

POLITECNICO DI BARI



Dipartimento DICATECh – SEDE DI TARANTO

Corso di Laurea in Ingegneria Civile

Insegnamento di “Costruzioni Idrauliche”

A.A. 2013-2014

Lezione 04: Dimensionamento adduttore
Scarichi e sfiati
Scelta del tracciato

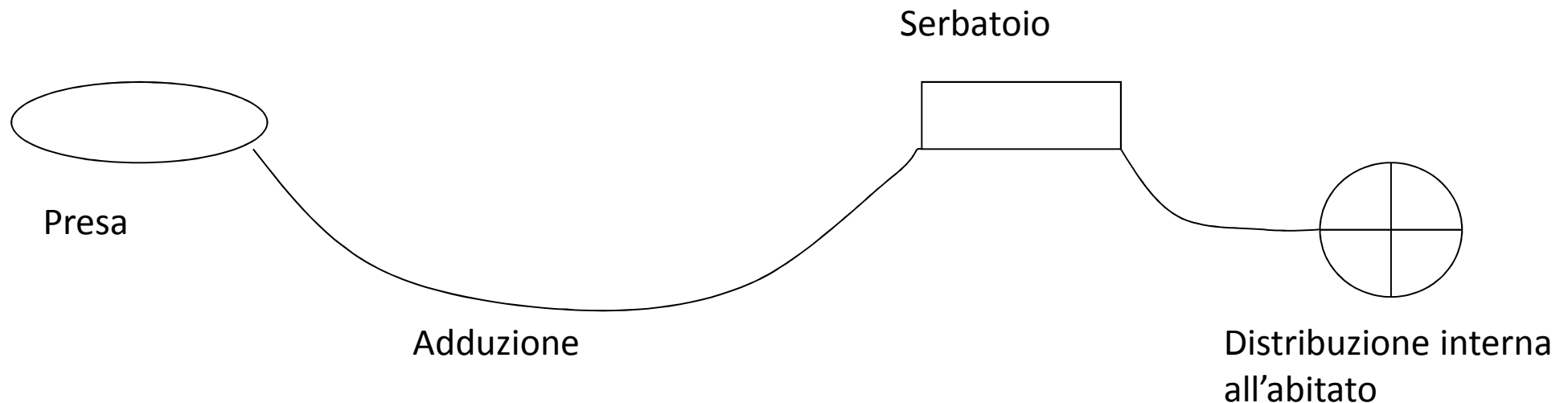
Docente: Ing. Stefania ARBOREA

CONTENUTI DELLA LEZIONE

- Dimensionamento adduttore
- Sfiati e scarichi
- Scelta tracciato

Definizione di un ADDUTTORE

L'adduttore è una parte fondamentale dello schema acquedottistico, che nella legislazione viene definito come **impianto di trasporto**:
si intende il complesso delle opere occorrenti per convogliare le acque dagli impianti di attingimento agli impianti di distribuzione.
(supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 48 del 21/02/77)



Dimensionamento di un ADDUTTORE

DIMENSIONAMENTO ADDUTTORE

$$Y = LJ + \sum P_C$$

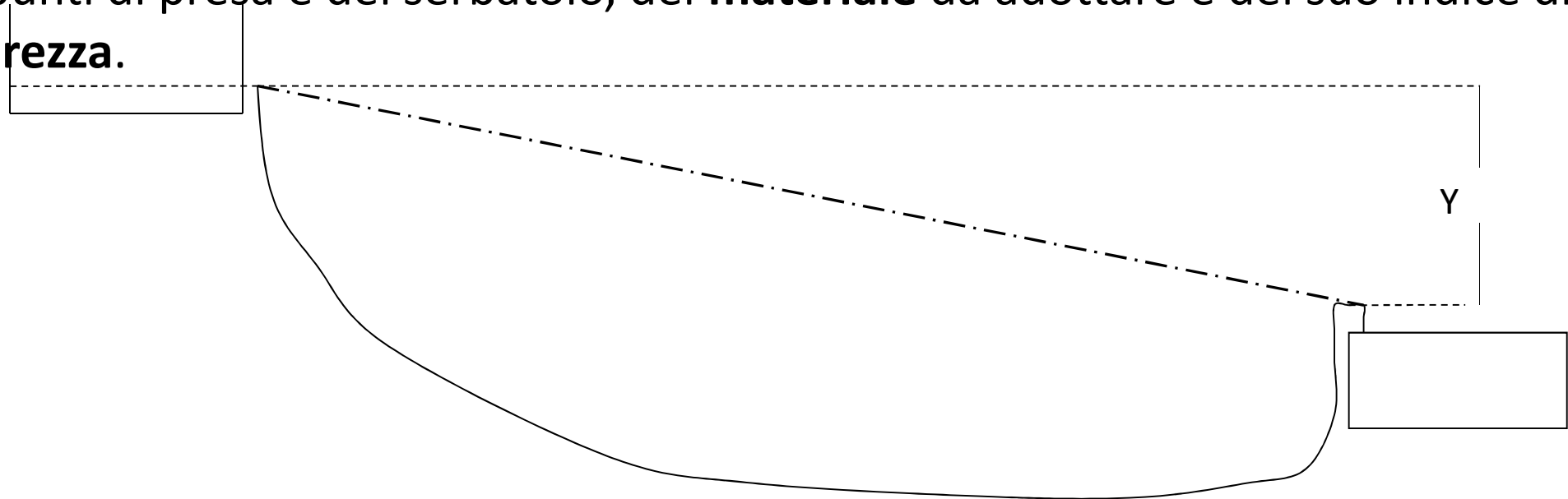


$$Y = LJ + \sum \cancel{P_C}$$

Trattandosi di lunghe condotte si trascurano le perdite localizzate

Dimensionamento di un ADDUTTORE

Il dimensionamento dell'adduttore si basa sulla conoscenza della **portata media del giorno di massimo consumo**, da convogliare al serbatoio, delle **quote piezometriche** dei punti di presa e del serbatoio, del **materiale** da adottare e del suo indice di **scabrezza**.



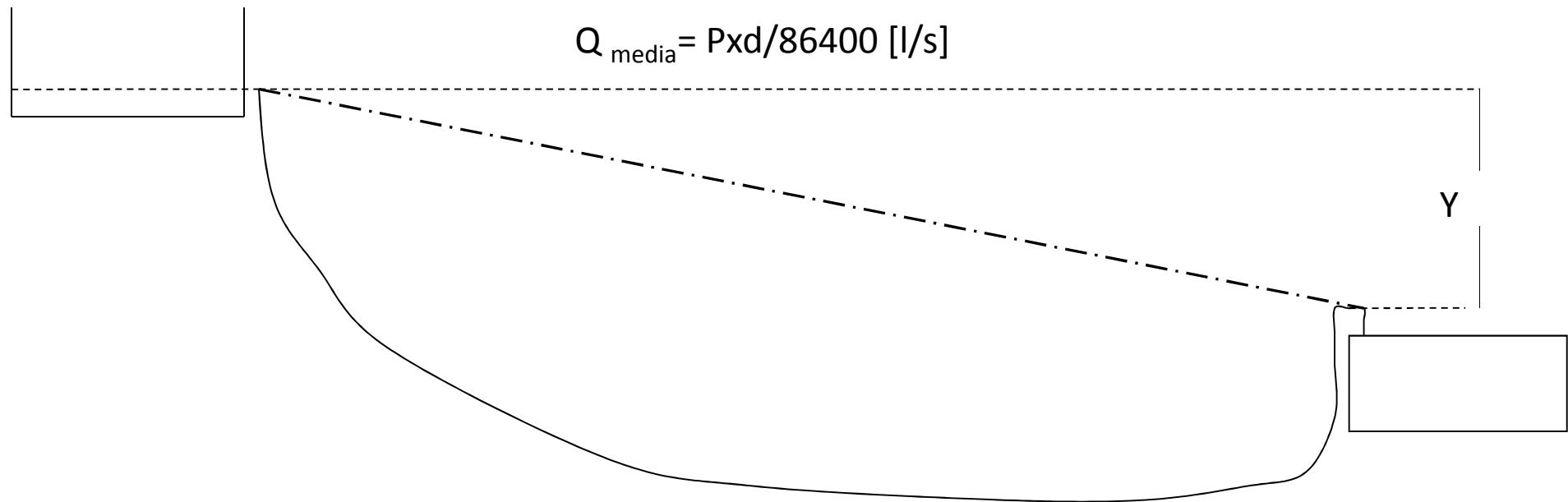
La portata di un acquedotto è esprimibile dalla semplice relazione

$$Q = \frac{P_n \cdot d_m}{86400} + \sum_i q_i \quad [l/s]$$

con

- P_n : popolazione al termine del periodo di sufficienza
- d_m : dotazione pro capite, espressa in $[l/(ab \text{ giorno})]$
- q_i : la portata richiesta per lo svolgimento di attività specifiche

Dimensionamento di un ADDUTTORE



La quota piezometrica di monte deve riferirsi alle **condizioni più critiche**, ovvero di scarsità della risorsa nel serbatoio di monte, la quota piezometrica a valle è quella del punto più alto della tubazione di arrivo al serbatoio.

Il carico disponibile è Y e la retta tratteggiata rappresenta la piezometrica teorica.

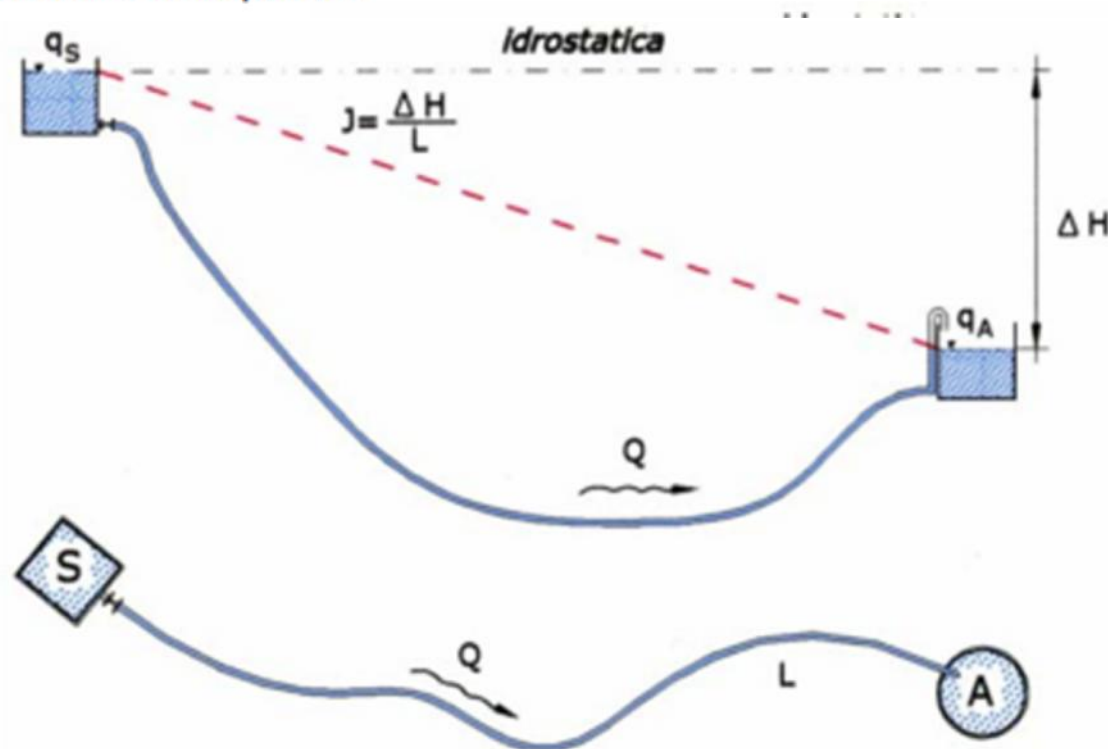
Dimensionamento di un ADDUTTORE

Il moto permanente entro condotte circolari è riconducibile al moto uniforme; la perdita di carico totale per unità di lunghezza $J = \Delta E/L$ è uguale alla perdita di carico piezometrico $J = \Delta H/L$ detta **pendenza motrice** ed è correlata alle grandezze caratteristiche del moto, della condotta e del fluido dalla formula di Darcy-Weisbach

$$J = \frac{\lambda V^2}{D 2g}$$

- V = velocità media
- D = diametro della tubazione

→ λ coefficiente di attrito o di resistenza, funzione del Numero di Reynolds $Re = \frac{VD}{\nu}$ e della scabrezza ϵ della parete.

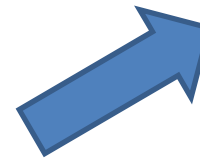


Dimensionamento di un ADDUTTORE

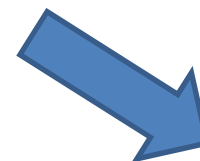
Per valori di $Re \leq 2000$ il moto è **laminare**; λ non dipende da ε ma è funzione solo della viscosità cinematica ν e dal Numero Re secondo l'espressione di Poiseuille :

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Per valori di $Re > 2500$ il moto è **turbolento** (oltre alla viscosità del fluido il moto è influenzato dalla scabrezza delle pareti)



Regime di parete liscia (se la scabrezza assoluta delle pareti è inferiore allo strato limite) \rightarrow il moto non è influenzato dalla scabrezza



Regime di parete scabra (se la scabrezza assoluta delle pareti è superiore allo strato limite) \rightarrow il moto non è influenzato dalla scabrezza

Zona di transizione in cui le caratteristiche della corrente dipende sia dalla viscosità che dalla scabrezza delle pareti

Dimensionamento di un ADDUTTORE

A seconda del regime di moto in cui ci troviamo cambiano le formule per il calcolo delle perdite di carico

REGIME DI PARETE LISCIA

λ è funzione solo di Re $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \left(\frac{Re \sqrt{\lambda}}{2,51} \right)$ espressione di Prandtl

REGIME DI TRANSIZIONE

il moto laminare è presente solo nello strato limite : λ dipende sia da ε che da Re ed il suo valore può essere ricavato dalla formula implicita di Colebrook

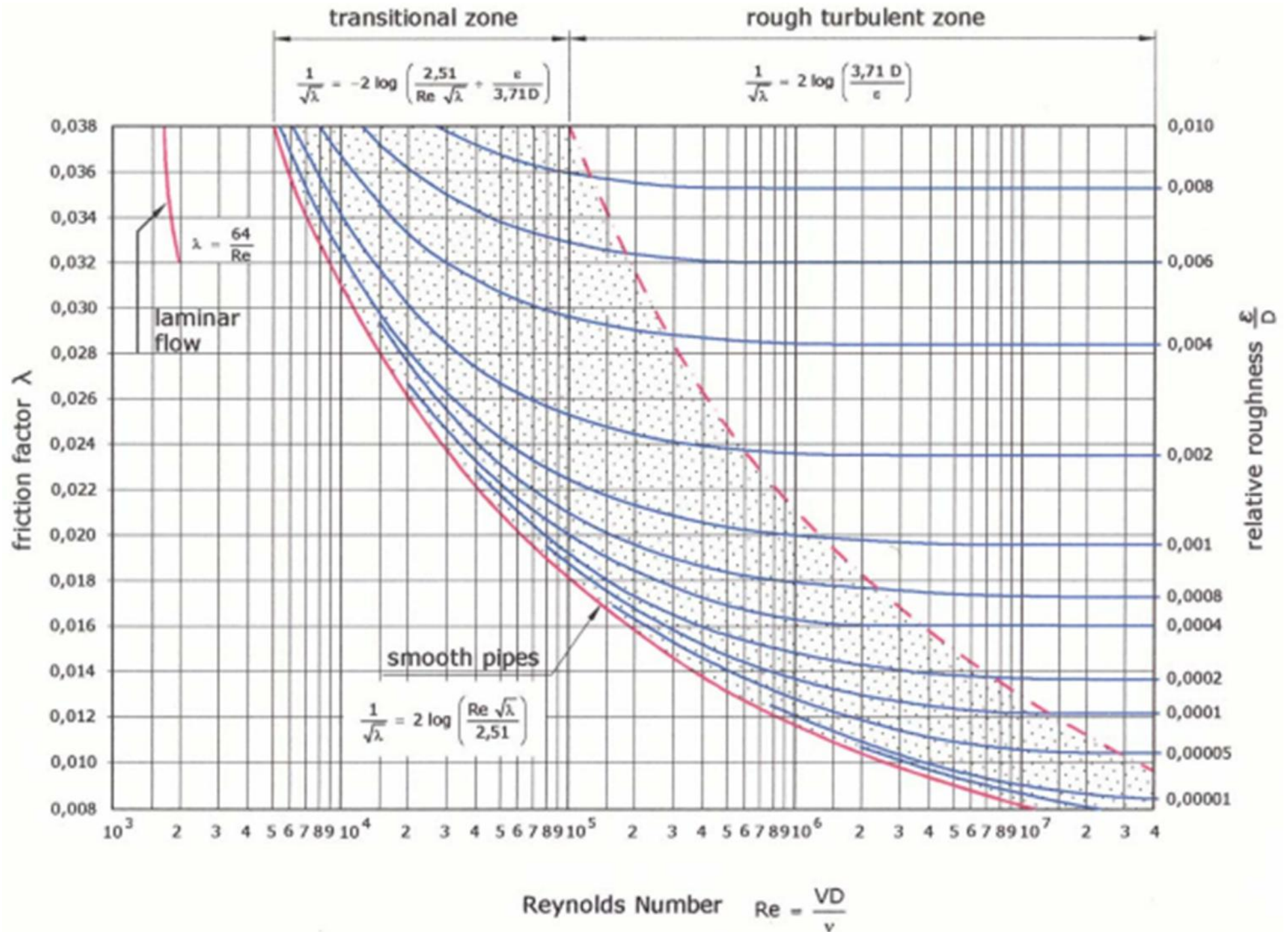
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,71D} \right)$$

REGIME DI PARETE SCABRA O MOTO ASSOLUTAMENTE TURBOLENTO

λ è funzione solo della scabrezza ε secondo l'espressione di Prandtl-Nikuradse

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \left(\frac{3,71D}{\varepsilon} \right)$$

Dimensionamento di un ADDUTTORE



Dimensionamento di un ADDUTTORE

Il dimensionamento dell'adduttore può farsi con riferimento alle formule pratiche presenti in letteratura, il cui coefficiente di scabrezza è ampiamente tabellato.

Si parte dalla formula di Chézy (formulata però per canali a superficie libera) e si arriva alla formula pratica di Darcy.

$$J = \frac{v^2}{\chi^2 R} = \frac{Q^2}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)^2 \chi^2 \frac{D}{4}} = \frac{\beta}{D^5} Q^2$$

χ

è il coefficiente di scabrezza che ha la dimensione della radice dell'accelerazione.

Dimensionamento di un ADDUTTORE

Il coefficiente di scabrezza β si può esprimere in funzione di diversi indici di scabrezza, a seconda di diversi studiosi che ne hanno fornito la classificazione.

Le formule pratiche valgono sino a diametri del Φ 500 e per moto assolutamente turbolento.

$$S_{Darcy} = 0.00164 + \frac{0.000042}{D}$$

$$S_{Bazin} = 0.000857 * \left(1 + \frac{2\lambda}{\sqrt{D}}\right)^2 \quad \times \left[\sqrt{m}\right]$$

$$S_{Kutter} = 0.000648 * \left(1 + \frac{2m}{\sqrt{D}}\right)^2 \quad m \left[\sqrt{m}\right]$$

$$S_{Gaukler - Strickler} = \frac{10.3}{k_s^2 D^{1/3}} \quad k_s \left[\sqrt[3]{m} / s\right]$$

Dimensionamento di un ADDUTTORE

TAB. 5.I. — COEFFICIENTI DI SCABREZZA PER LE CONDOTTE.

Tipo di condotta	Scabrezza omogenea equivalente ϵ (mm)	Bazin γ ($m^{1/2}$)	Kutter m ($m^{1/2}$)	Gauckler-Strickler k ($m^{1/3}s^{-1}$)
1. Tubazioni tecnicamente lisce (vetro, ottone o rame trafilato, resina)	0 ÷ 0,02	—	—	—
2. Tubazioni in acciaio:				
a) rivestimenti degradabili nel tempo				
- tubi nuovi, verniciati per centrifugazione	0,05	—	—	120
- bitumati per immersione	0,10 ÷ 0,15	≤ 0,06	≤ 0,12	100
- in servizio corrente con leggera ruggine	0,2 ÷ 0,4	0,10	0,15	90
- con asfalto o catrame applicati a mano	0,5 ÷ 0,6	0,16	0,20 ÷ 0,25	85 ÷ 80
- con tuberculizzazione diffusa	1,0 ÷ 3,0	0,23	0,30 ÷ 0,35	75 ÷ 70
b) rivestimenti non degradabili				
- cemento applicato per centrifugazione	0,05 ÷ 0,15	≤ 0,06	≤ 0,12	120
3. Tubazioni in lamiera saldata:				
- in buone condizioni	0,2 ÷ 0,3	0,10	0,15	90
- in servizio corrente, con incrostazioni	0,4 ÷ 1,0	0,16	0,20 ÷ 0,25	85 ÷ 75
4. Tubazioni in lamiera chiodata:				
- 1 fila di chiodi longitudinali	0,3 ÷ 0,4	0,10	0,18	90 ÷ 85
- 2 file di chiodi longitudinali	0,6 ÷ 0,7	0,16	0,25	85 ÷ 80
- idem, con incrostazioni	3,0	0,30	0,35	70
- 4-6 file di chiodi longitudinali	2,0	0,23	0,30	75
- 6 file di chiodi longitudinali + 4 trasversali	3,0	0,30	0,35	70
- idem, con incrostazioni	5,0	0,36	0,45	65
5. Tubazioni in ghisa:				
- con rivestimento cementizio centrifugato	0,10	≤ 0,06	≤ 0,12	105
- nuove, rivestite internamente con bitume	0,15	0,06	0,12	100
- nuove, non rivestite	0,2 ÷ 0,4	0,10	0,15	90
- con lievi incrostazioni	0,4 ÷ 1,0	0,16	0,20 ÷ 0,25	85 ÷ 75
- in servizio corrente, parzialmente arrugginite	1,0 ÷ 2,0	0,23	0,35	75 ÷ 70
- fortemente incrostate	3,0 ÷ 5,0	0,36	0,45	65
6. Tubazioni in cemento:				
- cemento-amianto	0,10	≤ 0,06	≤ 0,12	105
- cem. arm. nuove, intonaco perfettamente liscio	0,10 ÷ 0,15	0,06	0,12	100
- cem. arm. con intonaco liscio, in servizio da più anni fino a	2,0	0,23	0,35	70
- gallerie con intonaco di cemento, a seconda del grado di finitura	2,0 ÷ 5,0	0,23 ÷ 0,36	0,30 ÷ 0,45	70 ÷ 65

Dimensionamento di un ADDUTTORE

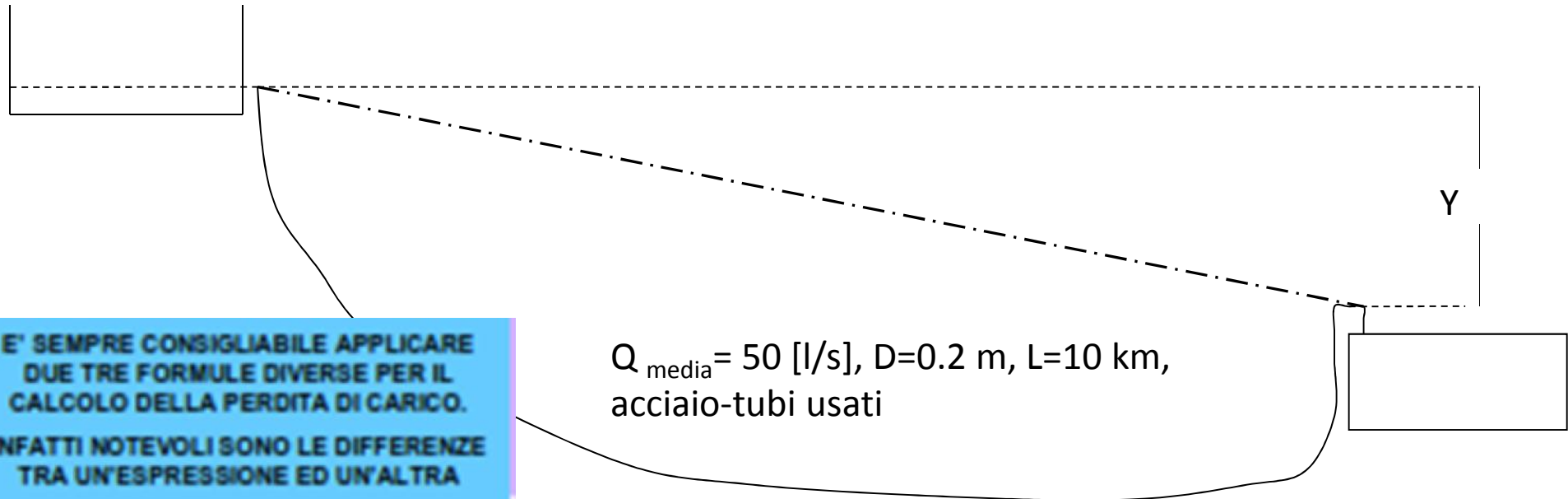
La formula di Hazen-Williams, comune alla tradizione anglosassone, è valida sino a Φ 1800

$$J_{Hazen-Williams} = \frac{10.675 * Q^{1.852}}{c^{1.852} D^{4.8704}}$$

il coefficiente di scabrezza C assume i seguenti valori:

- 100 per tubi calcestruzzo
- 120 per tubi acciaio
- 130 per tubi ghisa rivestita
- 140 per tubi rame, inox
- 150 per tubi PE, PVC e PRFV

Esempio di calcolo



$$S_{\text{Darcy}} = 0.0018 \Rightarrow Y = 140.6m.$$

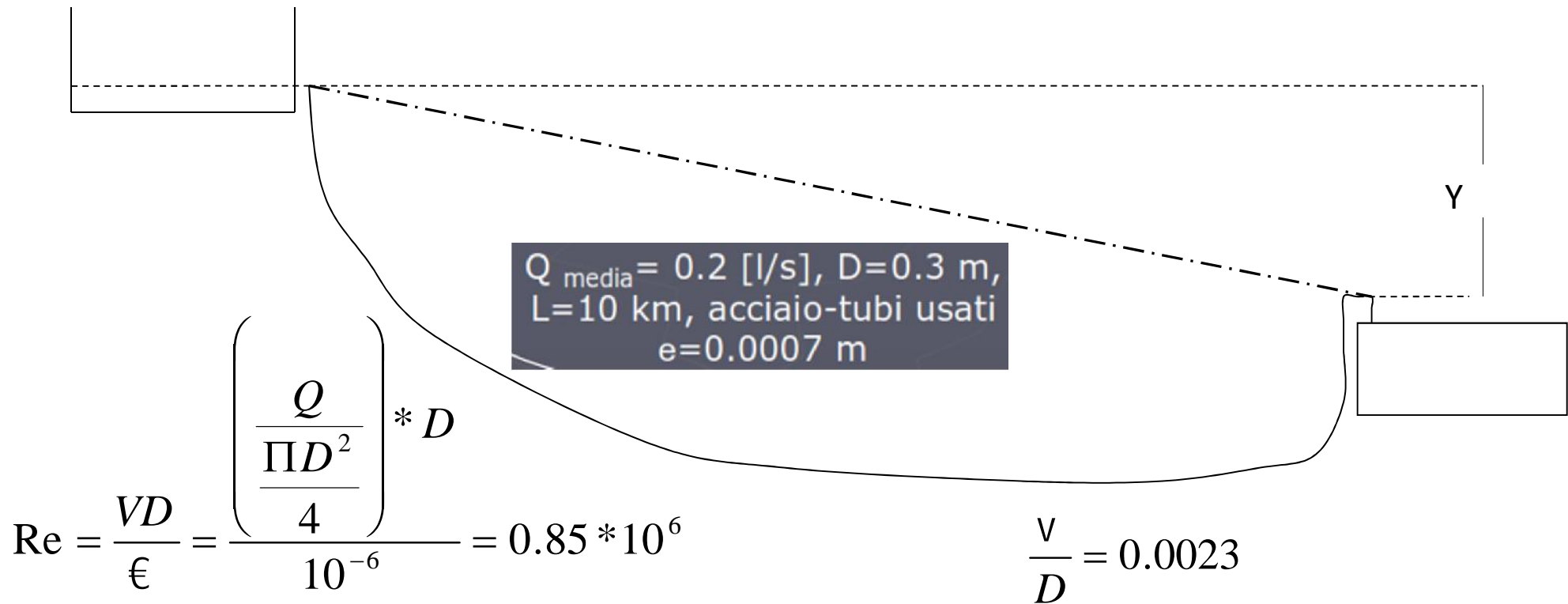
$$S_{\text{Bazin}} = 0.0019 \Rightarrow Y = 148m.$$

$$S_{\text{Kutter}} = 0.0029 \Rightarrow Y = 226,5m.$$

$$S_{\text{Gaukler-Strickler}} = 0.00243 \Rightarrow Y = 189,8m.$$

$$Y = J_{\text{Hazen-Williams}} * L = 148,75m.$$

Esempio di calcolo - Transizione



L'abaco di Moody indica che ci si trova nella zona di transizione. La progettazione non può avvenire con le formule pratiche. Ricorriamo a Darcy-Waisback e Coolebrook-White

$$J = \frac{\lambda}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{1}{3.71} \frac{v}{D} \right)$$

Si parte da un valore di f di primo tentativo, ad esempio attorno a 0.02 o comunque quello che si legge sulle ordinate del grafico di Moody in corrispondenza del numero di Reynolds e della scabrezza del materiale utilizzato, si determina quindi la Y che si confronta con quella disponibile. Sino a che i due valori di Y non convergono, si itera il procedimento cambiando diametro.

Il f calcolato in questo esempio è pari a 0.00245 e la perdita di carico corrispondente pari a **330 m**.

Le formule pratiche avrebbero condotto a :

$$Y_{\text{Darcy}} = 290 \text{ m.}$$

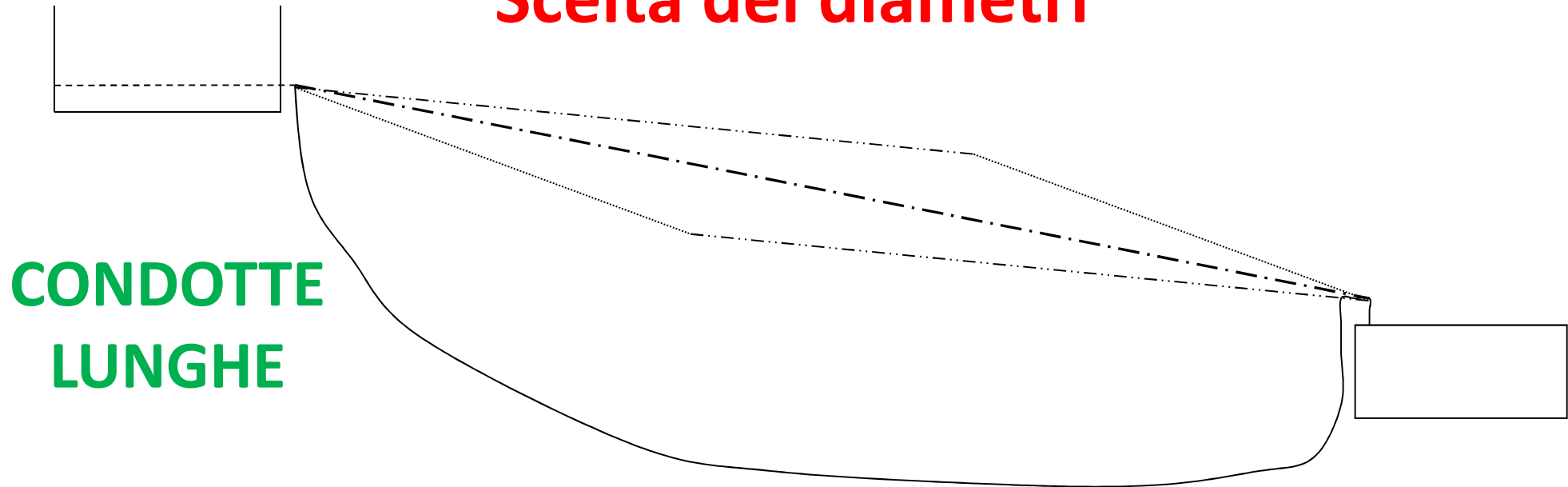
$$Y_{\text{Bazin}} = 293 \text{ m. (g=0.18)}$$

$$Y_{\text{Kutter}} = 390 \text{ m (m=0.25).}$$

$$Y_{\text{G-Strikler}} = 350 \text{ m (k}_s=85\text{).}$$

$$Y_{\text{Hazen-Williams}} = 377 \text{ m.}$$

Scelta dei diametri

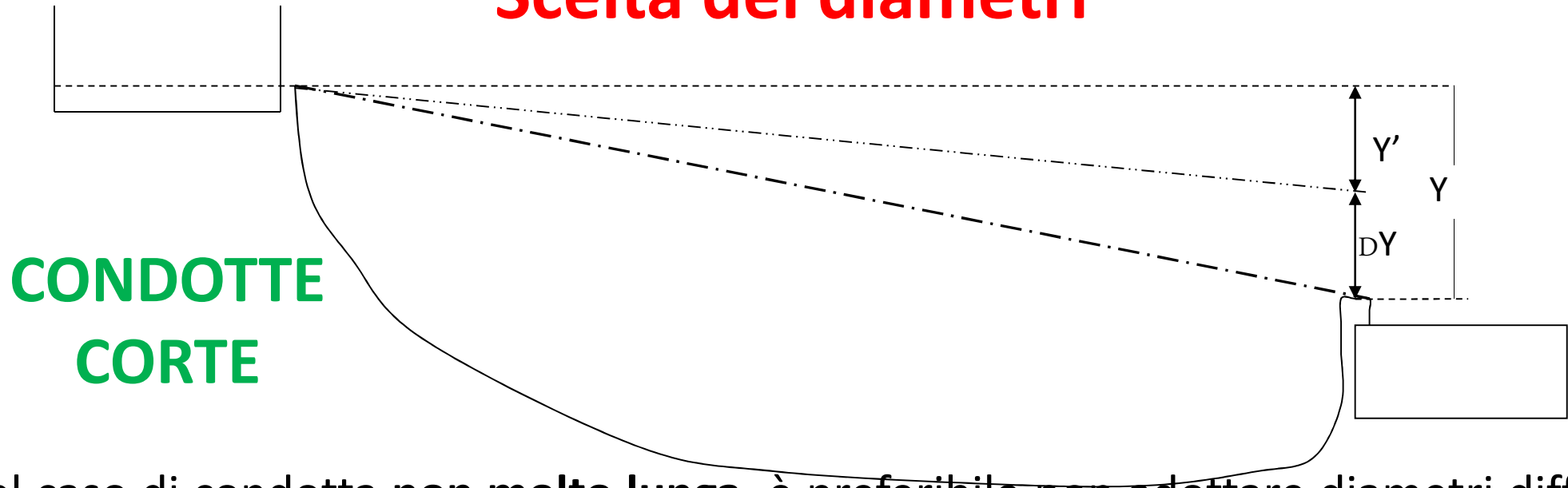


Il diametro teorico nella maggior parte dei casi non è commerciale.

Se la condotta è **molto lunga** si scelgono due diametri commerciali immediatamente più piccolo e più grande rispetto a quello teorico. La scelta sulla loro disposizione varia di caso in caso.

Tuttavia, è opportuno mantenere la piezometrica sufficientemente alta per eventuali future derivazioni. Inoltre, per quanto l'adozione del diametro minore, seguito dal maggiore, dia una piezometrica più bassa, questo non porta alla riduzione dello spessore della tubazione, poiché deve comunque essere commisurato alla pressione massima di esercizio (oltre alle sollecitazioni esterne ed al colpo d'ariete).

Scelta dei diametri

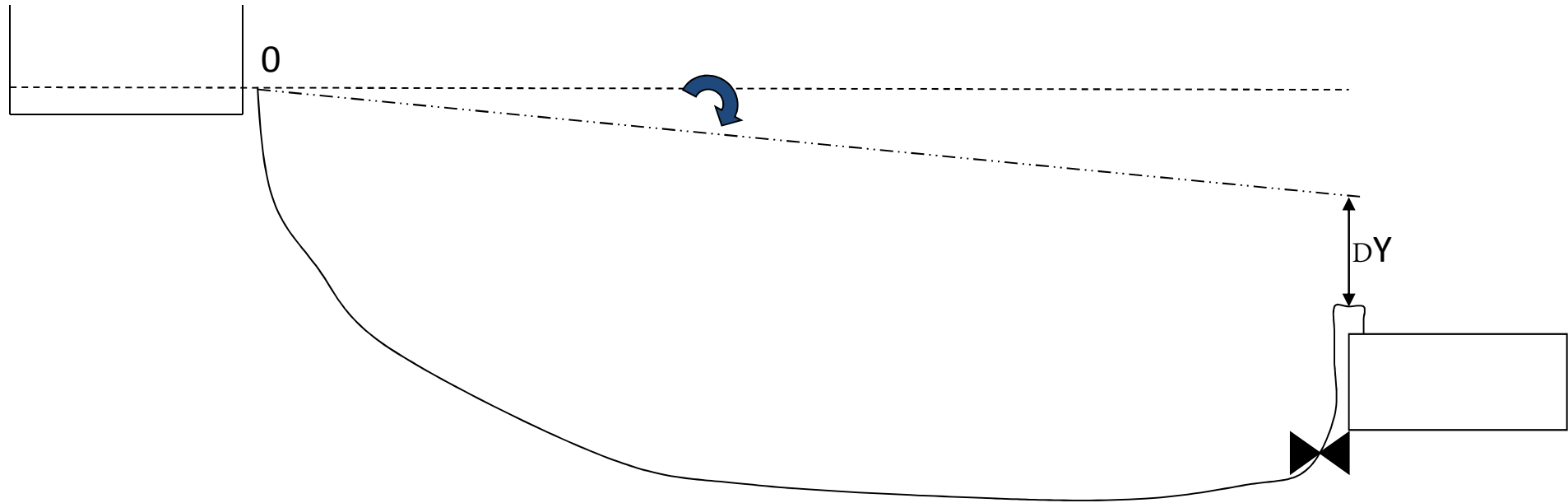


Nel caso di condotta **non molto lunga**, è preferibile non adottare diametri differenti, ma un unico diametro, quello commerciale immediatamente superiore a quello teorico.

In Questo caso, la piezometrica si manterrà più alta di quella teorica e sarà possibile dissipare il carico in eccesso DY con una **valvola regolatrice**.

D'altronde, la valvola di regolazione serve comunque, anche nell'ipotesi d'aver adottato il diametro teorico, poiché i calcoli di dimensionamento si fanno in riferimento al materiale "vecchio", mentre al principio del funzionamento la scabrezza dei tubi è inferiore a quella adottata. Per questo motivo vi è comunque un carico da dissipare, che si riduce negli anni.

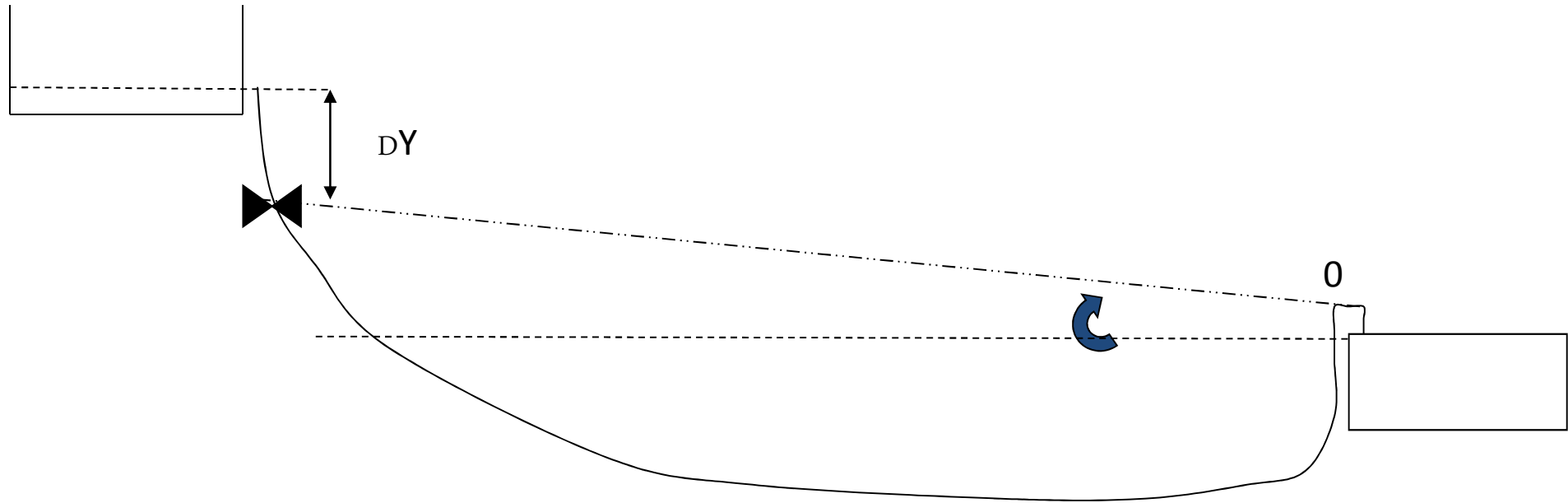
Regolazione da valle



Il regolamento attraverso valvole può avvenire da monte o da valle.

Il regolamento da **valle** è caratterizzato, in caso di chiusura completa della valvola, dall'aver lungo l'adduttore carico massimo e pari all'idrostatica di monte. Quando la condotta viene aperta, la piezometrica ruota attorno al punto "0" sino a portarsi verso la piezometrica ipotizzata.

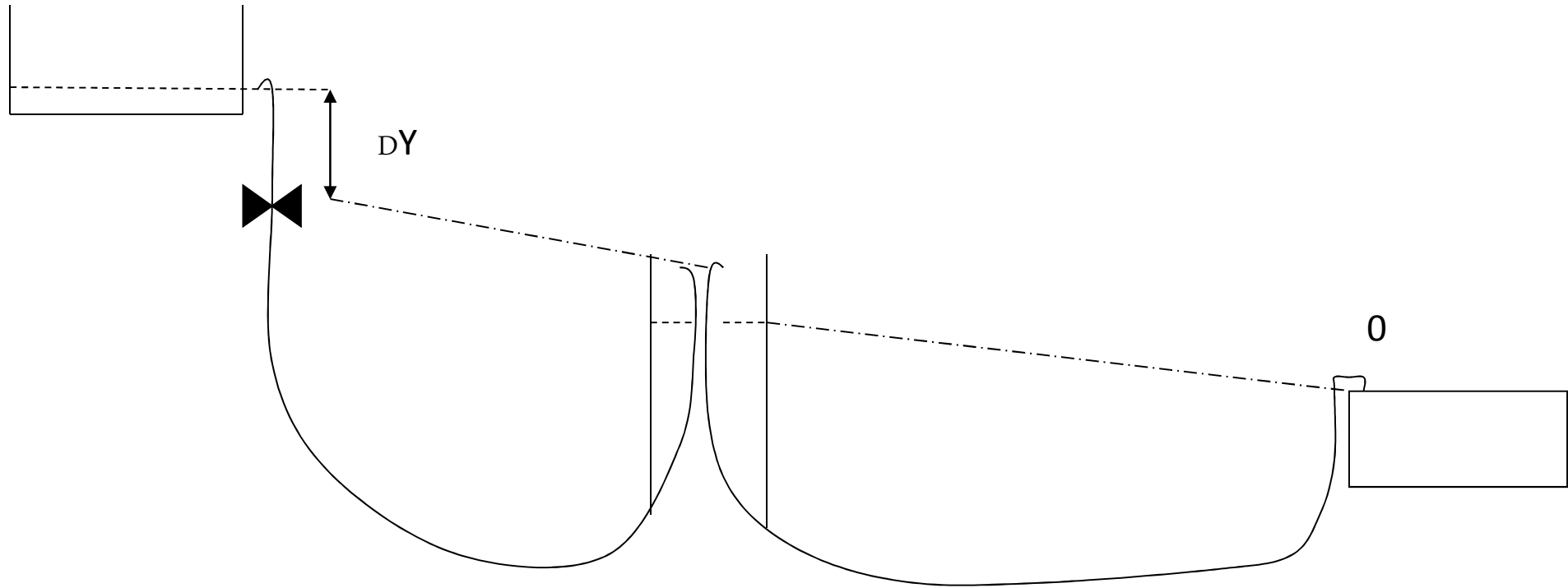
Regolazione da monte



Il regolamento da **monte** è caratterizzato, in caso di chiusura completa della valvola, dall'aver lungo la maggior parte dell'adduttore il carico massimo pari all'idrostatica di valle, mentre un tratto consistente è vuoto. Quando la condotta viene aperta, la piezometrica ruota attorno al punto "0", ma l'acqua scendendo da monte spingere un fronte d'onda considerevole, origine di perturbazioni e sovrappressioni.

Questo tipo di regolazione deve sempre essere affiancata da idoneo dimensionamento degli sfiati in linea.

Regolazione da monte



Per ovviare a questi inconvenienti della regolazione da monte, ma anche in casi di condotte a portata variabile, è opportuno prevedere la presenza di un calice rovescio (o torrino di disconnessione).

APPARECCHIATURE SPECIALI DELLE CONDOTTE IN PRESSIONE

- SCARICHI
- SFIATI

SCARICHI

In fase di avvio o ripristino funzionalità dell'adduttore: funzione di lavaggio
In fase di esercizio (interruzione del flusso): vuotature delle condotte

Sono realizzati con un pezzo speciale a T con derivazione tangenziale a flangia, su cui è installata la saracinesca di intercettazione

Elementi di progetto:

- Dimensionamento saracinesca
- Diametro della derivazione (adeguato ad assicurare delle velocità nei rami convergenti tali da rimuovere eventuali depositi e senza generare instabilità nelle condotte)

Il dispositivo viene installato in apposito pozzetto in muratura, con soletta di copertura forata in corrispondenza della botola di ingresso protetta da chiusino



SFIATI

Doppio funzionamento:

- In fase di riempimento o vuotatura: funzione di evacuazione/ingresso dell'aria in condotta;
- In esercizio: smaltimento dell'aria liberata naturalmente dal moto di avanzamento delle acque in condotta

Cause della presenza d'aria in condotta:

- emulsione con l'acqua
- per aspirazione della vasca di presa o dalla stazione di pompaggio;
- per aspirazione in corrispondenza di giunti o pezzi speciali, sifoni in depressione.

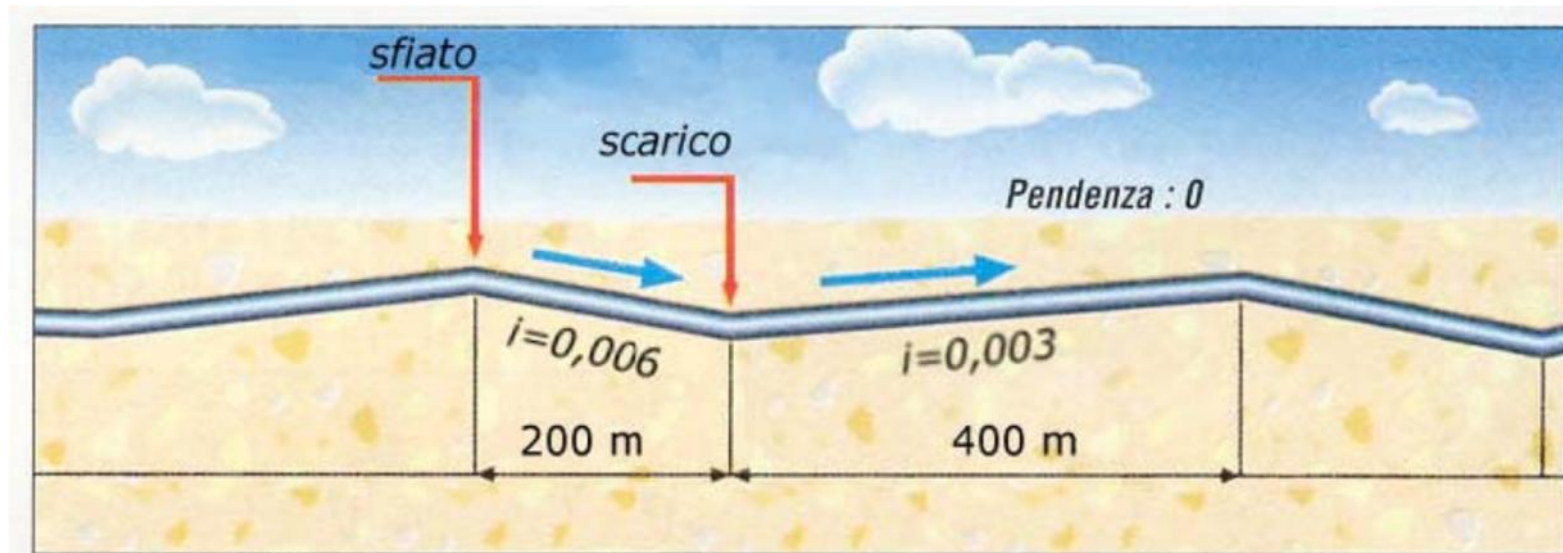
Effetti indesiderati:

- riduzione della sezione di deflusso
- fenomeni di colpo d'ariete dovuti all'espansione della bolla d'aria e al suo spostamento;
- disinnescio di pompe o sifoni

TIPOLOGIE SFIATI

SFIATI DI LINEA

In presenza di profili molto piatti, sono posti ad interassi di 100 metri, indipendentemente dalla presenza di punti di massimo relativo



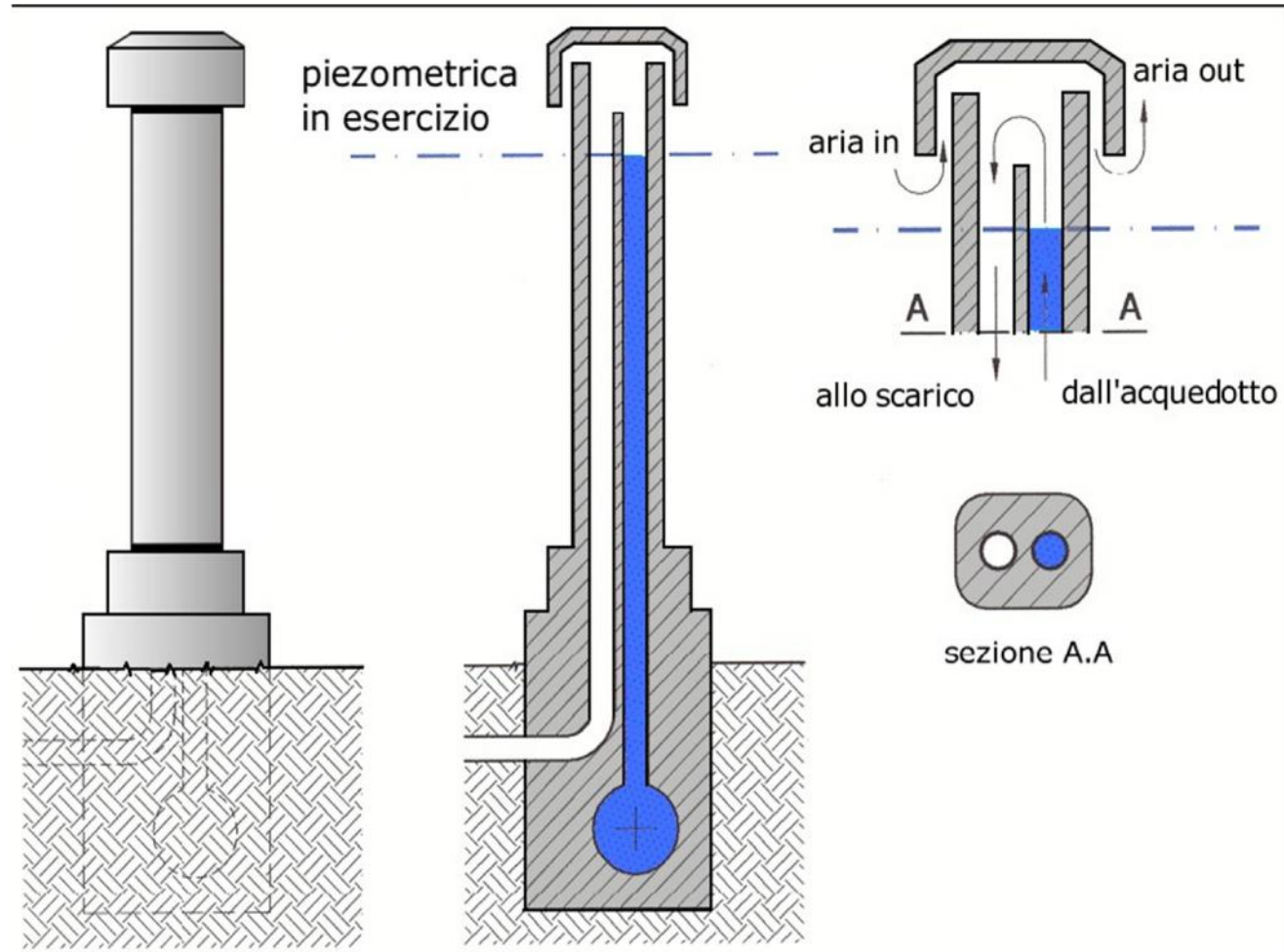
Profilo a denti di sega

TIPOLOGIE SFIATI

SFIATI DI TIPO LIBERO

In caso di valico, quando la quota piezometrica è poco superiore alla quota del terreno (8-10 m)

È realizzato inserendo nella condotta un pezzo speciale a T flangiato, ortogonalmente alla condotta, diametro inferiore a quello della condotta, con altezza superiore alla quota piezometrica. È collegato allo scarico da una canna discendente



TIPOLOGIE SFIATI

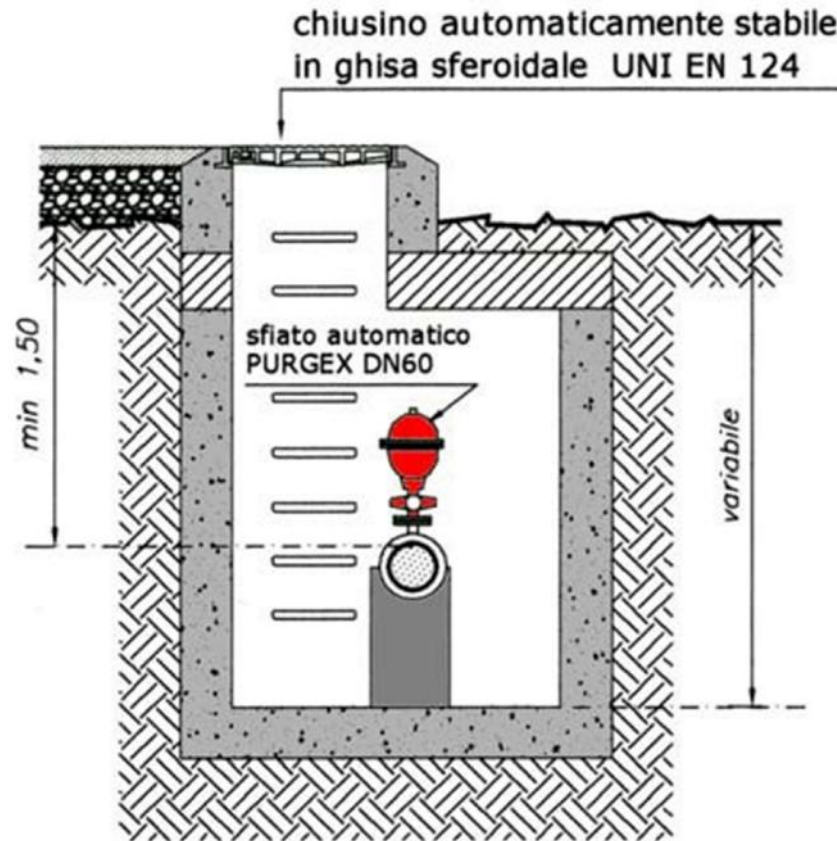
SFIATI IN PRESSIONE

In caso di quota piezometrica superiore di 10 m la quota del terreno

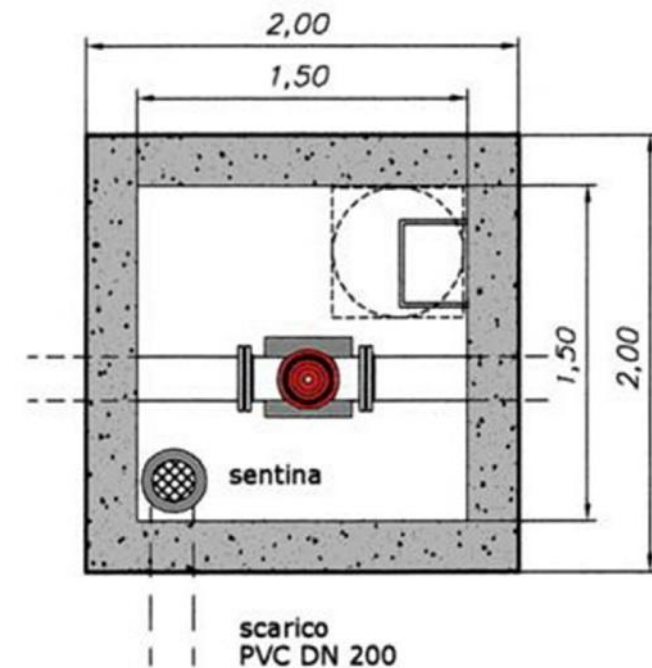
Funzionamento automatico (tramite saracinesca di intercettazione)

Dispositivo collegato alla condotta con pezzo speciale a T flangiato, ortogonale alla condotta e di diametro inferiore

Costituiti da una cassa metallica a cui interno è alloggiato un galleggiante sferico (acciaio rivestito)

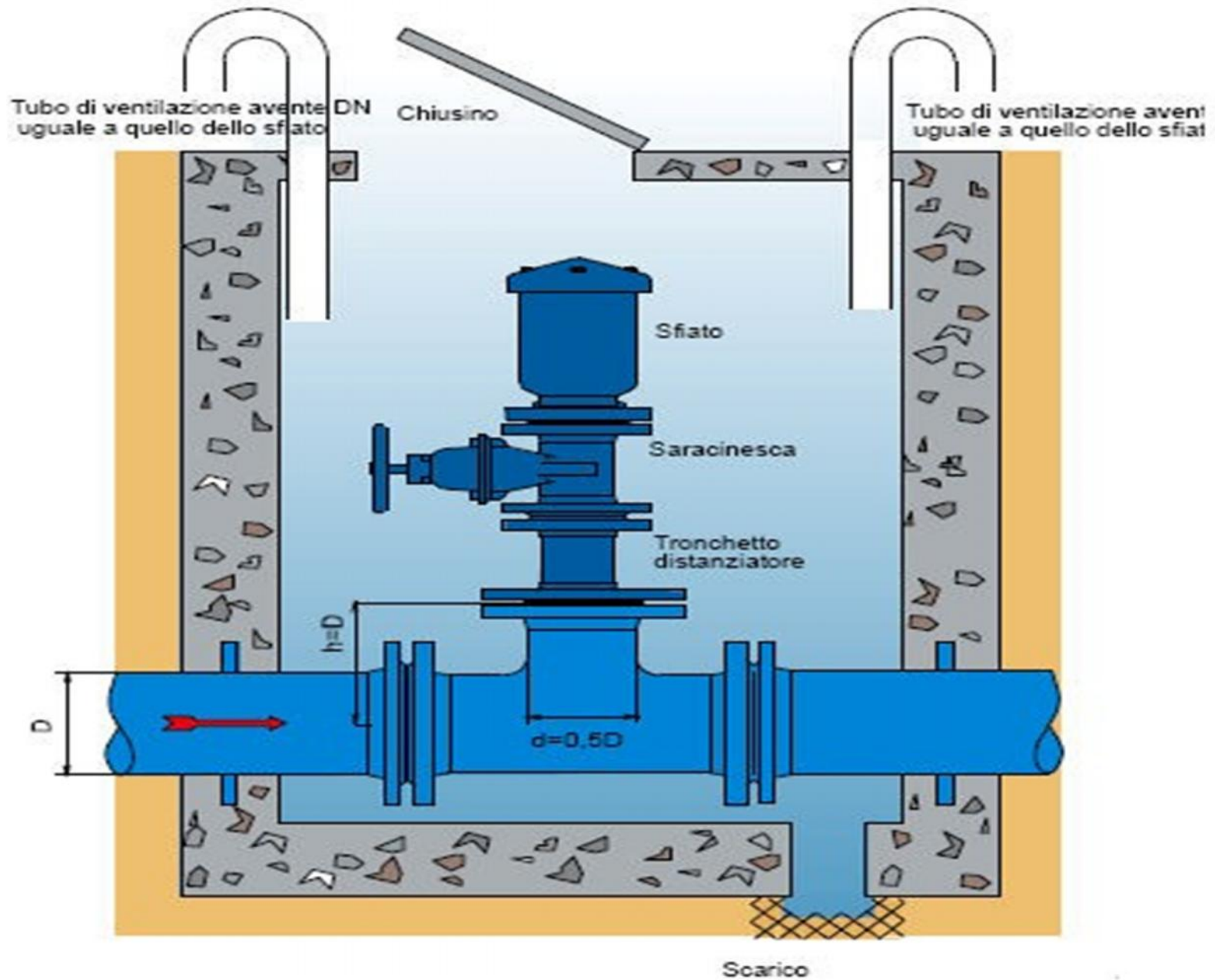


Sezione



Pianta

SFIATI



SFIATI: funzionamento

Il funzionamento del dispositivo è legato all'equilibrio di tre forze :

1. la forza peso G del galleggiante verticale ed orientata verso il basso;
2. la spinta sul galleggiante, correlata alla pressione p agente entro la cassa, con risultante, nella direzione verticale, orientata verso l'alto, di intensità pari a p A, con A area della luce del foro di uscita dell'aria dalla cassa;
3. la spinta di galleggiamento, in quanto corpo parzialmente immerso in acqua, con risultante nella direzione verticale, orientata verso l'alto, di intensità pari a γV , con γ peso specifico dell'acqua e V volume immerso.

Nella condizione di sfiato chiuso si ha:

$$p A + \gamma V > G$$

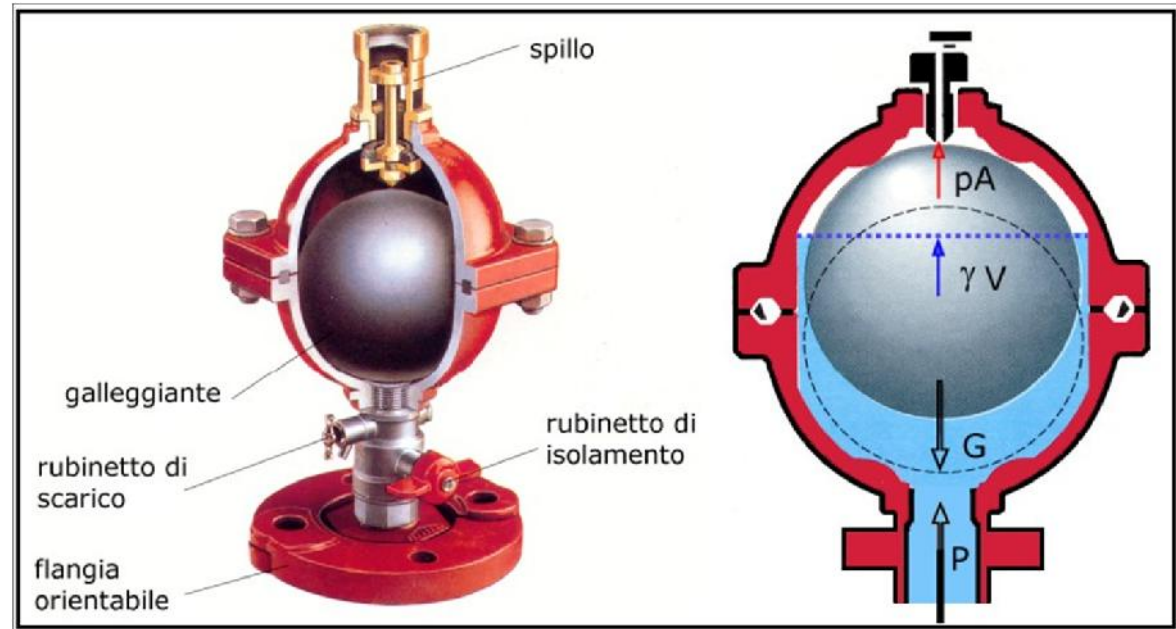
Al progressivo accumulo di aria nella cassa corrisponde progressivo abbassamento del livello idrico

nella stessa e correlata riduzione del valore del volume immerso V.

Raggiunta la condizione:

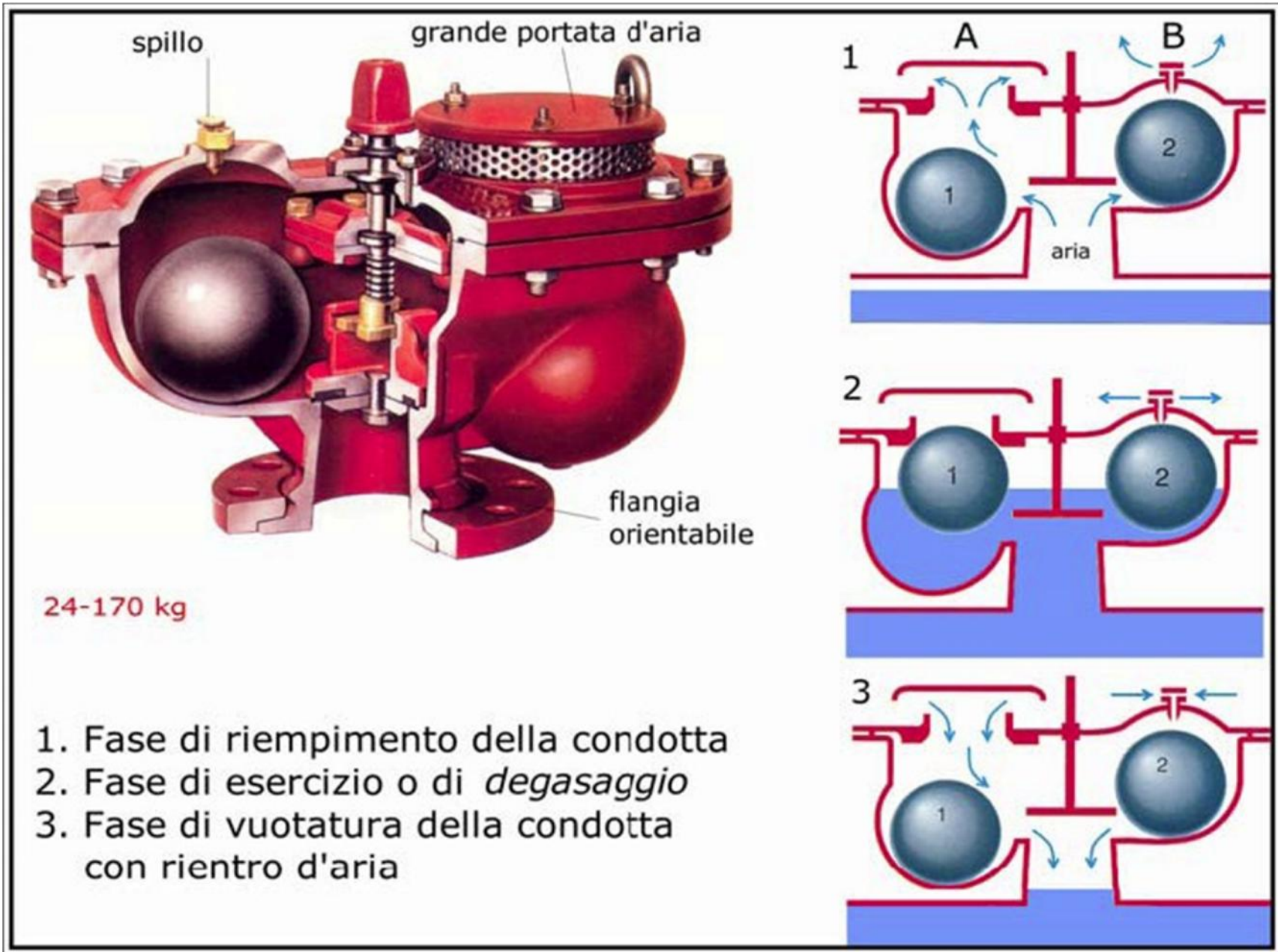
$$p A + \gamma V = G$$

si è in incipiente apertura dello sfiato.



SFIATO A DOPPIA LUCE

Per assolvere la sua doppia funzione, in fase di esercizio e in fase di transizione (riempimento e vuotatura), si usano apparecchiature a «doppia luce» o «doppio galleggiante»



Scelta del tracciato

- Evitare quote piezometriche inferiori a 5 m.
- Limitare le variazioni di diametro
- Evitare cambi di materiale
- Inserire sfiati
- Inserire scarichi
- Limitare le contropendenze
- Limitare i sifoni: aumentano le pressioni
- Evitare terreni franosi, acquitrinosi, argillosi
- Evitare colture ad alto reddito ed i boschi
- Presenza di gallerie solo per grandi adduttori
- Limitare gli attraversamenti di strade, ferrovie, corsi d'acqua
- Quota piezometrica maggiore di 2 m. sul piano campagna.
- Realizzare tracciati in fregio alle strade
- Prevedere delle piste di servizio (2.5 m. di larghezza) accanto alla condotta in trincea più un margine di sicurezza
- Sfruttare le banchine di strade già esistenti per allocare la condotta.

Planimetria del tracciato

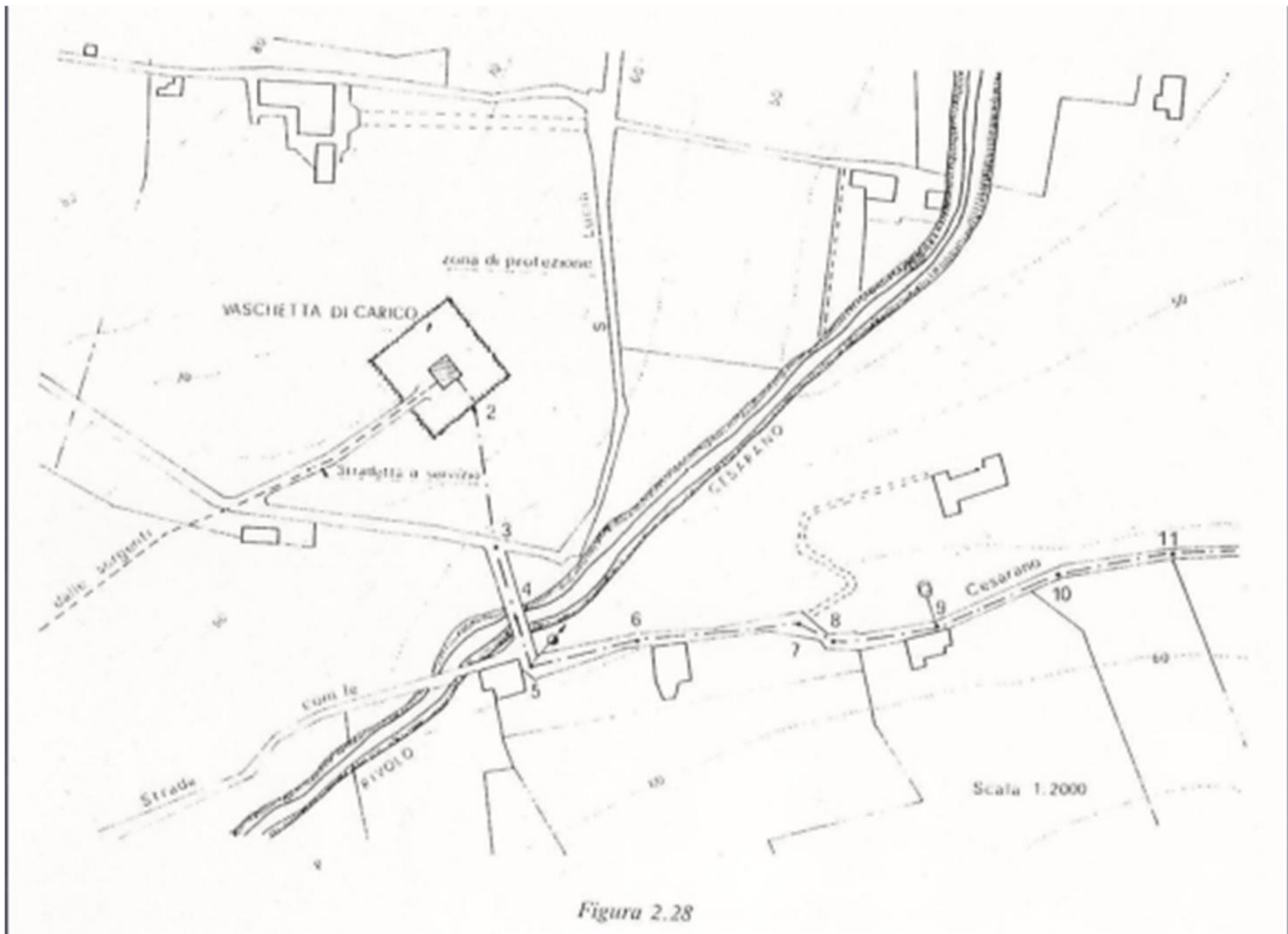


Figura 2.28

Planimetria delle espropriazioni

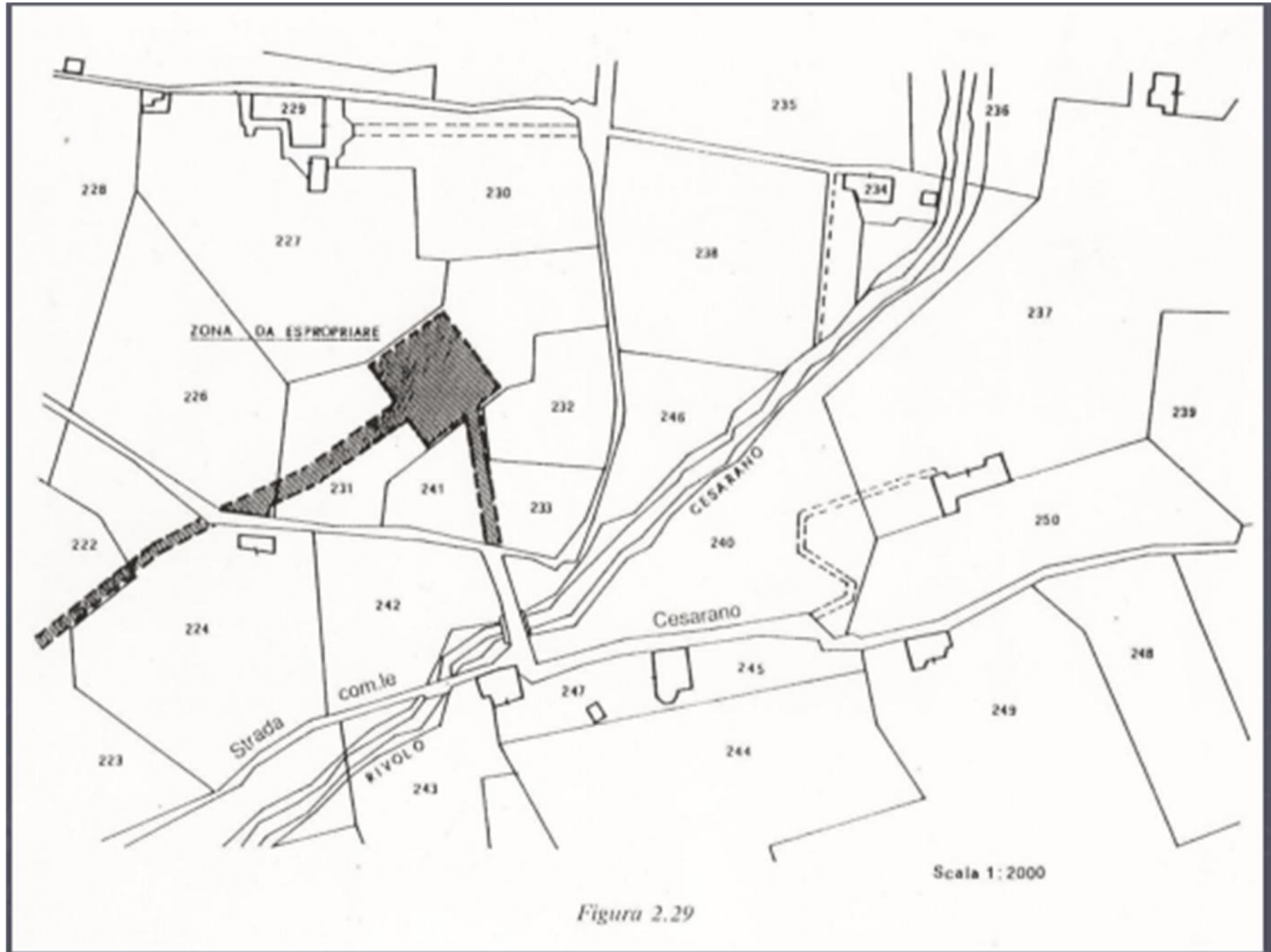


Figura 2.29

Profilo longitudinale dell'adduttore

