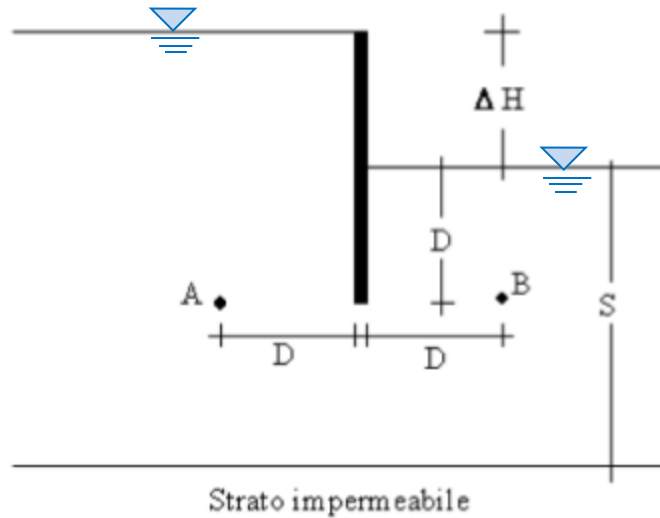


# GEOTECNICA

FILTRAZIONE AL DI SOTTO DI UNA PARATIA

# GEOTECNICA FILTRAZIONE AL DI SOTTO DI UNA PARATIA



DATI:

$$\Delta H = 4,70 \text{ m}$$

$$D = 4,73 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 19,35 \text{ kN/m}^3$$

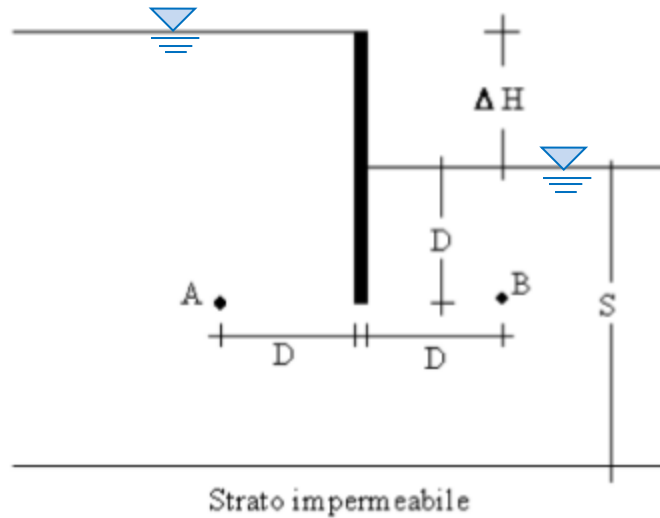
$$S = 17,50 \text{ m}$$

$$k_x = 0,0006 \text{ cm/s}$$

$$k_y = 0,00006 \text{ cm/s}$$

Nello schema illustrato in figura è riportata una paratia infissa in un terreno saturo omogeneo e anisotropo, le caratteristiche geometriche e geotecniche del deposito interessato, determinare:

# GEOTECNICA FILTRAZIONE AL DI SOTTO DI UNA PARATIA



DATI:

$$\Delta H = 4,70 \text{ m}$$

$$D = 4,73 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 19,35 \text{ kN/m}^3$$

$$S = 17,50 \text{ m}$$

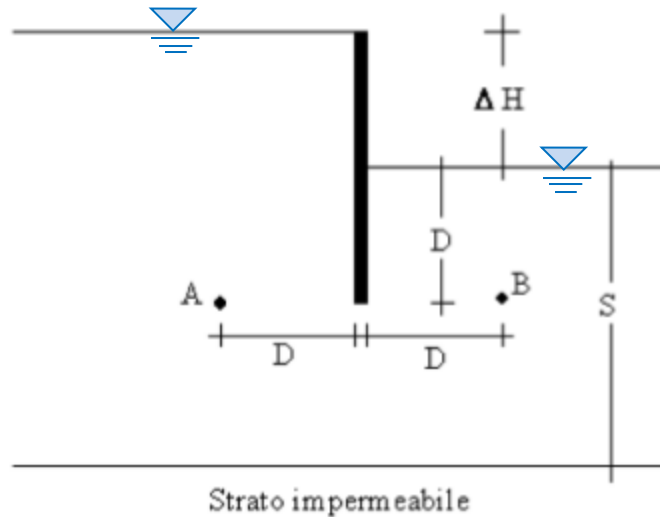
$$k_x = 0,0006 \text{ cm/s}$$

$$k_y = 0,00006 \text{ cm/s}$$

Nello schema illustrato in figura è riportata una paratia infissa in un terreno saturo omogeneo e anisotropo, le caratteristiche geometriche e geotecniche del deposito interessato, determinare:

## 1-Rete di flusso nel dominio ideale reso isotropo

# GEOTECNICA FILTRAZIONE AL DI SOTTO DI UNA PARATIA



DATI:

$$\Delta H = 4,70 \text{ m}$$

$$D = 4,73 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 19,35 \text{ kN/m}^3$$

$$S = 17,50 \text{ m}$$

$$k_x = 0,0006 \text{ cm/s}$$

$$k_y = 0,00006 \text{ cm/s}$$

Nello schema illustrato in figura è riportata una paratia infissa in un terreno saturo omogeneo e anisotropo, le caratteristiche geometriche e geotecniche del deposito interessato, determinare:

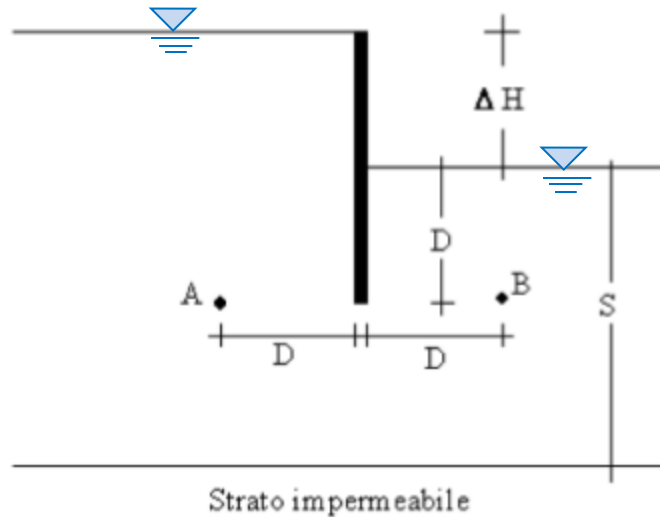
1-Rete di flusso nel dominio ideale reso isotropo

2-La portata di Filtrazione

3- La verifica al sollevamento del fondo scavo ed al sifonamento

4- I valori delle pressioni interstiziali e delle tensioni efficaci nei punti A e B indicati in figura nel dominio reale anisotropo confrontarli con i valori che si otterrebbero in assenza di filtrazione

# GEOTECNICA FILTRAZIONE AL DI SOTTO DI UNA PARATIA



DATI:

$$\Delta H = 4,70 \text{ m}$$

$$D = 4,73 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 19,35 \text{ kN/m}^3$$

$$S = 17,50 \text{ m}$$

$$k_x = 0,0006 \text{ cm/s}$$

$$k_y = 0,00006 \text{ cm/s}$$

Nello schema illustrato in figura è riportata una paratia infissa in un terreno saturo omogeneo e anisotropo, le caratteristiche geometriche e geotecniche del deposito interessato, determinare:

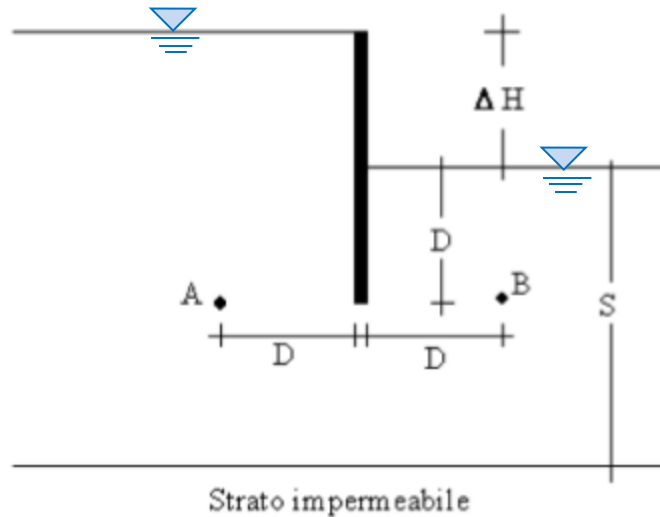
1-Rete di flusso nel dominio ideale reso isotropo

2-La portata di Filtrazione

3- La verifica al sollevamento del fondo scavo ed al sifonamento

4- I valori delle pressioni interstiziali e delle tensioni efficaci nei punti A e B indicati in figura nel dominio reale anisotropo confrontarli con i valori che si otterrebbero in assenza di filtrazione

# GEOTECNICA FILTRAZIONE AL DI SOTTO DI UNA PARATIA



DATI:

$$\Delta H = 4,70 \text{ m}$$

$$D = 4,73 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 19,35 \text{ kN/m}^3$$

$$S = 17,50 \text{ m}$$

$$k_x = 0,0006 \text{ cm/s}$$

$$k_y = 0,00006 \text{ cm/s}$$

Nello schema illustrato in figura è riportata una paratia infissa in un terreno saturo omogeneo e anisotropo, le caratteristiche geometriche e geotecniche del deposito interessato, determinare:

1-Rete di flusso nel dominio ideale reso isotropo

2-La portata di Filtrazione

3- La verifica al sollevamento del fondo scavo ed al sifonamento

4- I valori delle pressioni interstiziali e delle tensioni efficaci nei punti A e B indicati in figura nel dominio reale anisotropo confrontarli con i valori che si otterrebbero in assenza di filtrazione

## 1-Rete di flusso nel dominio ideale reso isotropo

Per reticolo idrodinamico si intende l'andamento della soluzione dell'equazione differenziale che regola il flusso di acqua in regime stazionario all'interno del dominio considerato. Tale soluzione è rappresentata dalle funzioni «h» ed «f» che definiscono rispettivamente l'andamento del carico totale e della direzione del flusso in ogni punto del dominio.

Si tratta di equazioni differenziali alle derivate parziali note come equazioni di Laplace. L'equazione di Laplace in termini di carico totale è scritta per il caso di terreno isotropo cioè un terreno che presenta un coefficiente di permeabilità indipendente dalla direzione del flusso

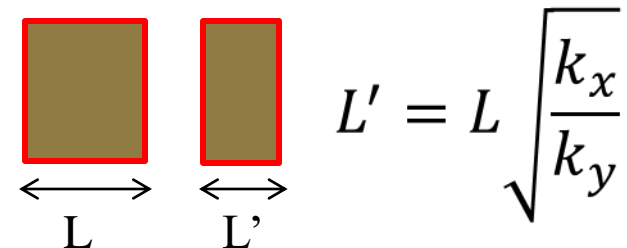
$$\begin{cases} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = 0 \end{cases}$$

Nel caso in esame invece il terreno si presenta anisotropo con un coefficiente di permeabilità diverso per direzione orizzontale e verticale, pertanto la filtrazione è regolata dalla seguente equazione di Laplace.

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad \boxed{h = z + \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g}}$$

Al fine di risolvere l'equazione di Laplace col metodo grafico, tracciando la rete di flusso bisogna rendere il dominio fittiziamente omogeneo e isotropo operando un cambio di variabile

E' possibile fare uno «scaling» nella variabile x per ottenere un'equazione differenziale indipendente dai coefficienti di permeabilità del terreno



$$L' = L \sqrt{\frac{k_x}{k_y}}$$

### 1-Rete di flusso nel dominio ideale reso isotropo

#### CONTRAZIONE DEL DOMINIO

$$X = x \sqrt{\frac{k_y}{k_x}} \quad \text{Sostituisco} \quad k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad \longrightarrow \quad \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 h}{\partial X^2} \cdot \frac{k_y}{k_x}$$

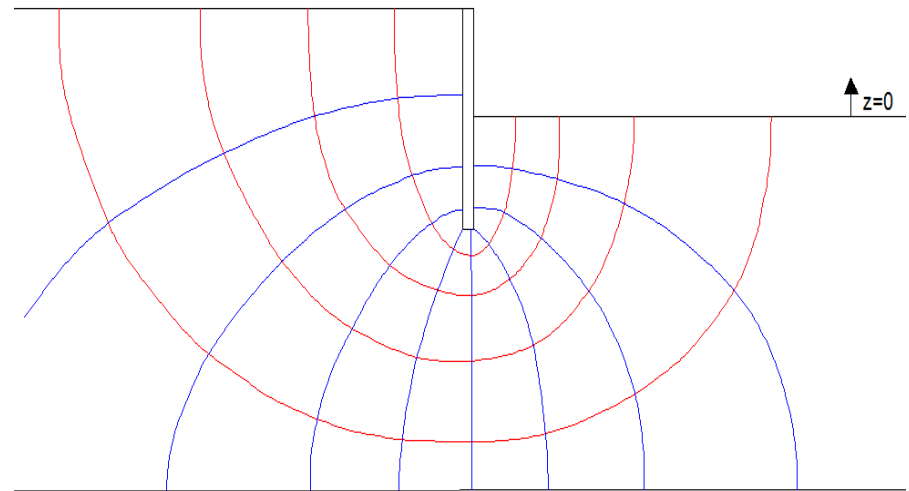
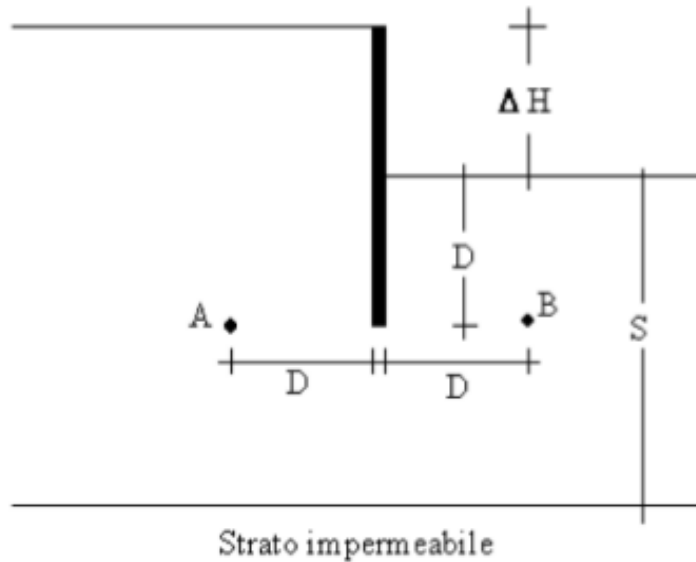
$$k_x \frac{k_y}{k_x} \frac{\partial^2 h}{\partial X^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad \text{Divido per } k_y \quad \longrightarrow \quad \frac{\partial^2 h}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad \text{Equazione di Laplace}$$

Il coefficiente di permeabilità equivalente si ottiene invece imponendo l'uguaglianza della portata tra nuovo e vecchio sistema di riferimento. Il coefficiente equivalente è dato dalla media geometrica dei coefficienti di permeabilità lungo x e y.

$$k_{eq} = \sqrt{k_x k_y}$$



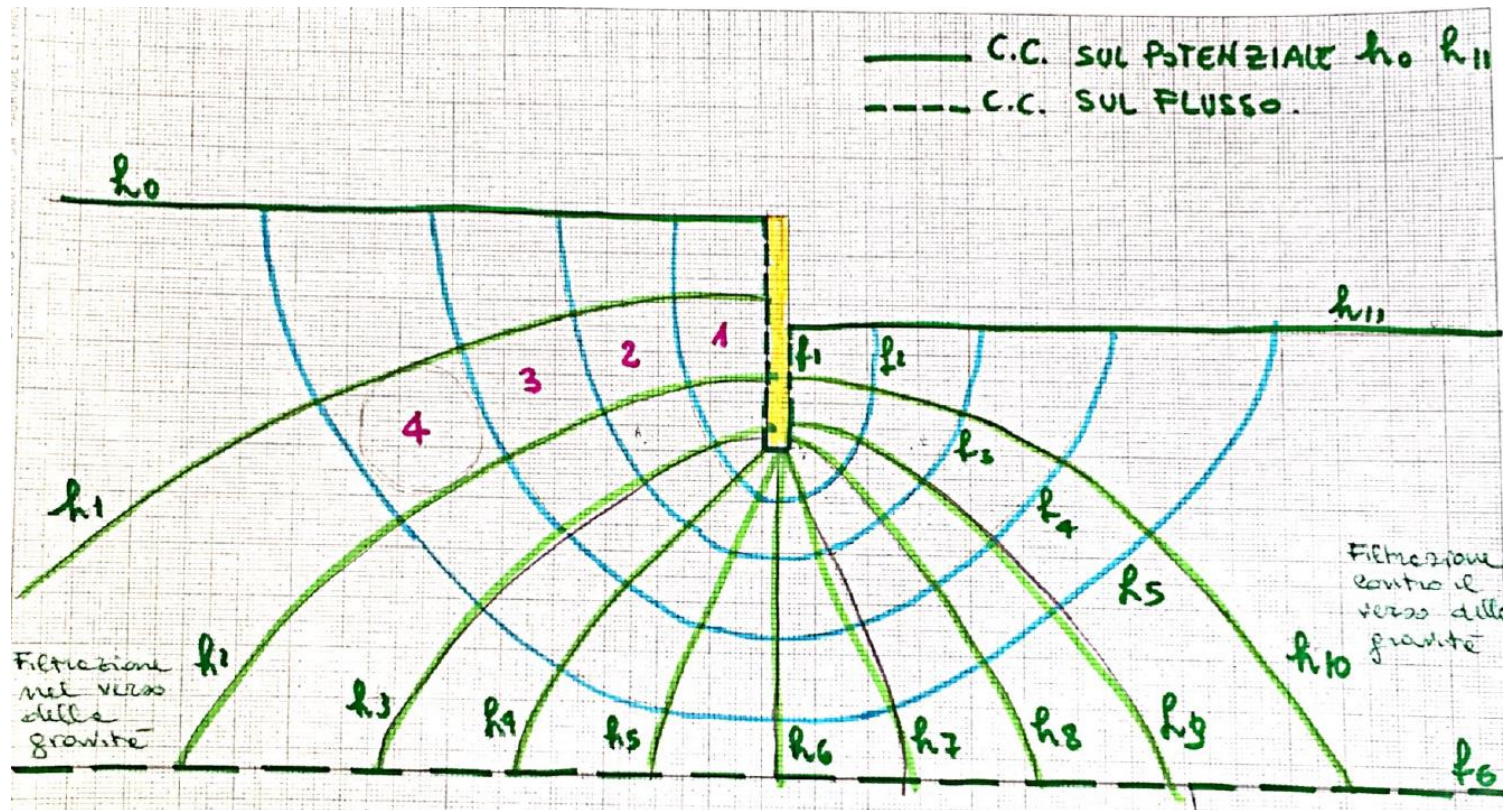
### 1-Rete di flusso nel dominio ideale reso isotropo



**Osservazione:** teoricamente ci possono essere infinite reti di flusso, perché tutto dipende dal passo che si sceglie per disegnare la rete. Esiste, però, un fattore che caratterizza le reti di flusso che è il fattore di forma.

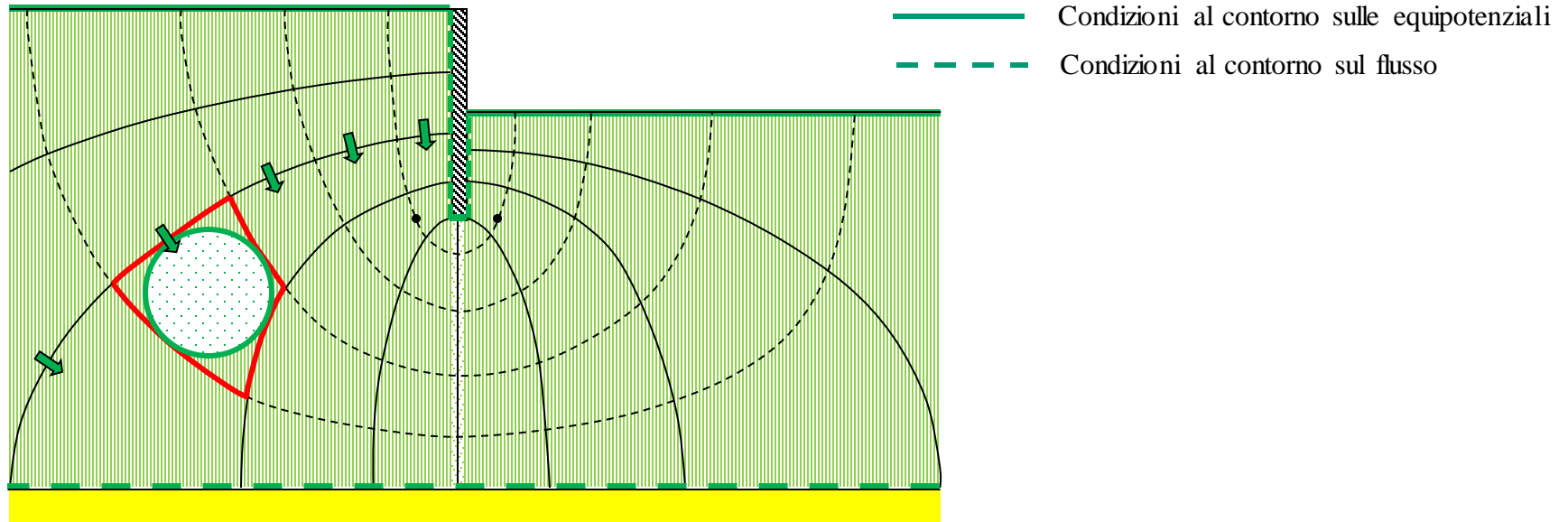
Il fattore di forma è descritto come il rapporto tra il numero di tubi di flusso e il numero di salti. Se le maglie sono disegnate corrette e quadrate, qualunque sia il numero di maglie, di tubi di flusso e di salti equipotenziali il fattore di forma deve essere sempre lo stesso.

## 1-Rete di flusso nel dominio ideale reso isotropo



Per la realizzazione grafica del reticolo idrodinamico è necessario decidere il numero di salti di potenziale ( $n_s$ ) da diagrammare (nel caso in esame  $n_s=11$ ); pertanto dovranno essere tracciate 12 linee equipotenziali comprese le due condizioni al contorno sul potenziale. Il numero di tubi di flusso ( $n_f$ ) necessari per descrivere il processo di filtrazione mantenendo le maglie del reticolo pressoché quadrate è pari a 4-5 (nel caso in esame  $n_f=4,8$ ).

## 1-Rete di flusso nel dominio ideale reso isotropo



### Linee equipotenziali

1. In  $z=0$ --- da cui ho che  $h_{11}=0$ -----potenziale minimo

$$h_{11} = z_{11} + \frac{u_{11}}{\gamma_{11}} = 0 + 0 = 0m...(\text{inf eriore})$$

2. In  $z=4.70$  m----  $h_0 = 4.70$  m      potenziale massimo.

$$h_0 = z_0 + \frac{u_0}{\gamma_0} = 4.70 + 0 = 4.70m....(\text{superiore})$$

### Linee di flusso

1. Superficie che lambisce la paratia (supponiamo che sia impermeabile);
2. Superficie a  $z=S$  sia anch'essa impermeabile (argilla con un coefficiente di permeabilità bassissimo).

## 1-Rete di flusso nel dominio ideale reso isotropo

Per determinare il carico totale competente a ciascuna linea equipotenziale è necessario valutare la perdita di carico  $\Delta h$  che si verifica tra una linea equipotenziale e la successiva; il  $\Delta h$  si ottiene dividendo la differenza di carico totale tra monte e valle pari a  $\Delta H$  per il numero di salti di potenziale previsti nella costruzione della rete di flusso. Nel caso in esame:

$$\Delta h = \frac{\Delta H}{ns} = \frac{4.70}{11} = 0.427 \text{ m}$$

$h_0 = h_1 = 4.700\text{m}$	$i=1$
$h_1 = h_0 - \Delta h = 4.700 - 0.427 = 4.273\text{m}$	$i=2$
$h_2 = h_1 - 2 \Delta h = 4.700 - 2 \cdot 0.427 = 3.846\text{m}$	$i=3$
$h_3 = h_1 - 3 \Delta h = 4.700 - 3 \cdot 0.427 = 3.419\text{m}$	$i=4$
$h_4 = h_1 - 4 \Delta h = 4.700 - 4 \cdot 0.427 = 2.992\text{m}$	$i=5$
$h_5 = h_1 - 5 \Delta h = 4.700 - 5 \cdot 0.427 = 2.565\text{m}$	$i=6$
$h_6 = h_1 - 6 \Delta h = 4.700 - 6 \cdot 0.427 = 2.138\text{m}$	$i=7$
$h_7 = h_1 - 7 \Delta h = 4.700 - 7 \cdot 0.427 = 1.711\text{m}$	$i=8$
$h_8 = h_1 - 8 \Delta h = 4.700 - 8 \cdot 0.427 = 1.284\text{m}$	$i=9$
$h_9 = h_1 - 9 \Delta h = 4.700 - 9 \cdot 0.427 = 0.857\text{m}$	$i=10$
$h_{10} = h_1 - 10 \Delta h = 4.700 - 10 \cdot 0.427 = 0.430\text{m}$	$i=11$
$h_{11} = h_1 - 11 \Delta h = 4.700 - 11 \cdot 0.427 = 0.000\text{m}$	$i=12$

Il carico totale competente alla generica linea equipotenziale  $h_i$  si ottiene dalla seguente equazione:

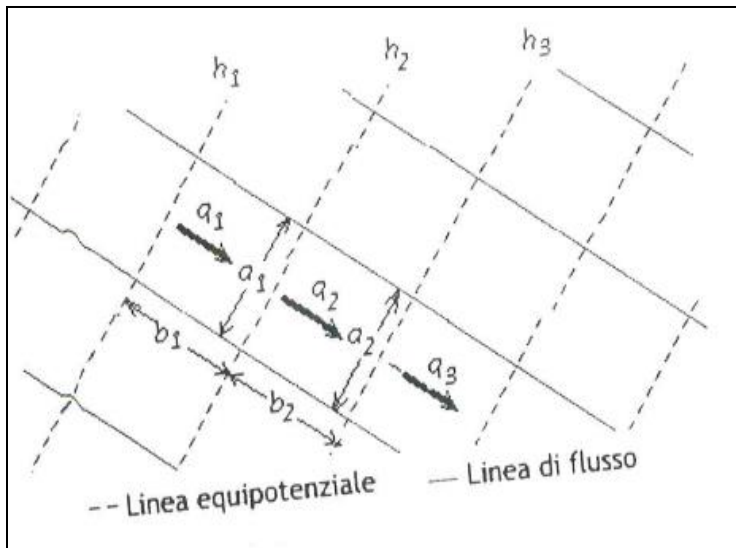
$$h_i = h_{i-1} - \Delta h = h_1 - (i-1)\Delta h$$

$$i=1 \div 11$$

## 2-La portata di Filtrazione

La portata persa per filtrazione si ottiene applicando la legge di Darcy, l'equazione che fornisce la portata per un generico tubo di flusso con maglie non quadrate è la seguente:

$$q_j = k_{eq} i = k_{eq} \frac{\Delta h}{a} b = k_{eq} \frac{\Delta H b}{N a}$$



Se si inserisce l'ipotesi di maglie quadrate il calcolo della portata diventa indipendente dalle caratteristiche geometriche della rete di flusso. La portata totale sarà ovviamente somma delle singole portate che transitano in tutti i tubi di flusso individuati.

$$q_1 = -k_1 \cdot i_1 \cdot A_1 = -k_1 \cdot \frac{h_2 - h_1}{b_1} \cdot (a_1 \cdot 1) = k_1 \cdot (h_1 - h_2) \cdot \frac{a_1}{b_1}$$

$$q_2 = -k_2 \cdot i_2 \cdot A_2 = -k_2 \cdot \frac{h_3 - h_2}{b_2} \cdot (a_2 \cdot 1) = k_2 \cdot (h_2 - h_3) \cdot \frac{a_2}{b_2}$$

$$\frac{a_1}{b_1} = \frac{a_2}{b_2} = \frac{a_3}{b_3}$$

Per l'equazione di continuità la portata all'interno del tubo di flusso deve mantenersi costante quindi posso scrivere

$$q_1 = q_2 = q_3 = \dots$$

$$k_1 \cdot (h_1 - h_2) \cdot \frac{a_1}{b_1} = k_2 \cdot (h_2 - h_3) \cdot \frac{a_2}{b_2} = k_3 \cdot (h_3 - h_4) \cdot \frac{a_3}{b_3}$$

### 2-La portata di Filtrazione

La portata che transita in un tubo di flusso è:

$$q_i = k_{equ} \cdot \frac{DH}{ns} \cdot \frac{a}{b} = 0,000189 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{4,7}{11} = 0,0000081 \frac{m^3}{s}$$

La portata che filtra complessivamente (Q) si ottiene moltiplicando la portata che transita in un singolo tubo di flusso (qi) per il numero di tubi di flusso.

$$Q = q_i \cdot n_f = 0,00000081 \frac{m^3}{s} \cdot 4.8 = 0,0000038 \frac{m^3}{s} / m$$

## 3-La verifica al sollevamento del fondo scavo ed al sifonamento

Le opere geotecniche devono essere verificate nei confronti dei possibili stati limite di sollevamento o di sifonamento. A tal fine, nella valutazione delle pressioni interstiziali e delle quote piezometriche caratteristiche, si devono assumere le condizioni più sfavorevoli, considerando i possibili effetti delle condizioni stratigrafiche.

### **VERIFICA AL SOLLEVAMENTO DEL FONDO SCAVO (RIF. NTC2018)**

Per la verifica del sollevamento del fondo scavo deve risultare che il valore di «**progetto dell'azione instabilizzante**»  $V_{inst,d}$  overosia della risultante delle pressioni idrauliche ottenuta considerando separatamente la parte permanente ( $G_{inst,d}$ ) e quella variabile ( $Q_{inst,d}$ ), sia non maggiore della combinazione dei valori di progetto delle azioni stabilizzanti ( $G_{stb,d}$ ) e dei valori di progetto delle resistenze ( $R_d$ ):

$$V_{inst,d} \leq G_{stb,d} + R_d$$

$$V_{inst,d} = G_{inst,d} + Q_{inst,d}$$

Per le verifiche di stabilità al sollevamento, i relativi coefficienti parziali sulle azioni sono indicati nella **Tab. 6.2.III**. Al fine del calcolo della resistenza di progetto  $R_d$ , tali coefficienti devono essere combinati in modo opportuno con quelli relativi ai parametri geotecnici (M2).

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

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9
	Sfavorevole		1,1
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8
	Sfavorevole		1,5
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0
	Sfavorevole		1,5

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti G2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{ci}$

### 3-La verifica al sollevamento del fondo scavo ed al sifonamento

#### VERIFICA AL SOLLEVAMENTO DEL FONDO SCAVO

Il volume di terreno presente immediatamente a valle della paratia è interessato da forze di filtrazione che contrastano la forza di gravità, in queste condizioni le forze di filtrazione possono controbilanciare completamente il peso efficace, dando luogo al fenomeno del sifonamento.

- La «forza instabilizzante» di design si ricava considerando la pressione di filtrazione.

$$P_{fi} = i_E \gamma_w$$

$$F_{fi} = i_E \gamma_w V$$

Quindi  $V_{inst,d}$  risulta pari a :

$$V_{inst,d} = i_E \gamma_w V$$

$$V = D \times D/2 \times 1$$

- La «forza stabilizzante» è il contributo derivante dal peso sommerso del terreno relativo alla zona pericolosa.

$$W = \gamma' V$$

$$V_{inst,d} \leq G_{stab,d} \quad i_E \gamma_w (D \times D/2 \times 1) \gamma_{G1,sfav} \leq \gamma' (D \times D/2 \times 1) \gamma_{G1,fav}$$

Divido tutto per  $\gamma_w$  ma  $\gamma' / \gamma_w = i_c$  è il gradiente idraulico critico

$$i_E \gamma_{G1,sfav} \leq i_c \gamma_{G1,fav}$$

$$\text{Ricavo } i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{\gamma_{sat} - \gamma_w}{\gamma_w} = \frac{(19,35 - 10) \text{ kN/m}^3}{10 \text{ kN/m}^3} = 0,935$$



## 3-La verifica al sollevamento del fondo scavo ed al sifonamento

### VERIFICA AL SOLLEVAMENTO DEL FONDO SCAVO

Ricavo  $i_E = \frac{h_p}{D}$  scelgo il punto P a metà di  $D/2$

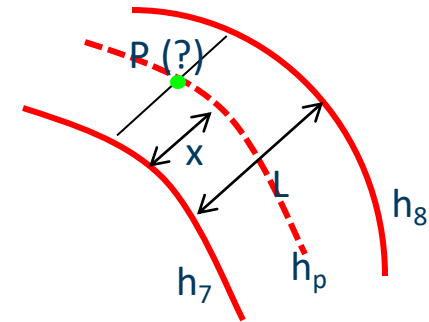
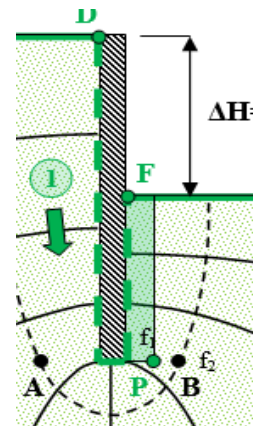
$$D' = D \sqrt{\frac{K_y}{K_x}} = 4,73 \sqrt{\frac{0,00006}{0,0006}} = 1,496 \text{ m}$$

$$\frac{D'}{2} = \frac{1,496}{2} = 0,748 \text{ m}$$

$$\frac{D'}{4} = \frac{1,496}{4} = 0,374 \text{ m} = X$$

Possiamo scrivere facendo una proporzione

$$h_p = h_7 + \frac{h_8 - h_7}{L} \times X = 1,711 + \frac{1,284 - 1,711}{0,6} \times 0,38 = 1,445$$



Dal reticolo leggo

$$L = 0,6 \text{ m}$$

$$h_7 = 1,711 \text{ m}$$

$$h_8 = 1,284 \text{ m}$$

$$i_E = \frac{\Delta H}{D} = \frac{h_{11} - h_p}{D} = \frac{1,445}{4,73} = 0,305$$

$$i_E \gamma_{G1, sfav} \leq i_c \gamma_{G1, fav} \quad 0,305 \times 1,1 \leq 0,935 \times 0,9$$

$$0,336 \leq 0,841$$

VERIFICATO

### 3-La verifica al sollevamento del fondo scavo ed al sifonamento

#### VERIFICA AL SIFONAMENTO RIF. NTC 2018

In condizioni di flusso prevalentemente verticale:

- nel caso di frontiera di efflusso libera, la verifica a sifonamento si esegue controllando che il gradiente idraulico  $i$  risulti non superiore al gradiente idraulico critico  $i_c$  diviso per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 3$ , se si assume come effetto delle azioni il gradiente idraulico medio, e per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 2$  nel caso in cui si consideri il gradiente idraulico di efflusso;
- in presenza di un carico imposto sulla frontiera di efflusso, la verifica si esegue controllando che la pressione interstiziale in eccesso rispetto alla condizione idrostatica risulti non superiore alla tensione verticale efficace calcolata in assenza di filtrazione, divisa per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 2$ .

In tutti gli altri casi il progettista deve valutare gli effetti delle forze di filtrazione e garantire adeguati livelli di sicurezza, da pre-fissare e giustificare esplicitamente.

$$1a) \frac{i_c}{i_m} > 3$$

$$i_m = \frac{\Delta H}{\Delta H + 2D}$$

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

$$2a) \frac{i_c}{i_E} > 2$$

$$i_E = \frac{\Delta H}{D}$$

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

## 3-La verifica al sollevamento del fondo scavo ed al sifonamento

### VERIFICA AL SIFONAMENTO

La verifica si fa sempre nella zona di Valle. Supponiamo di considerare un generico punto « P » di cui conosco

$$h_p = 1,445 \text{ m}$$

$$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{\gamma_{sat} - \gamma_w}{\gamma_w} = \frac{(19,35 - 10) \text{ kN/m}^3}{10 \text{ kN/m}^3} = 0,935$$

$$i_E = \frac{\Delta H}{D} = \frac{h_{11} - h_p}{D} = \frac{1,0}{4,73} = 0,305$$

$$2a) \frac{i_c}{i_E} > 2 \quad \frac{0,935}{0,305} > 2 \quad \text{VERIFICATO}$$

$$0,935 > 0,610$$

## 4-I valori delle pressioni interstiziali e delle tensioni efficaci nei punti A e B

È noto che nei moti di filtrazione il carico si esprime con il trinomio di Bernoulli, in cui si trascura tipicamente il termine cinetico in quanto le velocità di filtrazione sono molto piccole.

$$h = z + \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g}$$

$$u_f = \gamma_w (h - z) \quad \text{In presenza di filtrazione}$$

$$u_{Nf} = \gamma_w (z) \quad \text{In assenza di filtrazione}$$

**PUNTO A** si trova tra  $h_2$  e  $h_3$

$$\left\{ \begin{array}{l} z_A = -D = -4,73 \text{ m} \\ x_A' = x_A \sqrt{\frac{K_y}{K_x}} = 1,6 \text{ m} \sqrt{\frac{0,00006}{0,0006}} = 0,506 \text{ m} \\ h_A = h_2 + \frac{h_3 - h_2}{L} \times x_A' = 3,846 + \frac{2,992 - 3,846}{3} \times 0,506 = 3,702 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$u_A = \gamma_w (h_A - z_A) = 10,00 \cdot (3,702 + 4,730) = 84,32 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_A = \sigma_A - u_A = \gamma_{\text{sat}} z_A - u_A = 19,35 \cdot 9,430 - 84,32 = 98,15 \text{ kPa}$$

$$u_A = \gamma_w (\Delta H + D) = 10,00 \cdot (4,700 + 4,730) = 94,300 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_A = \sigma_A - u_A = \gamma_{\text{sat}} z_A - u_A = 19,35 \cdot 9,430 - 94,300 = 88,17 \text{ kPa}$$

In presenza di filtrazione

In assenza di filtrazione

## 4-I valori delle pressioni interstiziali e delle tensioni efficaci nei punti A e B

È noto che nei moti di filtrazione il carico si esprime con il trinomio di Bernoulli, in cui si trascura tipicamente il termine cinetico in quanto le velocità di filtrazione sono molto piccole.

$$h = z + \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g}$$

$$u_f = \gamma_w (h - z) \quad \text{In presenza di filtrazione}$$

$$u_{Nf} = \gamma_w (z) \quad \text{In assenza di filtrazione}$$

**PUNTO B** si trova tra  $h_8$  e  $h_9$

$$\left\{ \begin{array}{l} z_B = -D = -4,73 \text{ m} \\ x_B' = x_B \sqrt{\frac{K_y}{K_x}} = 1,4 \text{ m} \sqrt{\frac{0,00006}{0,0006}} = 0,442 \text{ m} \\ h_B = h_9 + \frac{h_{10} - h_9}{L} \times x_B' = 1,284 + \frac{0,857 - 1,284}{1,8} \times 0,316 = 1,035 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$u_B = \gamma_w (h_B - z_B) = 10,00 \cdot (1,035 + 4,730) = 57,65 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_B = \sigma_B - u_B = \gamma_{sat} z_B - u_B = 19,35 \cdot 4,73 - 57,65 = 33,87 \text{ kPa}$$

$$u_B = \gamma_w D = 10,00 \cdot 4,73 = 47,3 \text{ kPa}$$





$$\sigma'_B = \sigma_B - u_B = \gamma_{sat} z_B - u_B = 19,35 \cdot 4,73 - 47,33 = 44,19 \text{ kPa}$$

In presenza di filtrazione

In assenza di filtrazione

### 4-I valori delle pressioni interstiziali e delle tensioni efficaci nei punti A e B

Come è possibile osservare nel punto A si riscontra un aumento delle tensioni efficaci rispetto al caso di assenza di filtrazione mentre nel punto B si può osservare una diminuzione questo rende il terreno a valle soggetto a fenomeni di sifonamento.

Punto	Filtrazione	Assenza di Filtrazione
$u_A$	82,32	94,30
$\sigma'_A$	98,15 	88,17 
$u_B$	47,33	47,33
$\sigma'_B$	33,87 	44,19 

Nel punto A il moto di filtrazione è diretto dall'alto verso il basso-----si assiste ad un incremento di  $\sigma'_A$  per effetto della filtrazione.

Nel punto B il moto di filtrazione è diretto dal basso verso il l'alto-----si assiste ad una riduzione di  $\sigma'_B$  per effetto della filtrazione.