Università degli Studi di Napoli Federico II

Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Tesi di Laurea Triennale in
Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Perdite di carico per erogazione distribuita su tre schemi idrici ideali

ANNO ACCADEMICO 2014/2015

Relatori:
Prof. Ing. Armando Carravetta
Prof Ing. Riccardo Martino

Candidate:
Marika Maggio N49/488
Alessia Paparo N49/490

INTRODUZIONE

Per il calcolo delle perdite di carico le fasi di analisi sono state le seguenti:

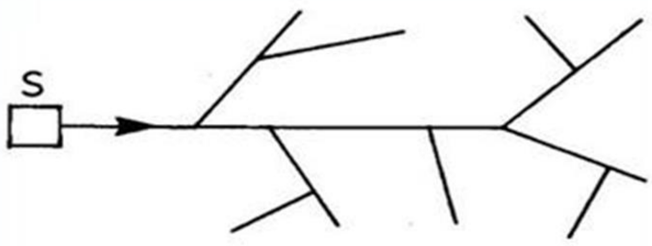
- Definizione della geometria delle reti.
- Suddivisione di quest'ultima in cinque settori.
- Scelta del tipo di materiale.
- Definizione delle condizioni di funzionamento e quelle iniziali.
- Calcolo delle perdite di carico.
- Tracciamento della piezometrica.
- Analisi dei risultati.

Le valutazioni, in ipotesi di moto uniforme, sono state effettuate a:

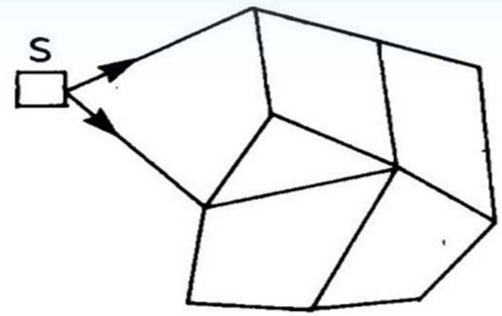
- Diametro costante e velocità variabile
- Diametro variabile e velocità costante

RETE DI DISTRIBUZIONE [1]

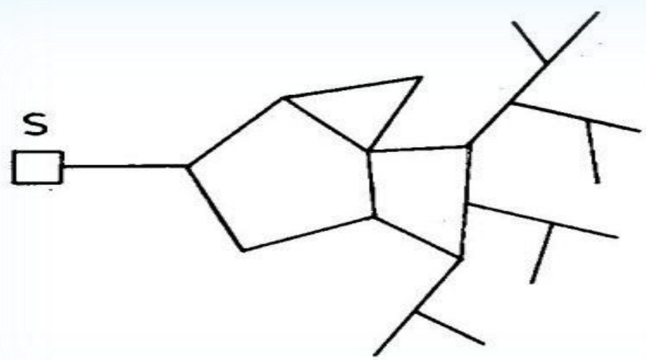
Una rete di distribuzione può essere:



Rete ramificata o di tipo aperto.



Rete a maglie multiple o di tipo chiuso.



Rete di tipo misto.

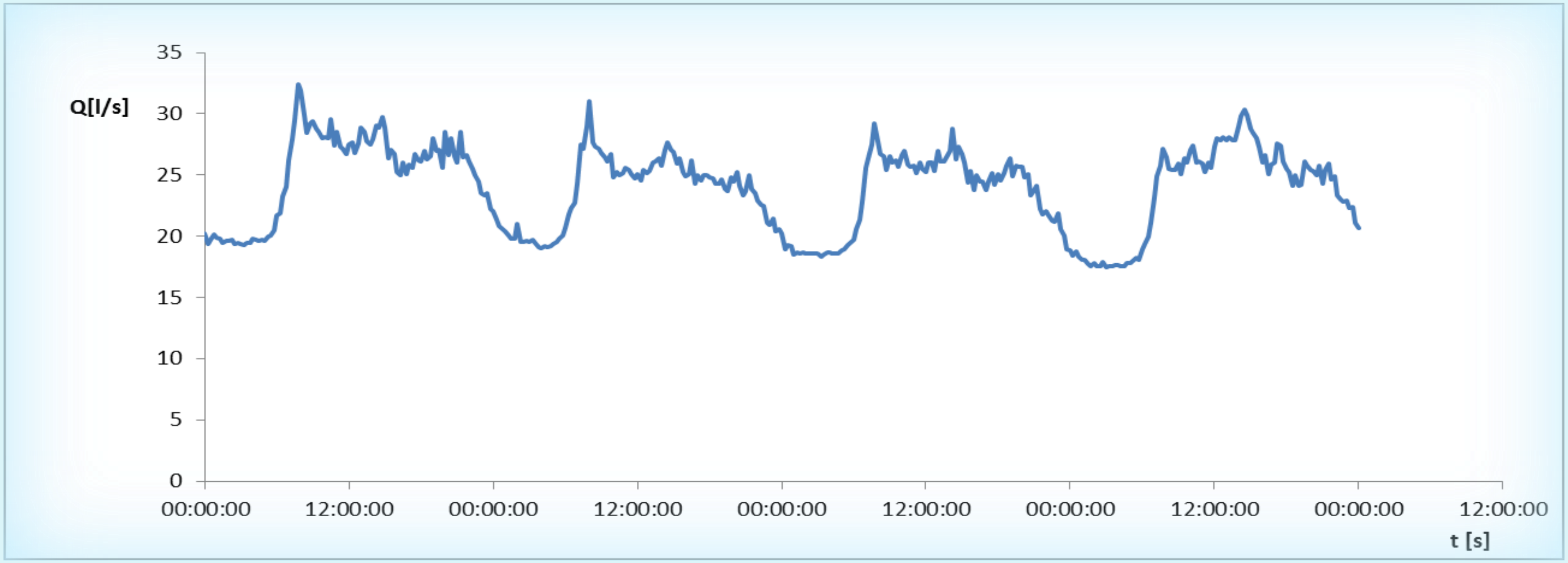
RETE DI DISTRIBUZIONE [2]

La portata media giornaliera si calcola tenendo conto dei seguenti parametri:

- **Densità abitativa** D [ab/km^2]
- **Dotazione idrica** d [l/ab*d]
- **Area** A [km^2]

$$Q_m = \frac{\mathbf{d \cdot D \cdot Area}}{\mathbf{86400}} \quad [l/s]$$

RETE DI DISTRIBUZIONE [3]



Il progetto della rete di distribuzione va eseguito considerando la portata massima giornaliera, relativamente alle ore di punta, in cui la richiesta in rete è massima.

Tale portata è definita PORTATA DI PUNTA e si calcola a partire dalla portata media giornaliera, incrementandola di un coefficiente di punta cp.

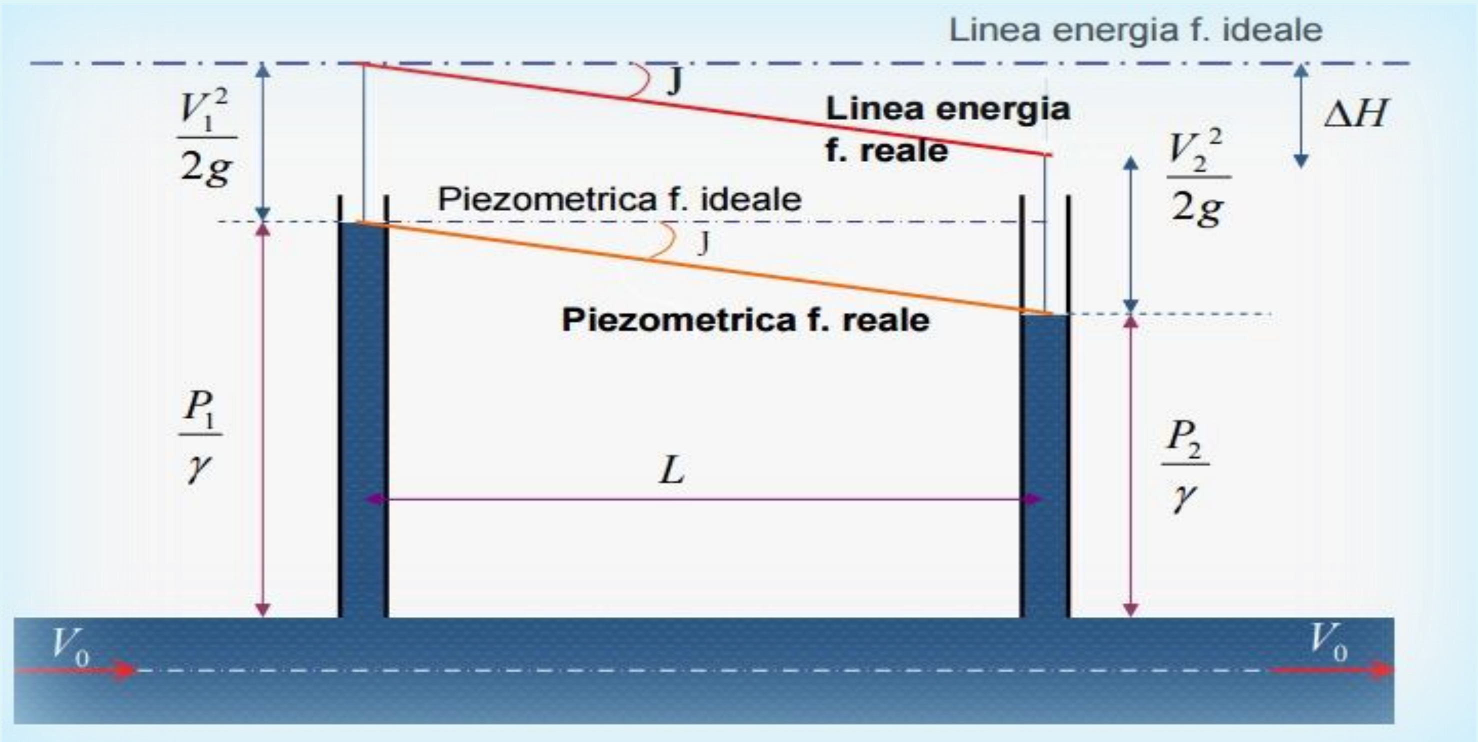
Una possibile relazione del cp è la seguente:

$$cp=\frac{20}{N_{ab}^{0,20}}$$

PERDITE DI CARICO IN RETE [1]

L'estensione del teorema di Bernoulli ad una corrente di un fluido reale, in moto uniforme, può essere scritta nella seguente forma:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha\frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha\frac{V_2^2}{2g} + \Delta H$$



ΔH= **PERDITA DI CARICO**.

PERDITE DI CARICO IN RETE [2]

Le perdite di carico si suddividono in:

- Perdite di carico distribuite
- Perdite di carico localizzate

Le perdite continue le possiamo calcolare con la relazione che segue:

$$\Delta\mathbf{H} = \int_{0}^{L} J\,ds$$

J: perdite di carico per unità di lunghezza della tubazione e prende il nome di: **CADENTE PIEZOMETRICA**.

J = F(V, D, ε, ν)

In funzione della scabrezza relativa e del numero di Reynolds mediante un apposito diagramma, denominato di Moody, si determina l’indice di resistenza λ.

λ = f (Re, ε/D)

PERDITE DI CARICO IN RETE [3]

Il valore del numero di Reynolds si calcola tramite la seguente formula:

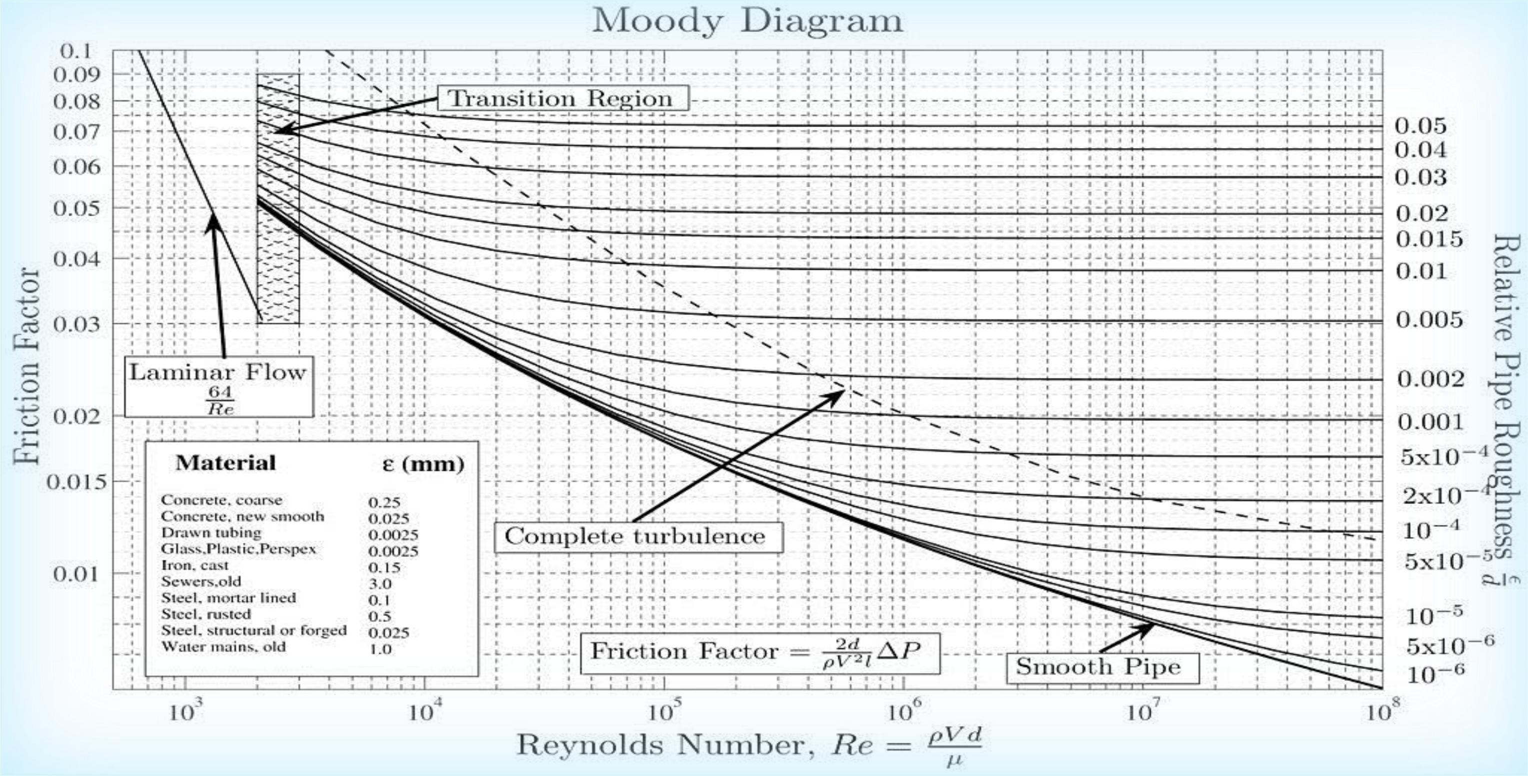
$$Re=\frac{\rho V D}{\mu}$$

ρ: densità dell'acqua=1000 kg/m^3
V: velocità media di portata [m/s]
D: diametro della tubazione [m]
μ: viscosità dinamica=10^{-3} N·s/m^2 a 20°C

Determinando tale valore è possibile determinare la tipologia di flusso:

- **Regime laminare** Re ≤ 2000
- **Regime di transizione** 2000≤Re≤4000
- **Regime turbolento** Re≥4000

PERDITE DI CARICO IN RETE [4]



Le coppie di punti (Re, λ) vengono riportate su un piano bilogaritmico.

In regime laminare : $\boldsymbol{\lambda = \frac{64}{Re}}$

λ è definito mediante la formula di Darcy-Weisbach:

$$\mathbf{J = \lambda \frac{V^2}{2gD}}$$

PERDITE DI CARICO IN RETE [5]

E’ possibile sfruttare alcune formule semplificate tra le quali:

- **FORMULA MONOMIA**
- **FORMULA DI COLEBROOK-WHITE**
- **FORMULA DI CHÉZY**
- **FORMULA DI GAUCKLER-STRICKLER**
- **FORMULA DI SCIMEMI-VERONESE**

- **FORMULA DI DARCY**, valida per tubazioni in ghisa, ed utilizzata nei nostri calcoli:

$$J=\beta\frac{Q^2}{D^5}$$

Con β: coefficiente di scabrezza del materiale della condotta pari a:

$$\beta=0{,}00164+\frac{0{,}000042}{D}$$

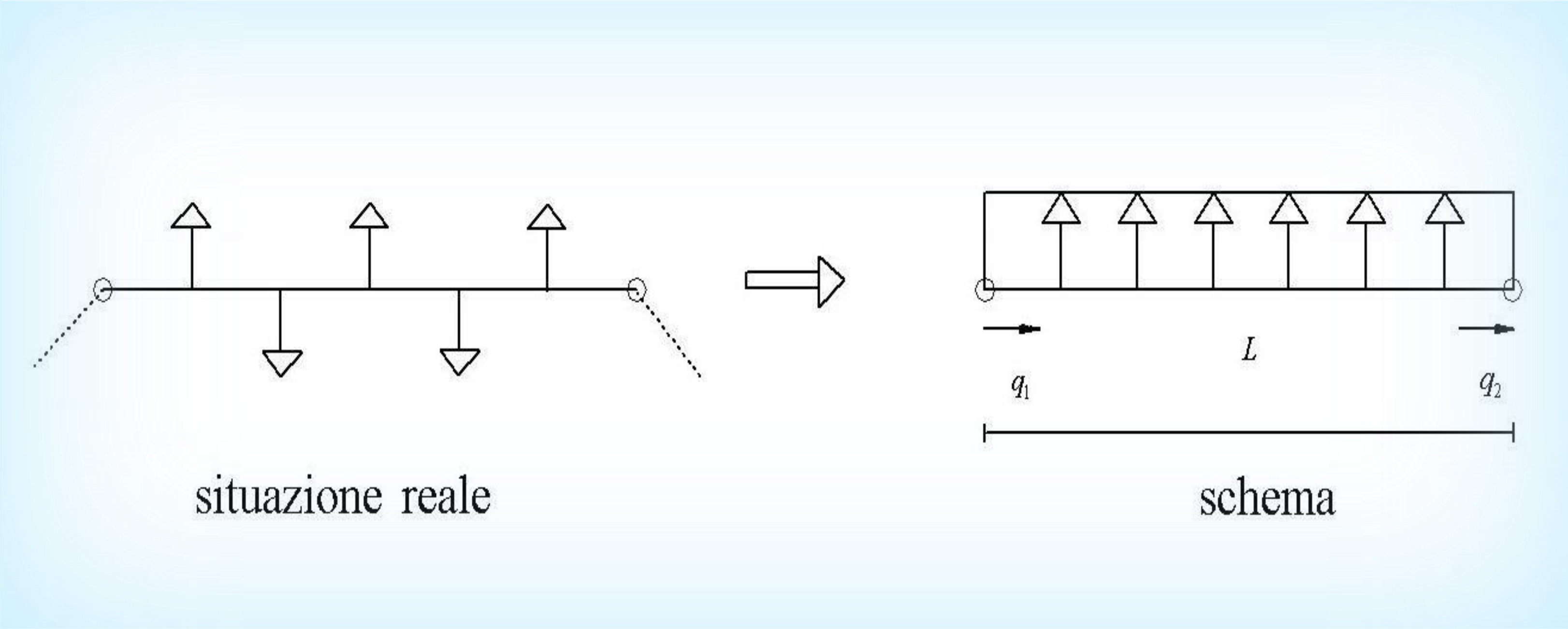
EROGAZIONE DISTRIBUITA [1]

Quando la condotta è caratterizzata da N punti di prelievo, in corrispondenza di ciascuno di essi è presente un'erogazione concentrata q_d pari alla portata distribuita per unità di percorso.

Pertanto la portata complessivamente distribuita risulterà pari a:

$$\mathbf{Q_d = \sum_N q_d}$$

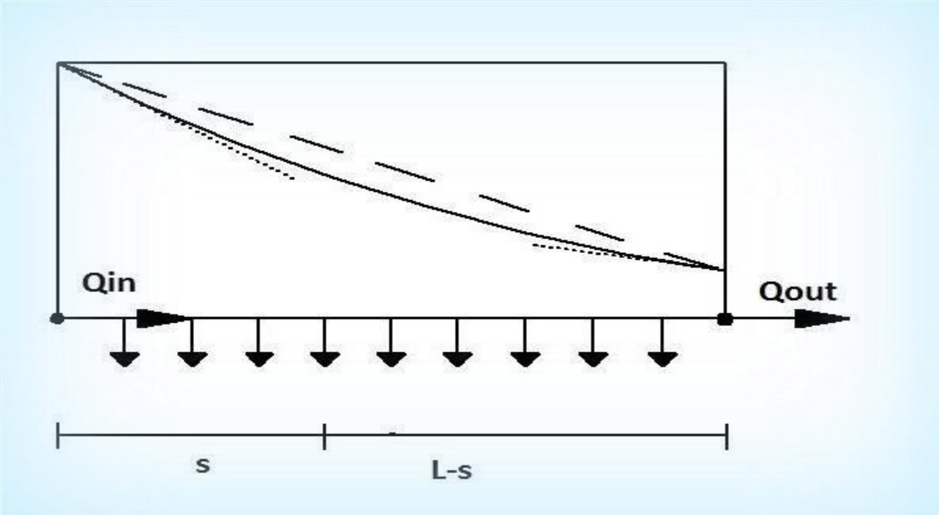
Schematizziamo le N erogazioni concentrate come un'erogazione continua.



EROGAZIONE DISTRIBUITA [2]

Applicando l'equazione di bilancio di massa ai tratti di lunghezza s ed (L-s) si ottiene:

$$\mathbf{Q(s)=Q_{in}-qs=Q_{out}+q(L-s)}$$

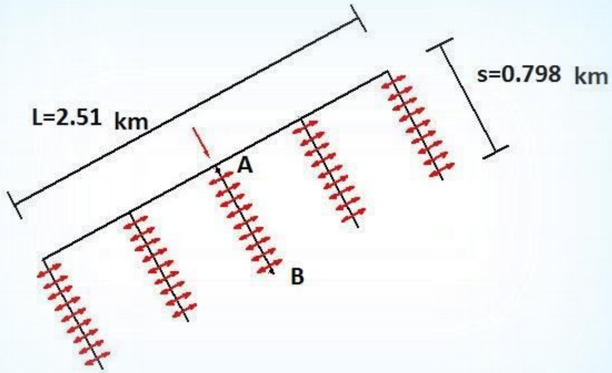


La perdita di carico totale nell'intera tubazione nell'ipotesi di moto uniforme a tratti e di moto assolutamente turbolento è pari a:

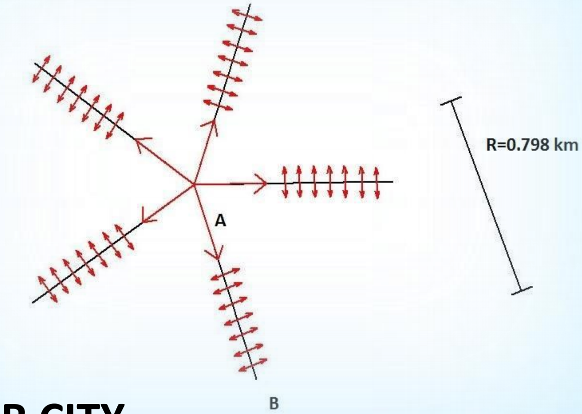
$$\Delta\mathrm{H}=\frac{c}{D^5}\left(Q_{out}{}^2+qLQ_{out}+\frac{q^2}{3}L^2\right)L \approx \frac{\boldsymbol{c}}{\boldsymbol{D^5}}\left(\boldsymbol{Q_{out}}+\frac{\boldsymbol{qL}}{\sqrt{\mathbf{3}}}\right)^{\mathbf{2}}\boldsymbol{L}$$

La portata tra parentesi è denominata **Portata equivalente.**

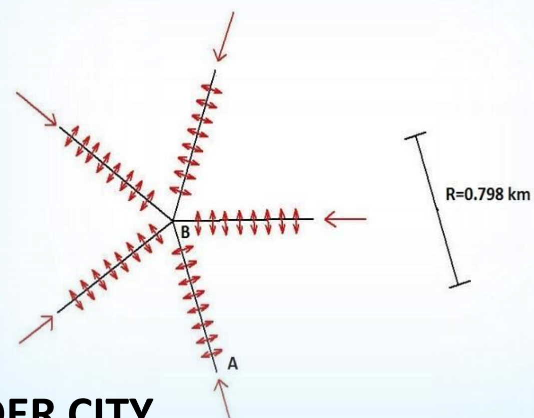
ELABORAZIONI [1]



FLAP CITY



CEDAR CITY

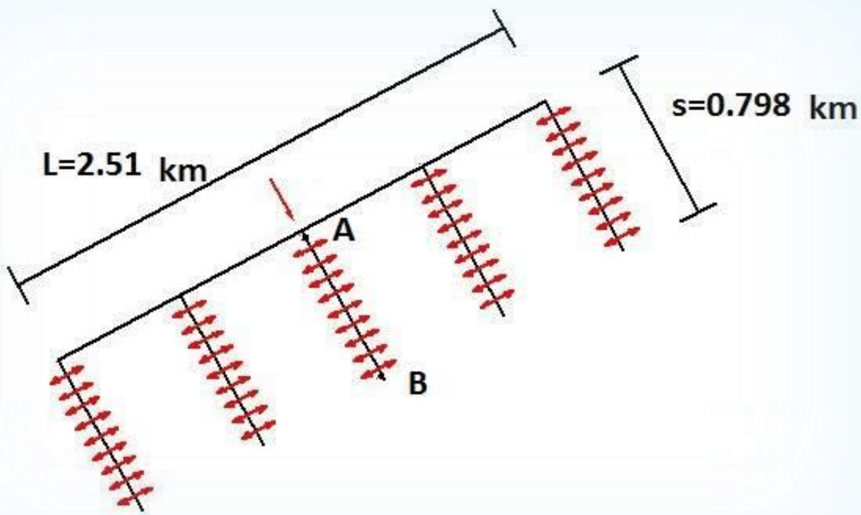


SPIDER CITY

ELABORAZIONI [2]

- Densità abitativa= 5000 ab/km^2
- Dotazione idrica pro capite= 250 l/ab*d
- cp= 1,2
- Qpunta= 34,7 l/s
- N (settori) = 5

FLAP CITY [1]



Le condizioni sono le seguenti:

- La portata entrante dal nodo A (s_A =0 m) è: Q_A = 6,94 l/s
- La portata uscente dal nodo B (s_B =798 m) è: Q_B = 0 l/s
- La portata distribuita per unità di percorso $q = 8,7 * 10^{-3}$ l/(m*s)
- Diametro= 0,10 m
- V=V(s)

FLAP CITY [2]

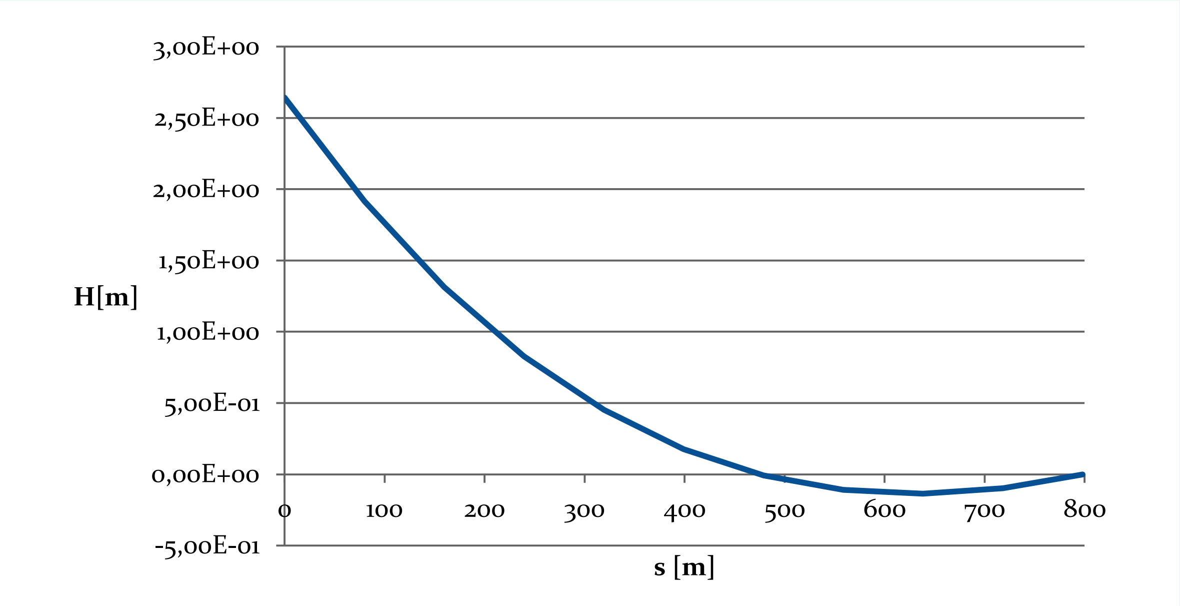
La perdita di carico totale è stata calcolata con la formula della portata equivalente:

$$\Delta H = \frac{\beta}{D^5} Q_{eq}^2 s$$

La cadente piezometrica è data dalla seguente formula:

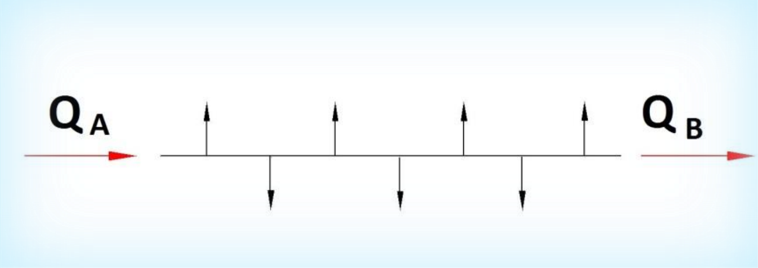
$$J = \beta \frac{Qeq^2}{D^5}$$

La piezometrica è un arco di parabola cubica il cui andamento è il seguente:



FLAP CITY [3]

Abbiamo successivamente valutato le perdite di carico considerando una Q(s) reale ≠ da Q equivalente.



L'espressione della Q(s) è la seguente:

$$Q(s)=Q_A-qs$$

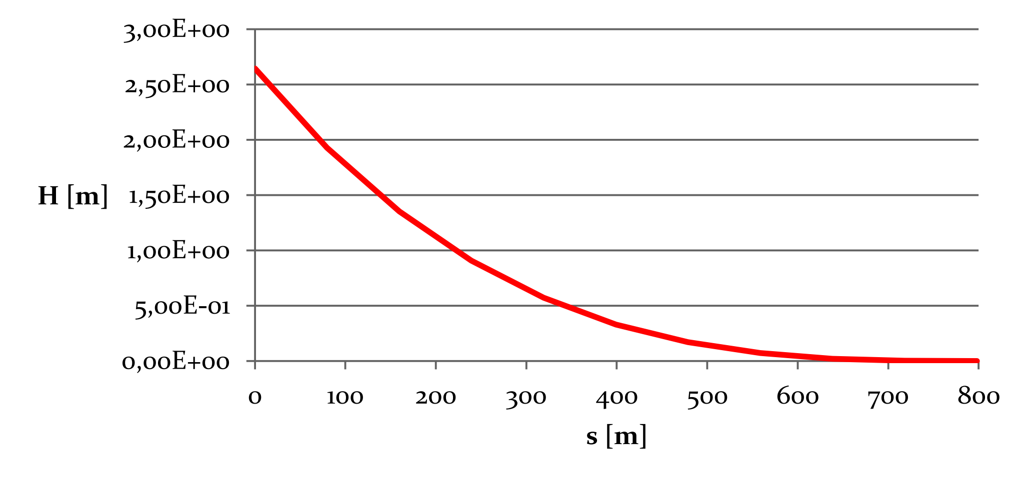
Pertanto le perdite di carico sono date da:

$$\Delta H=\int_0^L J(s)\,ds=\int_0^L \beta\frac{Q^2(s)}{D^5}ds=\frac{\beta}{D^5}\left[Q_A^2 s+\frac{q^2s^3}{3}-Q_A q s^2\right]_0^L$$

La cadente piezometrica risulta quindi pari a:

$$J=\beta\frac{Q(s)^2}{D^5}$$

La piezometrica risulta essere la seguente:



FLAP CITY [4]

Il calcolo delle perdite di carico è stato inoltre effettuato modificando alcune delle condizioni:

- Diametro variabile
- Velocità costante= 0,5 m/s

I valori dei diametri sono stati calcolati a partire dalla seguente formula:

$$V=\frac{Q}{A}=\frac{4Q}{\pi D^2} \rightarrow \mathbf{D}=\sqrt{\frac{\boldsymbol{4Q}}{\boldsymbol{V\pi}}}$$

Detta $Q(s)=Q_A-qs$, le perdite di carico le possiamo calcolare nel seguente modo:

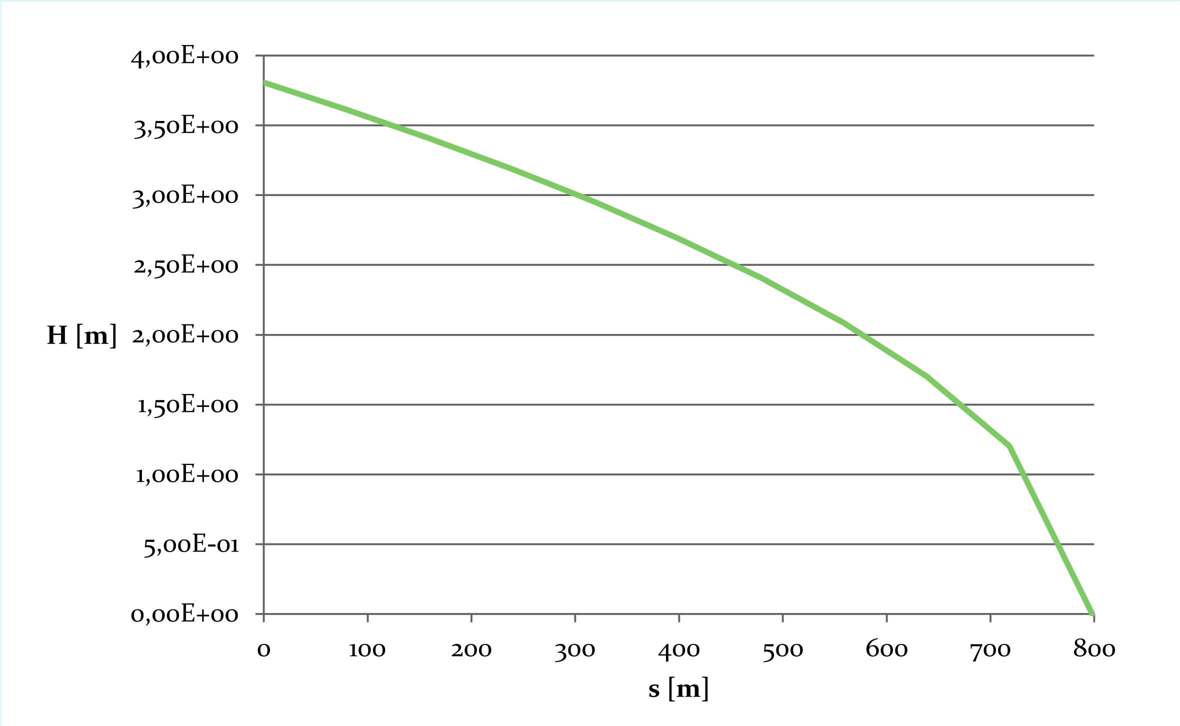
$$\mathbf{\Delta H}=\beta\int_0^L\left(\frac{(Q_A-qs)^2}{\left(\sqrt{\frac{4(Q_A-qs)}{\pi V}}\right)^5}\right)ds=-\frac{\mathbf{2}}{\boldsymbol{q}}\boldsymbol{\beta}\left(\frac{\mathbf{4}}{\boldsymbol{\pi V}}\right)^{-\frac{5}{2}}\left[(\boldsymbol{Q_A}-\mathbf{qs})^{\frac{1}{2}}\right]_{\mathbf{0}}^{\boldsymbol{L}}$$

Il valore della cadente piezometrica è:

$$\mathbf{J}=\beta\frac{Q(s)^2}{\sqrt{\frac{4Q(S)}{\pi V}}^5}=\boldsymbol{\beta}\left(\frac{\mathbf{4}}{\boldsymbol{\pi V}}\right)^{-\frac{5}{2}}\boldsymbol{Q(s)}^{-\frac{1}{2}}$$

FLAP CITY [5]

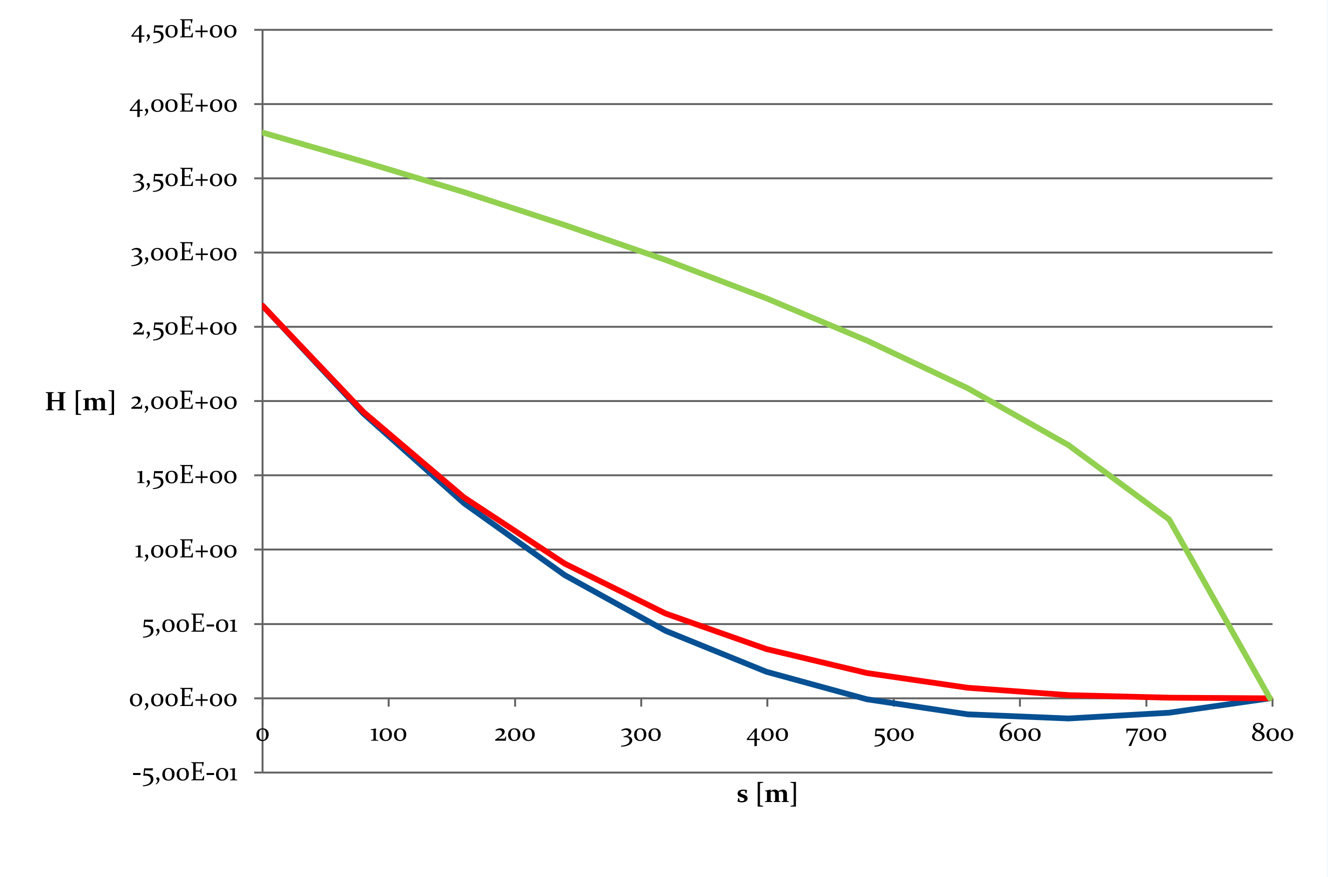
La piezometrica ottenuta è la seguente:



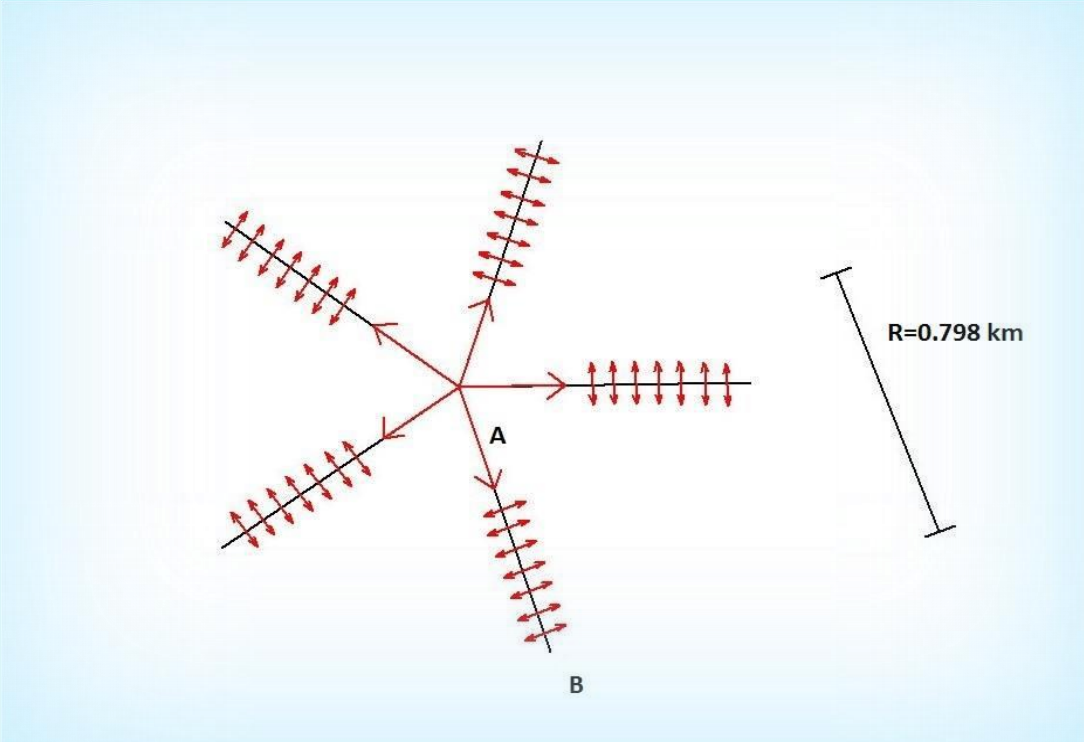
FLAP CITY [6]

Andiamo infine a sovrapporre le piezometriche relative ai 3 casi:

1. Diametro costante e velocità variabile con $Q=Q_{equivalente}$ (Piezometrica blu)
2. Diametro costante e velocità variabile con $Q(s)= Q_A-qs$ (Piezometrica rossa)
3. Diametro variabile e velocità costante (Piezometrica verde)



CEDAR CITY [1]



Le condizioni sono:

- La portata entrante dal nodo A(r_A=0 m) è: Q_A=6,94 l/s
- La portata uscente dal nodo B(r_B=798 m) è: Q_B=0 l/s
- La portata distribuita per unità di percorso $q = 8{,}7 * 10^{-3}$ l/(m*s)
- Diametro=0,10m
- V=V(s)

CEDAR CITY [2]

Detta: $\mathbf{Q(s)=Q_A- c_p \frac{d''\pi r^2}{N}}$

Il termine $c_p \frac{d''\pi r^2}{N}$ è pari alla portata distribuita lungo la generica sezione del settore.

Per cui risulta che:

$$\Delta\mathbf{H}=\beta \int_0^R \frac{\left(Q_A-c_p d''\pi r^2/N\right)^2}{D^5}dr=$$

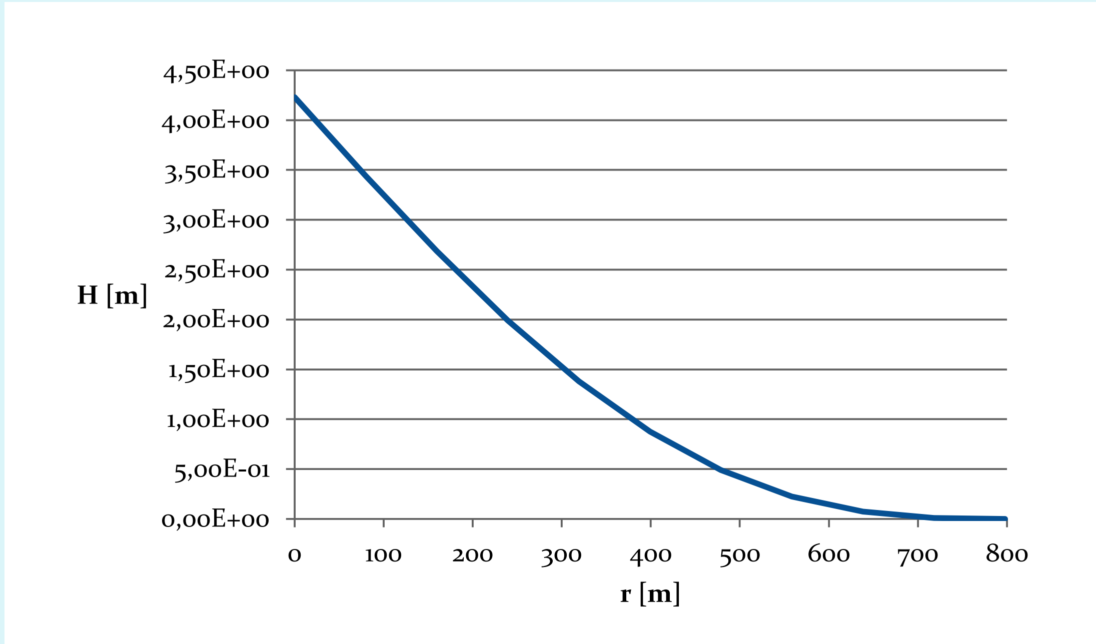
$$=\frac{\boldsymbol{\beta}}{\mathbf{D^5}}\left(\left[\mathbf{Q_A}^2\mathbf{r}\right]_0^R+\left[\left((\mathbf{c_p}\boldsymbol{\pi}\mathbf{d''})^2\mathbf{r}^5\right)/125\right]_0^R-\left[2\boldsymbol{\pi}\mathbf{c_p}\mathbf{Q_A}\mathbf{d''}\mathbf{r}^3/15\right]_0^R\right)$$

La cadente piezometrica è data dalla formula

$$\mathbf{J}=\beta\frac{Q(s)^2}{D^5} \quad = \quad \boldsymbol{\beta}\frac{(\mathbf{Q_A}-\mathbf{d''}\boldsymbol{\pi}\mathbf{r}^2/5)^2}{\mathbf{D^5}}$$

CEDAR CITY [3]

L’andamento della piezometrica è il seguente:



Il calcolo delle perdite di carico è stato inoltre effettuato modificando alcune delle condizioni:

- Diametro variabile
- Velocità costante= 0,5 m/s

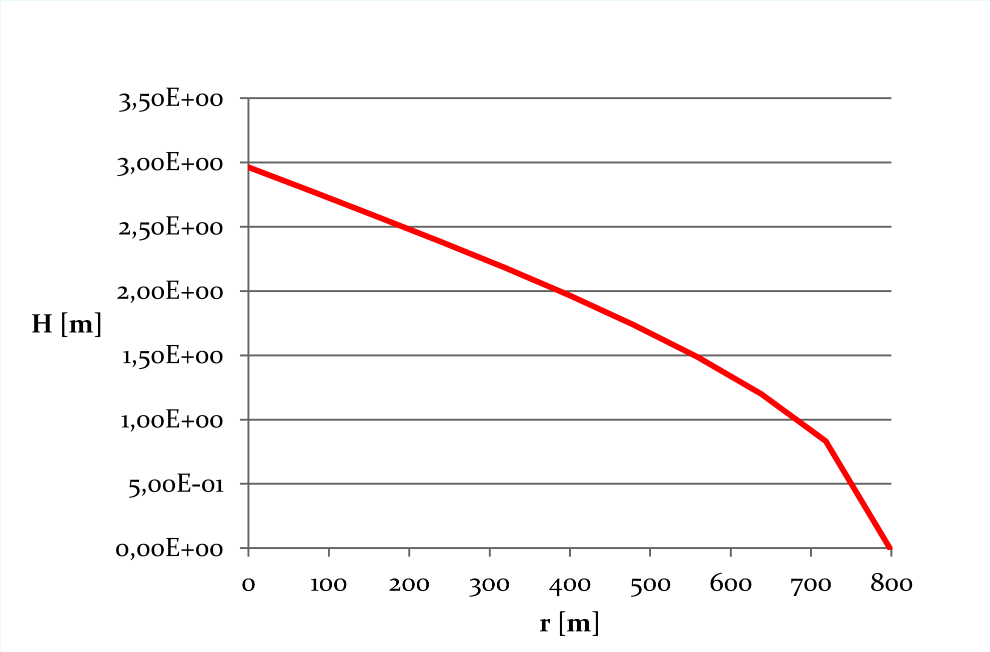
$$\Delta \mathrm{H}=\beta \int_0^L \frac{\left(Q_A-c_p d'' \pi r^2/5\right)^2}{\sqrt{\frac{4}{\pi V}\left(Q_A-\frac{c_p \pi d'' r^2}{5}\right)}^{5}}dr= \boldsymbol{\beta}\left(\frac{4}{\pi V}\right)^{-\frac{5}{2}}\frac{1}{\sqrt{B}}\left[\sin^{-1}\sqrt{\frac{B}{A}}\,r\right]_0^L$$

CEDAR CITY [4]

Il valore della cadente piezometrica è stato ricavato utilizzando la [5.9] e la [5.5] ottenendo quindi:

$$J = \beta \frac{(Q_A - c_p d'' \pi r^2/5)^2}{\sqrt{\frac{4(Q_A - \frac{c_p d'' \pi r^2}{5})}{\pi V}}^{5}} = \boldsymbol{\beta}\left(\frac{4}{\pi V}\right)^{-\frac{5}{2}}\left(Q_A - \frac{c_p d'' \pi r^2}{5}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

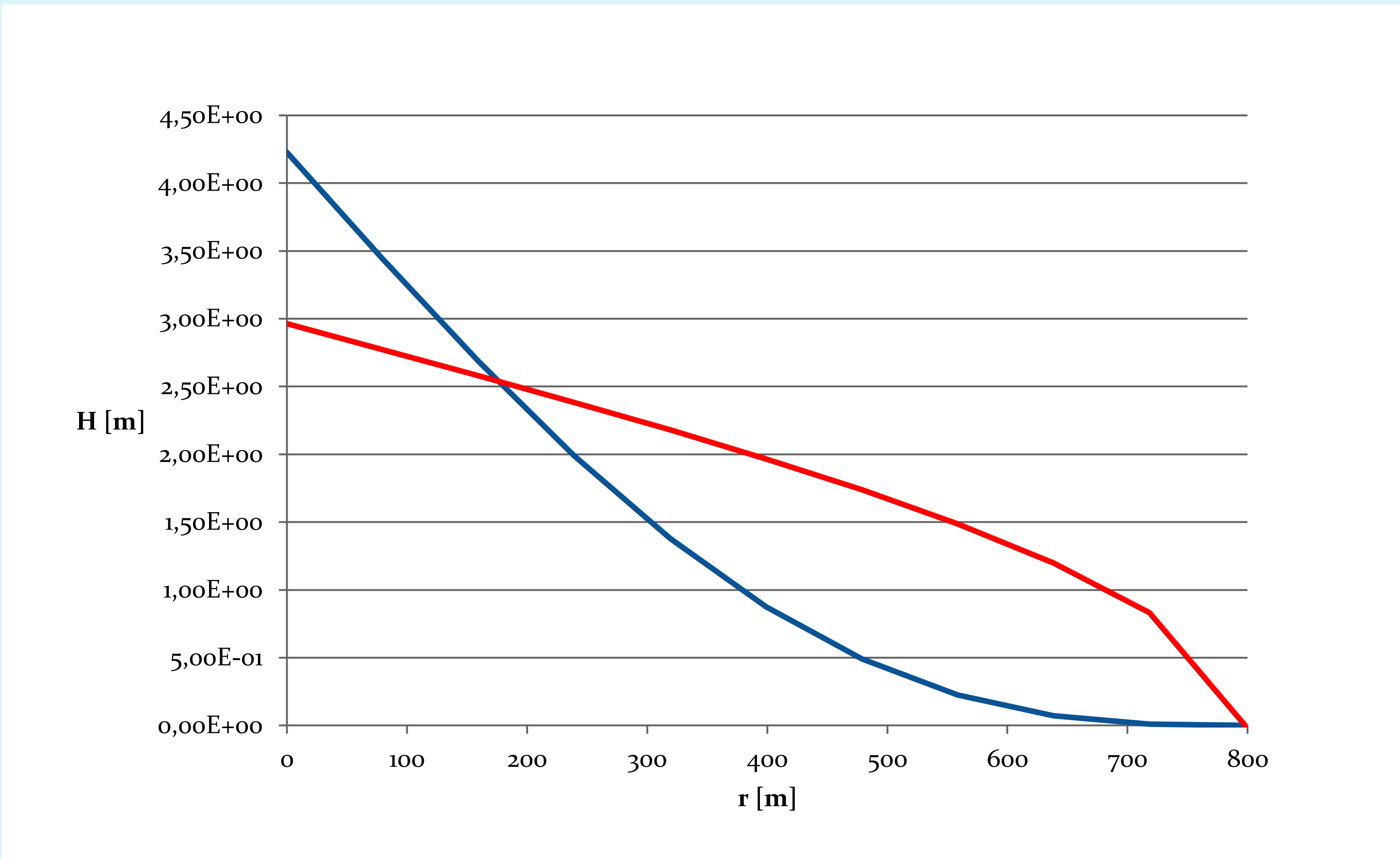
Si riporta l'andamento della piezometrica:



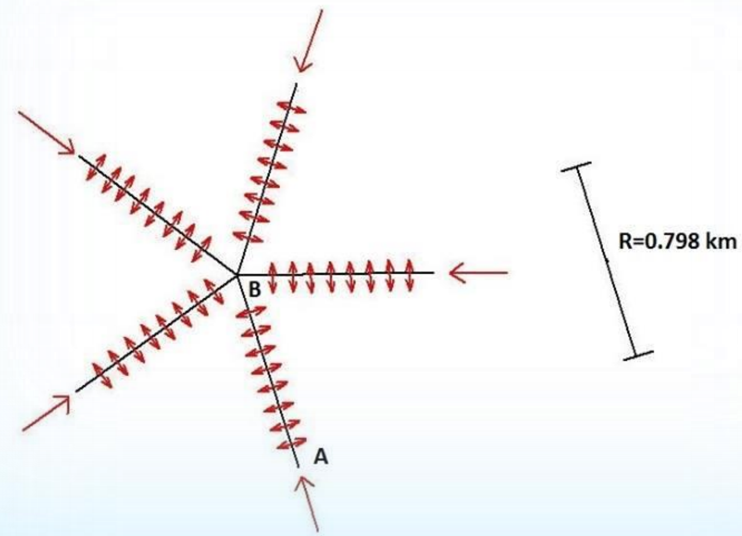
CEDAR CITY [5]

Andiamo infine a sovrapporre le piezometriche relative ai 2 casi:

1. Diametro costante e velocità variabile (Piezometrica blu)
2. Diametro variabile e velocità costante (Piezometrica rossa)



SPIDER CITY [1]



Le condizioni sono:

- La portata entrante dal nodo A (r_A=798 m)è: Q_A=6,94 l/s
- La portata entrante dal nodo B (r_B=0 m) è: Q_B=0 l/s
- La portata distribuita per unità di percorso $q = 8{,}7 * 10^{-3}$ l/(m*s)
- Diametro=0,10 m
- V=V(s)

SPIDER CITY [2]

Detta $\mathbf{Q(s)=c_p \frac{d''\pi r^2}{5}}$

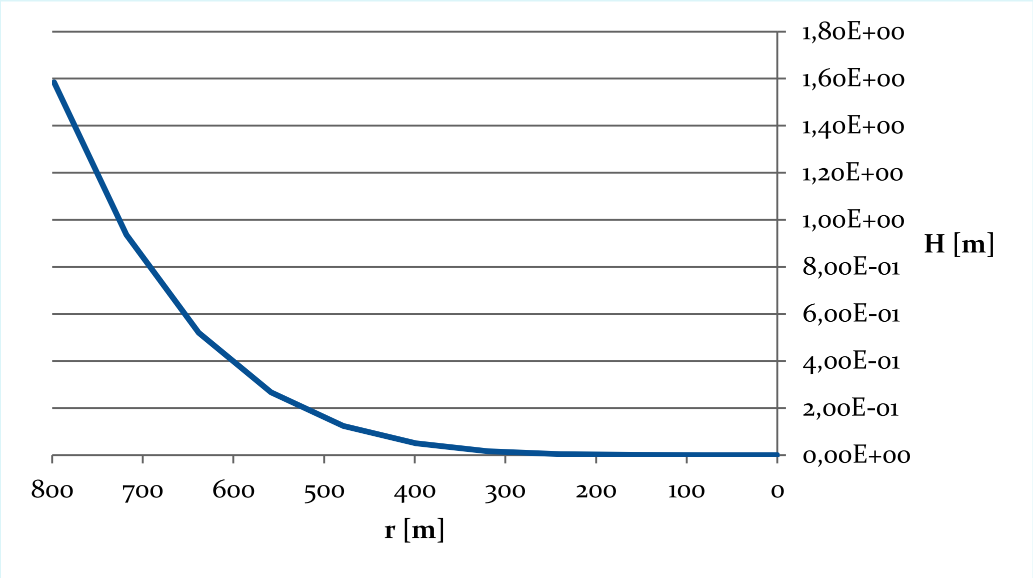
Le perdite di carico saranno pari a:

$$\Delta H = \frac{\beta}{D^5}\int_0^{ri}\left(\frac{c_p d''\pi r^2}{5}\right)^2 dr = \frac{\beta}{125D^5}(c_p d''\pi)^2\left[r^5\right]_0^{ri}$$

La cadente piezometrica è data dalla formula:

$$J = \beta\frac{(c_p d''\pi r^2/5)^2}{D^5}$$

L'andamento della piezometrica è il seguente:



SPIDER CITY [3]

Il calcolo delle perdite di carico è stato inoltre effettuato modificando alcune delle condizioni:

- Diametro variabile
- Velocità costante= 0,5 m/s

Le perdite di carico sono date dalla seguente formula:

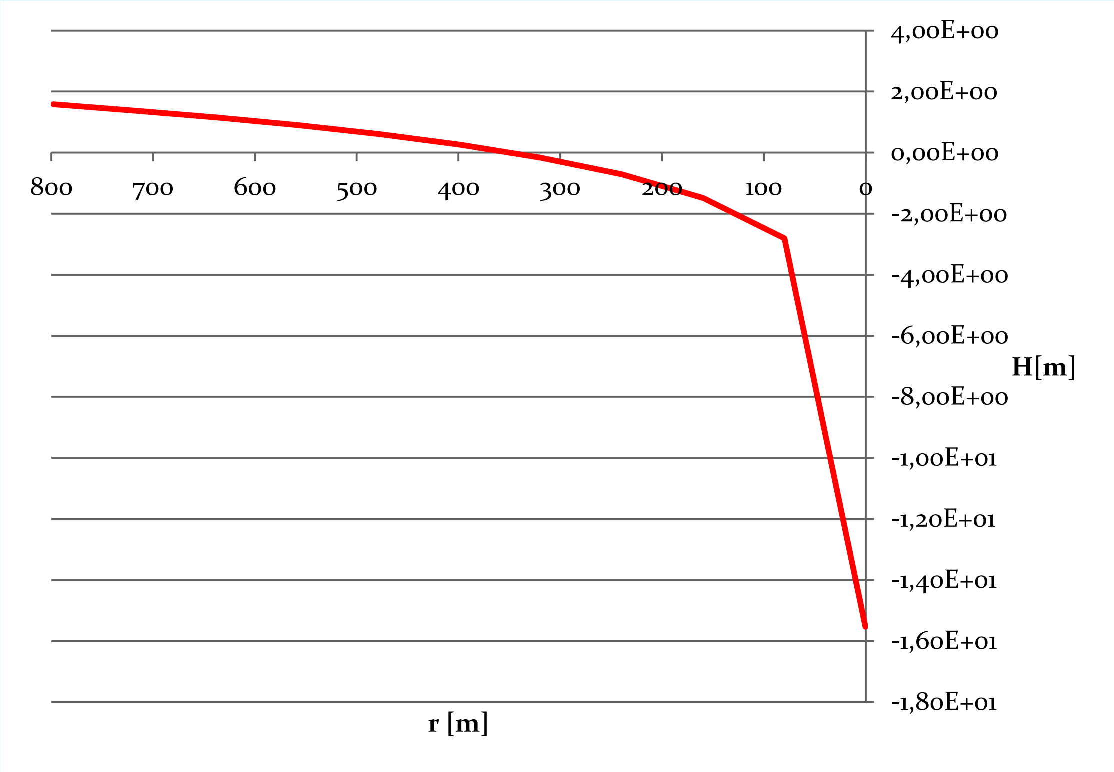
$$\Delta H = \beta \int_0^L \frac{\left(c_p \pi d'' r^2/5\right)^2}{\left(\sqrt{\frac{4 c_p \pi d'' r^2}{\pi V}}\right)^5} \, dr = \boldsymbol{\beta}\left(\frac{\mathbf{4}}{\boldsymbol{\pi V}}\right)^{-\frac{5}{2}} \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{\boldsymbol{A}}} \, [\ln(\mathbf{r})]_{\mathbf{0}}^{\boldsymbol{L}}$$

Il valore della cadente piezometrica è dato da:

$$\boldsymbol{J} = \beta \frac{(c_p d'' \pi r^2/5)^2}{\sqrt{\frac{4 c_p d'' \pi r^2/5}{\pi V}}^5} = \boldsymbol{\beta}\left(\frac{\mathbf{4}}{\boldsymbol{\pi V}}\right)^{-\frac{5}{2}} \left(\frac{\boldsymbol{c_p d'' \pi r^2}}{\mathbf{5}}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

SPIDER CITY [4]

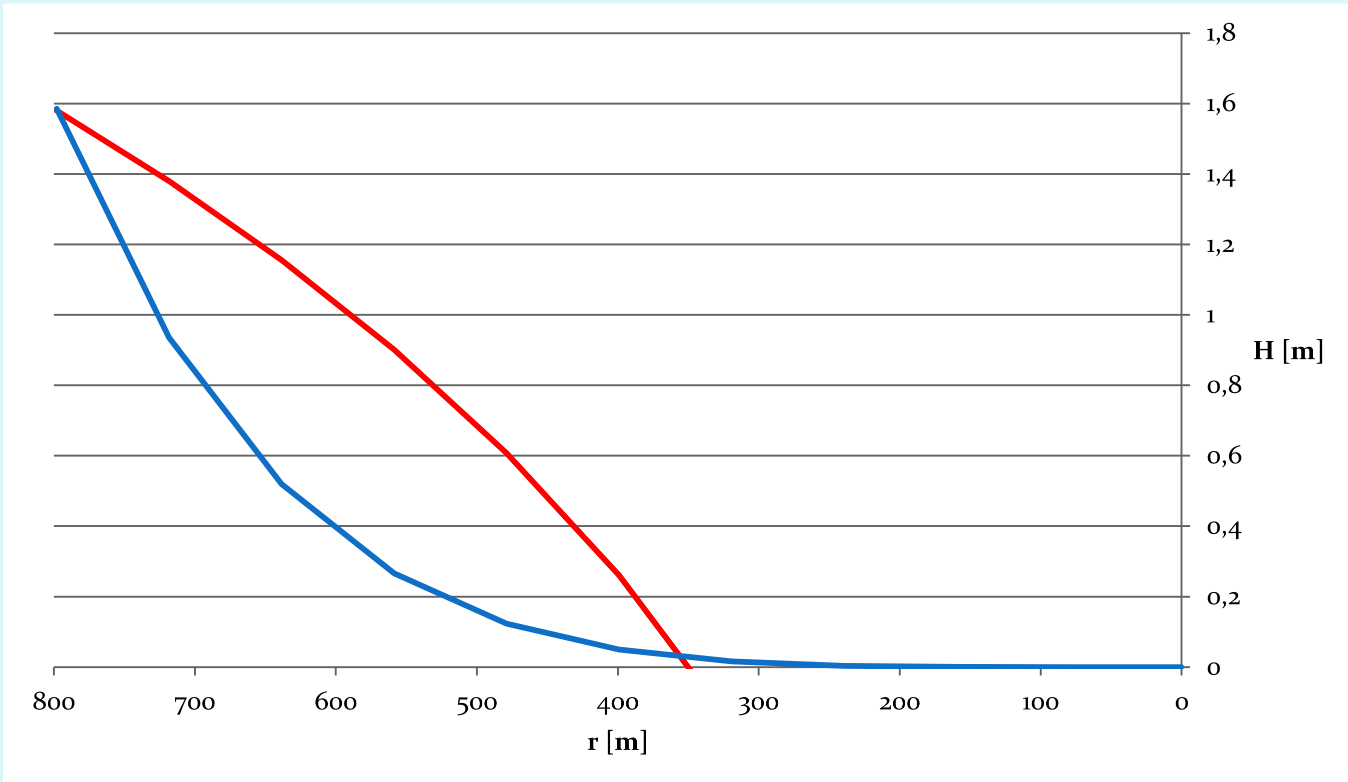
Si riporta l'andamento della piezometrica:



SPIDER CITY [5]

Andiamo infine a sovrapporre le piezometriche relative ai 2 casi:

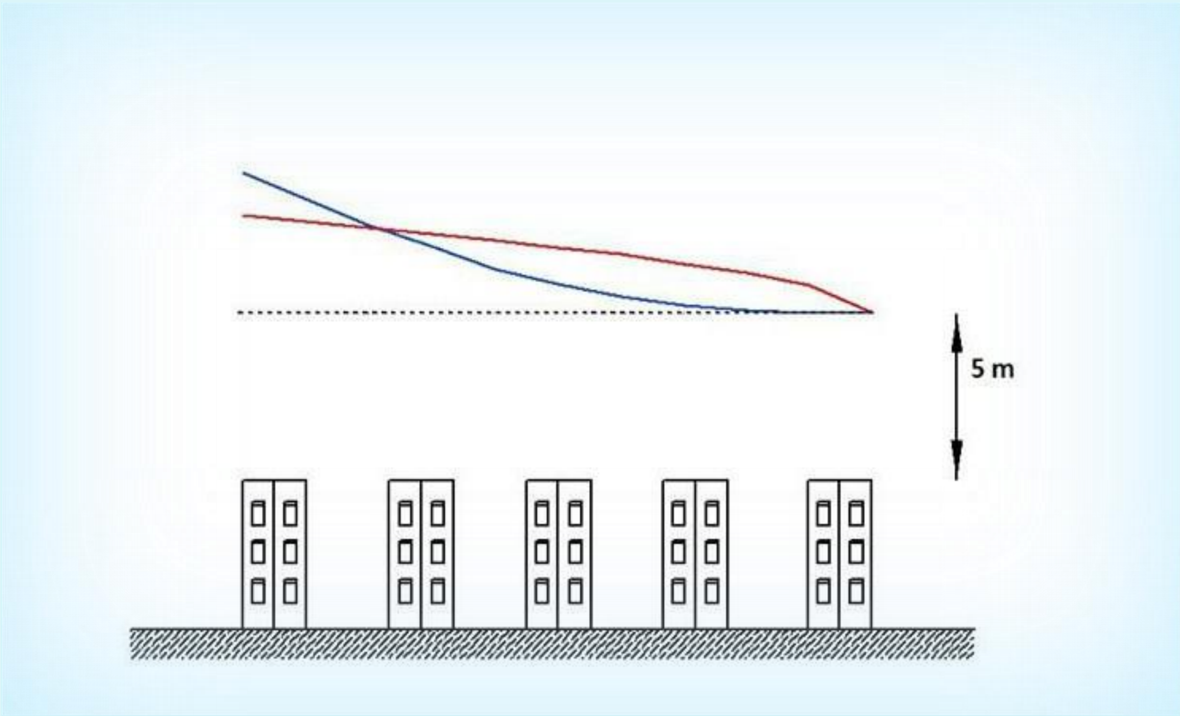
1. Diametro costante e velocità variabile (Piezometrica blu)
2. Diametro variabile e velocità costante (Piezometrica rossa)



CONCLUSIONI [1]

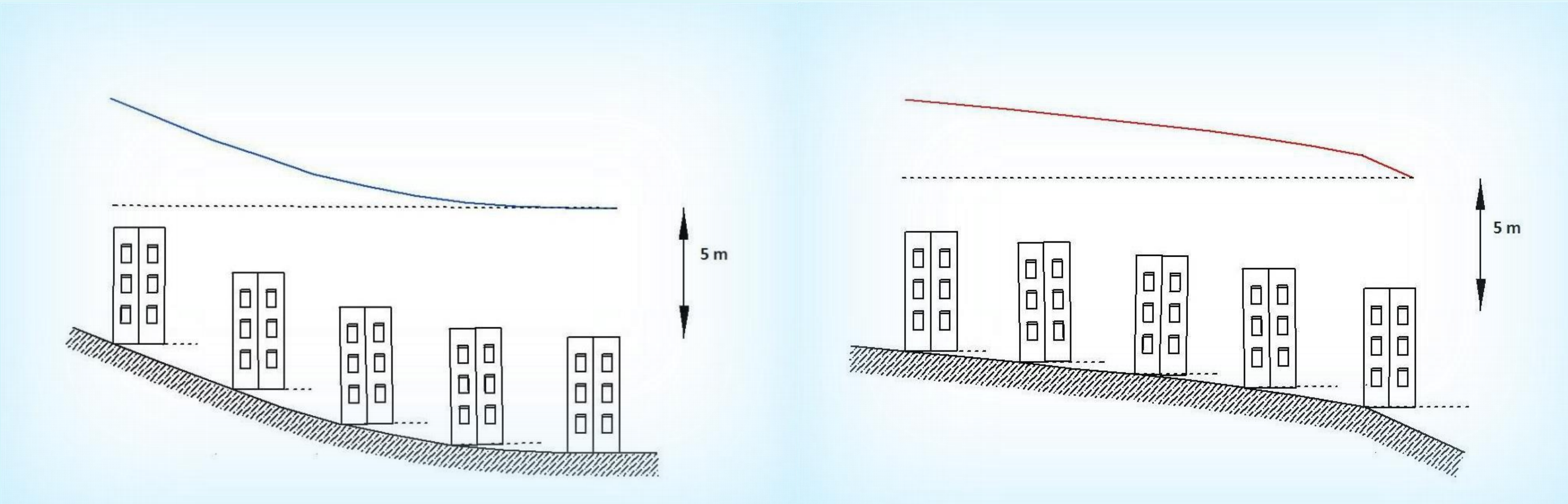
Centro abitato pianeggiante → ALTEZZA PIEZOMETRICA IN ESUBERO

Caso diametro costante → MINOR DISPENDIO ENERGETICO



CONCLUSIONI [2]

Andamento della piezometrica parallelo alla quota del centro abitato→ ALTEZZA PIEZOMETRICA MINIMA



GRAZIE PER L'ATTENZIONE!!