

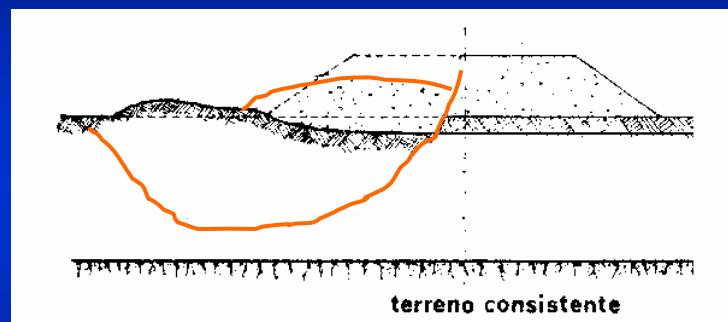
Dip.to DISTART - Università di Bologna



## I Rilevati

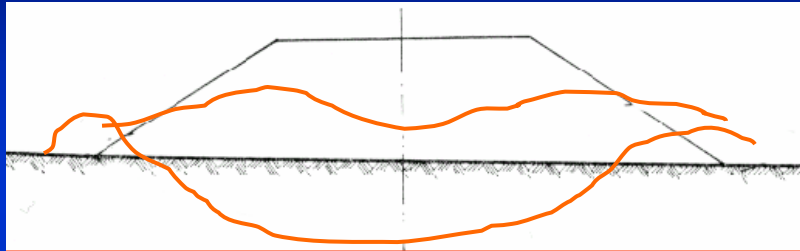
Prof. Ing. Giulio Dondi

### *COSTRUZIONE DEI RILEVATI E PROBLEMATICHE CORRELATE*



**A)** Instabilità del corpo del rilevato per un cedimento del piano di posa

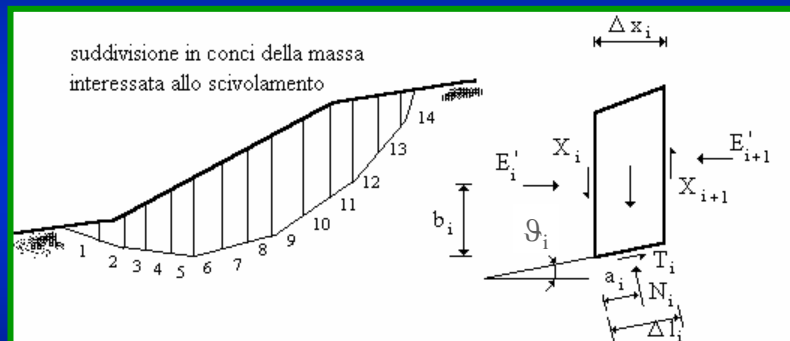
## COSTRUZIONE DEI RILEVATI E PROBLEMATICHE CORRELATE



### B) Cedimenti del terreno in sito

- **immediati** (cedimenti elastici, consolidazione degli strati coesivi superficiali)
- **differiti** (consolidazione degli strati profondi)

## ANALISI DI STABILITA'



## ANALISI DI STABILITA'

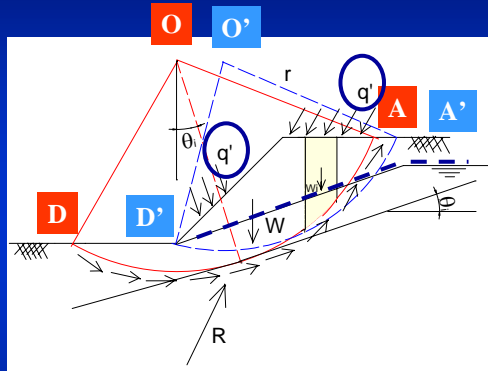
- superficie freatica
- sovraccarichi generici

**Ipotesi: Superficie di scorrimento circolare**

⇒ si individua una serie di superfici di tentativo

**AD** con polo in **O**

**A'D'** con polo in **O'**



Coefficiente di sicurezza:

$$FS = F = \frac{M_r}{M_d}$$

## ANALISI DI STABILITA'

Coefficiente di sicurezza:

$$FS = F = \frac{M_r}{M_d}$$

**Contributo stabilizzante:**

Forza Resistente R

**Contributo destabilizzante:**

Forza peso W

Componenti destabilizzanti dei carichi accidentali  $q_a$

$$F = \frac{M_R}{M_D}$$

$$= \frac{\text{Moment of shear strength along failure arc}}{\text{Moment of weight of failure mass}}$$

$$M_R = r \sum_{i=1}^{i=n} (\bar{c} + \bar{\sigma}_i \tan \bar{\phi}) \Delta l_i = r \left( \bar{c} L + \tan \bar{\phi} \sum_{i=1}^{i=n} \bar{N}_i \right)$$

$$M_D = r \sum_{i=1}^{i=n} W_i^* \sin \theta_i$$

$$W_i^* = W_i + q_i \Delta x_i + P_i$$

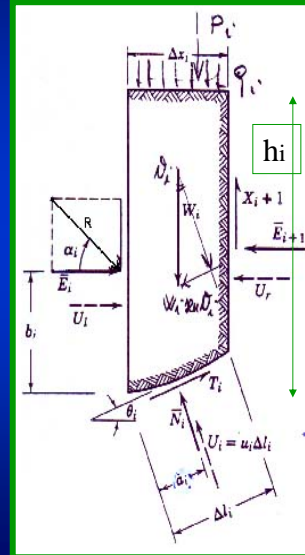
## ANALISI DI STABILITA'

Le tensioni tangenziali e normali variano lungo AB  $\Rightarrow$  è necessario ricondursi ad una discretizzazione suddividendo il terreno in conci

Riducendo  $\Delta x_i \Rightarrow a_i \rightarrow 0$

Suddivisione in conci piccoli:

- $\Delta x_i \leq \frac{h_i}{3}$
- Verifica di F al variare di  $\Delta x_i$



## ANALISI DI STABILITA'

Espressione "ESATTA" del coefficiente di sicurezza:

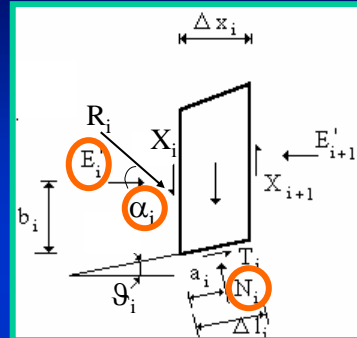
$$F = \frac{cL + \tan \phi \sum_{i=1}^{i=n} \bar{N}_i}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Dove  $\bar{N}_i$  è il valore esatto in ogni elementino

## ANALISI DI STABILITA'

### INCOGNITE ASSOCIATE ALLE FORZE

- n** valori  $N_i$
- 1** coefficiente di sicurezza  $F_s$
- n - 1** valori  $E_i$
- n - 1** valori  $\alpha_i$



**3n-1 incognite**

⇒ **3n - 1 incognite contro 2n equazioni**

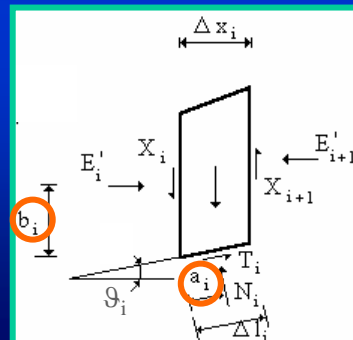
## ANALISI DI STABILITA'

### INCOGNITE ASSOCIATE AI MOMENTI

- n** valori  $a_i$
- n - 1** valori  $b_i$

**2n-1 incognite**

⇒ **2n - 1 incognite  
contro  
n equazioni**



## ANALISI DI STABILITA'

IN TOTALE

$5n - 2$  incognite

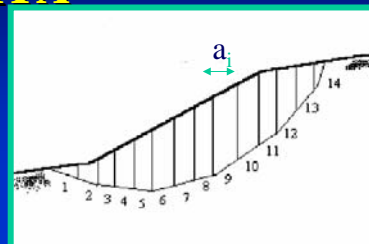


$2n - 2$  incognite eccedenti

$3n$  equazioni

## ANALISI DI STABILITA'

Se i conchi sono sufficientemente piccoli tali che  $a_i \rightarrow 0$  si ha



$4n - 2$  incognite



$n - 2$  incognite eccedenti

$3n$  equazioni

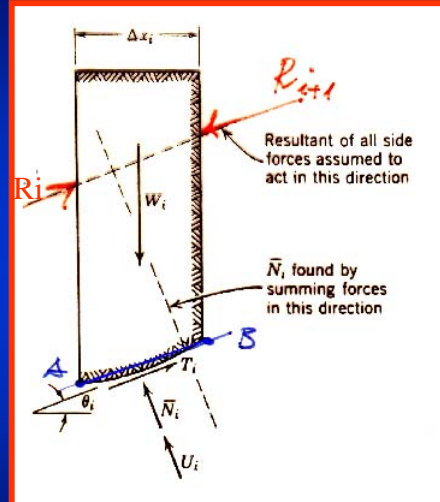
NECESSITA' DI INTRODURRE  $n-2$  CONDIZIONI AUSILIARIE (Fellenius, Bishop, Bell ...)

## ANALISI DI STABILITA'

### FELLENIUS

Assunzione:

Le forze laterali hanno direzione parallela ad  $\overline{AB}$

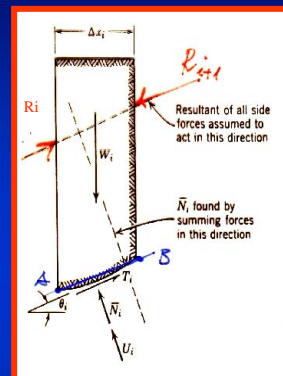


N-1 ipotesi sulle forze laterali (1 ipotesi in eccesso)

## ANALISI DI STABILITA'

Equilibrio alla traslazione in direzione perpendicolare ad AB

$$\begin{aligned} \bar{N}_i + U_i &= W_i \cos \theta_i \\ \bar{N}_i &= W_i \cos \theta_i - U_i = W_i \cos \theta_i - u_i \Delta l_i \\ F &= \frac{\bar{c}L + \tan \bar{\phi} \sum_{i=1}^{i=n} (W_i \cos \theta_i - u_i \Delta l_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \end{aligned}$$



Se  $\bar{c}$  varia da concio a concio  $\bar{c}L$  diventa  $\sum \bar{c}_i \Delta x_i / \cos \theta_i$

Se  $\bar{\phi}$  varia da concio a concio  $\tan \bar{\phi}$  diventa  $\tan \phi_i$  e va sotto  $\sum_i$

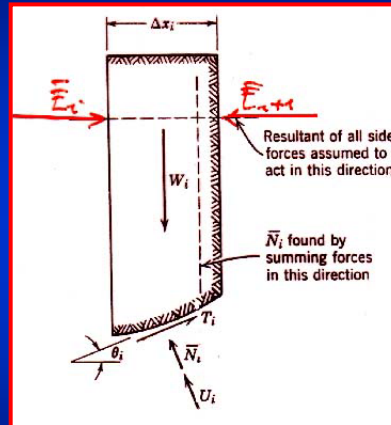
**FELLENIUS è quasi sempre cautelativo**

## ANALISI DI STABILITA'

### BISHOP (semplificato)

Assunzione:

Le forze che si scambiano i conci sono orizzontali ( $\alpha_i = 0$ )



N-1 ipotesi sulle forze laterali (1 ipotesi in eccesso)

## ANALISI DI STABILITA'

a) Equilibrio alla  
traslazione verticale

b) Espressione implicita



**METODI ITERATIVI**

$$(a) \quad \bar{N}_i = \frac{W_i - u_i \Delta x_i - (1/F) \bar{c} \Delta x_i \tan \theta_i}{\cos \theta_i [1 + (\tan \theta_i \tan \bar{\phi})/F]}$$

$$(b) \quad F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [\bar{c} \Delta x_i + (W_i - u_i \Delta x_i) \tan \bar{\phi}] [1/M_i(\theta)]}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

$$(c) \quad M_i(\theta) = \cos \theta_i \left( 1 + \frac{\tan \theta_i \tan \bar{\phi}}{F} \right)$$

Ipotesi di partenza su F compreso fra 1 e 2  
( $F \geq 1,3$  da DM 11.3.88)

## ANALISI DI STABILITA'

Ipotesi di partenza su F compreso fra 1 e 2:

**I step**  $F^I = 1,5$  (ipotizzato)

si calcola  $M_i(\vartheta)$  si sostituisce in a e

si ricava  $F^{II}$  (calcolato)

Normalmente  $F^I \neq F^{II}$  (ad esempio 1,3)

**II step**  $F^{III} = 1,1$  (ipotizzato)

si calcola  $M_i(\vartheta)$  si sostituisce in a e

si ricava  $F^{IV}$  (calcolato)

Normalmente  $F^{III} \neq F^{IV}$  (ad esempio 1,2)

$$\text{(a) } N_i = \frac{W_i - u_i \Delta x_i - (1/F) \sum \Delta x_i \tan \theta_i}{\cos \theta_i [1 + (\tan \theta_i \tan \phi) / F]}$$

$$\text{(b) } F = \frac{\sum_{i=1}^n [c \Delta x_i + (W_i - u_i \Delta x_i) \tan \phi] [1 / M_i(\theta)]}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i}$$

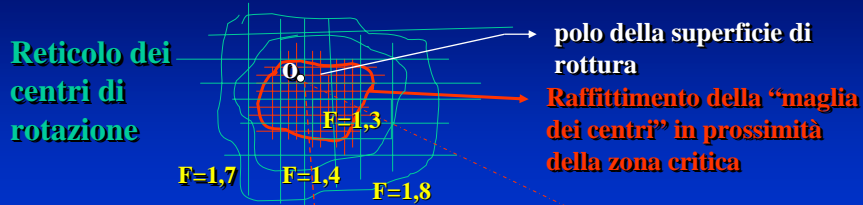
$$\text{(c) } M_i(\theta) = \cos \theta_i \left( 1 + \frac{\tan \theta_i \tan \phi}{F} \right)$$

## ANALISI DI STABILITA': ABACO DI BISHOP

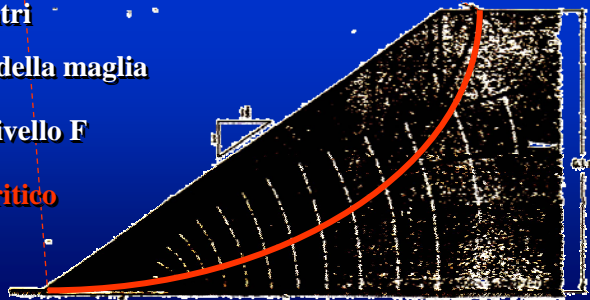
Noto  $\vartheta_i$  si ricava il valore di F



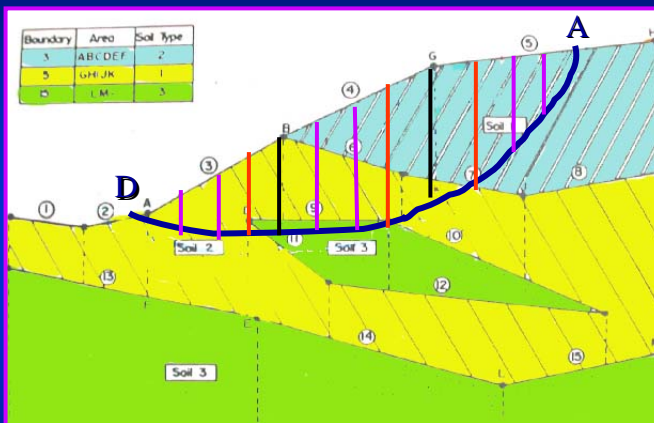
## ANALISI DI STABILITA'



- Creazione maglia dei centri
- Verifica per ogni centro della maglia
- Individuazione curve di livello F
- Individuazione **cerchio critico** (F minore)



## TECNICHE DI DISCRETIZZAZIONE



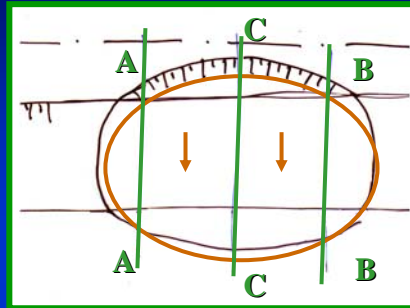
Caso reale di terreno  
NON omogeneo

DA : traccia  
della potenziale  
superficie critica

I fase: DISCRETIZZAZIONE GEOMETRICA

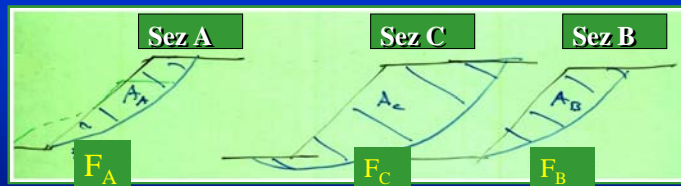
II fase: DISCRETIZZAZIONE DI CALCOLO  
O DI RAFFITTIMENTO ( $a_i \rightarrow 0$ )

## CASO PARTICOLARE: COMPORTAMENTO TRIDIMENSIONALE



Ciglio del rilevato

Piede del rilevato



$$F = \frac{F_A A_A + F_B A_B + F_C A_C}{A_{TOT}}$$

## INTERVENTI STATICI E STRUTTURALI

### Berlinese

- pali di medio - grande  $\phi_p$

$\phi$  600 - 1200 mm

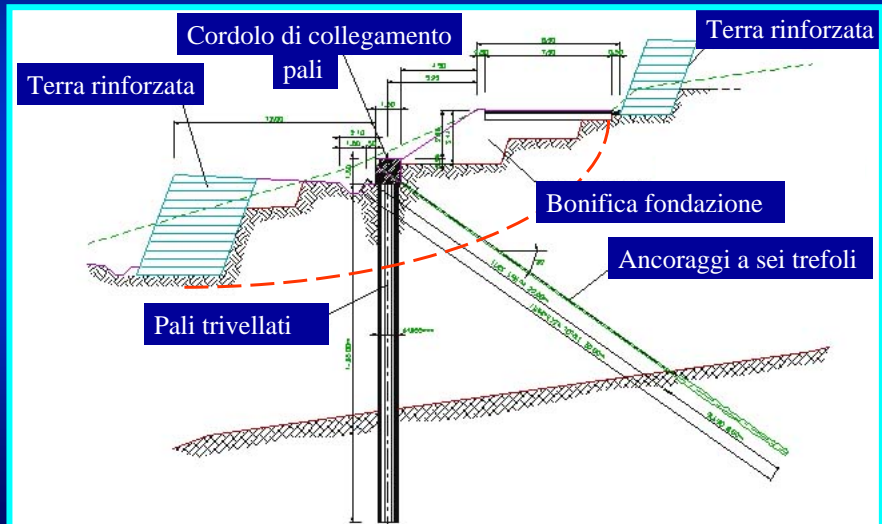
- interasse  $i_p = 2 - 3 \phi_p$

in alcuni casi  $i_p = \phi_p$

- consentono la continuità del versante  
ed il drenaggio delle acque

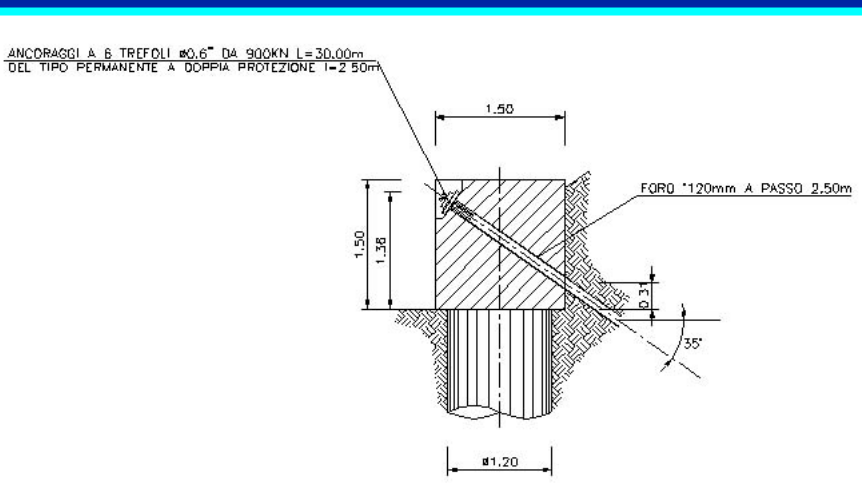
## INTERVENTI STATICI E STRUTTURALI

### Berlinese tirantata

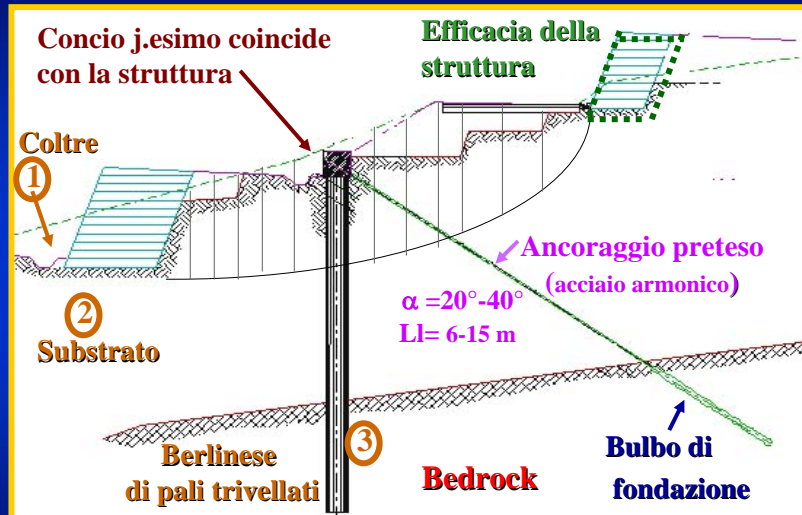


## INTERVENTI STATICI E STRUTTURALI

### Berlinese tirantata : sezione tipo



## BERLINESI TIRANTATE



La struttura deve essere posizionata in modo efficace. In questo modo sostiene terreno a monte ed elimina peso su quello a valle

## BERLINESI TIRANTATE

Ipotesi sul “terreno” 3 (berlinese)

- Terreno coesivo in condizioni non drenate

$$\phi_3 = 0$$

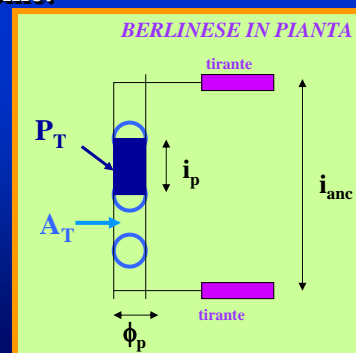
$$c_3 = c_{eq}$$

- Peso unitario di 3 calcolato come:

$$\gamma_3 = \frac{P_T}{\phi_p i_p 1}$$

$$P_T = 1 * (A_p \gamma_{cls} + A_T \gamma_T)$$

$$A_T = (i_p \cdot \phi_p - A_p)$$



## BERLINESI TIRANTATE

Studio parametrico:

Iterazione n°	$Cu_{,eq}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	F.S.
1	100*	1,1
2	200	1,4
3	180	1,35 > 1,3

\* di tentativo

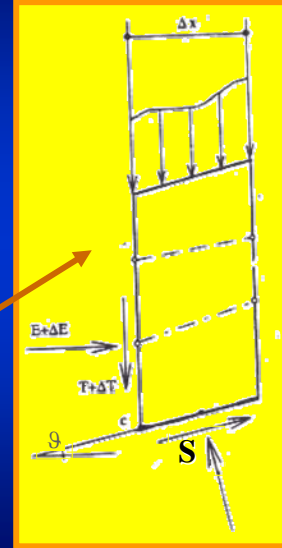
concio di dimensioni  $\equiv$  con  
la struttura

*S per  
lunghezza  
unitaria di  
struttura*

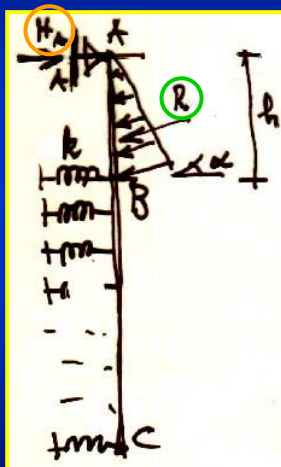
$$S = 180(\Delta x / \cos \vartheta) \cdot 1$$

Oppure

$$S = Cu_{,eq} (\phi_p / \cos \vartheta) \cdot 1$$



## BERLINESI TIRANTATE: DIMENSIONAMENTO DELLA STRUTTURA



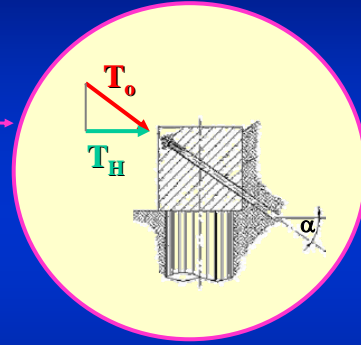
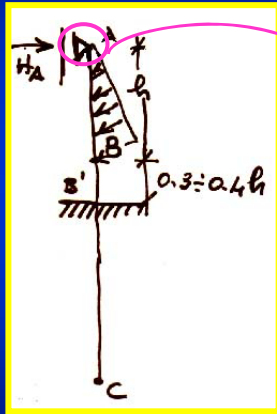
$$R = S \cdot i_p$$

$H_A$  = reazione orizzontale per  
ogni palo

$\frac{H_A}{i_p}$  = reazione orizzontale per  
profondità unitaria

## BERLINESI TIRANTATE

Soluzione semplificata

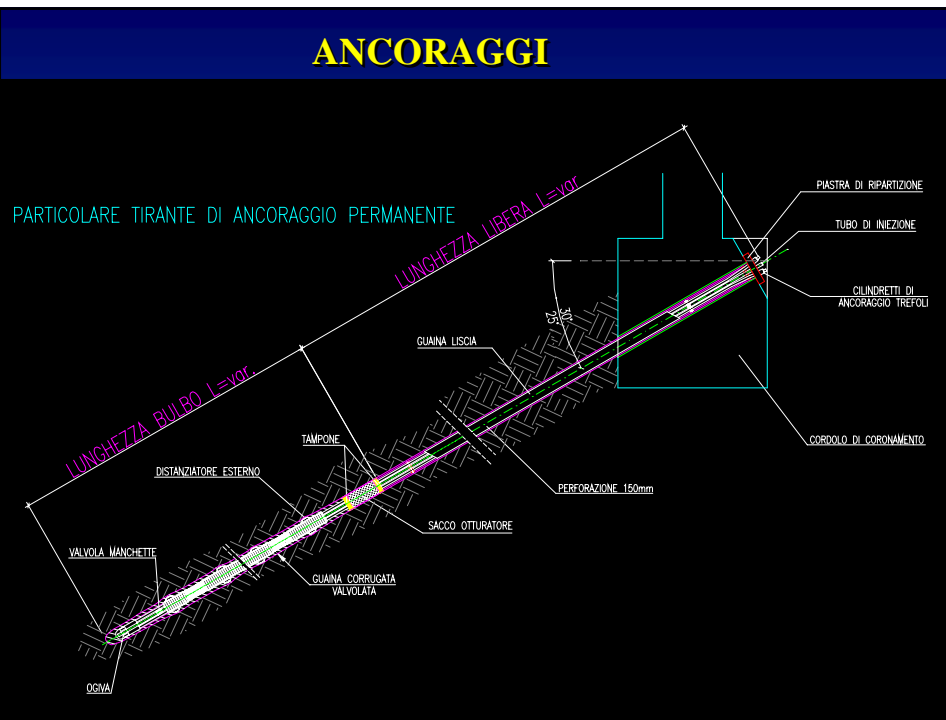


Interasse ancoraggi (in pianta):  $i_{anc}$

$T_H$  (sforzo per ancoraggio):  $(H_A/i_p) \cdot i_{anc}$

$T_0 \cos \alpha_i = T_H \geq (H_A/i_p) \cdot i_{anc}$

## ANCORAGGI



## ANCORAGGI

**Tiranti** : pendenze  $> 15^\circ$  sull'orizzontale

**Dimensionamento del bulbo** : lunghezza di ancoraggio in funzione del tiro  $T_0$

$T_0$

$$L = \frac{T \cdot i_{anc} \cdot F_s}{P_r \cdot D_s \cdot \pi \cdot \text{tg} \varphi \cdot \cos \alpha \cdot n}$$

**F.S.**

2.0 opere provvisorie

2.5 opere permanenti

da Racc. AICAP

## ANCORAGGI

Significato dei simboli:

- a)  $D$  = diametro nominale di perforazione del tirante;
- b)  $k$  = coefficiente maggiorativo del diametro di perforazione competente al "tratto attivo" iniettato a pressione;
- c)  $D_s$  = diametro maggiorato dalla pressione di iniezione ( $= D \cdot k$ );
- d)  $\beta$  = inclinazione rispetto all'orizzontale dei tiranti;
- e)  $i$  = interasse in direzione orizzontale dei tiranti;
- f)  $n$  = numero di tiranti realizzati ad ogni interasse;
- g)  $T$  = componente orizzontale del tiro valutato per metro lineare;
- h)  $P_r$  = valore della pressione residua di iniezione variabile fra  $1/3 \div 1/5$  della pressione di iniezione;
- i)  $\varphi$  = angolo di resistenza al taglio medio del terreno;
- j)  $L$  = lunghezza minima del "tratto attivo";
- k)  $F_s$  = fattore di sicurezza da adottare.

## ANCORAGGI

**Volumi di malta iniettata** ↓ **volume di un bulbo di diametro**  $D' = k D$  **dove**

**D** = diametro nominale di perforazione

**k** valore da assumere in accordo con Bustamante

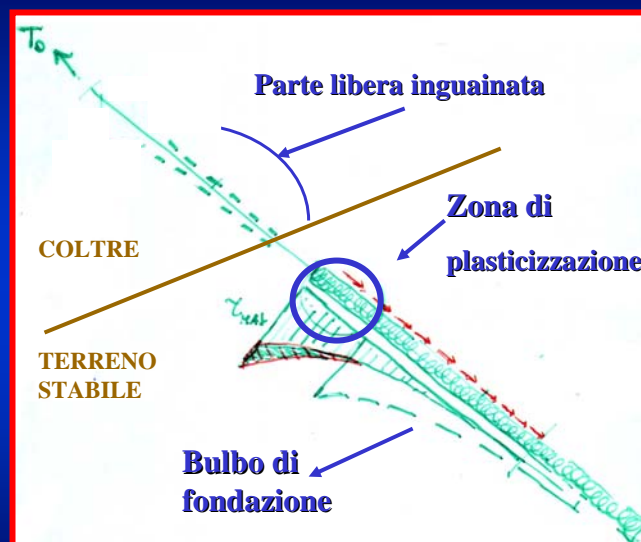
Tabella: Caratteristiche del bulbo degli ancoraggi (Bustamante).

Terreno	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 + 1.4
Sabbia ghiaiosa	1.5 + 1.6	1.2 + 1.3
Sabbia media	1.4 + 1.5	1.1 + 1.2
Sabbia limosa	1.4 + 1.5	1.1 + 1.2
Limo	1.4 + 1.6	1.1 + 1.2
Argilla	1.8 + 2.0	1.2
Marna	1.8	1.1 + 1.2
Rocce fessurate	1.2	1.1

LEGENDA:

- IRS: iniezioni ripetute e selettive;
- IGU: iniezione globale unica.

## ANCORAGGI



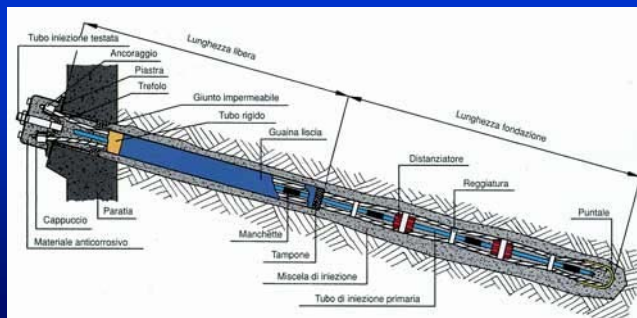
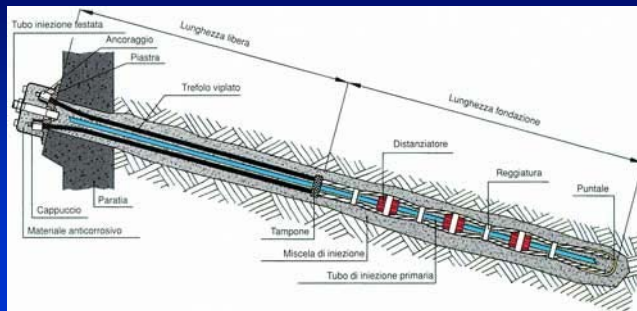
La **rottura progressiva** limita la  $\tau_{max}$  del bulbo

## ANCORAGGI



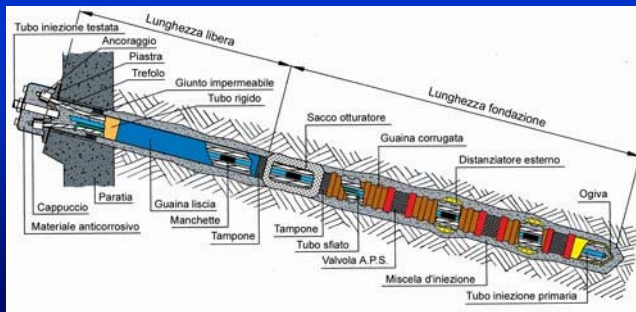
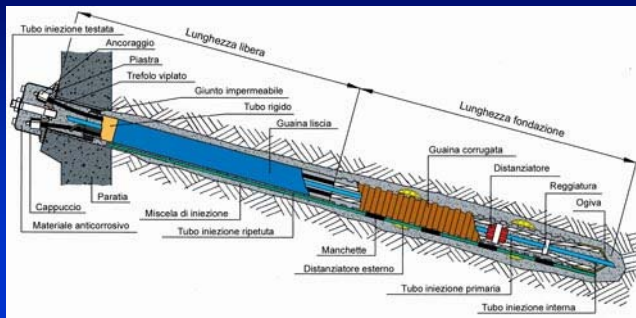
Fasi esecutive

## ANCORAGGI



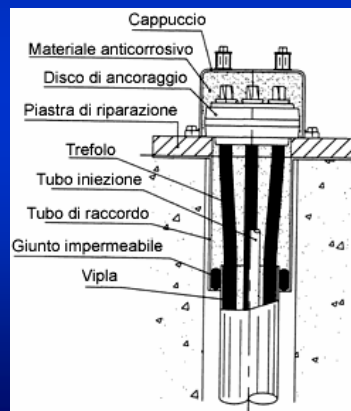
Tipologie

## ANCORAGGI



**Tipologie**

## ANCORAGGI



**Particolari costruttivi**

## ANCORAGGI



**Dispositivi di messa in tensione**