

Fisica per applicazioni di realtà virtuale

Anno Accademico 2022-23

Prof. Matteo Brogi

Dipartimento di Fisica, stanza B3, nuovo edificio

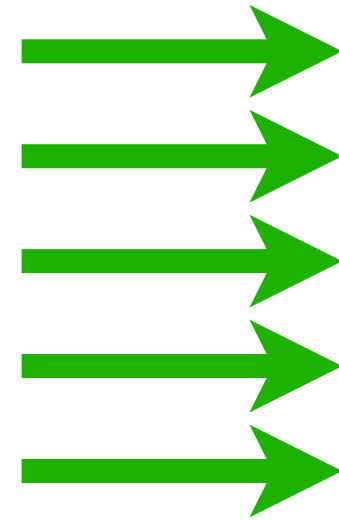
Lezioni 23-24
Meccanica dei fluidi

Fluidi reali: la viscosità

Fluido in moto: si genera **attrito interno** fra strati di liquido diversi, con **coefficiente di attrito** chiamato **viscosità** (η)

*I due strati subiscono forze uguali e contrarie per la III legge di Keplero:
lo strato più veloce decelera, lo strato più lento accelera*

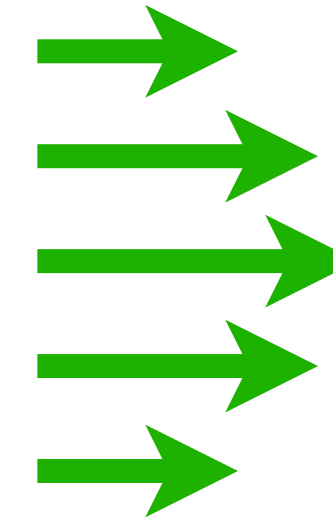
*Stessa velocità
a qualsiasi distanza
dalle pareti del tubo*



$\eta = 0$
(fluido ideale)

dF = attrito interno
 dS = superficie di
contatto

*Fluido più lento in
corrispondenza delle
pareti del tubo*



$\eta > 0$
(fluido reale)

$$dF = \eta dS \frac{dv}{dn}$$

dv/dn = variazione di velocità
perpendicolare al flusso

Idrodinamica e fluidi ideali: moto stazionario

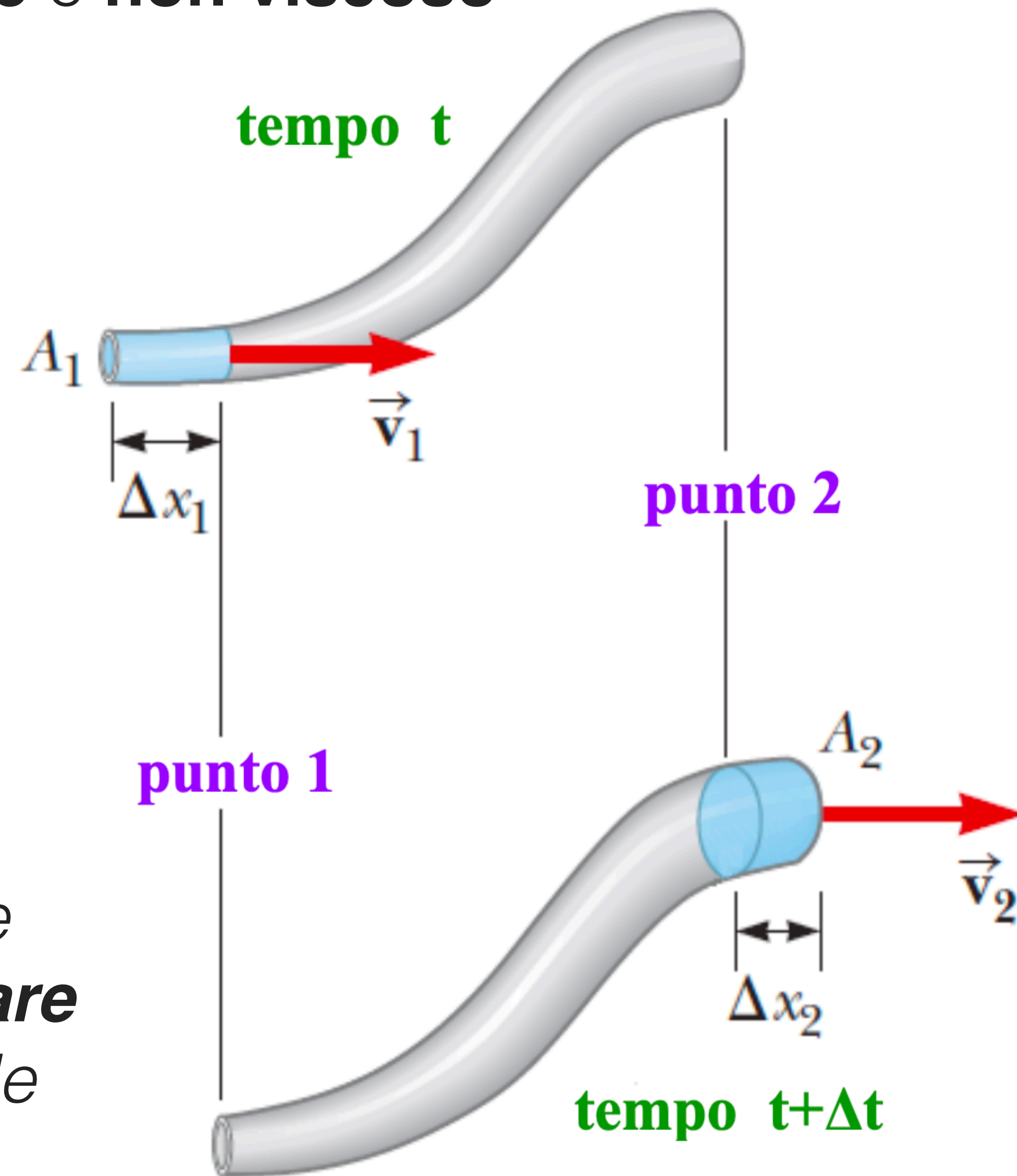
Un fluido ideale è **incomprimibile** e **non viscoso**

Moto stazionario:

- Velocità costante su ciascuna sezione del condotto
- Stessa velocità alla stessa quota
- Velocità diverse a quote diverse

Moto laminare:

*Gli strati di fluido **scivolano** l'uno sull'altro. Le particelle di fluido seguono un **percorso regolare** che **non interseca** il percorso di altre particelle*



Principio di continuità e portata

La massa che attraversa una sezione del condotto per unità di tempo è costante (*fluido incompressibile: massa non si può creare dal nulla*)

$$\Delta M_1 = \rho A_1 v_1 \Delta t = \rho A_1 \Delta x_1 = \rho \Delta V_1$$

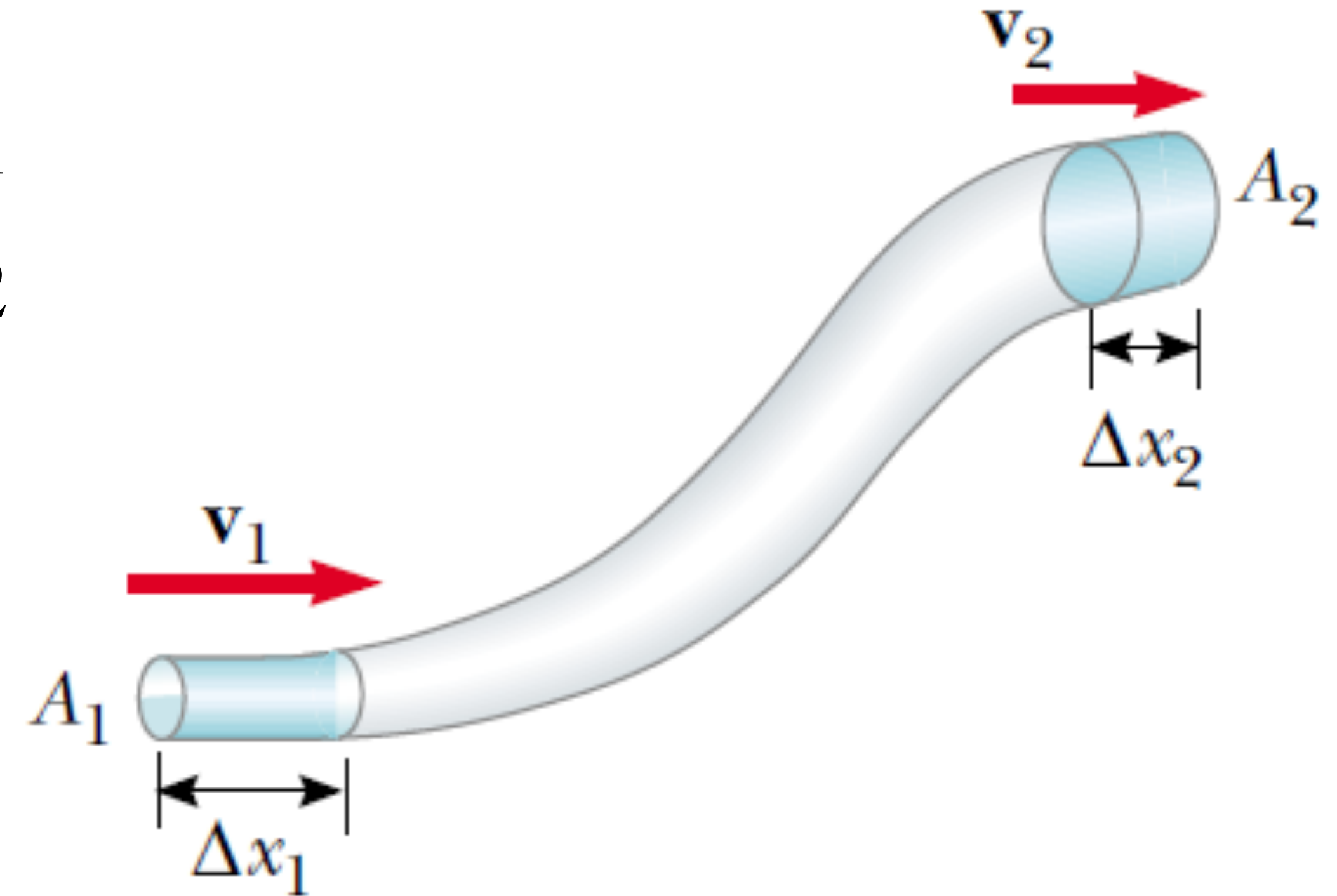
$$\Delta M_2 = \rho A_2 v_2 \Delta t = \rho A_2 \Delta x_2 = \rho \Delta V_2$$

$$\rho A_i \Delta x_i = \text{costante}$$

$$Q_V = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad \text{volumica} \quad (\text{litri / min, m}^3/\text{s})$$

Portata

$$Q_M = \frac{\Delta M}{\Delta t} \quad \text{in massa} \quad (\text{kg / s})$$



La portata si conserva in un fluido ideale (densità costante)

Teorema di Bernoulli (1)

Conservazione dell'energia: teorema delle **forze vive** applicato a un **fluido ideale** che si muove di **moto stazionario** in un condotto

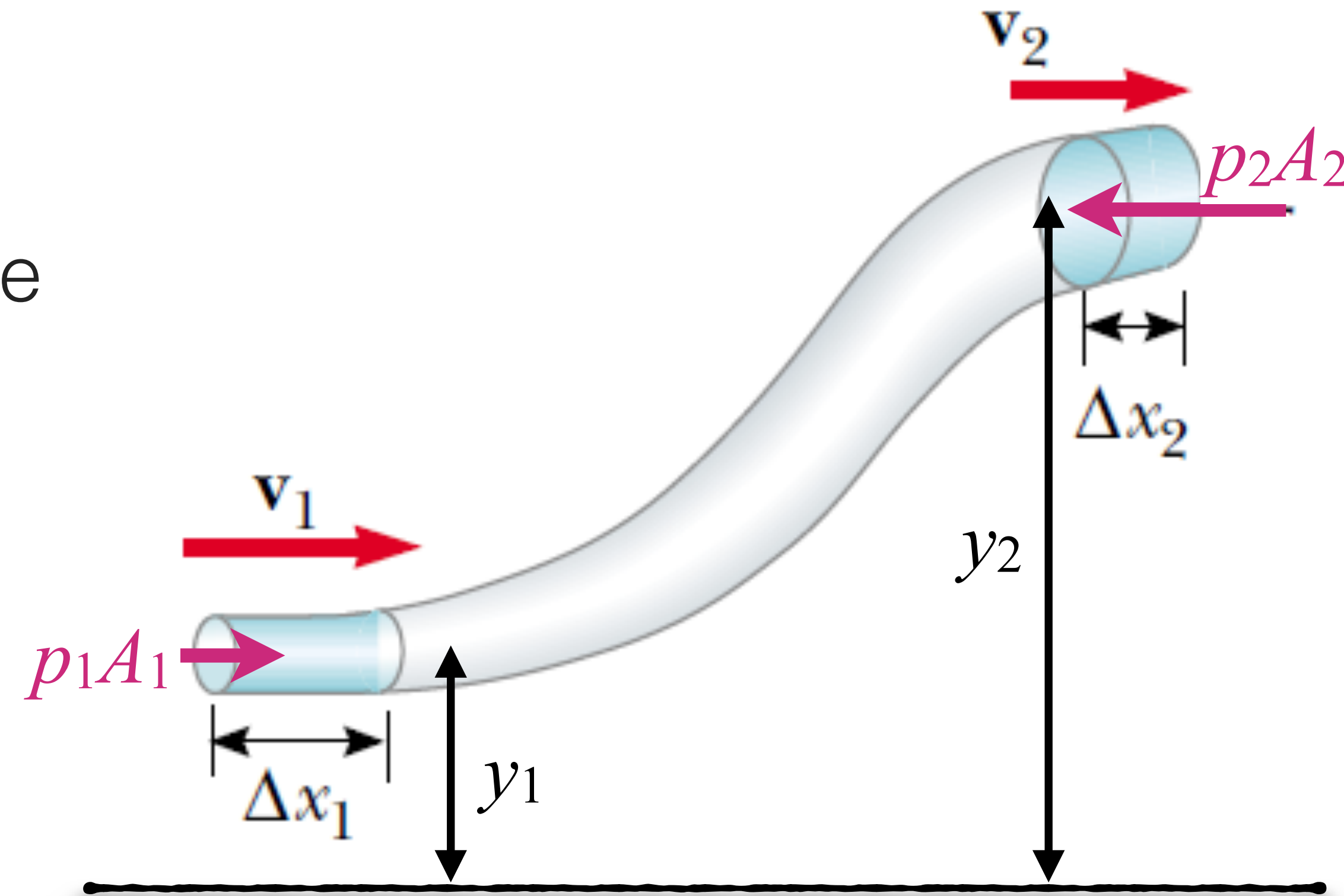
$$L_{\text{tot}} = L_1 + L_2 + L_g$$

Lavoro totale: lavoro delle forze di pressione
+ lavoro della forza di gravità

$$L_1 = p_1 A_1 \Delta x_1 = p_1 V$$

$$L_2 = -p_2 A_2 \Delta x_2 = p_2 V$$

(stesso volume attraverso le due sezioni)



$$L_3 = -\Delta U = -mg(y_2 - y_1) = -\rho V g(y_2 - y_1)$$

(lavoro della forza peso, cfr. lezioni 6-7)

Teorema di Bernoulli (2)

Calcoliamo la variazione di energia cinetica K

$$\Delta K = \frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2) = \frac{\rho V}{2}(v_1^2 - v_2^2)$$

Applichiamo il teorema delle forze vive (lezione 6)

$$L_{\text{tot}} = \Delta K$$

$$(p_1 - p_2)V - \rho Vg(y_2 - y_1) = \frac{\rho V}{2}(v_1^2 - v_2^2)$$

Tutti i termini con indice 1 eguagliano quelli con indice 2

$$p + \rho gy + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{costante}$$

Conseguenza (contro-intuitiva) del teorema di Bernoulli

Un fluido a velocità maggiore è soggetto a una pressione minore, e viceversa

$$p + \rho gy + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{costante}$$



*Tetti scoperchiati
durante un uragano*



*Fumo di sigaretta che
esce da un finestrino
dell'auto in moto*



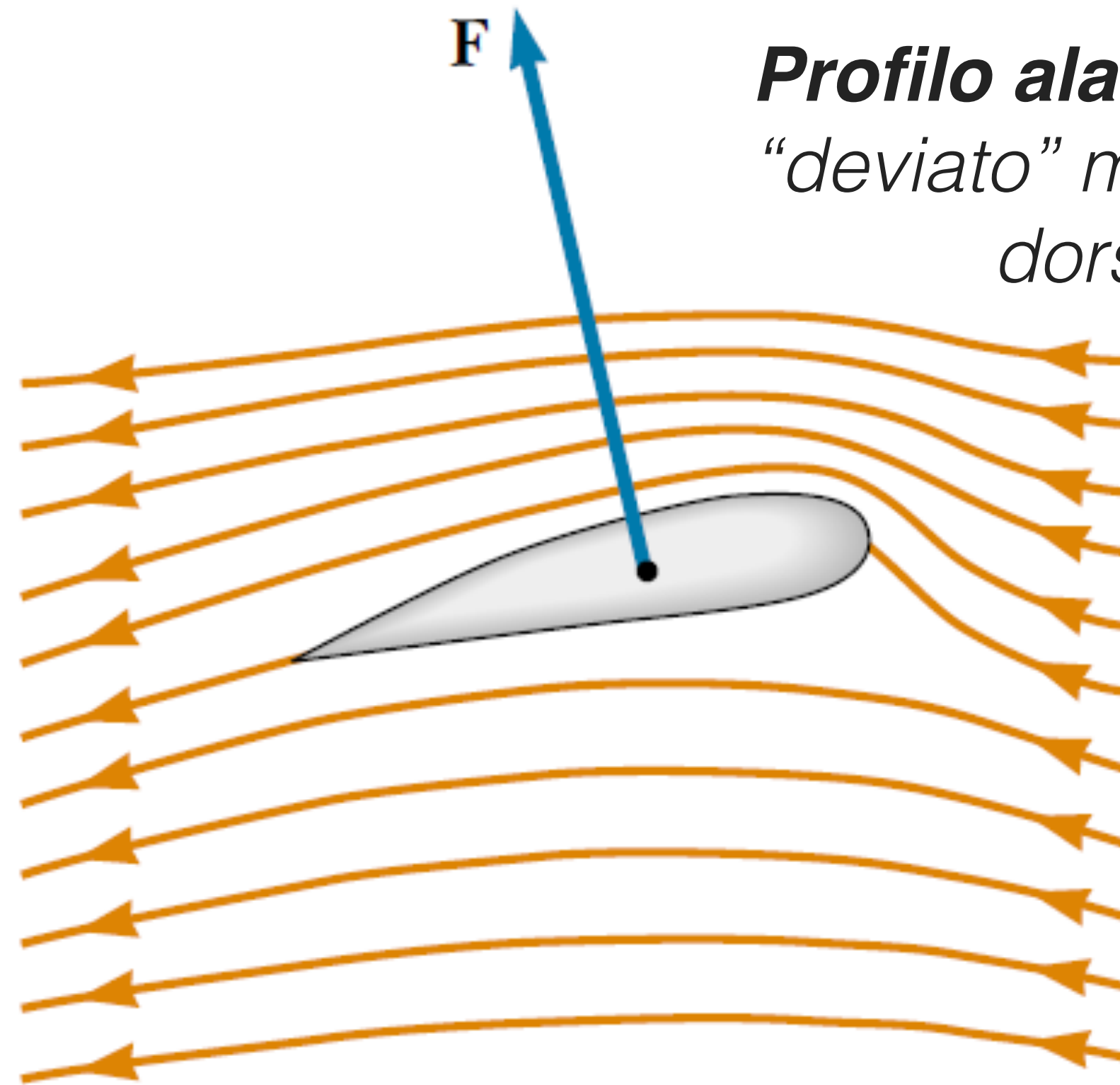
*Tenda della doccia
che viene risucchiata
verso l'interno*

La portanza alare (lift)

Grazie al profilo dell'ala, la pressione nel ventre (sotto) è maggiore della pressione nel dorso (sopra) dell'ala, generando una forza netta verso l'alto

Principio di continuità: sul dorso dell'ala la velocità aumenta

Bernoulli: Δh trascurabile, sia v che p cambiano
 $\Rightarrow p$ scende sul dorso dell'ala



Profilo alare: il flusso viene “deviato” maggiormente sul dorso dell'ala

Grazie alla dipendenza quadratica, la portanza dipende fortemente dalla velocità dell'aereo

$$p + \rho gy + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{costante}$$

Esercizi sulla portata / continuità

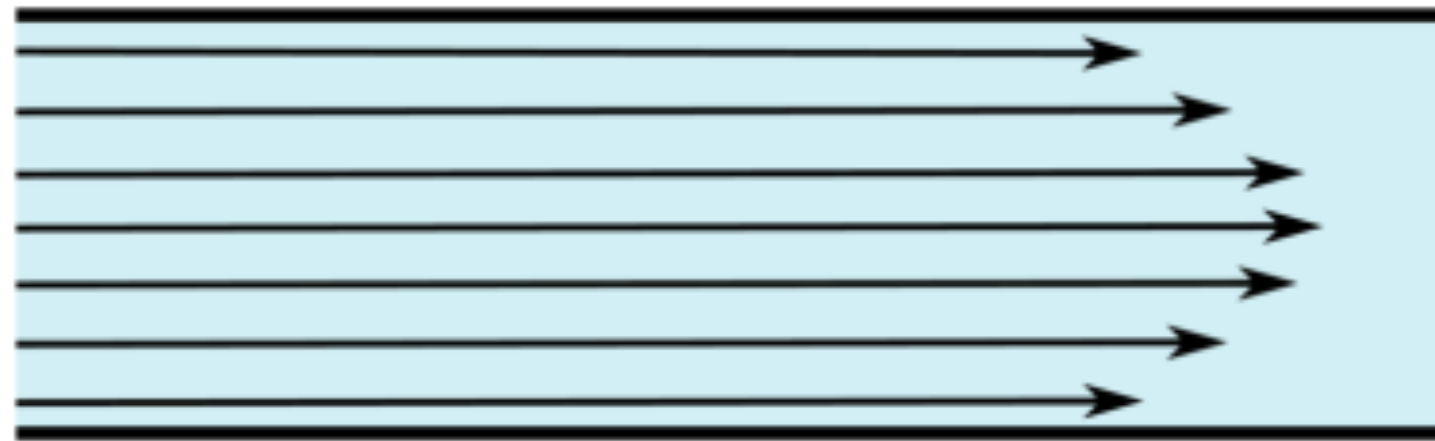
Esercizio 14.08: Calcolare la sezione del flusso di acqua che esce da un rubinetto di sezione pari a 10^{-4} m^2 ad una quota inferiore di 1 m, sapendo che la portata è 20 l / min.

Esercizio 14.09: Una cisterna contiene al suo interno acqua e aria alla pressione atmosferica, separati da una superficie libera di 20 m^2 . Se un rubinetto di sezione 0.001 m^2 viene aperto a una profondità di 25 m, si calcoli velocità e portata del fluido fuoriuscente.

Flusso laminare vs flusso turbolento

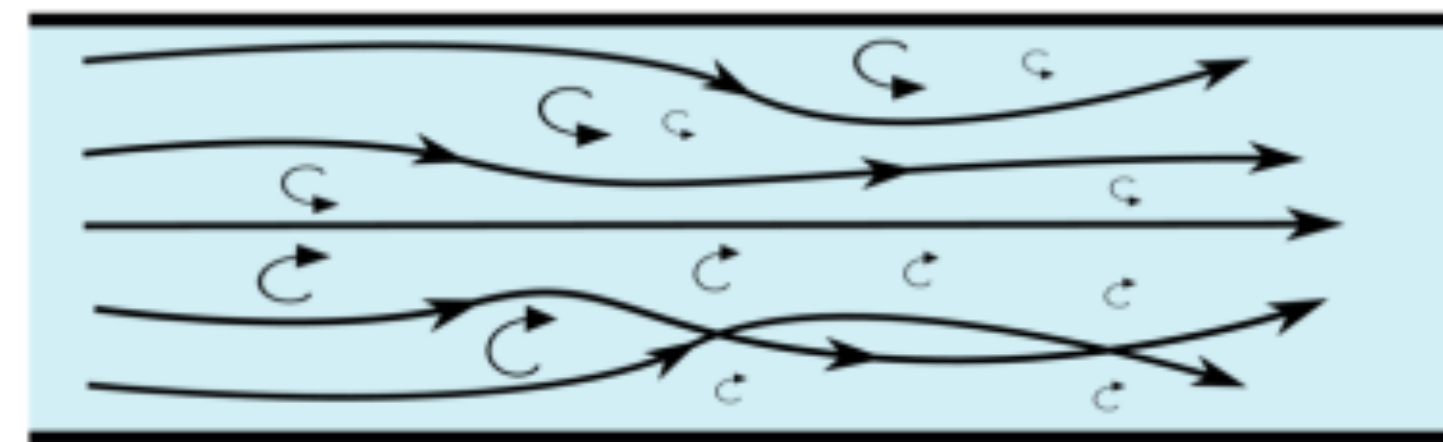
Flusso **turbolento** = flusso **irregolare**, le particelle del fluido percorrono **vortici**
⇒ I percorsi degli elementi del fluido si intersecano

laminar flow



*Fluido reale viscoso, velocità
del fluido aumenta verso il
centro del condotto*

turbulent flow

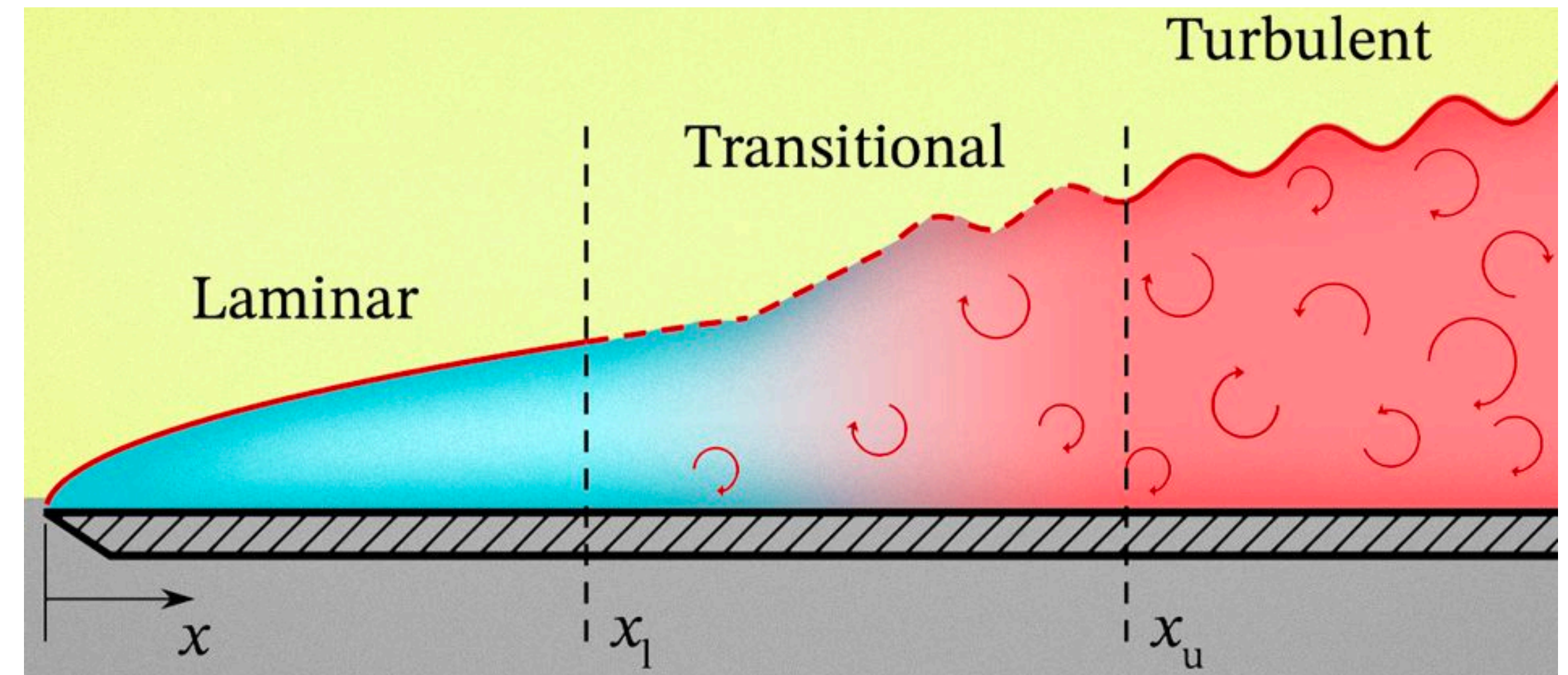


*Velocità netta del fluido verso
destra, ma ciascun punto del
condotto ha velocità casuale*

***Turbolenza: un processo in grado di trasferire energia (attrito viscoso) dalla
scala microscopica alla scala macroscopica ⇒ dissipazione***

Esempi di flussi laminari-turbolenti e numero di Reynolds

Canali / tubi a sezione variabile, getti di aria / fumo a contatto con superfici oppure ostacoli, fluidi a velocità crescente



Numero di Reynolds

$$R_e = \frac{\rho v r}{\eta}$$

ρ : densità, v : velocità, r : distanza
 η : viscosità

Il moto di un fluido diventa più turbolento quando i) la velocità aumenta, ii) la viscosità scende, e/o iii) il cammino lungo l'interfaccia aumenta