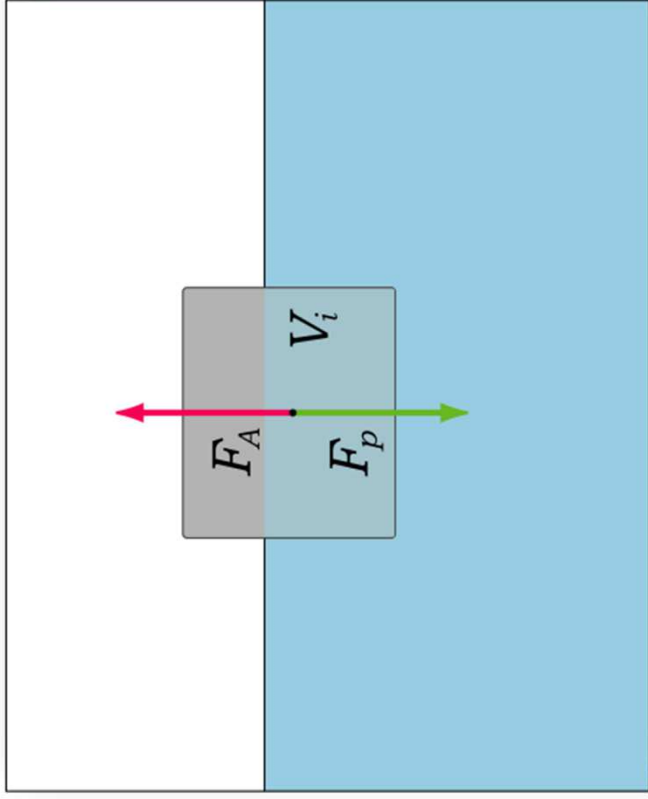


CORSO DI FISICA TECNICA II

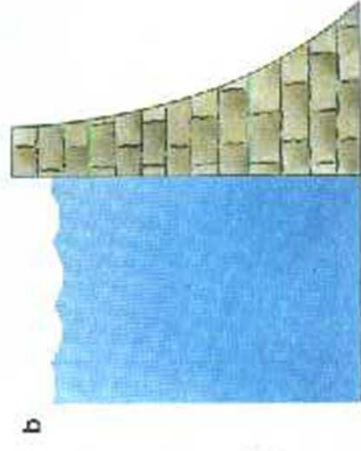
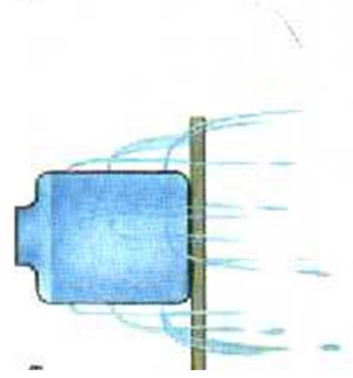


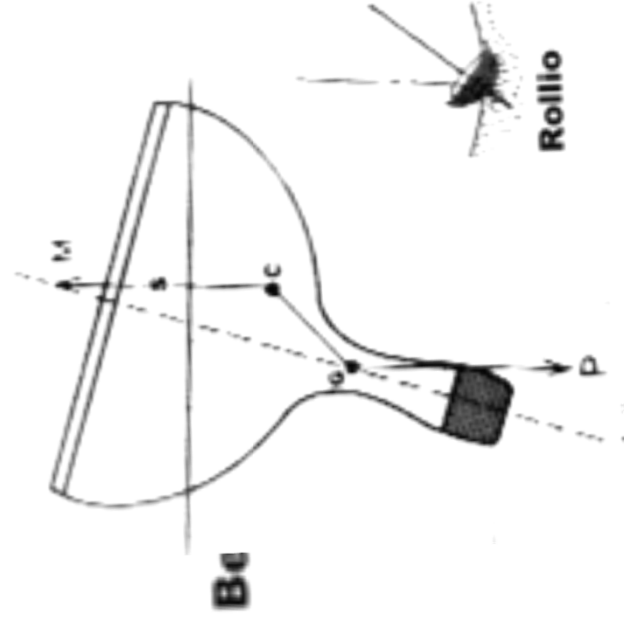
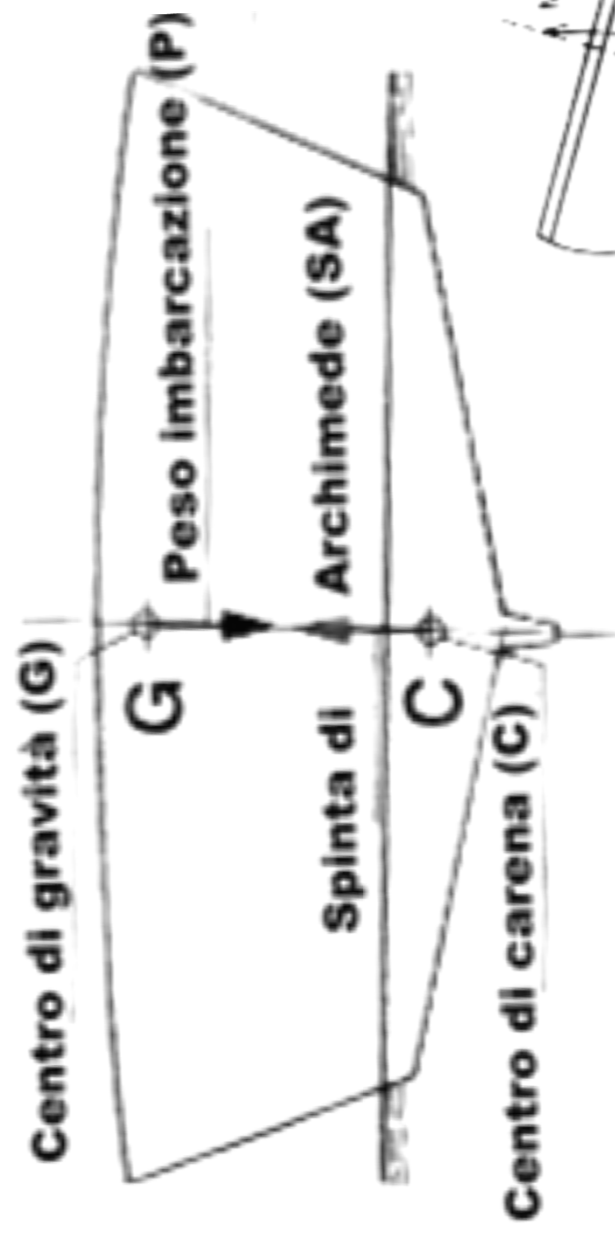
Elementi di idrostatica e fluidodinamica
Parte terza

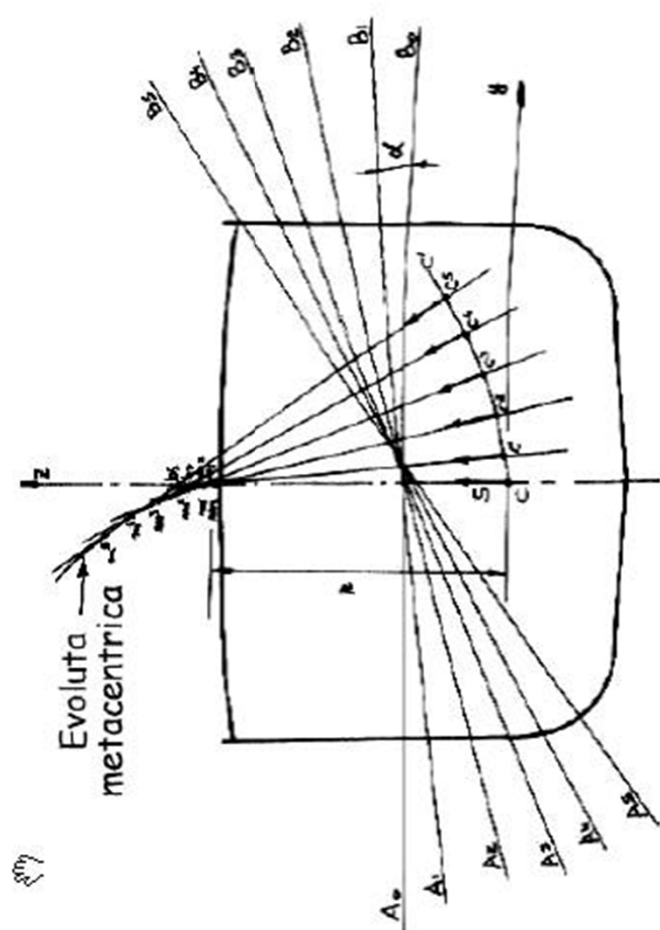
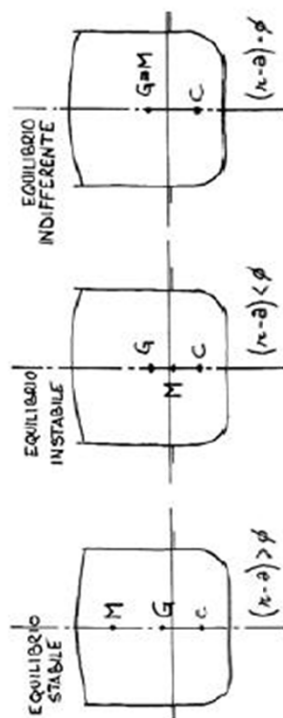
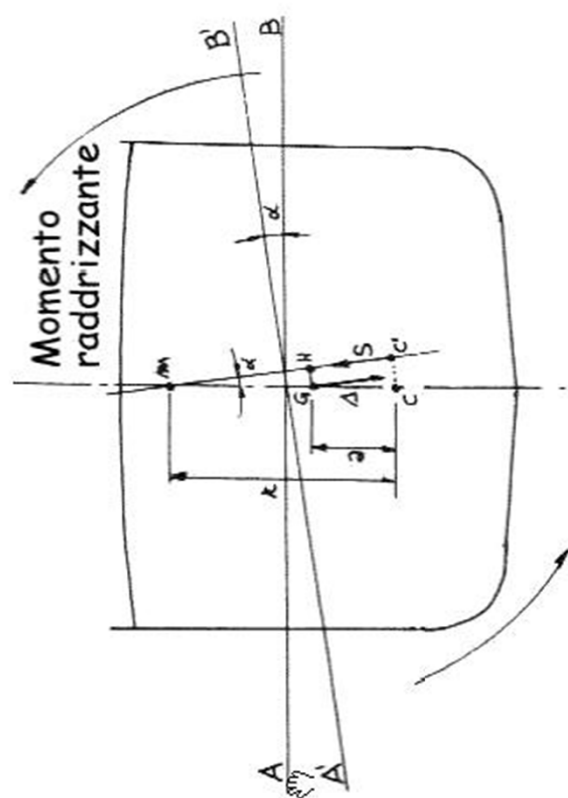
Michele Bottarelli - Dipartimento di Architettura di Ferrara
michele.bottarelli@unife.it



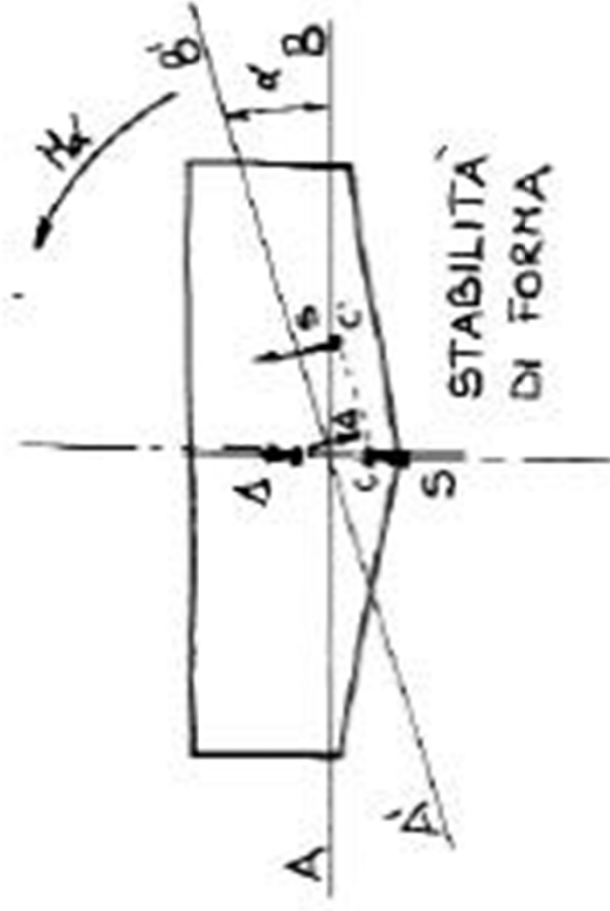
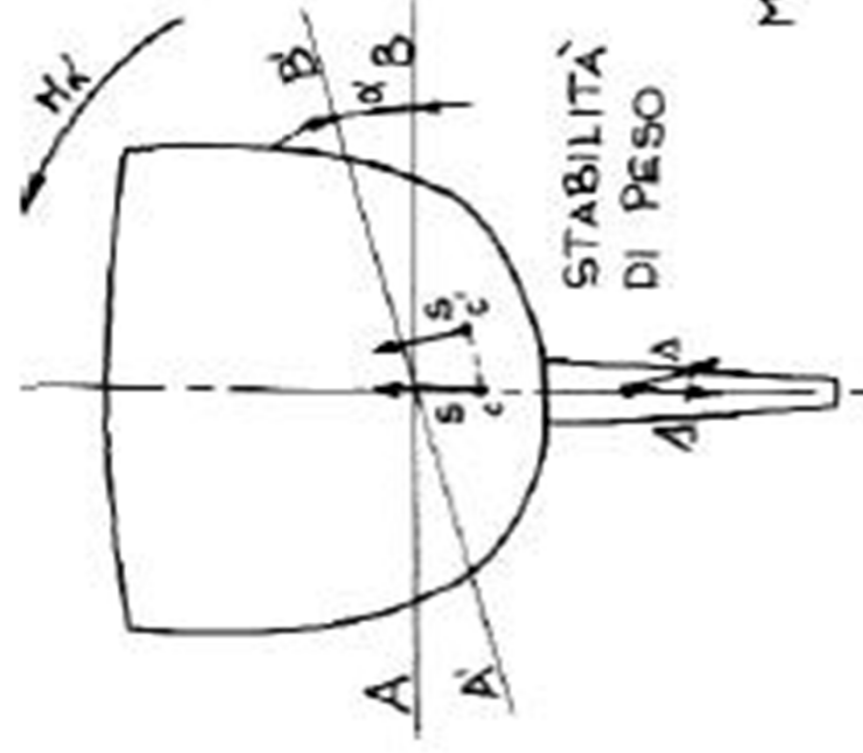
$$F_A = \rho_{flu} g V$$



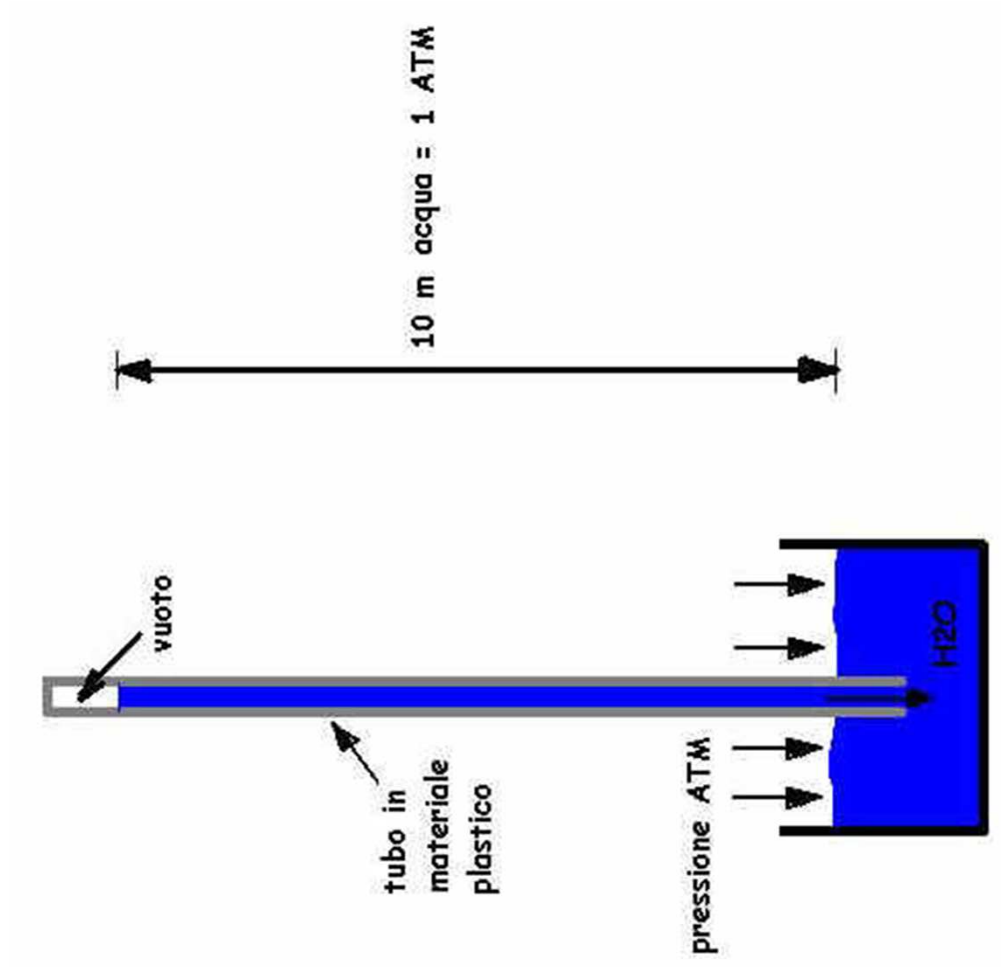
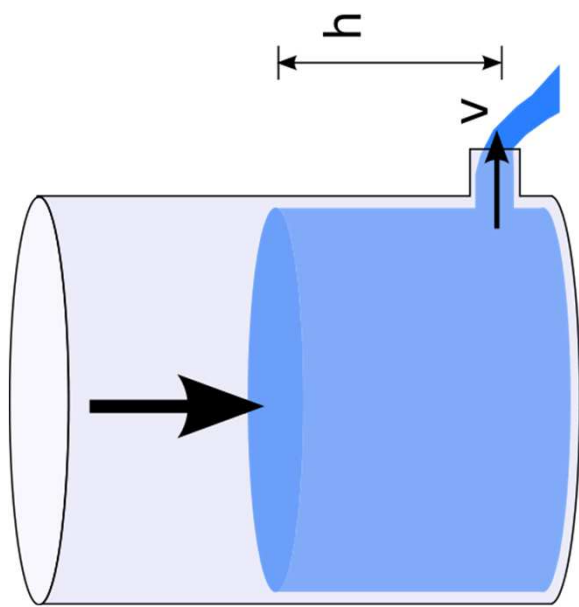




(m)



M_α = MOMENTO RADDRIZZANTE
DELL'ANGOLO α



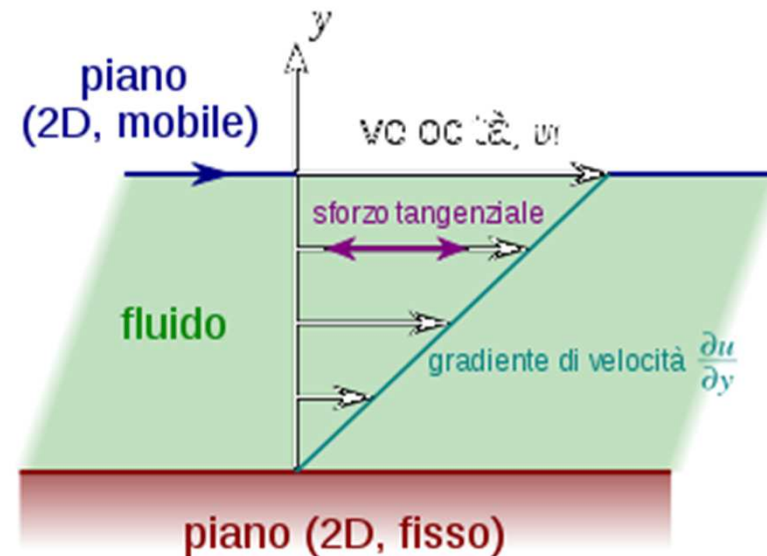
Fluidi newtoniani

$$\tau = -\mu \frac{\partial u}{\partial y}$$

τ tensione tangenziale [N/m²]

u velocità [m/s]

μ viscosità dinamica [Kg/m*s]



Se la viscosità dinamica non dipende dalla velocità, il fluido è di tipo newtoniano.

La viscosità per i fluidi newtoniani dipende solo da T e P

Se il fluido è un liquido, con buona approssimazione la viscosità dipende solo da T

Per l'acqua, in condizioni normali (20°C, 1 atm):

$$\mu = 10^{-3} \text{ Kg/m*s} = 0,01 \text{ g/cm*s} = 0,01 \text{ Poise} = 1 \text{ centiPoise}$$

Viscosità

Viscosità dell'acqua e dell'aria alla pressione di 1 atm

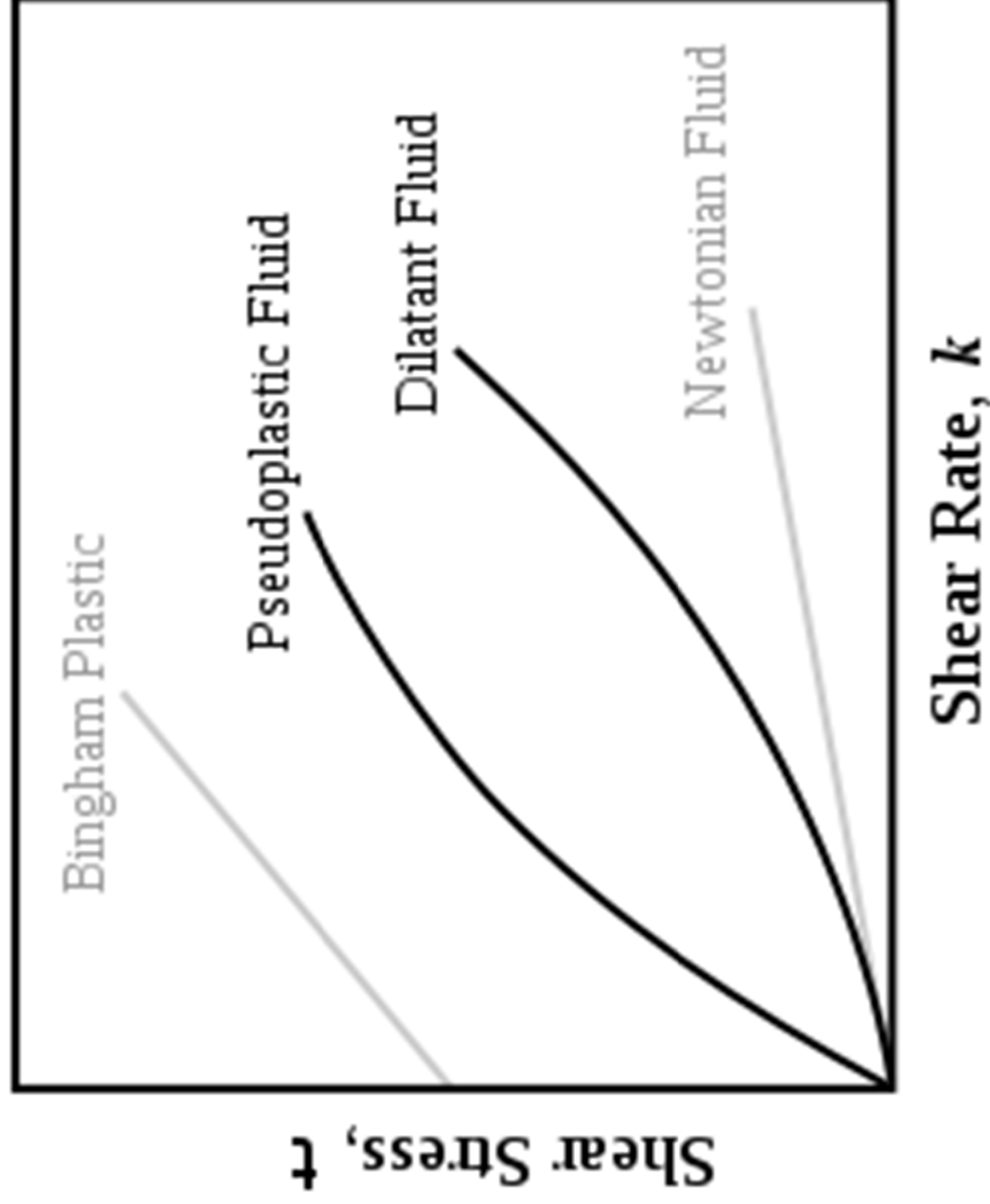
Temperatura T(°C)	Acqua liquida		Aria	
	Viscosità μ (cp)	Viscosità cinematica $\nu \cdot 10^2(\text{cm}^2\text{sec}^{-1})$	Viscosità μ (cp)	Viscosità cinematica $\nu \cdot 10^2(\text{cm}^2\text{sec}^{-1})$
0	1,7870	1,7870	0,01716	13,27
20	1,0019	1,0037	0,01813	15,05
40	0,6530	0,6581	0,01908	16,92
60	0,4665	0,4744	0,01999	18,86
80	0,3548	0,3651	0,02087	20,88
100	0,2821	0,2944	0,02173	22,98

μ viscosità [Kg/m*s]

$\nu = \mu/\rho$ viscosità cinematica [m²/s]

Viscosità di alcuni gas e liquidi a pressione atmosferica

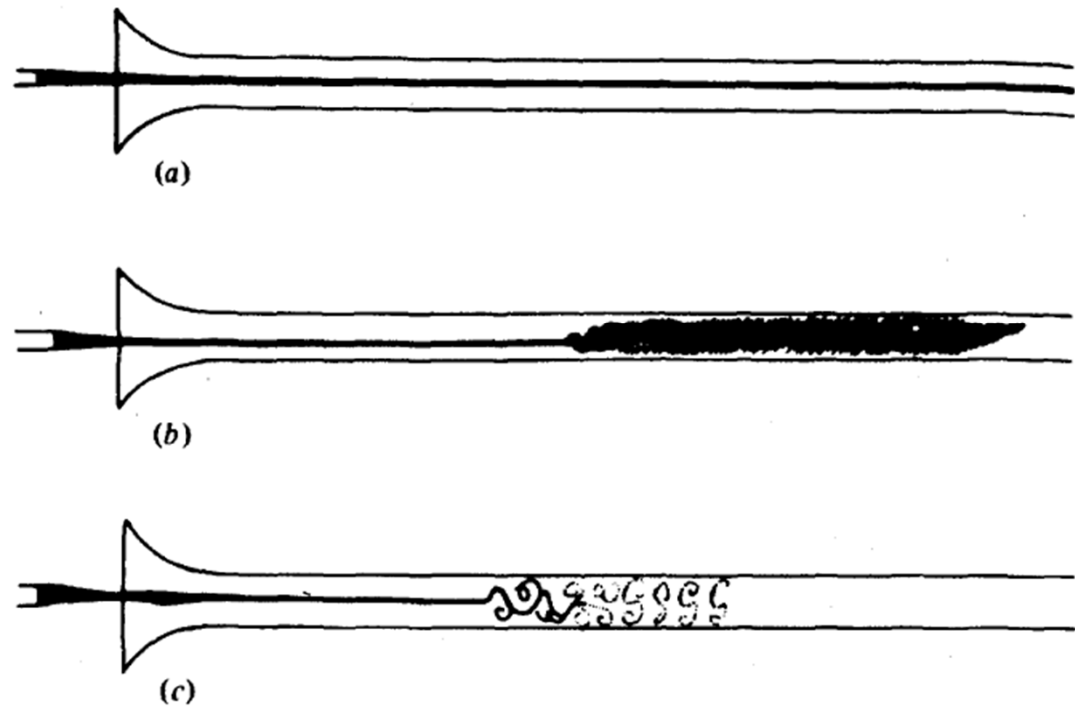
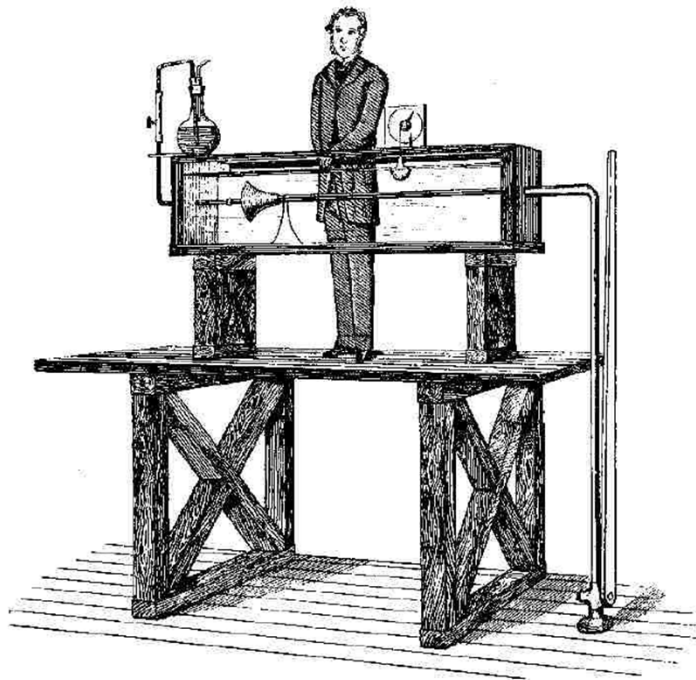
Sostanza Gas	Temperatur a T(°C)	Viscosità μ (cp)	Sostanza Liquidi	Temperatura T(°C)	Viscosità μ (cp)
<i>i</i> -C ₄ H ₁₀	23	0,0076	(C ₂ H ₅) ₂ O	20	0,245
CH ₄	20	0,0109	C ₆ H ₆	20	0,647
H ₂ O	100	0,0127	Br ₂	26	0,946
CO ₂	20	0,0146	C ₂ H ₅ OH	20	1,194
N ₂	20	0,0175	Hg	20	1,547
O ₂	20	0,0203	H ₂ SO ₄	25	19,150
Hg	380	0,0654	Glicerina	20	1069,000



Esperimento di Reynolds

Studio della stabilità del filetto fluido, al variare della velocità.

- a) stabile (moto laminare)
- b) transizione
- c) instabile (moto turbolento)



Numero di Reynolds (Re)

Il passaggio da moto laminare a turbolento è legato all'incidenza delle forze inerziali (f_i) rispetto a quelle viscosi (f_v)

$$\frac{f_i}{f_v} \propto \frac{\rho \cdot u^2}{\mu \cdot \frac{u}{D}} = \frac{\rho \cdot u \cdot D}{\mu} = \text{Re}$$

ρ densità [Kg/m³]

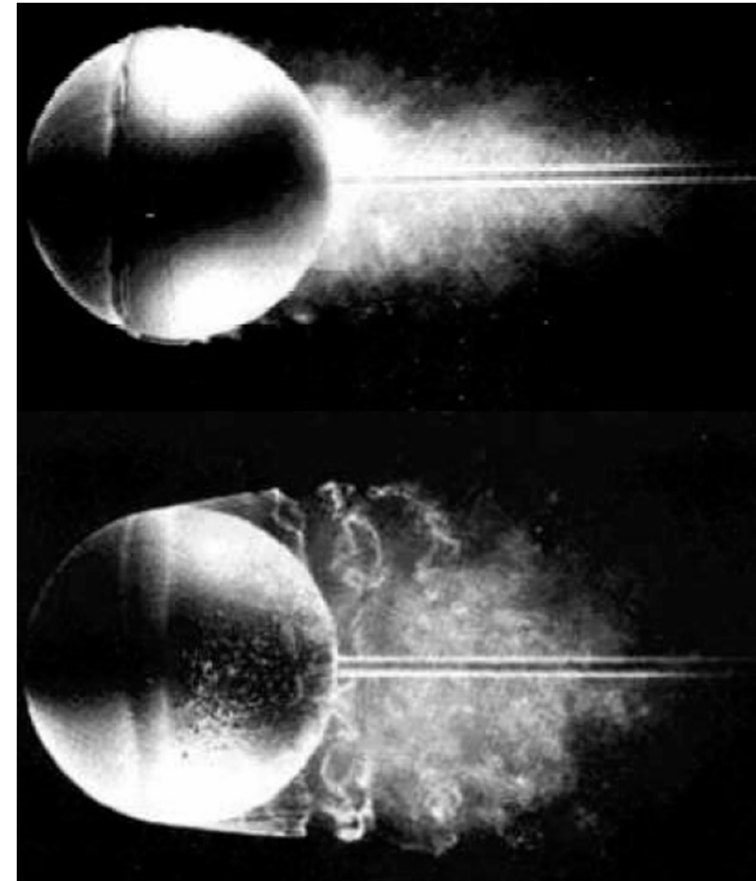
D diametro [m]

u velocità [m/s]

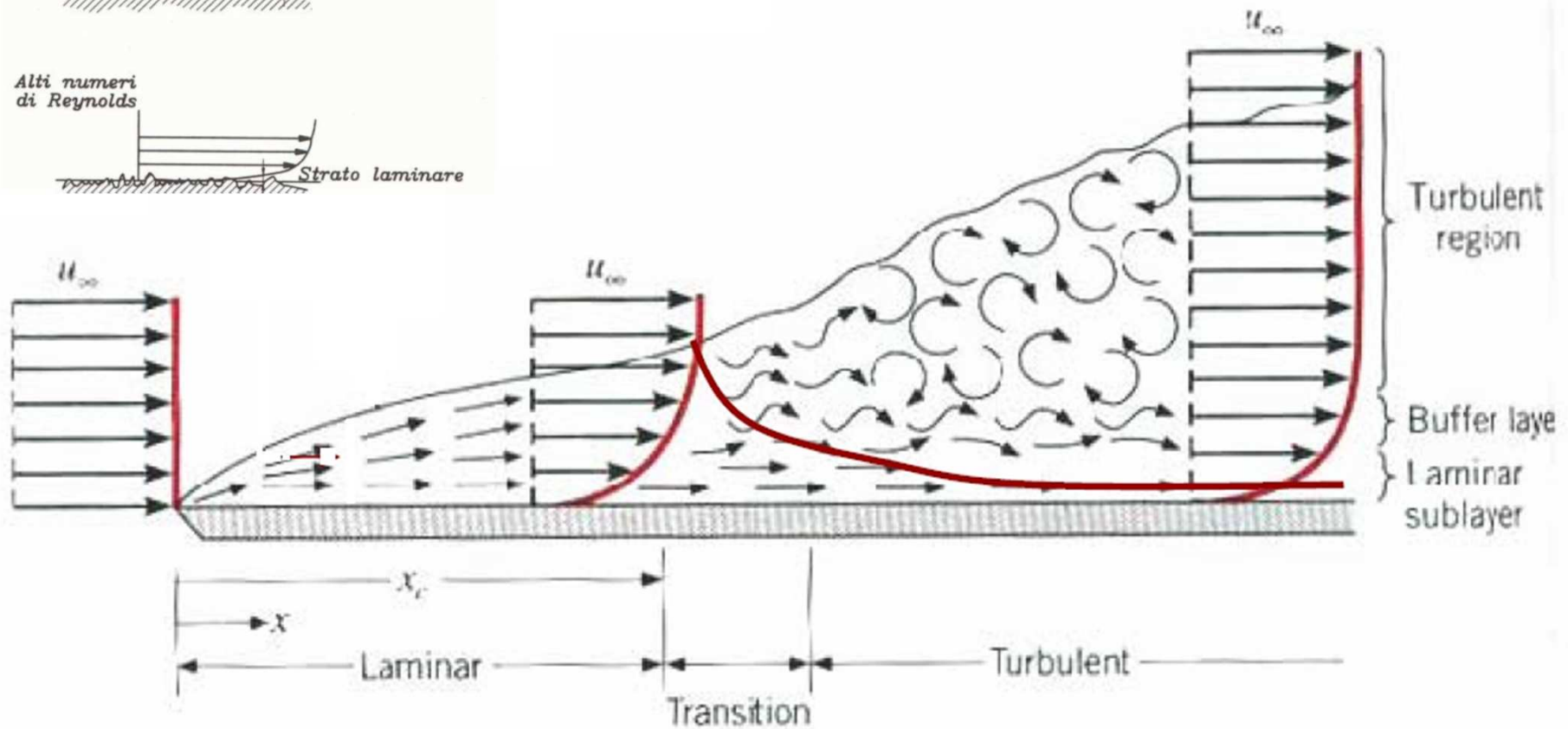
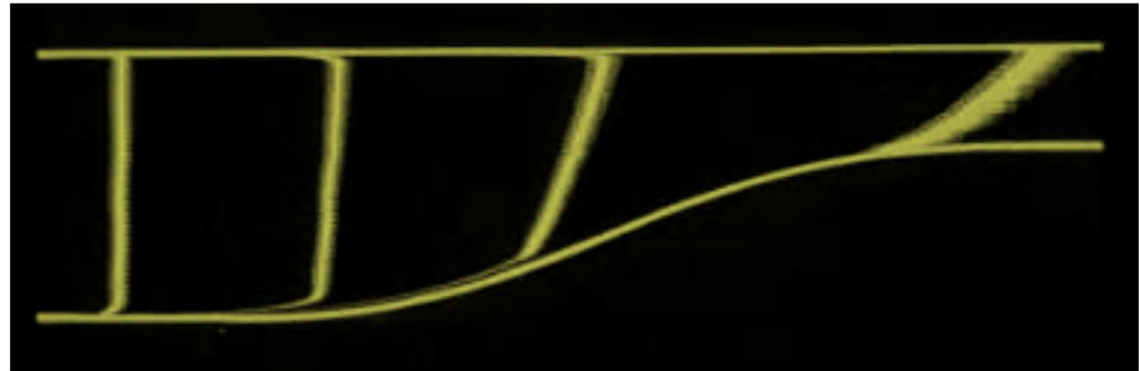
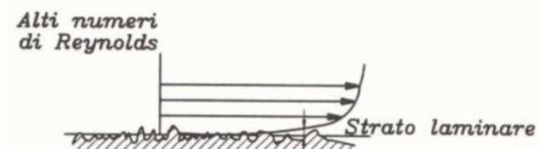
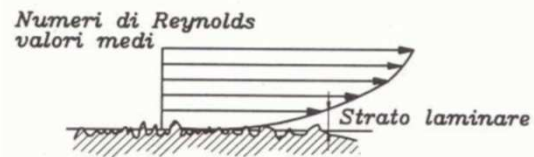
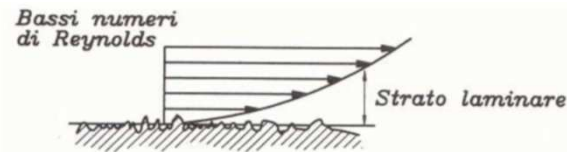
μ viscosità [Kg/m*s]

Ad uguale geometria (D) e fluido (ρ , μ):

- se $u \uparrow$, $\text{Re} \uparrow \Rightarrow$ le forze d'inerzia prevalgono
- se $u \downarrow$, $\text{Re} \downarrow \Rightarrow$ le forze viscosi prevalgono



Strato limite



Dissipazioni

La viscosità determina delle trasformazioni energetiche, così come l'attrito per i corpi solidi.

Nella legge di Bernoulli deve quindi essere considerato un termine dissipativo:

$$\frac{1}{2} \frac{(u_1^2 - u_2^2)}{g} + (z_1 - z_2) + \frac{(P_1 - P_2)}{g \cdot \rho} = R$$

La valutazione di R è condotta per le dissipazioni distribuite e per quelle concentrate secondo le due seguenti espressioni:

$$R_{distribuite} = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{u^2}{2g} \cdot L \qquad R_{concentrate} = \beta \cdot \frac{u^2}{2g}$$

dove:

λ coefficiente di perdite distribuite

μ coefficiente di perdite concentrate

Perdite distribuite

$$\Delta H = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{u^2}{2g} \cdot L$$

Formula di Colebrook

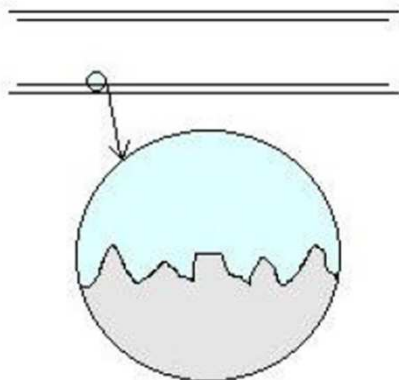
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon/D}{3.71} \right)$$

λ coeff. perdite distribuite

ε scabrezza equivalente [mm]

D diametro [mm]

Re Numero di Reynolds



SCABREZZE EQUIVALENTI

0.00 - 0.02 tubi nuovi PE, PVC, Rame, Inox

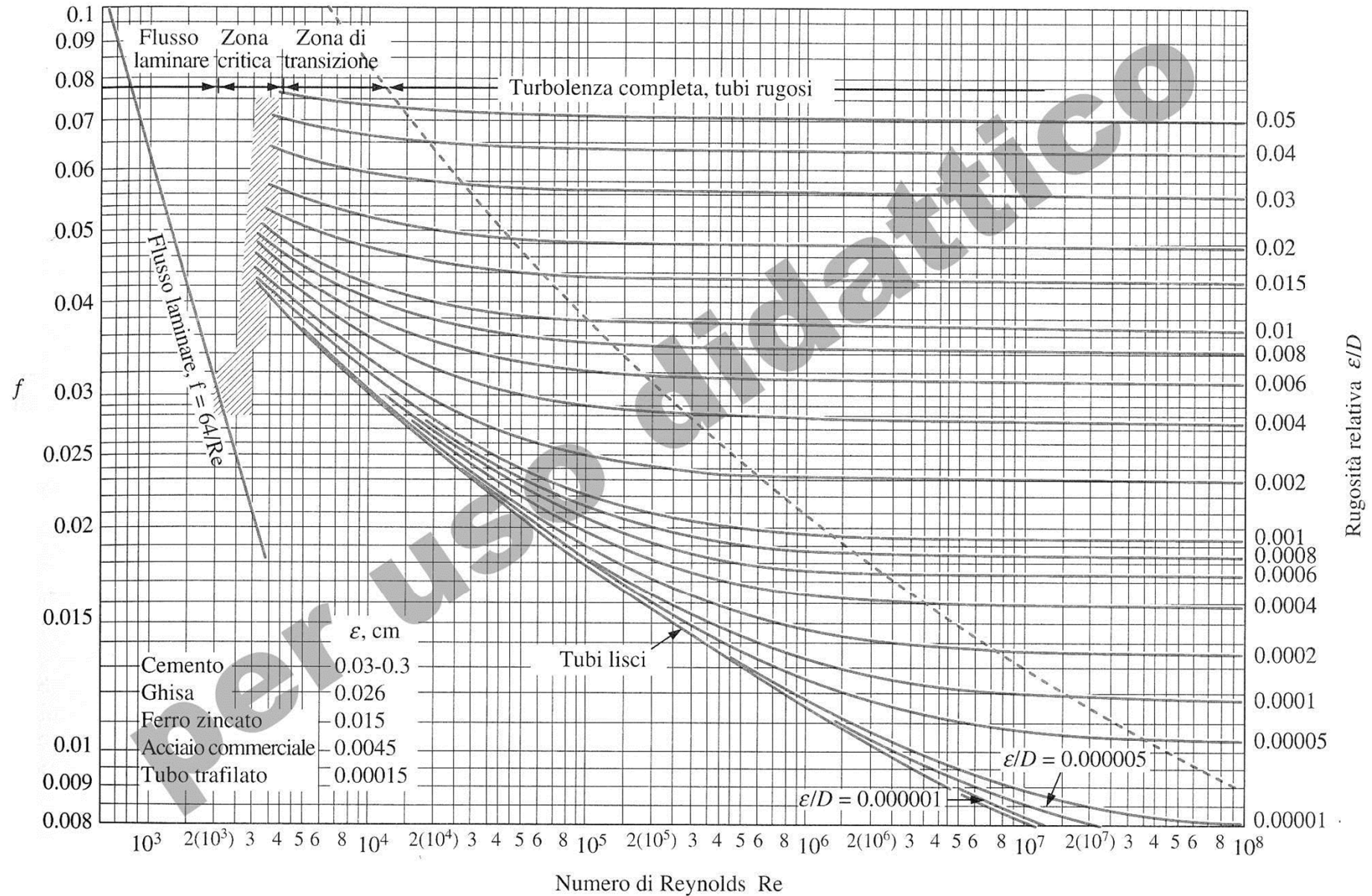
0.05 - 0.15 tubi nuovi Gres, Ghisa rivestita, Acciaio

0.10 - 0.40 tubi in Cemento o con lievi incrostazioni

0.60 - 0.80 tubi con incrostazioni e depositi

<http://www.oppo.biz/calcoli/colebrook/colebrook.php>

Diagramma di Moody

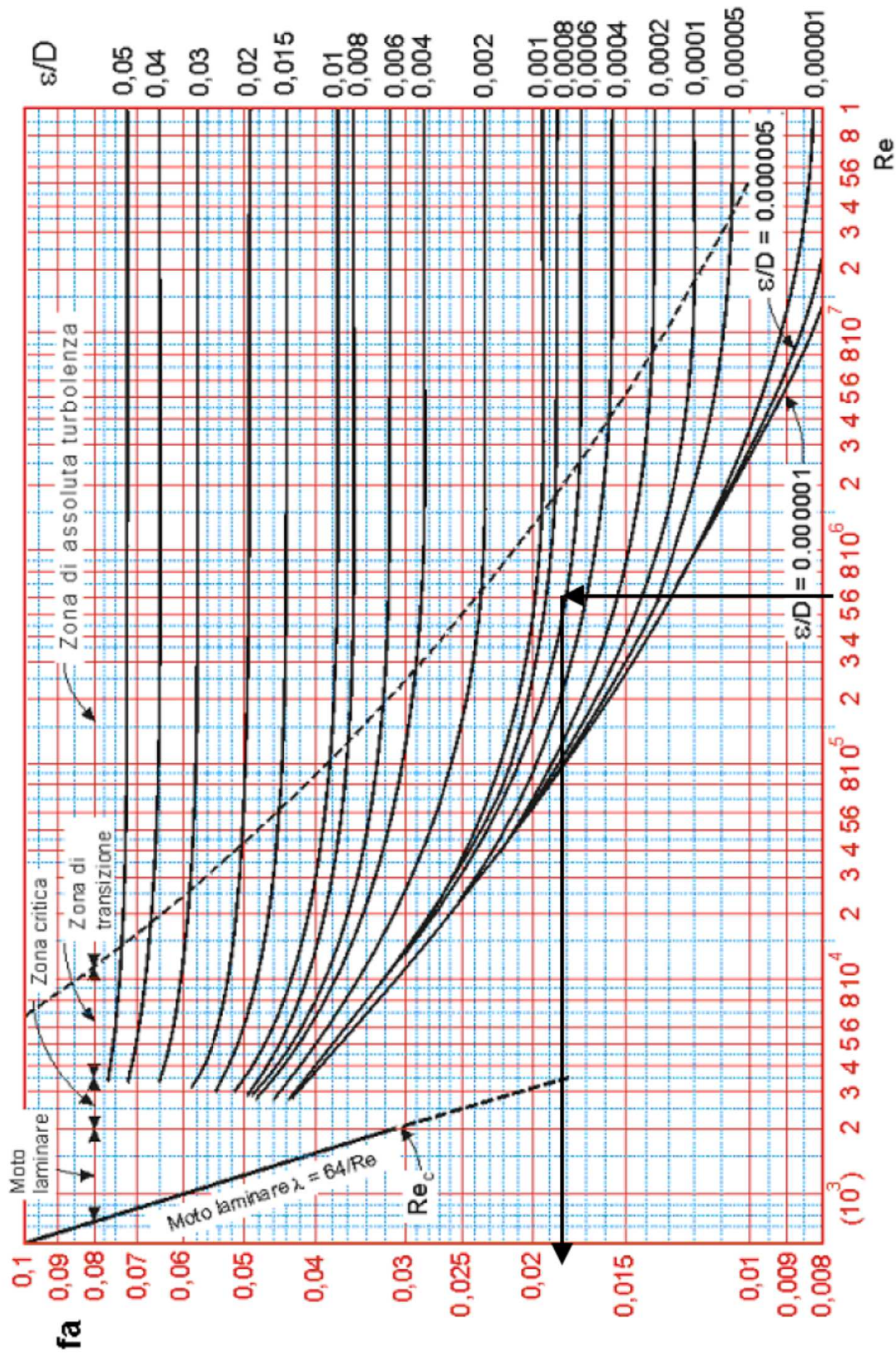


Perdite concentrate

$$\Delta H = \beta \cdot \frac{u^2}{2g}$$

Valori del coefficiente β per le accidentalità più frequenti

Accidentalità	β
- sezione di ingresso da serbatoio a condotta:	
♦ a spigolo vivo ($D_2 \ll D_1$)	0,50
♦ a spigolo arrotondato ($D_2 \ll D_1$)	0,25
- sezione di arrivo di un condotto nel serbatoio	1
- brusco allargamento di sezione ($D_2 > D_1$)	$\frac{w^2}{2} \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2} \right)^2$
- brusco restringimento di sezione ($D_2 < D_1$)	$\frac{1}{2} \frac{w^2}{2} \left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2} \right)$
- curva a 90°	1,50
- curva a 45°	0,40
- curva a 30°	0,20
valvola	
♦ completamente aperta	0,12
♦ aperta per metà	2,00
♦ aperta per 1/4	15,00



Tipo di condotta	Scabrezza omogenea equivalente ϵ (mm)
1 - Tubazioni tecnicamente lisce (vetro, ottone o rame trafilato, resina)	0 ÷ 0,02
2 - Tubazioni in acciaio	
a) rivestimenti degradabili nel tempo	0,05
- tubi nuovi, verniciati per centrifugazione	0,10 ÷ 0,15
- bitumati per immersione	0,2 ÷ 0,4
- in servizio corrente con leggera ruggine	0,5 ÷ 0,6
- con asfalto o catrame applicati a mano	1,0 ÷ 3,0
- con tuberculizzazione diffusa	
b) rivestimenti non degradabili	0,05 ÷ 0,15
- cemento applicato per centrifugazione	
3 - Tubazioni in lamiera saldata	
- in buone condizioni	0,2 ÷ 0,3
- in servizio corrente, con incrostazioni	0,4 ÷ 1,0
4 - Tubazioni in lamiera chiodata	
- 1 fila di chiodi longitudinali	0,3 ÷ 0,4
- 2 file di chiodi longitudinali	0,6 ÷ 0,7
- Idcm, con incrostazioni fino a	3,0
- 4-6 file di chiodi longitudinali	2,0
- 6 file di chiodi longitudinali + 4 trasversali	3,0
- Idcm, con incrostazioni fino a	5,0
5 - Tubazioni in ghisa	
a) rivestimenti degradabili nel tempo	0,15
- nuove, rivestite intern. con bitume	0,2 ÷ 0,4
- nuove, non rivestite	0,4 ÷ 1,0
- con lievi incrostazioni	
- in servizio corrente, parzialmente arrugginite	1,0 ÷ 2,0
- fortemente incrostate	3,0 ÷ 5,0
b) rivestimenti non degradabili	
- cemento applicato per centrifugazione	0,10
6 - Tubazioni in cemento	
- cemento-amianto	0,10
- cem. arm. nuove, intonaco perfettamente liscio	0,10 ÷ 0,15
- cem. arm. con intonaco liscio, in servizio da più anni fino a	2,0
- gallerie con intonaco di cemento, a seconda del grado di finitura	2,0 ÷ 5,0

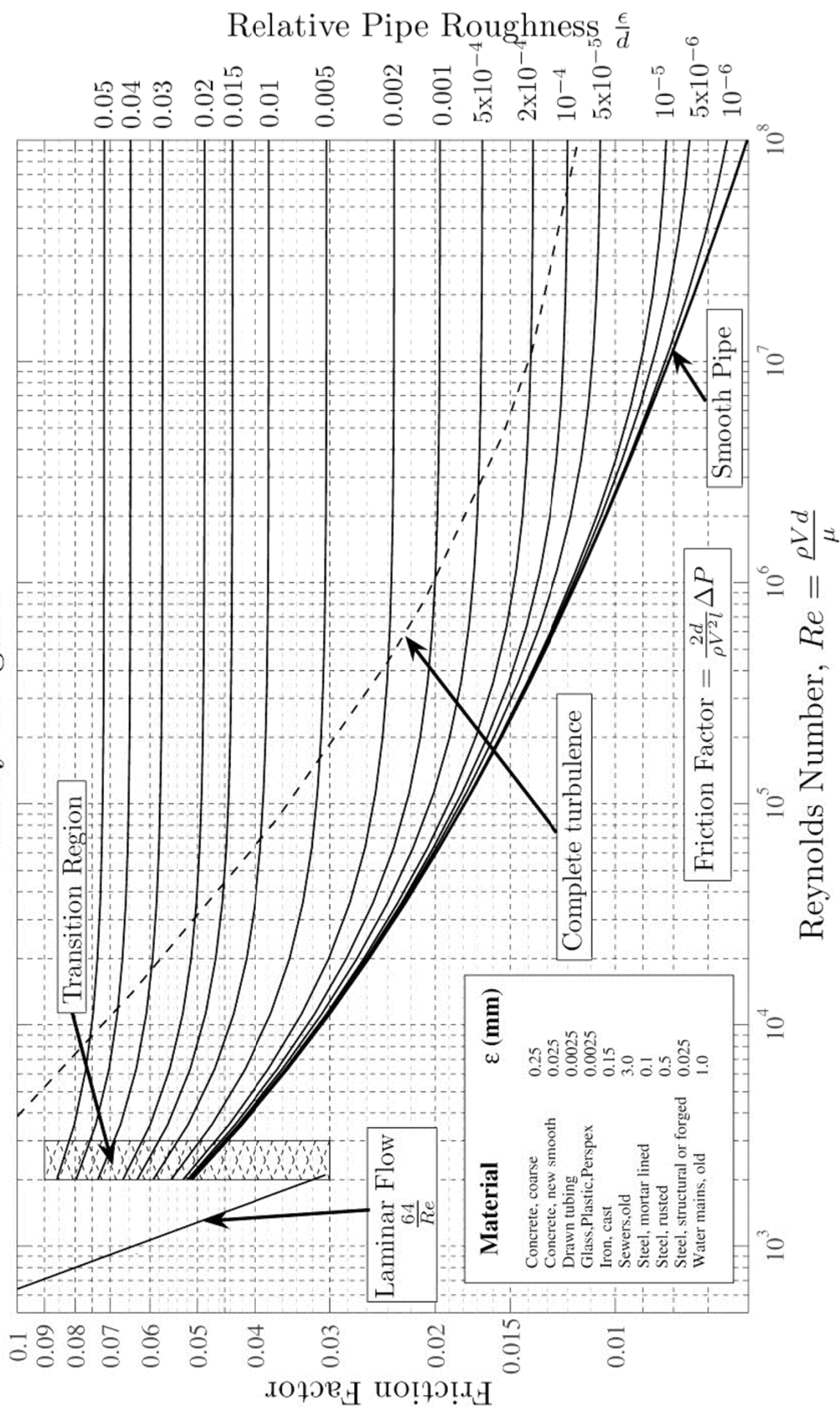
$$\frac{\lambda}{D} \cdot \frac{u^2}{2g} \cdot L$$

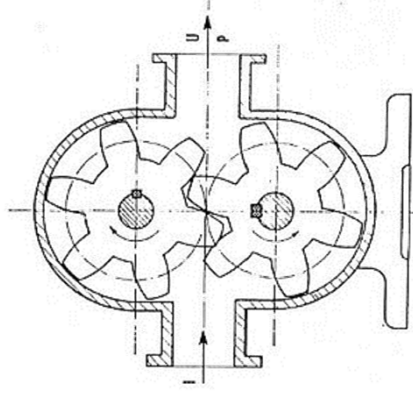
$$\beta \cdot \frac{u^2}{2g}$$

Valori del coefficiente β per le accidentalità più frequenti

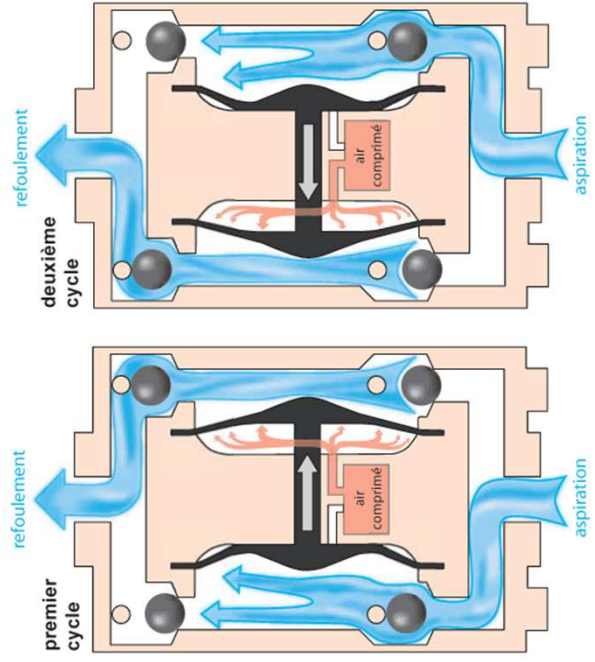
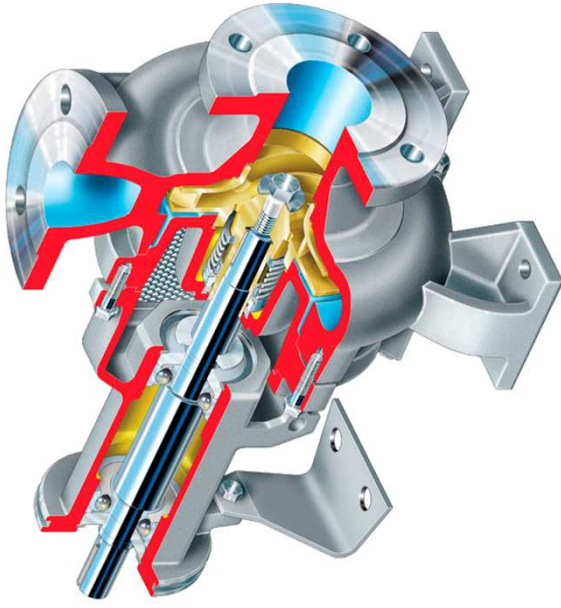
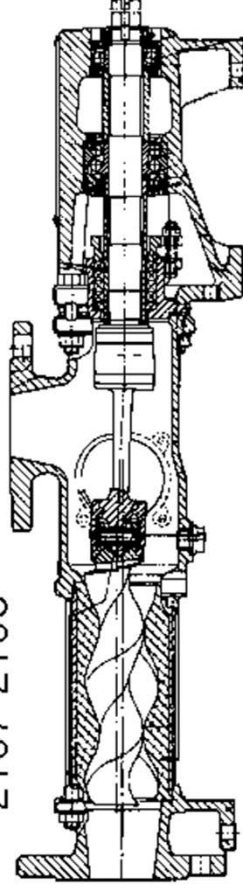
Accidentalità	β
- sezione di ingresso da serbatoio a condotta:	
• a spigolo vivo ($D_2 < D_1$)	0,50
• a spigolo arrotondato ($D_2 < D_1$)	0,25
- sezione di arrivo di un condotto nel serbatoio	1
- brusco allargamento di sezione ($D_2 > D_1$)	$\frac{W^2}{2} \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2} \right)^2$
- brusco restringimento di sezione ($D_2 < D_1$)	$\frac{1}{2} \frac{W^2}{2} \left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2} \right)$
- curva a 90°	1,50
- curva a 45°	0,40
- curva a 30°	0,20
valvola	
• completamente aperta	0,12
• aperta per metà	2,00
• aperta per 1/4	15,00

Moody Diagram





2107-2108



$$\Delta H_{tot} = \sum_i \frac{\lambda_i}{D_i} \cdot \frac{u_i^2}{2g} \cdot L_i + \sum_j \beta_j \frac{u_j^2}{2g}$$

$$\Delta H_{tot} = kQ^2$$

