressamente sollevato da ogni responsabilità per qualsiasi danno, diretto od indiretto, di ogni genere e specie derivante dall'uso del software, compreso, tra l'altro, quello improprio, erroneo o fraudolento. L'intero rischio circa la qualità e le prestazioni dell'applicativo è a carico dell'utente ed i risultati devono essere verificati personalmente.

In nessun caso il limite di responsabilità a carico dell'autore potrà superare l'importo per l'acquisto dell'applicativo.

Per tutto quanto sopra non indicato, il presente contratto è regolato dalle leggi sul copyright, sul diritto d'autore e dalle altre leggi nazionali applicabili. Per qualsiasi controversia fra le parti sarà competente in via esclusiva il Foro di Palermo.

## APPENDICE 1 – Valori indicativi proprietà fisico-meccaniche terreni

### Valori indicativi del peso dell'unità di volume (espressi in kg/m<sup>3</sup>)

| Terreno                  | $\gamma$  |
|--------------------------|-----------|
| Ghiaia asciutta          | 1800-2000 |
| Ghiaia umida             | 1900-2100 |
| Sabbia asciutta compatta | 1700-2000 |
| Sabbia umida compatta    | 1900-2100 |
| Sabbia asciutta sciolta  | 1500-1800 |
| Sabbia umida sciolta     | 1600-1900 |
| Argilla sabbiosa         | 1800-2200 |
| Argilla dura             | 2000-2100 |
| Argilla semisolida       | 1900-1950 |
| Argilla molle            | 1800-1850 |


### Valori indicativi dell'angolo di resistenza al taglio (espressi in °)

| Terreno          | $\phi'$ |
|------------------|---------|
| Ghiaia compatta  | 35      |
| Ghiaia sciolta   | 33-35   |
| Sabbia compatta  | 35-45   |
| Sabbia sciolta   | 25-35   |
| Marna sabbiosa   | 22-29   |
| Marna grassa     | 16-22   |
| Argilla grassa   | 5-30    |
| Argilla sabbiosa | 16-28   |
| Limo             | 20-27   |

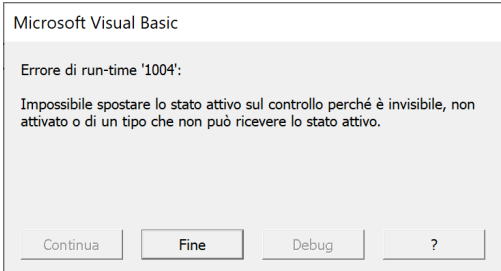
### Valori indicativi della coesione drenata (espressi in kg/m<sup>2</sup>)

| Terreno            | c          |
|--------------------|------------|
| Argilla sabbiosa   | 2000       |
| Argilla molle      | 1000       |
| Argilla plastica   | 2500       |
| Argilla semisolida | 5000       |
| Argilla solida     | 10000      |
| Argilla tenace     | 2000-10000 |
| Limo compatto      | 1000       |

## APPENDICE 2 – Gestione errori

| Tipo di errore  | Soluzione  |
|---|--|
| Non vengono calcolati alcuni parametri - errore di run-time 13 ( <i>Tipo non corrispondente</i> ) | <p>E' necessario verificare che usate, da sistema operativo, come separatore decimale la virgola e come separatore di migliaia il punto. Se è attiva l'impostazione inversa si può generare questo tipo di errore. Per verificare i separatori andare in <b>Opzioni Internazionali e della lingua</b> del Pannello di controllo di Windows.</p> <p>Se il problema persiste, aprire Excel (nelle versioni precedenti alla 2007 cercare il menù Opzioni), fare clic sul pulsante Microsoft Office  (in alto a</p> |

|   |                      |               |
|---|----------------------|---------------|
| <b>Tiranti.Az 2.0</b><br>(Ing. Ciro Azzara) | <b>Manuale d'uso</b> | Pag. 22 di 28 |
|---|----------------------|---------------|

|  |   |
|--|---|
|  | sinistra), quindi su <b>Opzioni</b> di Excel. In <b>Opzioni di modifica</b> nella categoria <b>Impostazioni avanzate</b> selezionare la casella di controllo <b>Utilizza separatori di sistema</b> .  |
| Non si apre la Relazione di calcolo dal menù Visualizza  | Controllare che il modello (file .doc) della relazione di calcolo sia presente nella stessa cartella che contiene il software e che abbia il nome di "Relazione di calcolo Tiranti.Az".<br>Se il problema persiste, esso può dipendere dalla versione e dai componenti installati del pacchetto Office di Microsoft nel pc dell'utente.<br>In ogni caso, la Relazione di calcolo che si genera premendo nel relativo link del software è la stessa di quella in formato .doc che viene inviata all'utente al momento dell'acquisto. Pertanto, anche se non si genera dal link del software Tiranti.Az, può essere utilizzata accedendo direttamente al file Word. |
| Messaggio di errore 1004<br> | Questo tipo di errore si può verificare alla prima installazione. In genere basta chiudere e riaprire il file.<br><br>Controllare anche se gli identificativi delle colonne dei fogli di Excel sono rappresentati da numeri. Se è così, occorre ripristinare la configurazione di default in cui le colonne sono identificate con le lettere A, B, C, .... (File>Opzioni>Formule> togliere la spunta in <i>Stile di riferimento R1C1</i> ).   |

## APPENDICE 3 – Novità ultime versioni del software

### Versione 2.0

- nuova formattazione risultati di calcolo
- **terreno stratificato**
- verifiche per **più ordini di tiranti** contemporaneamente, aventi geometria e carichi diversificati (i materiali cls e acciaio sono uguali per tutti i tiranti, così come i parametri geotecnici di ogni profilo di indagine)
- introduzione del **terzo metodo di calcolo** della resistenza allo sfilamento dei tiranti (integrazione della tensione tangenziale di Mohr-Coulomb presente sulla superficie di contatto bulbo-terreno  $\tau = a + \sigma_n \cdot \mu$ )
- **disegno** dei tiranti

|   |                      |               |
|---|----------------------|---------------|
| <b>Tiranti.Az 2.0</b><br>(Ing. Ciro Azzara) | <b>Manuale d'uso</b> | Pag. 23 di 28 |
|---|----------------------|---------------|

## APPENDICE 4 – Esempi svolti

### 1) TIRANTE DI ANCORAGGIO – CALCOLO AGLI STATI LIMITE

Verificare, secondo le NTC del D.M. 14/01/2008, un tirante in acciaio permanente attivo soggetto ad una forza di trazione di 18.000 kg. Il tirante di acciaio ha un diametro equivalente di 40 mm e una sezione di 11 cm<sup>2</sup>. Per i materiali si assume cls di classe di resistenza  $R_{ck}=250$  kg/cm<sup>2</sup> e acciaio avente resistenza caratteristica a snervamento  $f_{yk}=8.000$  kg/cm<sup>2</sup>.

La lunghezza libera del tirante è pari a 6 m, il bulbo di fondazione è lungo 4 metri, mentre il diametro di perforazione è pari a 0,15 m.

Il terreno omogeneo ( $N_{str}=1$ ) incoerente è caratterizzato dai seguenti parametri (si hanno a disposizione dati per n° 6 profili di indagine):

$\alpha = 1,4$  (coefficiente di espansione del diametro di perforazione)

$q_{s1}=20.000$  kg/m<sup>2</sup> (=200 kN/m<sup>2</sup>=200 kPa=0,2 MPa)

$q_{s2}=22.500$  kg/m<sup>2</sup>

$q_{s3}=25.300$  kg/m<sup>2</sup>

$q_{s4}=18.000$  kg/m<sup>2</sup>

$q_{s5}=24.000$  kg/m<sup>2</sup>

$q_{s6}=17.100$  kg/m<sup>2</sup>

Si ipotizzano condizioni di buona aderenza ai fini della verifica di aderenza acciaio-cls.

A questo punto, inseriti i dati di input nel programma è possibile eseguire il calcolo utilizzando il metodo di Bustamante e Doix. I principali risultati forniti dal software sono i seguenti:

#### AZIONI ESTERNE DI PROGETTO

forza massima di trazione agente sul tirante  $F_{ad}=23.400,00$  kg

#### RESISTENZA CARATTERISTICA ALLO SFILAMENTO DELL'ANCORAGGIO

resistenza calcolata allo sfilamento dell'ancoraggio  $R_{ac(1)}=52.778,76$  kg

resistenza calcolata allo sfilamento dell'ancoraggio  $R_{ac(2)}=59.376,10$  kg

resistenza calcolata allo sfilamento dell'ancoraggio  $R_{ac(3)}=66.765,13$  kg

resistenza calcolata allo sfilamento dell'ancoraggio  $R_{ac(4)}=47.500,88$  kg

resistenza calcolata allo sfilamento dell'ancoraggio  $R_{ac(5)}=63.334,51$  kg

resistenza calcolata allo sfilamento dell'ancoraggio  $R_{ac(6)}=45.125,84$  kg

resistenza media (dei valori calcolati)  $R_{ac\_med}=55.813,54$  kg

resistenza minima (dei valori calcolati)  $R_{ac\_min}=45.125,84$  kg

coefficiente  $\xi_{a3}=1,6$

coefficiente  $\xi_{a4}=1,55$

resistenza caratteristica allo sfilamento dell'ancoraggio  $R_{ak\_geo}=29.113,44$  kg

resistenza di progetto allo sfilamento dell'ancoraggio  $R_{ad\_geo}=24.261,20$  kg

#### RESISTENZA DI PROGETTO STRUTTURALE DEL TIRANTE

resistenza di progetto del tirante in acciaio  $R_{ad\_str}=76.521,72$  kg

|   |                      |               |
|---|----------------------|---------------|
| <b>Tiranti.Az 2.0</b><br>(Ing. Ciro Azzara) | <b>Manuale d'uso</b> | Pag. 24 di 28 |
|---|----------------------|---------------|

### RESISTENZA DI PROGETTO DI ADERENZA CLS-ACCIAIO

tensione tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-cla  $\tau_{adk}=33,04 \text{ kg/cm}^2$

tensione tangenziale di progetto di aderenza acciaio-cla  $\tau_{add}=22,02 \text{ kg/cm}^2$

resistenza di progetto di aderenza calcestruzzo-acciaio  $R_{ad\_str\_ader}=110.708,72 \text{ kg}$

### VERIFICHE S.L.U. DI TIPO GEOTECNICO E STRUTTURALE

#### 1) Verifica allo sfilamento dell'intero tirante, compresa la fondazione (GEO)

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1,2) = 1,24

#### 2) Verifica alla rottura del tirante di acciaio (STR)

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 3,27

#### 3) Verifica di aderenza acciaio-calcestruzzo (STR)

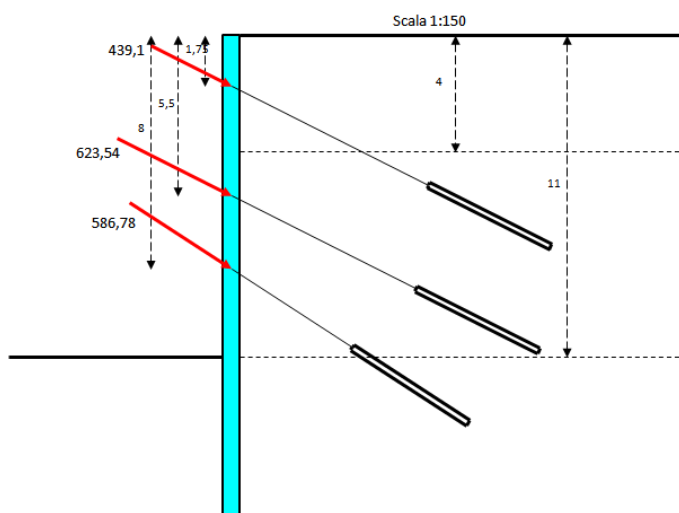
Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 4,73

#### 4) Verifica gerarchie delle resistenze

essendo la resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio  $R_{ad\_geo}$  inferiore a quella strutturale  $R_{ad\_str}$ , la verifica è soddisfatta

## 2) TIRANTI DI ANCORAGGIO – CALCOLO AGLI STATI LIMITE



Si consideri la seguente paratia in cui sono presenti tre ordini di tiranti temporanei attivi di tipo IGU. Il terreno è composto da tre strati (profondità primo strato 4 m, profondità secondo strato 11 m).

Eeguire le verifiche, secondo le NTC del D.M. 17/01/2018, con il metodo di Bustamante e Doix. I

tiranti di acciaio sono realizzati tutti con tre trefoli aventi una sezione di  $4,17 \text{ cm}^2$ . Il cla è di classe C 20/25.

La lunghezza libera dei tiranti è pari, rispettivamente, a 8 m, 7,5 m e 5,2 m. L'angolo di inclinazione sull'orizzontale  $25^\circ$ ,  $25^\circ$  e  $31^\circ$ . Il bulbo di fondazione per i tre tiranti è lungo 5 metri, mentre il diametro di perforazione è pari a 0,2 m.

Il terreno incoerente è caratterizzato dai seguenti parametri (si ha un solo profilo di indagine):



### profilo di indagine n. 1

| strato | $q_s$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|--------|----------------------------|
| 1      | 50                         |
| 2      | 100                        |
| 3      | 150                        |

Per i tre strati il coefficiente di espansione del diametro di perforazione vale:

| strato | $\alpha$ |
|--------|----------|
| 1      | 1,45     |
| 2      | 1,40     |
| 3      | 1,35     |

Si ipotizzano condizioni di buona aderenza ai fini della verifica di aderenza acciaio-cls.

A questo punto, inseriti i dati di input nel programma è possibile eseguire il calcolo. I principali risultati forniti dal software sono i seguenti:

#### **AZIONI ESTERNE DI PROGETTO SUI TIRANTI**

forza massima di trazione di progetto agente sul tirante di ordine 1,  $F_{ad}=570,83$  kN

forza massima di trazione di progetto agente sul tirante di ordine 2,  $F_{ad}=810,60$  kN

forza massima di trazione di progetto agente sul tirante di ordine 3,  $F_{ad}=762,81$  kN

#### **RESISTENZE ALLO SFILAMENTO DEGLI ANCORAGGI**

##### Tirante di ordine 1

resistenza calcolata allo sfilamento del tirante per ogni profilo di indagine

lunghezze del bulbo di fondazione interessate dai singoli strati di terreno

strato 1,  $l=0$  m

strato 2,  $l=5$  m

strato 3,  $l=0$  m

resistenza calcolata,  $R_{ac}(1)=439,82$  kN

resistenza media dei valori calcolati,  $R_{ac\_med}=439,82$  kN

resistenza minima dei valori calcolati,  $R_{ac\_min}=439,82$  kN

coefficiente  $X_{i\_a3}=1,8$

coefficiente  $X_{i\_a4}=1,8$

resistenza caratteristica allo sfilamento dell'ancoraggio,  $R_{ak\_geo}=244,35$  kN

resistenza di progetto allo sfilamento dell'ancoraggio,  $R_{ad\_geo}=222,13$  kN

##### Tirante di ordine 2

resistenza calcolata allo sfilamento del tirante per ogni profilo di indagine

lunghezze del bulbo di fondazione interessate dai singoli strati di terreno

strato 1,  $l=0$  m

strato 2,  $l=5$  m

strato 3,  $l=0$  m

resistenza calcolata,  $R_{ac}(1)=439,82$  kN

resistenza media dei valori calcolati,  $R_{ac\_med}=439,82$  kN

|   |                      |               |
|---|----------------------|---------------|
| <b><i>Tiranti.Az 2.0</i></b><br><i>(Ing. Ciro Azzara)</i> | <b>Manuale d'uso</b> | Pag. 26 di 28 |
|---|----------------------|---------------|

resistenza minima dei valori calcolati,  $R_{ac\_min}=439,82$  kN  
 coefficiente  $X_{i\_a3}=1,8$   
 coefficiente  $X_{i\_a4}=1,8$   
 resistenza caratteristica allo sfilamento dell'ancoraggio,  $R_{ak\_geo}=244,35$  kN  
 resistenza di progetto allo sfilamento dell'ancoraggio,  $R_{ad\_geo}=222,13$  kN  
Tirante di ordine 3  
 resistenza calcolata allo sfilamento del tirante per ogni profilo di indagine  
 lunghezze del bulbo di fondazione interessate dai singoli strati di terreno  
     strato 1,  $l=0$  m  
     strato 2,  $l=0,62$  m  
     strato 3,  $l=4,38$  m  
 resistenza calcolata,  $R_{ac}(1)=611,64$  kN  
 resistenza media dei valori calcolati,  $R_{ac\_med}=611,64$  kN  
 resistenza minima dei valori calcolati,  $R_{ac\_min}=611,64$  kN  
 coefficiente  $X_{i\_a3}=1,8$   
 coefficiente  $X_{i\_a4}=1,8$   
 resistenza caratteristica allo sfilamento dell'ancoraggio,  $R_{ak\_geo}=339,80$  kN  
 resistenza di progetto allo sfilamento dell'ancoraggio,  $R_{ad\_geo}=308,91$  kN

#### **RESISTENZE DI PROGETTO STRUTTURALE DEI TIRANTI**

resistenza di progetto del tirante in acciaio di ordine n° 1,  $R_{ad\_str}=605,55$  kN  
 resistenza di progetto del tirante in acciaio di ordine n° 2,  $R_{ad\_str}=605,55$  kN  
 resistenza di progetto del tirante in acciaio di ordine n° 3,  $R_{ad\_str}=605,55$  kN

#### **RESISTENZE DI PROGETTO DI ADERENZA CLS-ACCIAIO**

##### Tirante di ordine 1

tensione tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-cla,  $\tau_{adk}=3,58$  N/mm<sup>2</sup>  
 tensione tangenziale di progetto di aderenza acciaio-cla,  $\tau_{add}=2,39$  N/mm<sup>2</sup>  
 resistenza di progetto di aderenza calcestruzzo-acciaio,  $R_{ad\_str\_ader}=863,24$  kN

##### Tirante di ordine 2

tensione tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-cla,  $\tau_{adk}=3,58$  N/mm<sup>2</sup>  
 tensione tangenziale di progetto di aderenza acciaio-cla,  $\tau_{add}=2,39$  N/mm<sup>2</sup>  
 resistenza di progetto di aderenza calcestruzzo-acciaio,  $R_{ad\_str\_ader}=863,24$  kN

##### Tirante di ordine 3

tensione tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-cla,  $\tau_{adk}=3,58$  N/mm<sup>2</sup>  
 tensione tangenziale di progetto di aderenza acciaio-cla,  $\tau_{add}=2,39$  N/mm<sup>2</sup>  
 resistenza di progetto di aderenza calcestruzzo-acciaio,  $R_{ad\_str\_ader}=863,24$  kN

#### **VERIFICHE S.L.U. DI TIPO GEOTECNICO E STRUTTURALE**

##### Tirante di ordine 1

##### **1) Verifica allo sfilamento dell'intero tirante, compresa la fondazione (GEO)**

**attenzione: non verifica!**

coefficiente di sicurezza (non minore di 1,1) = 0,43

##### **2) Verifica alla rottura del tirante di acciaio (STR)**

|   |                      |               |
|---|----------------------|---------------|
| <b><i>Tiranti.Az 2.0</i></b><br><i>(Ing. Ciro Azzara)</i> | <b>Manuale d'uso</b> | Pag. 27 di 28 |
|---|----------------------|---------------|

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 1,06

**3) Verifica di aderenza acciaio-calcestruzzo (STR)**

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 1,51

Tirante di ordine 2

**1) Verifica allo sfilamento dell'intero tirante, compresa la fondazione (GEO)**

**attenzione: non verifica!**

coefficiente di sicurezza (non minore di 1,1) = 0,3

**2) Verifica alla rottura del tirante di acciaio (STR)**

**attenzione: non verifica!**

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 0,75

**3) Verifica di aderenza acciaio-calcestruzzo (STR)**

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 1,06

Tirante di ordine 3

**1) Verifica allo sfilamento dell'intero tirante, compresa la fondazione (GEO)**

**attenzione: non verifica!**

coefficiente di sicurezza (non minore di 1,1) = 0,45

**2) Verifica alla rottura del tirante di acciaio (STR)**

**attenzione: non verifica!**

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 0,79

**3) Verifica di aderenza acciaio-calcestruzzo (STR)**

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 1,13

|  |                      |               |
|--|----------------------|---------------|
| <b>Tiranti.Az 2.0</b><br><i>(Ing. Ciro Azzara)</i> | <b>Manuale d'uso</b> | Pag. 28 di 28 |
|--|----------------------|---------------|

## Bigliografia

- [1] Bustamante M., Doix B. (1985), *Une méthode pour le calcul des tirants ed des micropieux injectés*, Bull. Liaison Lab. Points et Chaussées, Paris, n. 140, nov-déc. 1985 – Ref. 3047, pp- 75-92;
- [2] D.M. 11/03/1988 – *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*;
- [3] Circolare Min. LL.PP. 24/09/1988, n. 30483 – *Legge 2 febbraio 1974 – D.M. 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione*;
- [4] D.M. 11/02/1992 – *Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche*
- [5] D.M. 14/01/2008 – *Norme tecniche per le costruzioni* (NTC)
- [6] Circ. 02/02/2009, n. 617 – *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*
- [7] Decreto Cons. Sup. LL. PP. prot. 12391 del 22/12/2011 - *Linea guida per la certificazione di idoneità tecnica dei tiranti di ancoraggio per uso geotecnico di tipo attivo*
- [8] D.M. 17/01/2018 – *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*
- [9] Circ. 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP. – *Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.*

Data revisione Manuale d'uso: **Gennaio 2022**