

Galleria del vento

Esperimentazioni I
a.a. 2023-2024

Obiettivi

Studio di un fluido ideale

- Studio del **profilo di velocità** attraverso la sezione del canale
- Verifica delle **leggi di continuità e di Bernoulli**
- Misura della **resistenza aerodinamica** di diversi corpi
- Determinazione della **curva polare** di un'ala

La legge di Bernoulli

- 💡 La legge di **conservazione dell'energia** in fluidodinamica si traduce nella **legge di Bernoulli**

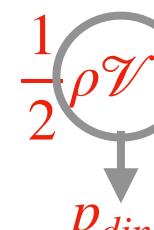
La legge di Bernoulli

- La legge di **conservazione dell'energia** in fluidodinamica si traduce nella **legge di Bernoulli**
 - Nello studio energetico del moto del fluido si identificano 3 termini:
 - energia potenziale: mgh
 - energia cinetica: $\frac{1}{2}m\mathcal{V}^2$
 - energia di “pressione”: pV
- la somma delle energie resta costante: $\frac{1}{2}m\mathcal{V}^2 + mgh + pV = \text{cost}$

La legge di Bernoulli

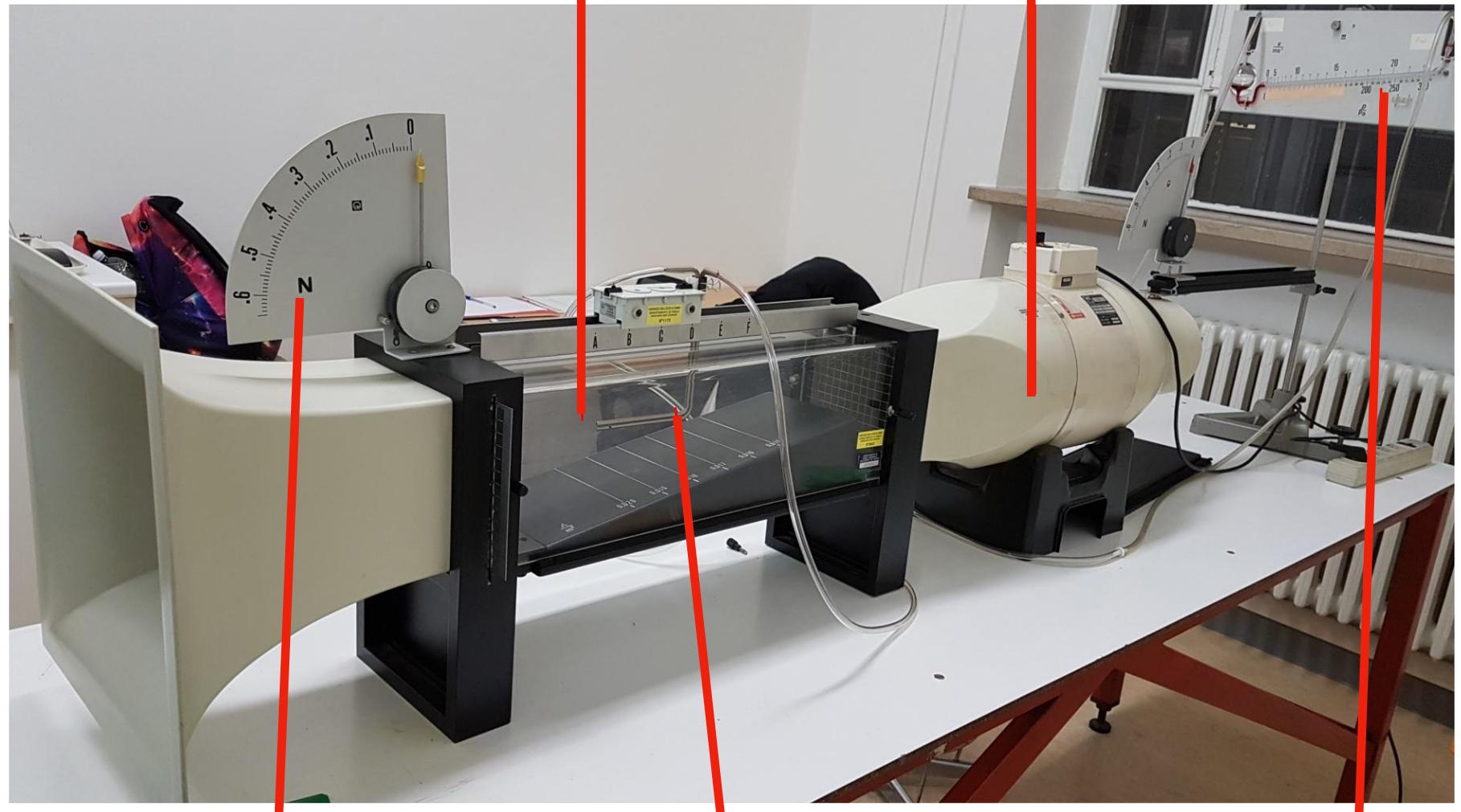
- La legge di **conservazione dell'energia** in fluidodinamica si traduce nella **legge di Bernoulli**
- Nello studio energetico del moto del fluido si identificano 3 termini:
 - energia potenziale: mgh
 - energia cinetica: $\frac{1}{2}mV^2$
 - energia di "pressione": pV
- la somma delle energie resta costante: $\frac{1}{2}mV^2 + mgh + pV = \text{cost}$
- Dividendo per V, energie → **pressioni**: $\frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gh + p_{\text{stat}} = \text{cost}$

La legge di Bernoulli

- La legge di **conservazione dell'energia** in fluidodinamica si traduce nella **legge di Bernoulli**
- Nello studio energetico del moto del fluido si identificano 3 termini:
 - energia potenziale: mgh
 - energia cinetica: $\frac{1}{2}mV^2$
 - energia di "pressione": pV
- la somma delle energie resta costante: $\frac{1}{2}mV^2 + mgh + pV = \text{cost}$
- Dividendo per V, energie → **pressioni**: $\frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gh + p_{\text{stat}} = \text{cost}$ 
$$p_{\text{din}}$$

Canale del vento

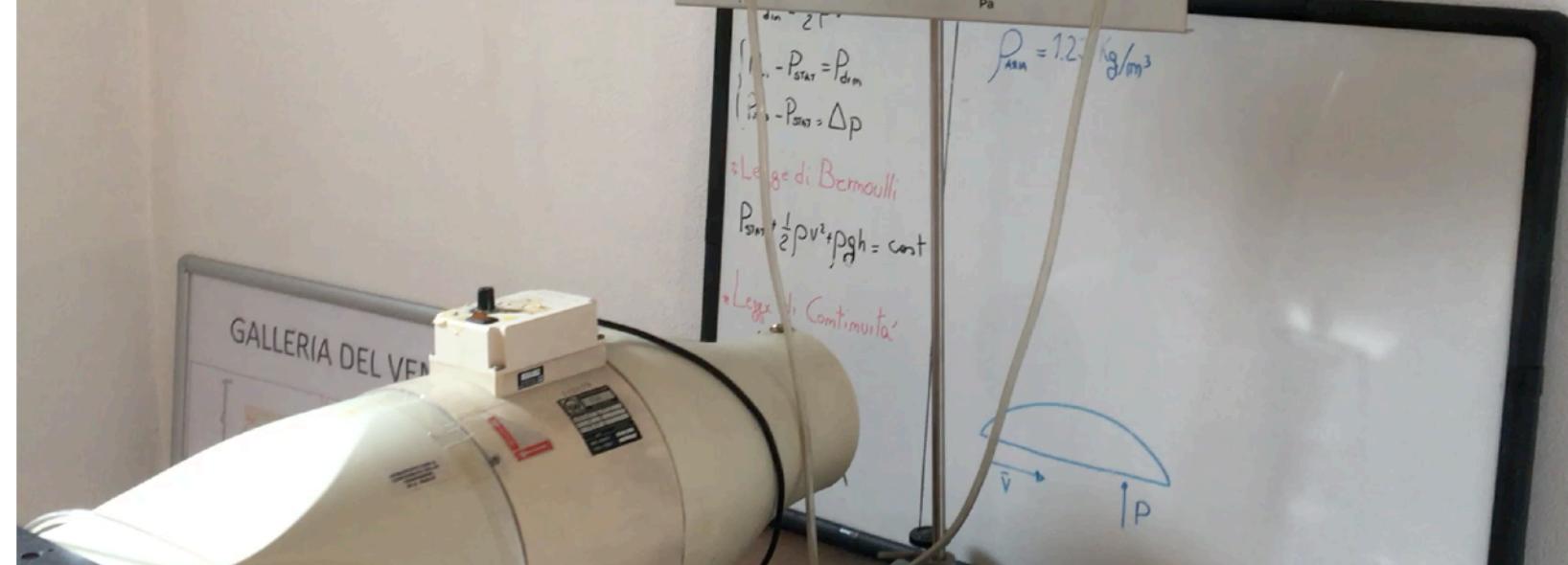
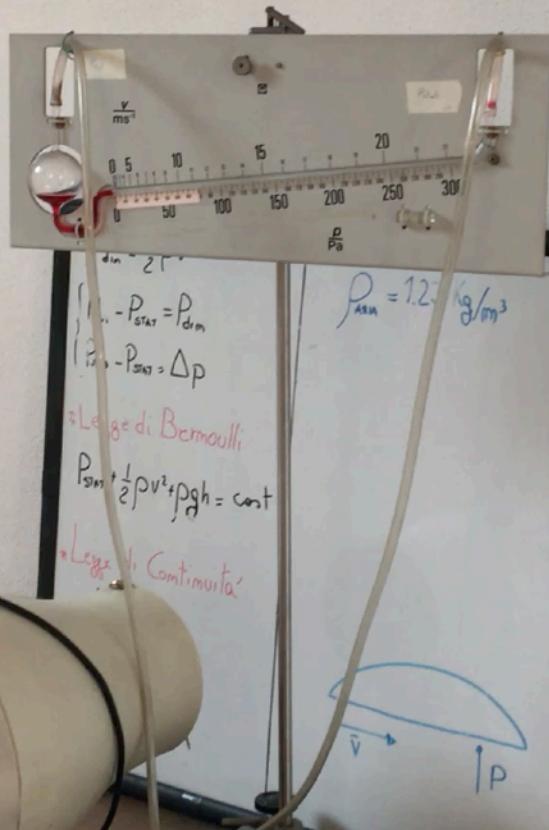
Motore



Newtometro

Tubo di Pitot

Manometro
differenziale



Tubo di Pitot



Tubo di Pitot



Tubo di Pitot



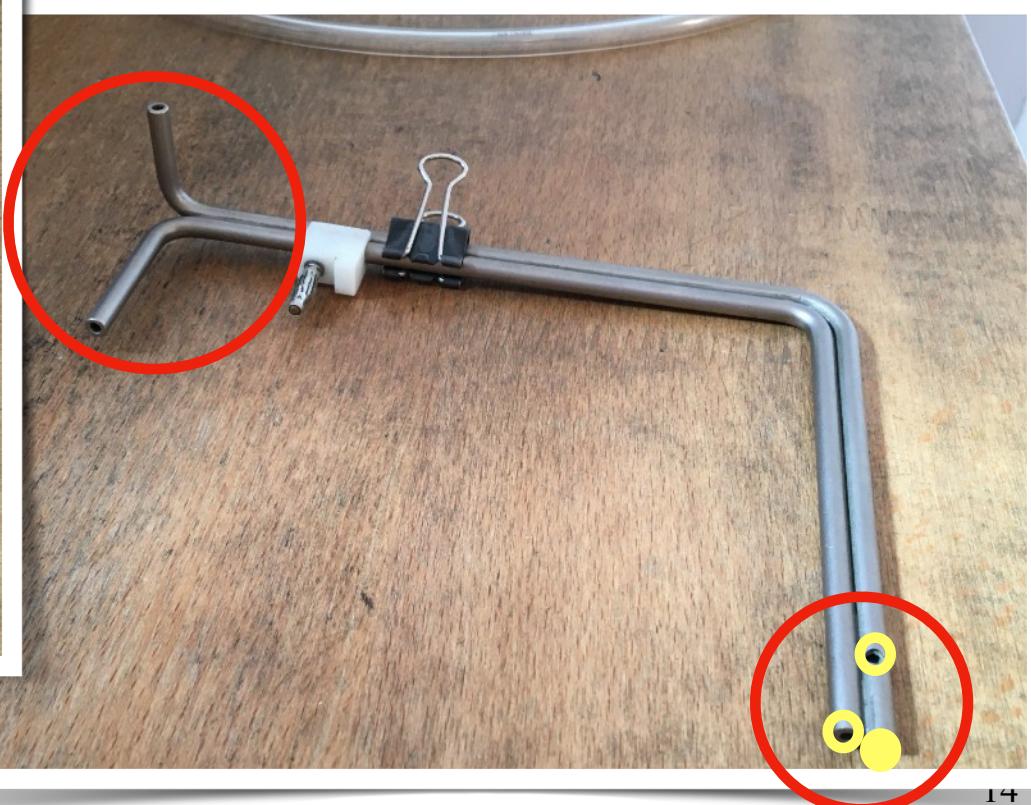
Tubo di Pitot



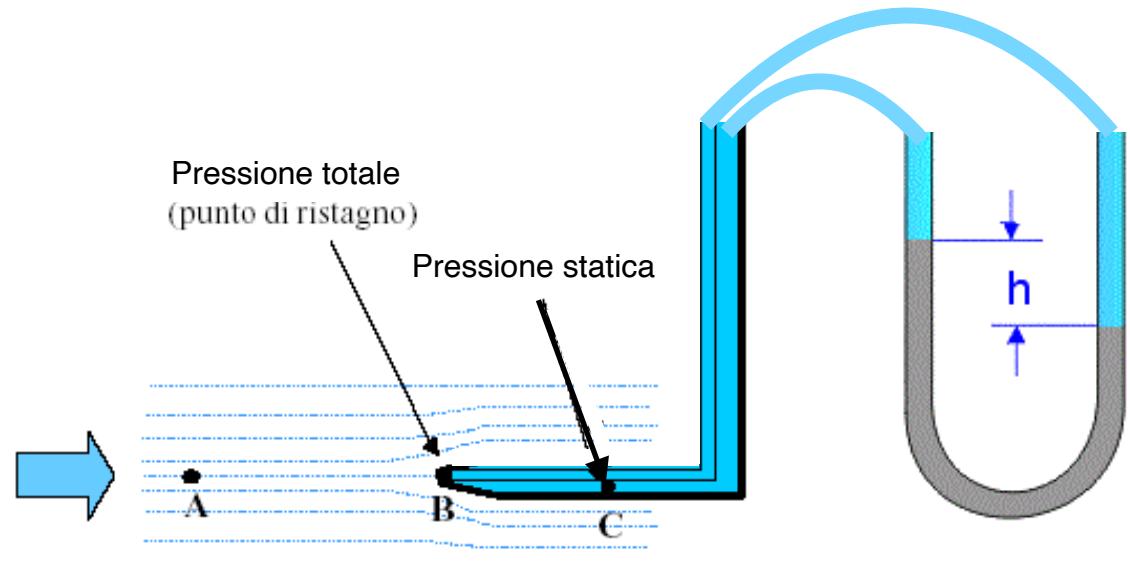
Tubo di Pitot



Tubo di Pitot

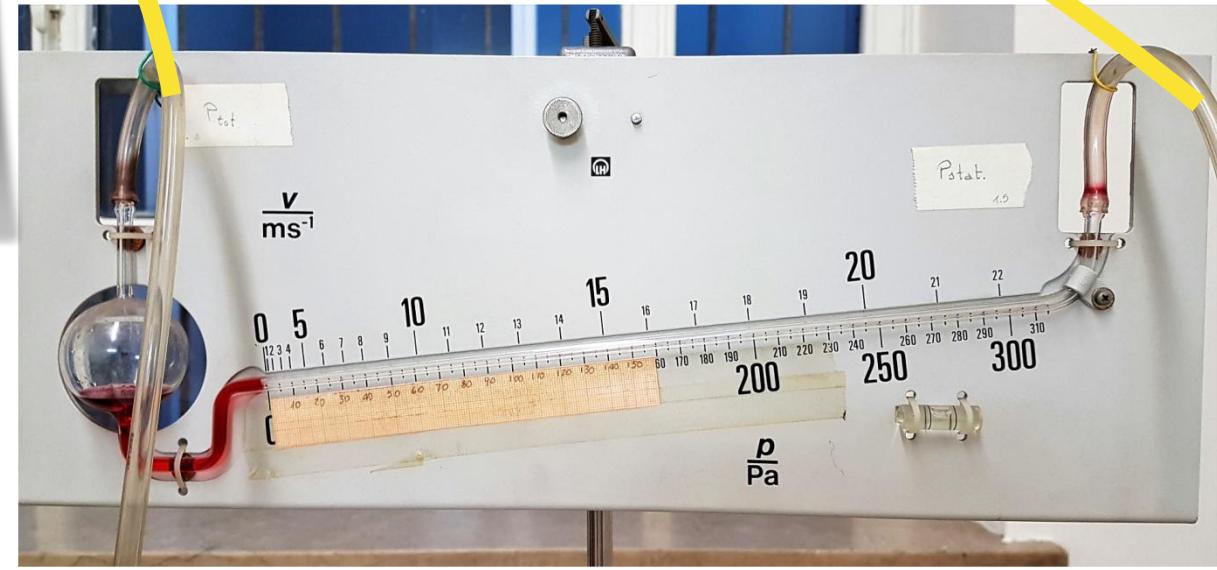


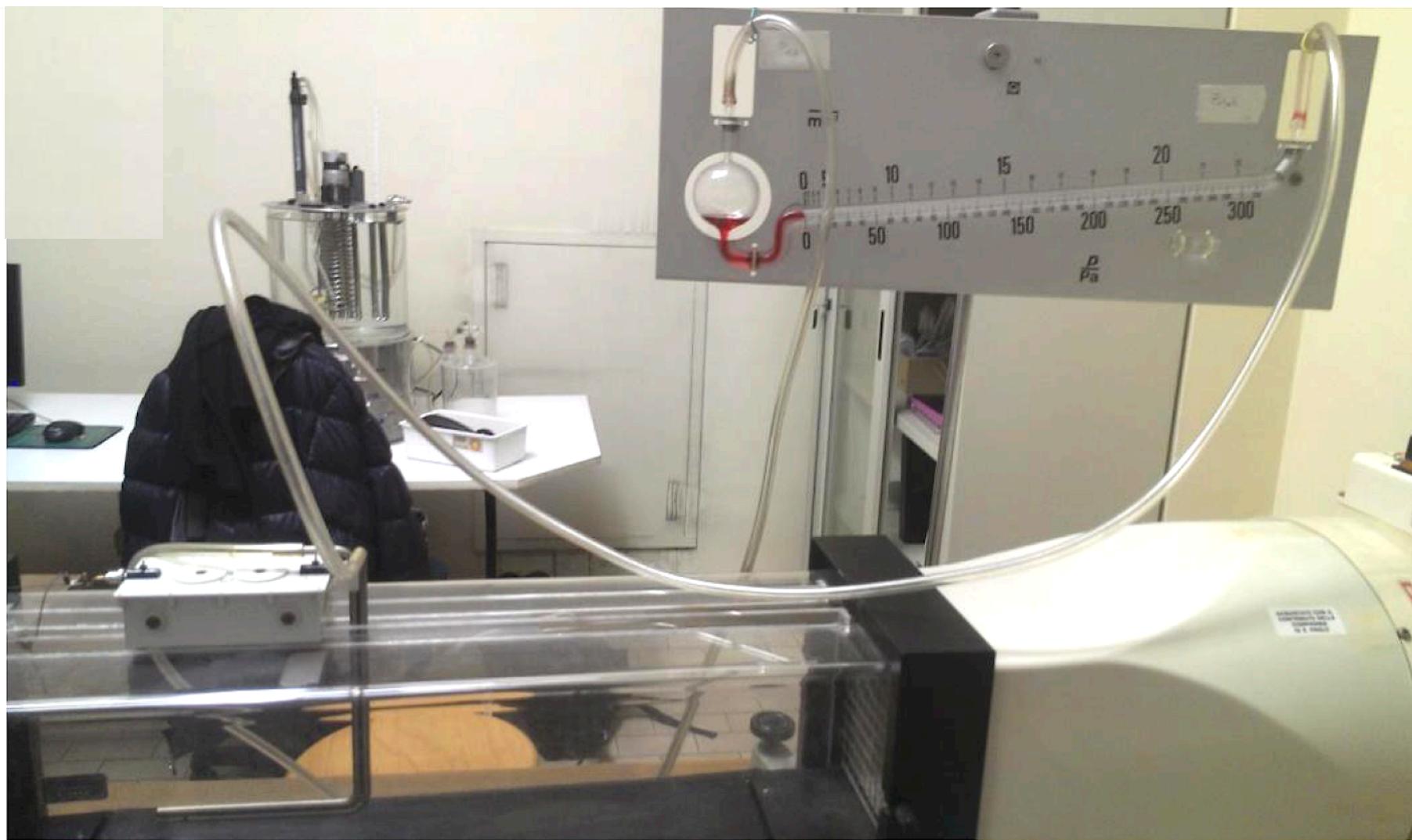
Tubo di Pitot

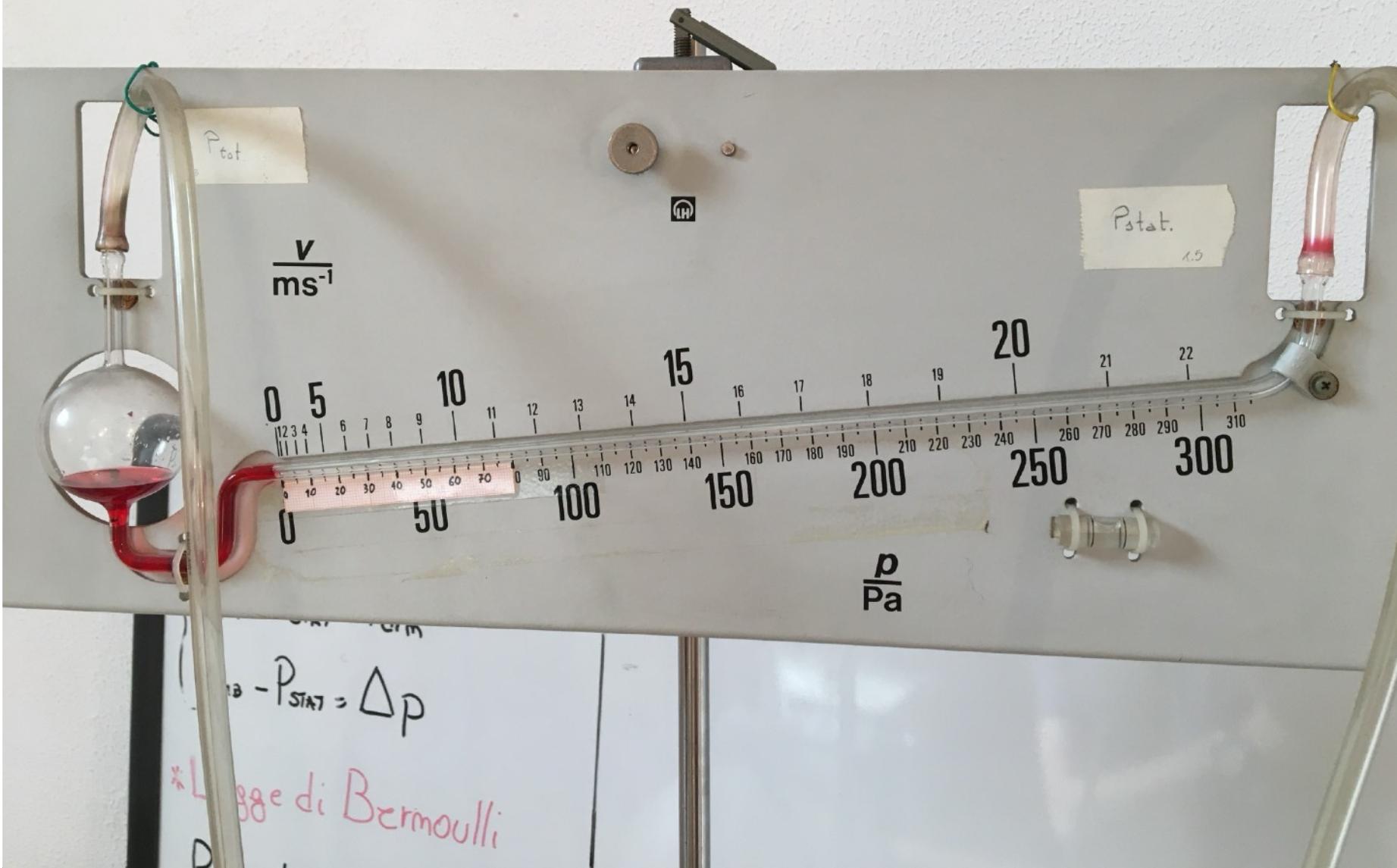


$$\frac{1}{2} \rho V^2 + \cancel{\rho g h} + p_{stat} = cost$$

Tubo di Pitot



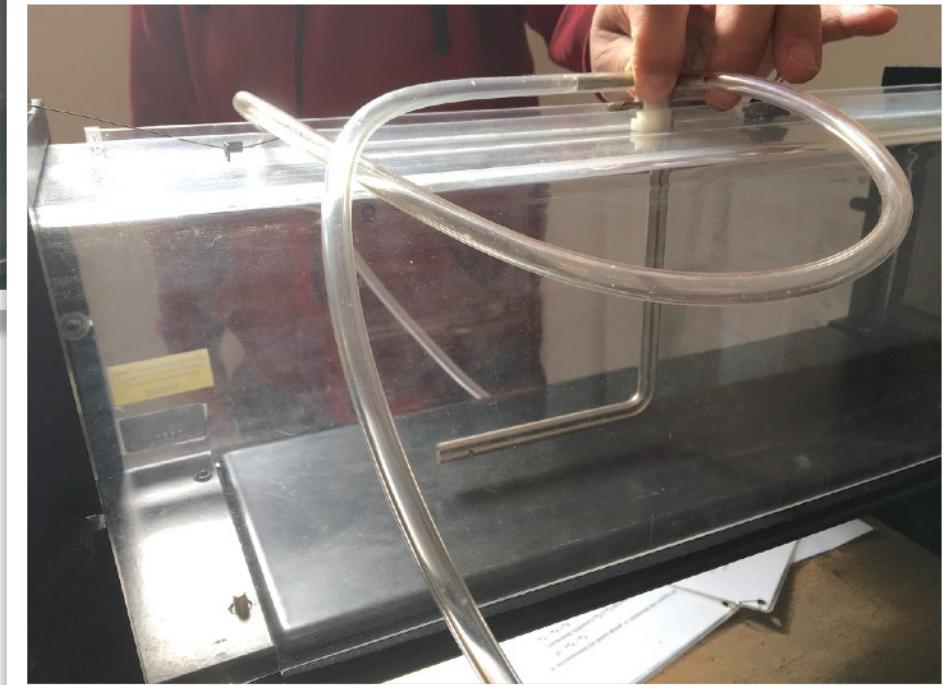
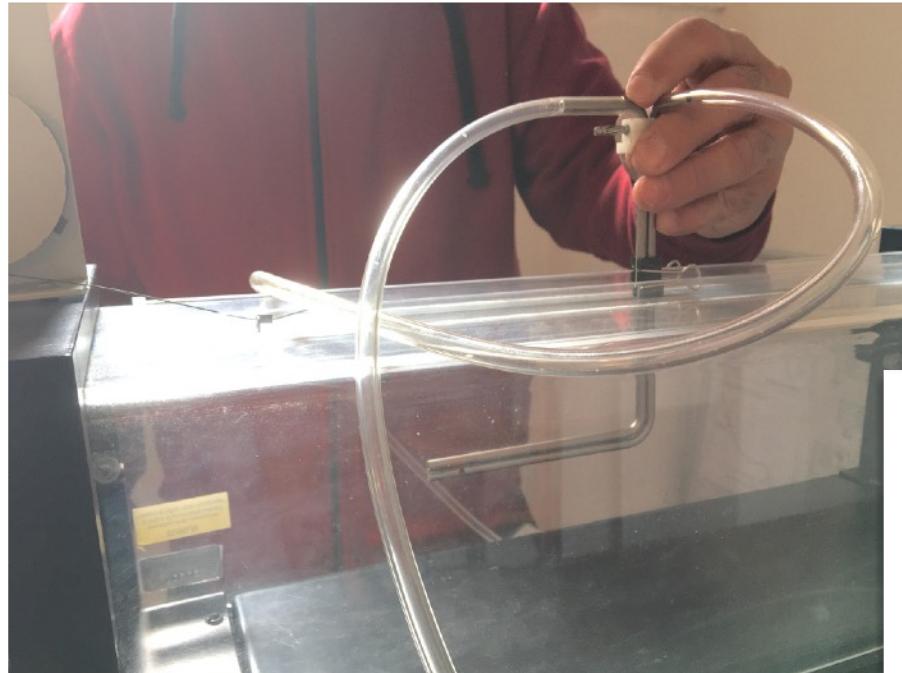




Studio del profilo di velocità

- 💡 Consideriamo un **fluido reale ma poco viscoso** (aria) e che si muove in **canale ampio**:
 - ➡ **flusso stazionario**: la velocità del fluido è *costante nel tempo in un dato punto*, cioè la velocità di ogni particella che passa per quel punto è sempre la stessa
 - ➡ **moto irrotazionale**: in ogni punto gli elementi del fluido hanno *velocità angolare nulla attorno a quel punto* (i.e. no vortici)
- 💡 In un canale del vento come quello in lab il fluido scorre con una **velocità** che si mantiene circa **costante nella parte centrale** del condotto → **da verificare**
 - 💡 individuare l'intervallo Δh in cui la velocità si mantiene costante

Studio del profilo di velocità



PRIMA PARTE

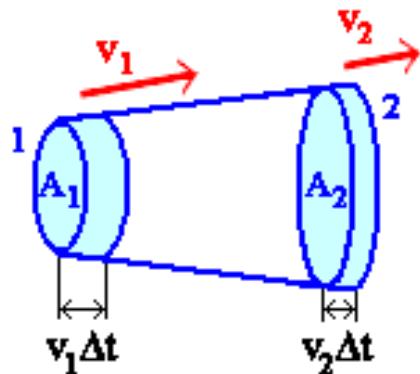
Verifica della costanza
della portata e della
legge di Bernoulli

La costanza della portata

- Il principio di conservazione della massa nella dinamica dei fluidi si traduce nel principio di continuità, ovvero nella **costanza della portata**

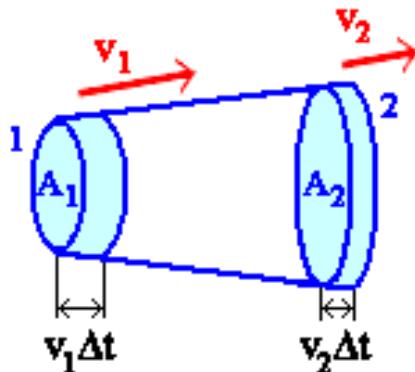
La costanza della portata

- Il principio di conservazione della massa nella dinamica dei fluidi si traduce nel principio di continuità, ovvero nella **costanza della portata**
- Si consideri un fluido omogeneo ($\rho=\text{cost}$), che scorre in un canale di sezione variabile ($A_1 \neq A_2$).



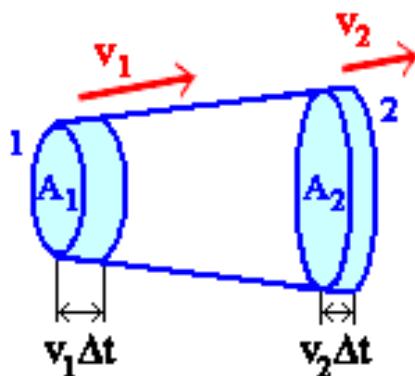
La costanza della portata

- Il **principio di conservazione della massa** nella dinamica dei fluidi si traduce nel principio di continuità, ovvero nella **costanza della portata**
- Si consideri un fluido omogeneo ($\rho=\text{cost}$), che scorre in un canale di sezione variabile ($A_1 \neq A_2$).
- Si definisce portata Q il volume del fluido che attraversa la sezione di un condotto nell'unità di tempo: $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$



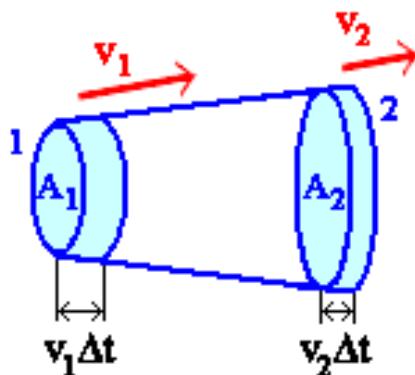
La costanza della portata

- Il principio di conservazione della massa nella dinamica dei fluidi si traduce nel principio di continuità, ovvero nella **costanza della portata**
- Si consideri un fluido omogeneo ($\rho=\text{cost}$), che scorre in un canale di sezione variabile ($A_1 \neq A_2$).
- Si definisce portata Q il volume del fluido che attraversa la sezione di un condotto nell'unità di tempo: $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$
- Poichè $\rho=\text{cost}$, in un Δt fisso: $m_1 = m_2 \Rightarrow V_1 = V_2 \Rightarrow Q_1 = Q_2$



La costanza della portata

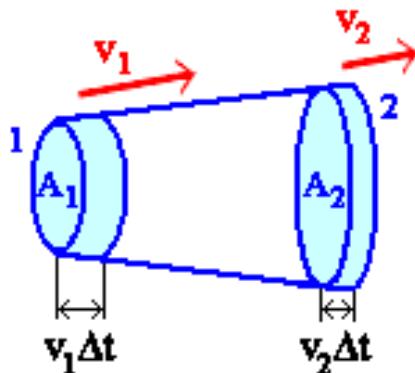
- Il **principio di conservazione della massa** nella dinamica dei fluidi si traduce nel principio di continuità, ovvero nella **costanza della portata**
- Si consideri un fluido omogeneo ($\rho=\text{cost}$), che scorre in un canale di sezione variabile ($A_1 \neq A_2$).
- Si definisce portata Q il volume del fluido che attraversa la sezione di un condotto nell'unità di tempo: $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$
- Poichè $\rho=\text{cost}$, in un Δt fisso: $m_1 = m_2 \Rightarrow V_1 = V_2 \Rightarrow Q_1 = Q_2$



$$\frac{A_1 \mathcal{V}_1 \Delta t}{\Delta t} = \frac{A_2 \mathcal{V}_2 \Delta t}{\Delta t} \rightarrow A_1 \mathcal{V}_1 = A_2 \mathcal{V}_2$$

La costanza della portata

- Il principio di conservazione della massa nella dinamica dei fluidi si traduce nel principio di continuità, ovvero nella **costanza della portata**
- Si consideri un fluido omogeneo ($\rho=\text{cost}$), che scorre in un canale di sezione variabile ($A_1 \neq A_2$).
- Si definisce portata Q il volume del fluido che attraversa la sezione di un condotto nell'unità di tempo: $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$
- Poichè $\rho=\text{cost}$, in un Δt fisso: $m_1 = m_2 \Rightarrow V_1 = V_2 \Rightarrow Q_1 = Q_2$

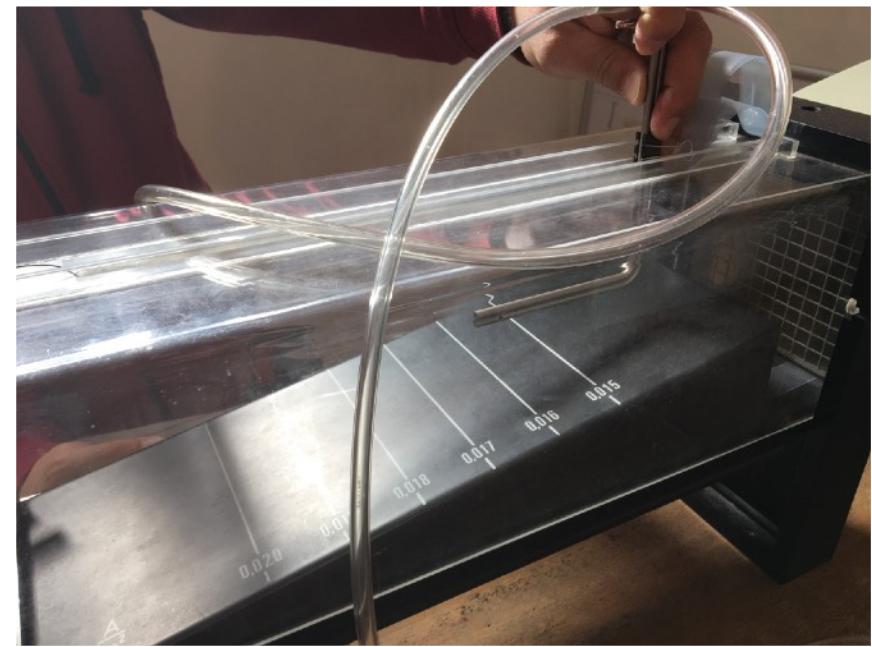
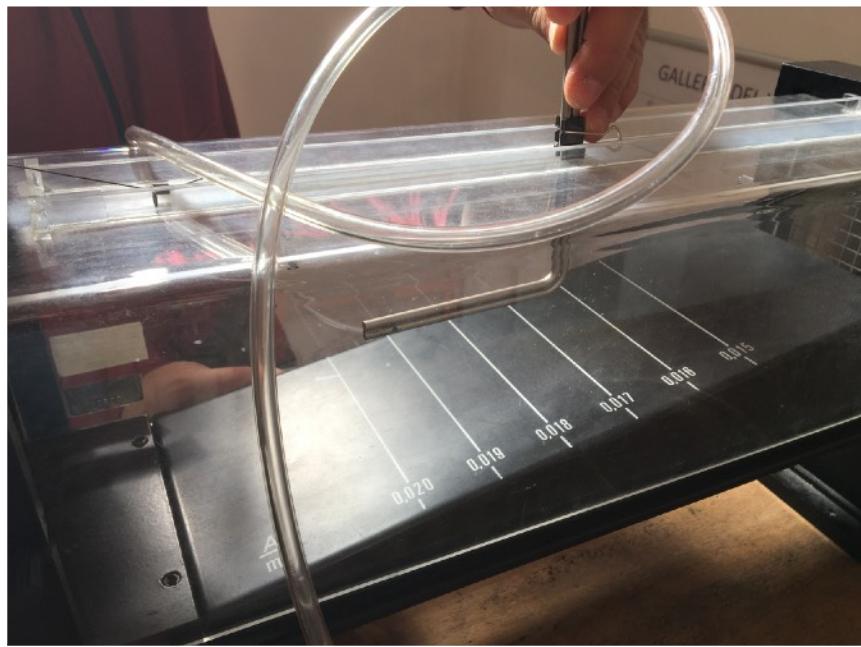


$$\frac{A_1 \mathcal{V}_1 \Delta t}{\Delta t} = \frac{A_2 \mathcal{V}_2 \Delta t}{\Delta t} \rightarrow A_1 \mathcal{V}_1 = A_2 \mathcal{V}_2$$

$$\rightarrow A \mathcal{V} = \text{cost}$$

La costanza della portata

- La sezione del condotto può essere variata attraverso l'utilizzo della **rampa di Bernoulli**



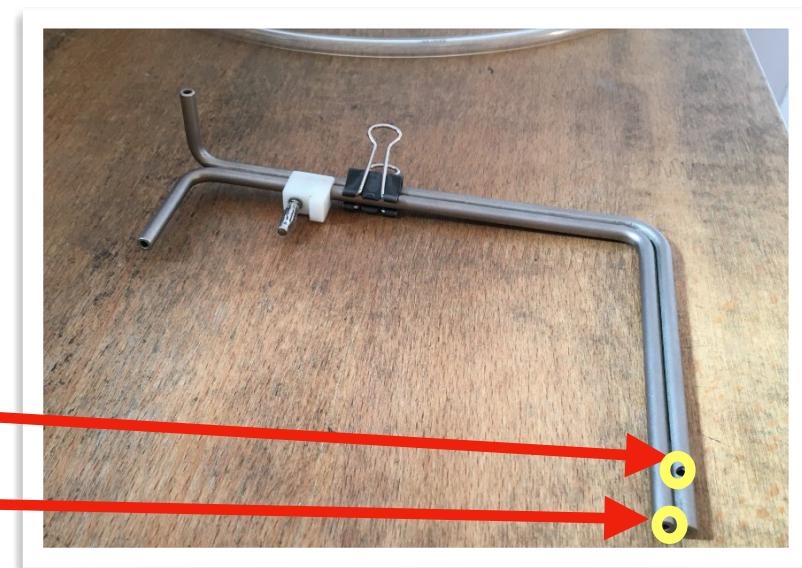
La costanza della portata

- La sezione del condotto può essere variata attraverso l'utilizzo della **rampa di Bernoulli**
- Con il manometro differenziale + tubo di Pitot, si possono misurare **differenze di pressione fra due punti**, caratterizzati da

• p_{stat}

• $p_{tot} = p_{din} + p_{stat}$

→ $p_{tot} - p_{stat} = p_{din}$



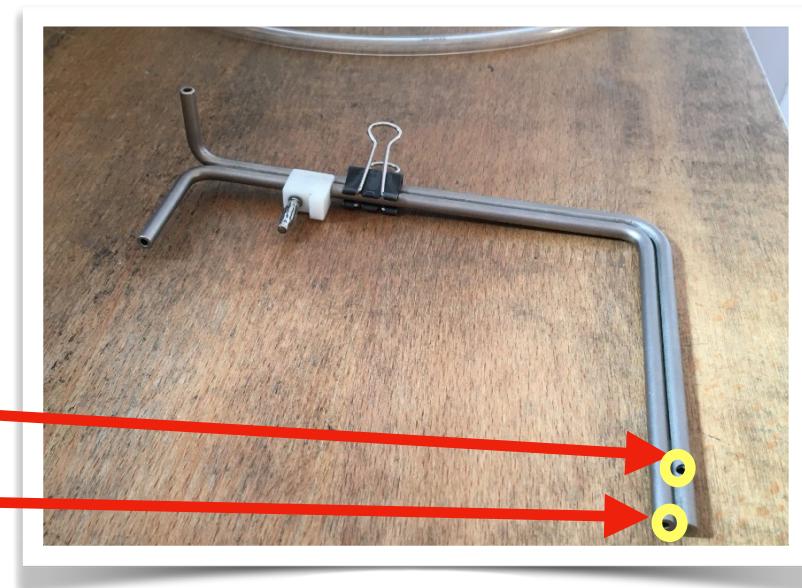
La costanza della portata

- La sezione del condotto può essere variata attraverso l'utilizzo della **rampa di Bernoulli**
- Con il manometro differenziale + tubo di Pitot, si possono misurare **differenze di pressione fra due punti**, caratterizzati da

 p_{stat}

 $p_{tot} = p_{din} + p_{stat}$

$$\rightarrow p_{tot} - p_{stat} = p_{din}$$

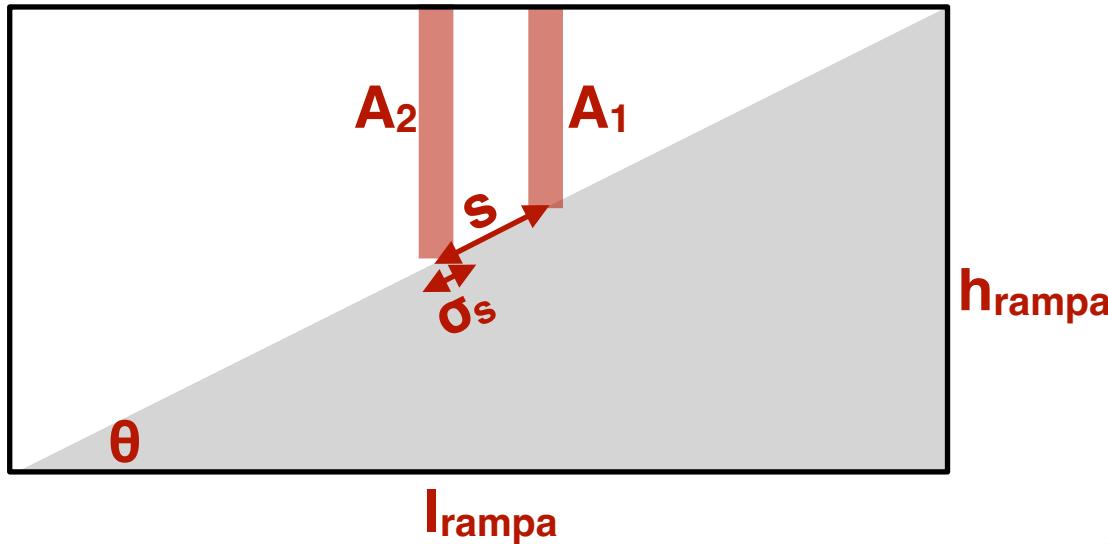


- Ottenuta la **pressione dinamica** $p_{din} = \frac{1}{2} \rho \mathcal{V}^2$, è possibile ricavare la **velocità** ed il suo errore

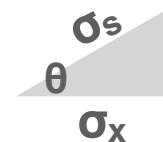
Verifica della costanza della portata

- Grafico della portata $Q = \mathcal{V}A$ in funzione di A
- Porre A sull'asse delle ascisse significa indicare che le diverse misure della portata sono state fatte in posizione diverse lungo il condotto
- Attraverso l'**analisi dei parametri del fit lineare** $Q(A)$ si può **verificare se il valore della portata resti costante**

Errore sulla sezione

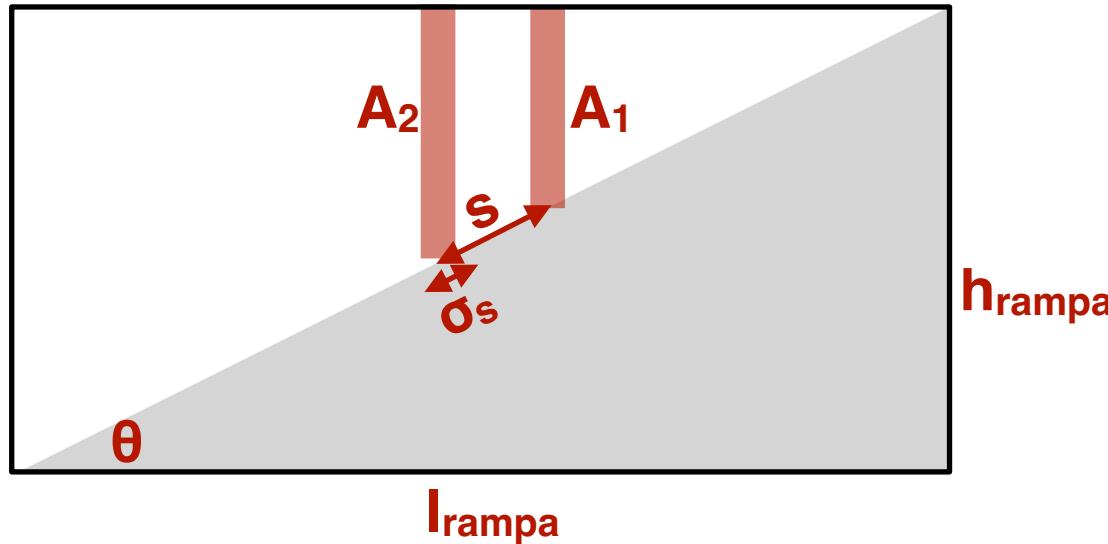


$$(A_2 - A_1) : s = \sigma_A : \sigma_s \rightarrow \sigma_A = \frac{A_2 - A_1}{s} \frac{\sigma_x}{\cos \theta}$$

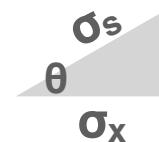


dove σ_x è l'incertezza sul posizionamento del tubo di Pitot e s la distanza tra le tacche di A₁ e A₂

Errore sulla sezione



$$(A_2 - A_1) : s = \sigma_A : \sigma_s \rightarrow \sigma_A = \frac{A_2 - A_1}{s} \frac{\sigma_x}{\cos \theta}$$



dove σ_x è l'incertezza sul posizionamento del tubo di Pitot e s la distanza tra le tacche di A_1 e A_2

• In laboratorio:

- misurare: s e θ (da h_{rampa} e I_{rampa}) → stimare σ_A
- assumere $\sigma_x = 0,002 \text{ m}$

La legge di Bernoulli

- La legge di **conservazione dell'energia** in fluidodinamica si traduce nella **legge di Bernoulli**
- Nello studio energetico del moto del fluido si identificano 3 termini:
 - energia potenziale: mgh
 - energia cinetica: $\frac{1}{2}mV^2$
 - energia di "pressione": pV
- la somma delle energie resta costante: $\frac{1}{2}mV^2 + mgh + pV = \text{cost}$
- Dividendo per V , l'equazione può essere scritta come **somma di pressioni**: $\frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gh + p_{\text{stat}} = \text{cost}$

La legge di Bernoulli

- La legge di **conservazione dell'energia** in fluidodinamica si traduce nella **legge di Bernoulli**
- Nello studio energetico del moto del fluido si identificano 3 termini:
 - energia potenziale: mgh
 - energia cinetica: $\frac{1}{2}m\mathcal{V}^2$
 - energia di "pressione": pV
- la somma delle energie resta costante: $\frac{1}{2}m\mathcal{V}^2 + mgh + pV = \text{cost}$
- Dividendo per V , l'equazione può essere scritta come **somma di pressioni**: $\frac{1}{2}\rho\mathcal{V}^2 + \cancel{\rho gh} + p_{stat} = \text{cost} \rightarrow p_{din} + p_{stat} = \text{cost}$

Verifica della legge di Bernoulli (a)

- 💡 Riprendere i valori della pressione dinamica p_{din} determinati in precedenza (per verificare costanza portata)

Verifica della legge di Bernoulli (a)

- 💡 Riprendere i valori della pressione dinamica p_{din} determinati in precedenza (per verificare costanza portata)
- 💡 Collegare il tubo dalla sonda di p_{tot} e, in corrispondenza delle stesse tacche della rampa, determinare così $\Delta p = p_{\text{atm}} - p_{\text{stat}}$



Verifica della legge di Bernoulli (a)

- ➊ Riprendere i valori della pressione dinamica p_{din} determinati in precedenza (per verificare costanza portata)
- ➋ Collegare il tubo dalla sonda di p_{tot} e, in corrispondenza delle stesse tacche della rampa, determinare così $\Delta p = p_{\text{atm}} - p_{\text{stat}}$
- ➌ Determinare p_{stat} sottraendo il Δp ottenuto a p_{atm} , stimata con il *barometro di Fortin*

Barometro Fortin



- Rilevare la **T** del laboratorio
- Leggere il valore della **pressione** sul barometro
- Applicare due **correzioni** di compensazione
 - per la dilatazione del Hg con **temperature** maggiori di 0°C
 - per la **gravità**
(tabelle e correzioni in slide successiva)
- $p_{ATM} = p'_{ATM} - K_t + C_g$

4. USO DELLO STRUMENTO

Per fare la lettura spostare, a mezzo del bottone (5), il nonio (11) fino a che il piano orizzontale individuato dal suo orlo inferiore sfiori superiormente il vertice del menisco della colonna di mercurio, leggendo l'altezza barometrica in Tor (a sinistra) o in millibar (a destra) e sul nonio le rispettive frazioni al 1/20.

Le scale (in millibar e in Tor) incise sul tubo di ottone sono esatte a 0° C e per la gravità convenzionale di 980,665 cm/sec² (in queste condizioni standard si deve considerare che il peso specifico del mercurio sia 13,5951 g/cm³).

4.1. Riduzione a 0° C delle letture barometriche

Per tenere conto degli errori dovuti alla temperatura, si legge il termometro (9) e si apportano le correzioni date in valore e segno dalla tabella I allegata che tiene conto dei coefficienti di dilatazione del mercurio (colonna) e dell'ottone (scala).

Alla lettura b_t (espressa in millibar o in Tor) presa alla temperatura $t^{\circ}\text{C}$ si deve aggiungere algebricamente la correzione negativa o positiva che si deduce immediatamente dalla annessa tabella I.

Esempi:

$$b_t = 760 \text{ mbar } t = +16^{\circ} \\ K_t = -1,99 \quad b_0 = 758,01$$

$$b_t = 1007 \text{ mb } t = +19,5^{\circ} \\ K_t = -3,21 \quad b_0 = 1003,78$$

$$b_t = 965 \text{ mb. } t = -12,7^{\circ} \\ K_t = +2,00 \quad b_0 = 967,00$$

dove b_0 è lo stato barometrico ridotto a 0° C e K_t la correzione cercata.

Gli ultimi due esempi sono stati ottenuti per interpolazione.

4.2. Correzione per la gravità

E' data dalla formula:

$$C_g = (-0,0026 \cos 2\varphi - 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot H \\ - 0,3 \cdot 10^{-6} \cdot H') \cdot b_0$$

dove H è l'altezza media del terreno sul mare. H' l'altezza dello strumento sopra il terreno, b_0 lo stato barometrico già corretto per la temperatura e φ la latitudine: H , H' sono espresse in metri, b_0 in Tor o in mb.

$$\varphi = 45^{\circ} \\ H \approx 225 \text{ m} \\ H' \approx 1 \text{ m}$$

termometro
annessoTempérature
termomètre
jointTemperature
of thermometer
attachedTemperatura
termómetro
anexo

Altezza barometrica in millibar o Tor.

Hauteur barométrique en millibars ou en Tor.

Barometric height in mb or mm/Hg

Altura barométrica en mb o Tor.

	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	720	740	760	780	800	820	840	860	880	900	920	940	960	980	1000	1020	1040	
0°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
1°	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17		
2°	0.16	0.17	0.18	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.22	0.22	0.23	0.24	0.24	0.25	0.25	0.26	0.27	0.27	0.28	0.29	0.29	0.30	0.31	0.31	0.32	0.33	0.33		
3°	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50		
4°	0.33	0.34	0.35	0.37	0.38	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44	0.46	0.47	0.48	0.50	0.51	0.52	0.54	0.55	0.56	0.58	0.59	0.60	0.61	0.63	0.64	0.65	0.67	0.68	
5°	0.41	0.42	0.44	0.46	0.47	0.49	0.51	0.52	0.54	0.56	0.57	0.59	0.60	0.62	0.64	0.65	0.67	0.69	0.70	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.80	0.82	0.83	0.85	
6°	0.49	0.51	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.72	0.75	0.76	0.78	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00	1.02	
7°	0.57	0.59	0.62	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.88	0.90	0.93	0.95	0.98	1.01	1.03	1.05	1.08	1.10	1.12	1.14	1.17	1.19	
8°	0.65	0.68	0.70	0.73	0.76	0.78	0.81	0.84	0.86	0.89	0.92	0.94	0.97	0.99	1.01	1.03	1.06	1.08	1.12	1.15	1.18	1.20	1.23	1.25	1.28	1.31	1.33	1.36	
9°	0.73	0.76	0.79	0.82	0.85	0.88	0.91	0.94	0.97	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.13	1.16	1.19	1.22	1.26	1.29	1.32	1.35	1.38	1.41	1.44	1.47	1.50	1.53	
10°	0.82	0.85	0.88	0.91	0.95	0.98	1.01	1.04	1.08	1.11	1.15	1.18	1.21	1.24	1.26	1.29	1.32	1.36	1.41	1.44	1.47	1.50	1.54	1.57	1.60	1.64	1.67	1.70	
11°	0.90	0.93	0.97	1.00	1.04	1.08	1.11	1.15	1.19	1.22	1.26	1.30	1.33	1.37	1.38	1.42	1.45	1.49	1.55	1.58	1.62	1.65	1.69	1.72	1.76	1.80	1.83	1.87	
12°	0.98	1.02	1.06	1.10	1.13	1.17	1.21	1.25	1.29	1.33	1.37	1.41	1.45	1.49	1.51	1.55	1.59	1.63	1.69	1.73	1.76	1.80	1.84	1.88	1.92	1.96	2.00	2.04	
13°	1.06	1.10	1.14	1.19	1.23	1.27	1.31	1.36	1.40	1.44	1.49	1.53	1.57	1.61	1.64	1.68	1.72	1.76	1.83	1.87	1.91	1.95	2.00	2.04	2.08	2.13	2.17	2.21	
14°	1.14	1.19	1.23	1.28	1.32	1.37	1.41	1.46	1.51	1.56	1.60	1.65	1.69	1.74	1.79	1.83	1.88	1.92	1.97	2.01	2.06	2.10	2.15	2.19	2.24	2.29	2.33	2.38	
15°	1.22	1.27	1.32	1.37	1.42	1.47	1.52	1.56	1.62	1.67	1.72	1.77	1.82	1.85	1.91	1.96	2.01	2.06	2.11	2.16	2.21	2.25	2.30	2.35	2.40	2.45	2.50	2.55	
16°	1.30	1.36	1.41	1.46	1.51	1.56	1.62	1.67	1.72	1.78	1.83	1.88	1.94	1.99	2.04	2.09	2.14	2.20	2.25	2.30	2.35	2.41	2.46	2.51	2.56	2.62	2.67	2.72	
17°	1.38	1.44	1.50	1.55	1.61	1.66	1.72	1.77	1.81	1.89	1.95	2.00	2.06	2.11	2.17	2.22	2.28	2.33	2.39	2.44	2.50	2.55	2.61	2.66	2.72	2.78	2.83	2.89	
18°	1.47	1.52	1.58	1.64	1.70	1.76	1.82	1.88	1.92	2.00	2.06	2.12	2.18	2.24	2.30	2.35	2.41	2.47	2.53	2.59	2.65	2.70	2.76	2.82	2.88	2.94	3.00	3.06	
19°	1.55	1.61	1.67	1.73	1.79	1.86	1.92	1.99	2.03	2.11	2.18	2.24	2.30	2.36	2.42	2.48	2.55	2.61	2.67	2.73	2.79	2.85	2.92	2.98	3.04	3.11	3.17	3.23	
20°	1.63	1.69	1.76	1.81	1.89	1.95	2.01	2.08	2.13	2.22	2.29	2.36	2.42	2.49	2.55	2.62	2.68	2.75	2.81	2.88	2.94	3.01	3.07	3.14	3.21	3.27	3.34	3.40	
21°	1.71	1.78	1.85	1.91	1.98	2.05	2.12	2.19	2.26	2.33	2.40	2.47	2.54	2.61	2.68	2.75	2.81	2.88	2.95	3.02	3.09	3.16	3.23	3.29	3.37	3.43	3.50	3.57	
22°	1.79	1.86	1.93	2.01	2.08	2.15	2.22	2.29	2.38	2.44	2.52	2.59	2.66	2.73	2.81	2.88	2.95	3.02	3.09	3.16	3.23	3.31	3.38	3.45	3.53	3.60	3.67	3.74	
23°	1.87	1.95	2.02	2.10	2.17	2.25	2.32	2.40	2.48	2.55	2.63	2.71	2.78	2.86	2.93	3.01	3.08	3.16	3.23	3.31	3.38	3.46	3.53	3.61	3.69	3.76	3.84	3.91	
24°	1.95	2.03	2.11	2.19	2.26	2.34	2.42	2.50	2.59	2.66	2.75	2.83	2.90	2.98	3.06	3.14	3.22	3.29	3.37	3.45	3.53	3.61	3.68	3.76	3.85	3.92	4.00	4.08	
25°	2.03	2.11	2.20	2.28	2.36	2.44	2.52	2.60	2.69	2.78	2.86	2.94	3.02	3.10	3.19	3.27	3.35	3.43	3.51	3.59	3.68	3.76	3.84	3.92	4.01	4.09	4.17	4.25	4.34
26°	2.11	2.20	2.28	2.37	2.45	2.54	2.62	2.71	2.80	2.89	2.98	3.06	3.15	3.23	3.31	3.40	3.48	3.57	3.67	3.74	3.82	3.91	3.99	4.08	4.17	4.25	4.34	4.42	
27°	2.20	2.28	2.37	2.46	2.55	2.63	2.72	2.81	2.91	3.00	3.09	3.18	3.27	3.35	3.44	3.53	3.62	3.71	3.79	3.88	3.97	4.06	4.15	4.23	4.33	4.41	4.50	4.59	
28°	2.28	2.37	2.46	2.55	2.64	2.73	2.82	2.91	3.02	3.11	3.20	3.30	3.39	3.48	3.57	3.66	3.75	3.84	3.93	4.03	4.12	4.21	4.30	4.39	4.49	4.58	4.67	4.74	
29°	2.36	2.45	2.55	2.64	2.73	2.83	2.92	3.02	3.12	3.22	3.32	3.41	3.51	3.60	3.70	3.79	3.89	3.98	4.07	4.17	4.26	4.36	4.45	4.55	4.65	4.74	4.84	4.93	
30°	2.44	2.54	2.63	2.73	2.83	2.93	3.02	3.12	3.23	3.33	3.43	3.53	3.63	3.73	3.83	3.92	4.02	4.12	4.22	4.31	4.41	4.51	4.61	4.70	4.81	4.91	5.00	5.10	
31°	2.52	2.62	2.72	2.82	2.92	3.02	3.12	3.22	3.34	3.44	3.55	3.65	3.75	3.85	3.95	4.05	4.15	4.25	4.36	4.46	4.56	4.66	4.76	4.86	4.97	5.07	5.17	5.27	
32°	2.60	2.70	2.81	2.91	3.02	3.12	3.22	3.33	3.45	3.55	3.66	3.76	3.87	3.97	4.08	4.18	4.29	4.39	4.50	4.60	4.70	4.81	4.91	5.02	5.13	5.23	5.34	5.44	
33°	2.68	2.79	2.89	3.00	3.11	3.22	3.32	3.43	3.56	3.66	3.77	3.89	3.99	4.10	4.21	4.31	4.42	4.53	4.64	4.74	4.85	4.96	5.07	5.17	5.29	5.40	5.50	5.61	
34°	2.76	2.87	2.98	3.09	3.20	3.31	3.42	3.53	3.66	3.77	3.89	4.00	4.11	4.22	4.34	4.45	4.56	4.67	4.78	4.89	5.00	5.11	5.22	5.33	5.45	5.56	5.67	5.78	
35°	2.84	2.96	3.07	3.18	3.30	3.41	3.52	3.64	3.77	3.89	4.01	4.12	4.24	4.35	4.46	4.58	4.69	4.80	4.92	5.03	5.15	5.26	5.37	5.49	5.61	5.72	5.84	5.95	
36°	2.92	3.04	3.16	3.27	3.39	3.51	3.62	3.74	3.88	4.00	4.12	4.24	4.36	4.47	4.59	4.71	4.82	4.94	5.06	5.18	5.29	5.44	5.53	5.64	5.77	5.89	6.00	6.12	
37°	3.00	3.12	3.24	3.36	3.48	3.60	3.72	3.84	3.96	4.11	4.24	4.36	4.48	4.60	4.72	4.84	4.97	5.09	5.22	5.34	5.46	5.59	5.71	5.83	5.96	6.09	6.21	6.34	6.46
38°	3.08	3.21	3.33	3.45	3.58	3.70	3.82	3.95	4.10	4.22	4.35	4.47	4.60	4.72	4.85	4.97	5.10	5.23	5.35	5.48	5.61	5.73	5.86	5.99	6.11	6.25	6.38	6.50	6.63
39°	3.16	3.29	3.42	3.54	3.67	3.80	3.92	4.05	4.20	4.33	4.47	4.59	4.72	4.85	4.97	5.10	5.23	5.35	5.48	5.61	5.73	5.86	5.99	6.11	6.25	6.38	6.50	6.63	
40°	3.24	3.37	3.50	3.63	3.76	3.89	4.02	4.15	4.31	4.44	4.58	4.71	4.84	4.97	5.10	5.23	5.36	5.49	5.62	5.75	5.88	6.01	6.14	6.27	6.41	6.54	6.67	6.80	

Altezza barometrica in millibar o Tor.

termometro
annessoTempérature
termomètre
jointTemperature
of thermometer
attachedTemperatura
termómetro
anexo

Hauteur barométrique en millibars ou en Tor.

Barometric height in mb or mm/Hg

Altura barométrica en mb o Tor.

	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	720	740	760	780	800	820	840	860	880	900	920	940	960	980	1000	1020	1040	
0°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
1°	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17		
2°	0.16	0.17	0.18	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.22	0.22	0.23	0.24	0.24	0.25	0.25	0.26	0.27	0.27	0.28	0.29	0.29	0.30	0.31	0.31	0.32	0.33	0.33		
3°	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50		
4°	0.33	0.34	0.35	0.37	0.38	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44	0.46	0.47	0.48	0.50	0.51	0.52	0.54	0.55	0.56	0.58	0.59	0.60	0.61	0.63	0.64	0.65	0.67	0.68	
5°	0.41	0.42	0.44	0.46	0.47	0.49	0.51	0.52	0.54	0.56	0.57	0.59	0.60	0.62	0.64	0.65	0.67	0.69	0.70	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.80	0.82	0.83	0.85	
6°	0.49	0.51	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.72	0.75	0.76	0.78	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00	1.02	
7°	0.57	0.59	0.62	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.88	0.90	0.93	0.95	0.98	1.01	1.03	1.05	1.08	1.10	1.12	1.14	1.17	1.19	
8°	0.65	0.68	0.70	0.73	0.76	0.78	0.81	0.84	0.86	0.89	0.92	0.94	0.97	0.99	1.01	1.03	1.06	1.08	1.12	1.15	1.18	1.20	1.23	1.25	1.28	1.31	1.33	1.36	
9°	0.73	0.76	0.79	0.82	0.85	0.88	0.91	0.94	0.97	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.13	1.16	1.19	1.22	1.26	1.29	1.32	1.35	1.38	1.41	1.44	1.47	1.50	1.53	
10°	0.82	0.85	0.88	0.91	0.95	0.98	1.01	1.04	1.08	1.11	1.15	1.18	1.21	1.24	1.26	1.29	1.32	1.36	1.41	1.44	1.47	1.50	1.54	1.57	1.60	1.64	1.67	1.70	
11°	0.90	0.93	0.97	1.00	1.04	1.08	1.11	1.15	1.19	1.22	1.26	1.30	1.33	1.37	1.38	1.42	1.45	1.49	1.55	1.58	1.62	1.65	1.69	1.72	1.76	1.80	1.83	1.87	
12°	0.98	1.02	1.06	1.10	1.13	1.17	1.21	1.25	1.29	1.33	1.37	1.41	1.45	1.49	1.51	1.55	1.59	1.63	1.69	1.73	1.76	1.80	1.84	1.88	1.92	1.96	2.00	2.04	
13°	1.06	1.10	1.14	1.19	1.23	1.27	1.31	1.36	1.40	1.44	1.49	1.53	1.57	1.61	1.64	1.68	1.72	1.76	1.83	1.87	1.91	1.95	2.00	2.04	2.08	2.13	2.17	2.21	
14°	1.14	1.19	1.23	1.28	1.32	1.37	1.41	1.46	1.51	1.56	1.60	1.65	1.69	1.74	1.79	1.83	1.88	1.92	1.97	2.01	2.06	2.10	2.15	2.19	2.24	2.29	2.33	2.38	
15°	1.22	1.27	1.32	1.37	1.42	1.47	1.52	1.56	1.62	1.67	1.72	1.77	1.82	1.85	1.89	1.91	1.96	2.01	2.06	2.11	2.16	2.21	2.25	2.30	2.35	2.40	2.45	2.50	
16°	1.30	1.36	1.41	1.46	1.51	1.56	1.62	1.67	1.72	1.78	1.83	1.88	1.94	1.94	1.99	2.04	2.09	2.14	2.20	2.25	2.30	2.35	2.41	2.46	2.51	2.56	2.62	2.67	2.72
17°	1.38	1.44	1.50	1.55	1.61	1.66	1.72	1.77	1.81	1.89	1.95	2.00	2.06	2.11	2.17	2.22	2.28	2.33	2.39	2.44	2.50	2.55	2.61	2.66	2.72	2.78	2.83	2.89	
18°	1.47	1.52	1.58	1.64	1.70	1.76	1.82	1.88	1.92	2.00	2.06	2.12	2.18	2.24	2.30	2.35	2.41	2.47	2.53	2.59	2.65	2.70	2.76	2.82	2.88	2.94	3.00	3.06	
19°	1.55	1.61	1.67	1.73	1.79	1.86	1.92	1.99	2.03	2.11	2.18	2.24	2.30	2.36	2.42	2.48	2.55	2.61	2.67	2.73	2.79	2.85	2.92	2.98	3.04	3.11	3.17	3.23	
20°	1.63	1.69	1.76	1.81	1.89	1.95	2.01	2.08	2.13	2.22	2.29	2.36	2.42	2.49	2.55	2.62	2.68	2.75	2.81	2.88	2.94	3.01	3.07	3.14	3.21	3.27	3.34	3.40	
21°	1.71	1.78	1.85	1.91	1.98	2.05	2.12	2.19	2.26	2.33	2.40	2.47	2.54	2.61	2.68	2.75	2.81	2.88	2.95	3.02	3.09	3.16	3.23	3.29	3.37	3.43	3.50	3.57	
22°	1.79	1.86	1.93	2.01	2.08	2.15	2.22	2.29	2.38	2.44	2.52	2.59	2.66	2.73	2.81	2.88	2.95	3.02	3.09	3.16	3.23	3.31	3.38	3.45	3.53	3.60	3.67	3.74	
23°	1.87	1.95	2.02	2.10	2.17	2.25	2.32	2.40	2.48	2.55	2.63	2.71	2.78	2.86	2.93	3.01	3.08	3.16	3.23	3.31	3.38	3.46	3.53	3.61	3.69	3.76	3.84	3.91	
24°	1.95	2.03	2.11	2.19	2.26	2.34	2.42	2.50	2.59	2.66	2.75	2.83	2.90	2.98	3.06	3.14	3.22	3.29	3.37	3.45	3.53	3.61	3.68	3.76	3.85	3.92	4.00	4.08	
25°	2.03	2.11	2.20	2.28	2.36	2.44	2.52	2.60	2.69	2.78	2.86	2.94	3.02	3.10	3.19	3.27	3.35	3.43	3.51	3.59	3.68	3.76	3.84	3.92	4.01	4.09	4.17	4.25	
26°	2.11	2.20	2.28	2.37	2.45	2.54	2.62	2.71	2.80	2.89	2.98	3.06	3.15	3.23	3.31	3.40	3.48	3.57	3.67	3.74	3.82	3.91	3.99	4.08	4.17	4.25	4.34	4.42	
27°	2.20	2.28	2.37	2.46	2.55	2.63	2.72	2.81	2.91	3.00	3.09	3.18	3.27	3.35	3.44	3.53	3.62	3.71	3.79	3.88	3.97	4.06	4.15	4.23	4.33	4.41	4.50	4.59	
28°	2.28	2.37	2.46	2.55	2.64	2.73	2.82	2.91	3.02	3.11	3.20	3.30	3.39	3.48	3.57	3.66	3.75	3.84	3.93	4.03	4.12	4.21	4.30	4.39	4.49	4.58	4.67	4.74	
29°	2.36	2.45	2.55	2.64	2.73	2.83	2.92	3.02	3.12	3.22	3.32	3.41	3.51	3.60	3.70	3.79	3.89	3.98	4.07	4.17	4.26	4.36	4.45	4.55	4.65	4.74	4.84	4.93	
30°	2.44	2.54	2.63	2.73	2.83	2.93	3.02	3.12	3.23	3.33	3.43	3.53	3.63	3.73	3.83	3.92	4.02	4.12	4.22	4.31	4.41	4.51	4.61	4.70	4.81	4.91	5.00	5.10	
31°	2.52	2.62	2.72	2.82	2.92	3.02	3.12	3.22	3.34	3.44	3.55	3.65	3.75	3.85	3.95	4.05	4.15	4.25	4.36	4.46	4.56	4.66	4.76	4.86	4.97	5.07	5.17	5.27	
32°	2.60	2.70	2.81	2.91	3.02	3.12	3.22	3.33	3.45	3.55	3.66	3.76	3.87	3.97	4.08	4.18	4.29	4.39	4.50	4.60	4.70	4.81	4.91	5.02	5.13	5.23	5.34	5.44	
33°	2.68	2.79	2.89	3.00	3.11	3.22	3.32	3.43	3.56	3.66	3.77	3.89	3.99	4.10	4.21	4.31	4.42	4.53	4.64	4.74	4.85	4.96	5.07	5.17	5.29	5.40	5.50	5.61	
34°	2.76	2.87	2.98	3.09	3.20	3.31	3.42	3.53	3.66	3.77	3.89	4.00	4.11	4.22	4.34	4.45	4.56	4.67	4.78	4.89	5.00	5.11	5.22	5.33	5.45	5.56	5.67	5.78	
35°	2.84	2.96	3.07	3.18	3.30	3.41	3.52	3.64	3.77	3.89	4.01	4.12	4.24	4.35	4.46	4.58	4.69	4.80	4.92	5.03	5.15	5.26	5.37	5.49	5.61	5.72	5.84	5.95	
36°	2.92	3.04	3.16	3.27	3.39	3.51	3.62	3.74	3.88	4.00	4.12	4.24	4.36	4.47	4.59	4.71	4.82	4.94	5.06	5.18	5.29	5.44	5.53	5.64	5.77	5.89	6.00	6.12	
37°	3.00	3.12	3.24	3.36	3.48	3.60	3.72	3.84	3.96	4.11	4.24	4.36	4.48	4.60	4.72	4.84	4.97	5.09	5.22	5.34	5.46	5.59	5.71	5.83	5.96	6.09	6.21	6.34	6.46
38°	3.08	3.21	3.33	3.45	3.58	3.70	3.82	3.95	4.10	4.22	4.35	4.47	4.60	4.72	4.85	4.97	5.10	5.23	5.35	5.48	5.61	5.73	5.86	5.99	6.11	6.25	6.38	6.50	6.63
39°	3.16	3.29	3.42	3.54	3.67	3.80	3.92	4.05	4.20	4.33	4.47	4.59	4.72	4.85	4.97	5.10	5.23	5.35	5.48	5.61	5.73	5.86	5.99	6.11	6.25	6.38	6.50	6.63	
40°	3.24	3.37	3.50	3.63	3.76	3.89	4.02	4.15	4.31	4.44	4.58	4.71	4.84	4.97	5.10	5.23	5.36	5.49	5.62	5.75	5.88	6.01	6.14	6.27	6.41	6.54	6.67	6.80	

Hauteur barométrique en millibars ou en Tor.

Barometric height in mb or mm/Hg

Altura barométrica en mb o Tor.

Barometric height in mb or mm/Hg

4. USO DELLO STRUMENTO

Per fare la lettura spostare, a mezzo del bottone (5), il nonio (11) fino a che il piano orizzontale individuato dal suo orlo inferiore sfiori superiormente il vertice del menisco della colonna di mercurio, leggendo l'altezza barometrica in Tor (a sinistra) o in millibar (a destra) e sul nonio le rispettive frazioni al 1/20.

Le scale (in millibar e in Tor) incise sul tubo di ottone sono esatte a 0° C e per la gravità convenzionale di 980,665 cm/sec² (in queste condizioni standard si deve considerare che il peso specifico del mercurio sia 13,5951 g/cm³).

4.1. Riduzione a 0° C delle letture barometriche

Per tenere conto degli errori dovuti alla temperatura, si legge il termometro (9) e si apportano le correzioni date in valore e segno dalla tabella I allegata che tiene conto dei coefficienti di dilatazione del mercurio (colonna) e dell'ottone (scala).

Alla lettura b_t (espressa in millibar o in Tor) presa alla temperatura $t^{\circ}\text{C}$ si deve aggiungere algebricamente la correzione negativa o positiva che si deduce immediatamente dalla annessa tabella I.

Esempi:

$$b_t = 760 \text{ mbar } t = +16^{\circ} \\ K_t = -1,99 \quad b_0 = 758,01$$

$$b_t = 1007 \text{ mb } t = +19,5^{\circ} \\ K_t = -3,21 \quad b_0 = 1003,78$$

$$b_t = 965 \text{ mb. } t = -12,7^{\circ} \\ K_t = +2,00 \quad b_0 = 967,00$$

dove b_0 è lo stato barometrico ridotto a 0° C e K_t la correzione cercata.

Gli ultimi due esempi sono stati ottenuti per interpolazione.

4.2. Correzione per la gravità

E' data dalla formula:

$$C_g = (-0,0026 \cos 2\varphi - 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot H \\ - 0,3 \cdot 10^{-6} \cdot H') \cdot b_0$$

dove H è l'altezza media del terreno sul mare. H' l'altezza dello strumento sopra il terreno, b_0 lo stato barometrico già corretto per la temperatura e φ la latitudine: H , H' sono espresse in metri, b_0 in Tor o in mb.

$$\varphi = 45^{\circ}$$

$$H \approx 225 \text{ m}$$

$$H' \approx 1 \text{ m}$$

Verifica della legge di Bernoulli (a)

- ➊ Riprendere i valori della pressione dinamica p_{din} determinati in precedenza (per verificare costanza portata)
- ➋ Collegare il tubo dalla sonda di p_{tot} e, in corrispondenza delle stesse tacche della rampa, determinare così $\Delta p = p_{\text{atm}} - p_{\text{stat}}$
- ➌ Determinare p_{stat} sottraendo il Δp ottenuto a p_{atm} , stimata con il *barometro di Fortin*
- ➍ Determinare $p_{\text{tot}} = p_{\text{din}} + p_{\text{stat}}$
- ➎ **Verificare che p_{tot} risulti costante** lungo il canale attraverso l'analisi statistica dei dati

Verifica della legge di Bernoulli (b)

- Si può operare **direttamente con p_{din} e $\Delta p = p_{atm} - p_{stat}$** :

$$\Delta p - p_{din} = (p_{atm} - p_{stat}) - p_{din} = p_{atm} - (p_{stat} + p_{din}) = p_{atm} - p_{tot}$$

- Essendo p_{atm} costante**, se p_{tot} è costante, anche $\Delta p - p_{din}$ deve essere costante
- Posso quindi verificare la legge di Bernoulli attraverso la **verifica della costanza di $\Delta p - p_{din}$**

SECONDA PARTE

Interazione fluido-corpo

Interazione fluido - corpo

- 💡 Se inseriamo un corpo in un fluido in moto (o consideriamo il moto di un corpo in un fluido fermo), **il corpo oppone resistenza al moto del fluido**

$$F_r = -\frac{1}{2} \rho \mathcal{V}^2 c_x A$$

Interazione fluido - corpo

- 💡 Se inseriamo un corpo in un fluido in moto (o consideriamo il moto di un corpo in un fluido fermo), **il corpo oppone resistenza al moto del fluido**

$$F_r = -\frac{1}{2} \rho \mathcal{V}^2 c_x A$$

- 💡 La forza di resistenza F_R dipende:
 - dalla **forma** del corpo → c_x
 - dalla **sezione** efficace del corpo → A
 - dalla **velocità** del fluido → \mathcal{V}

Interazione fluido - corpo

- La forza resistiva varia usando corpi di pari sezione efficace, ma **forma** diversa → **da verificare**



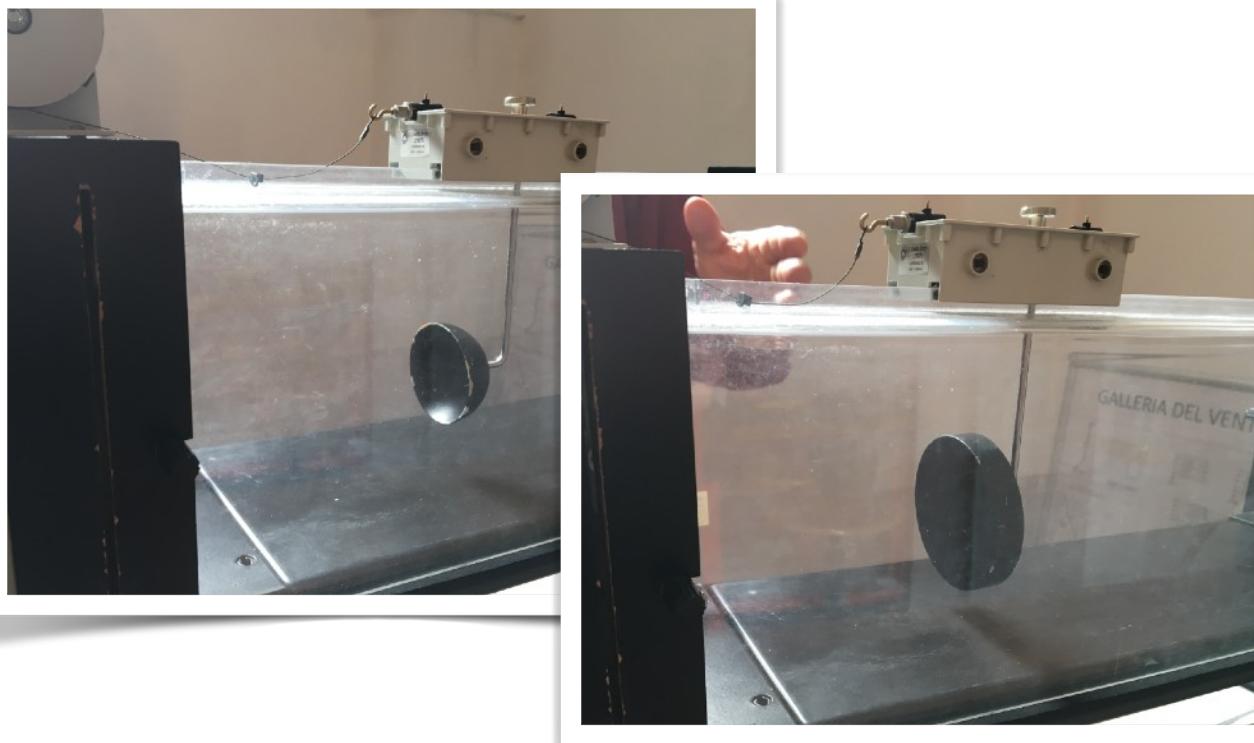
Interazione fluido - corpo

- La forza resistiva varia usando corpi di pari sezione efficace, ma **forma** diversa → **da verificare**



Interazione fluido - corpo

- La forza resistiva varia usando corpi di pari sezione efficace, ma **forma** diversa → **da verificare**



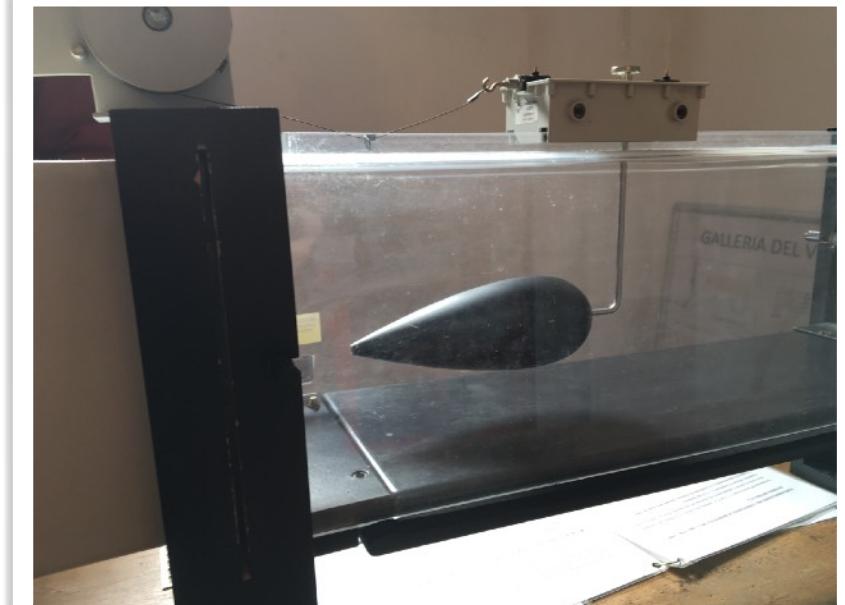
Interazione fluido - corpo

- La forza resistiva varia usando corpi di pari sezione efficace, ma **forma** diversa → **da verificare**



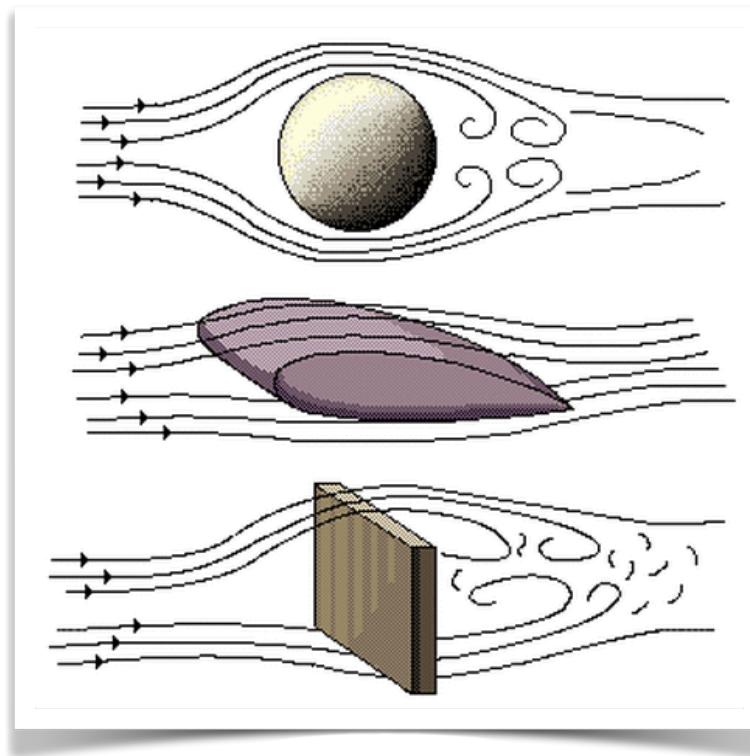
Interazione fluido - corpo

- La forza resistiva varia usando corpi di pari sezione efficace, ma **forma** diversa → **da verificare**



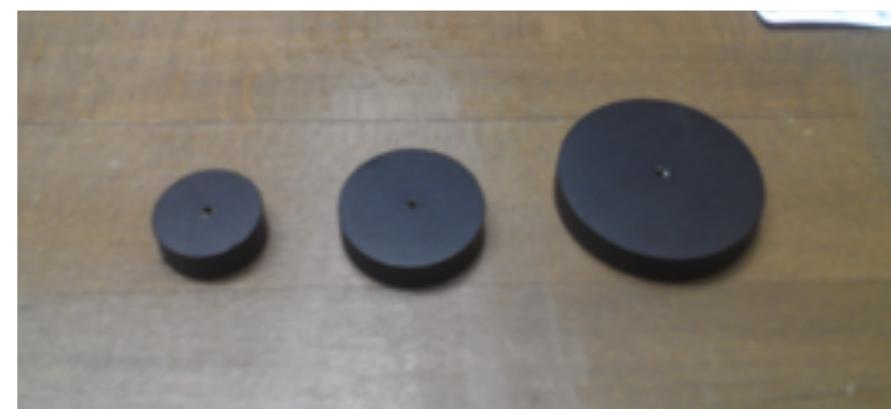
Interazione fluido - corpo

- La forza resistiva varia usando corpi di pari sezione efficace, ma **forma** diversa → **da verificare**



Interazione fluido - corpo

- ➊ La forza resistiva varia usando corpi di pari sezione efficace, ma **forma** diversa → **da verificare**
- ➋ La forza resistiva aumenta usando corpi con la stessa forma, ma di **sezione** efficace via via crescente → **da verificare**



Interazione fluido - corpo

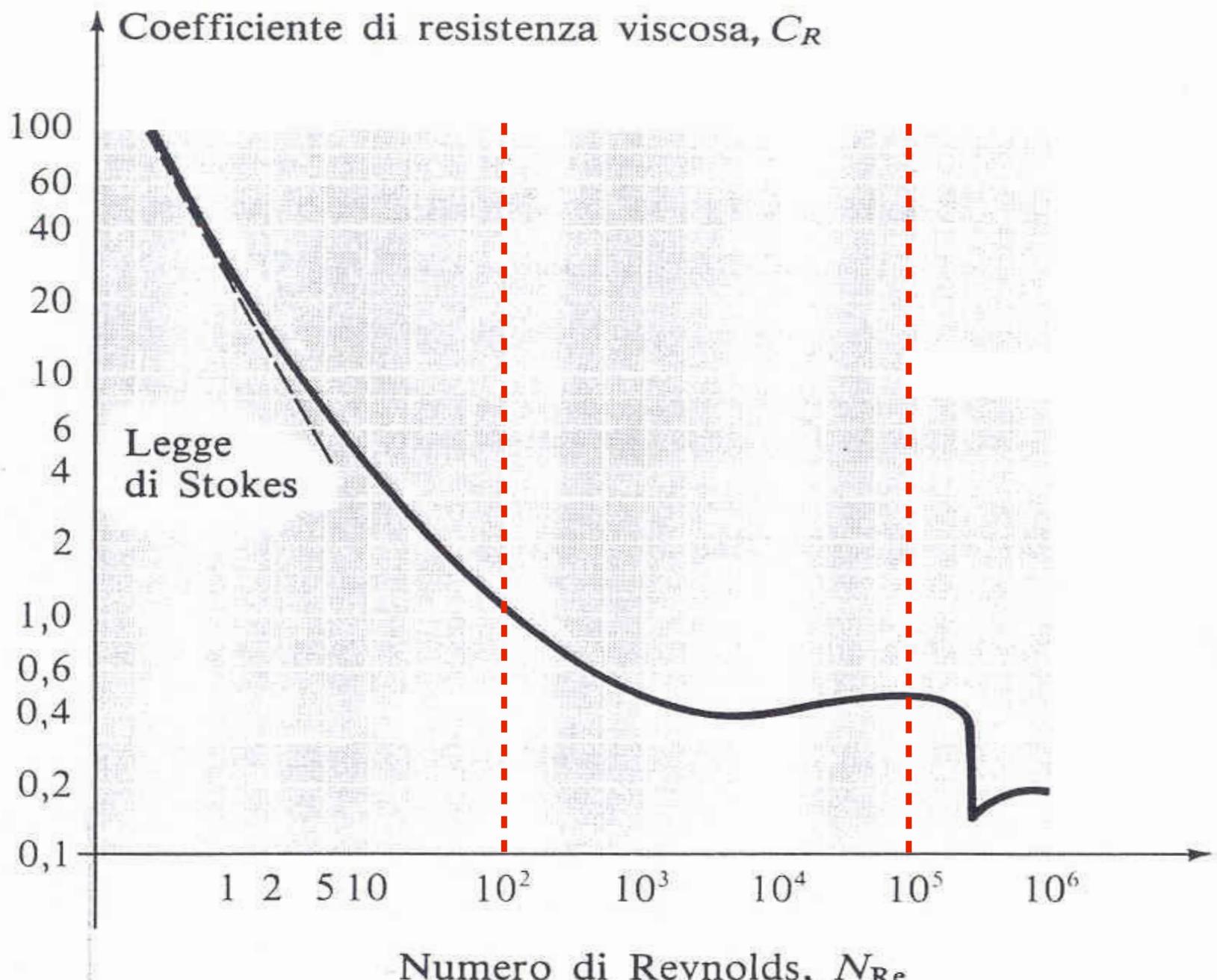
- ➊ La forza resistiva varia usando corpi di pari sezione efficace, ma **forma** diversa → **da verificare**
- ➋ La forza resistiva aumenta usando corpi con la stessa forma, ma di **sezione** efficace via via crescente → **da verificare**
- ➌ Utilizzando sempre lo stesso corpo, la forza resistiva dipende della **velocità** del fluido → **da verificare**

$F(v)$ oppure $F(v^2)$?

- $F_r = -\frac{1}{2}\rho \mathcal{V}^2 c_x A$
- Il **comportamento di c_x** dipende dalla forma e dall'orientamento del corpo immerso nel fluido
- c_x varia in modo non uniforme con il **numero di Reynolds R**, che a sua volta dipende da \mathcal{V}
 - per $R \lesssim 10^2$, $c_x \propto 1/\mathcal{V}$, quindi $F \propto \mathcal{V}$
 - per $10^2 < R < 10^5$ $c_x \approx \text{cost}$, quindi $F \propto \mathcal{V}^2$
 - per $R > 10^5$, c_x diminuisce rapidamente

$F(v)$ oppure $F(v^2)$?

- $F_r = -\frac{1}{2}\rho \mathcal{V}^2 c_x A$
- Il **comportamento di c_x** dipende dalla forma e dall'orientamento del corpo immerso nel fluido
- c_x varia in modo non uniforme con il **numero di Reynolds R**, che a sua volta dipende da \mathcal{V}
 - per $R \lesssim 10^2$, $c_x \propto 1/\mathcal{V}$, quindi $F \propto \mathcal{V}$
 - per $10^2 < R < 10^5$ $c_x \approx \text{cost}$, quindi $F \propto \mathcal{V}^2$
 - per $R > 10^5$, c_x diminuisce rapidamente



$F(v)$ oppure $F(v^2)$?

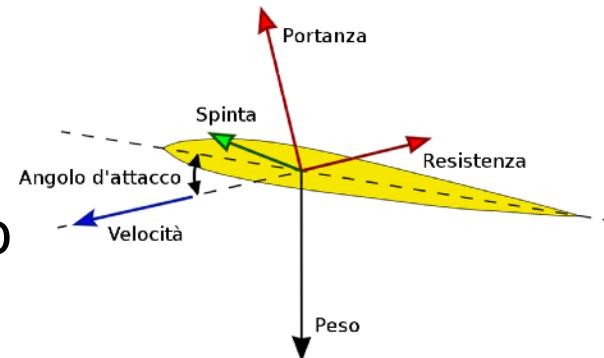
- Calcolare R: $R = \frac{\mathcal{V}D}{\eta_v}$, con D diametro del dischetto, \mathcal{V} velocità del fluido e η_v viscosità cinematica (per l'aria: $\eta_v=1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)
- Se R è compreso fra 10^2 e 10^5 , ci aspettiamo che la **proporzionalità tra F e \mathcal{V} sia di tipo quadratico.**
- Studiare le relazioni **$F(\mathcal{V}^2)$ e $F(\mathcal{V})$** e utilizzare il **valore del x²** per la scelta fra le diverse relazioni funzionali (se necessario utilizzare il **test di Fisher**):
 - $F(\mathcal{V}^2)$:** possiamo associare C_x al coeff. del termine di 2° grado
 - $F(\mathcal{V})$:** possiamo associare C_x al coeff. angolare della retta

TERZA PARTE

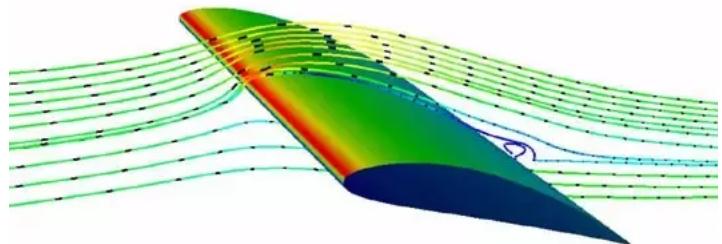
Curva polare di un'ala

L'ala

- La **portanza** è la forza aerodinamica che agisce in direzione \perp alla direzione dell'aria che investe l'ala e permette il sostentamento del volo quando è $\geq F_g$

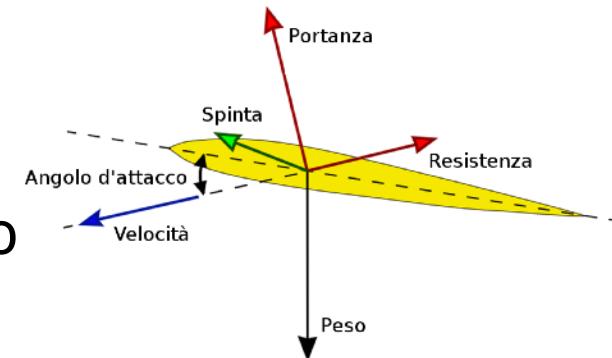


- Sfrutta le leggi dell'aerodinamica → **legge di Bernoulli**: all'aumentare di \mathcal{V} del fluido, p_{stat} diminuisce.
- Le ali degli aerei sono sagomate in modo che la velocità dell'aria sia:
 - > sull'estradosso (parte superiore dell'ala) e < sull'intradosso (parte inferiore)

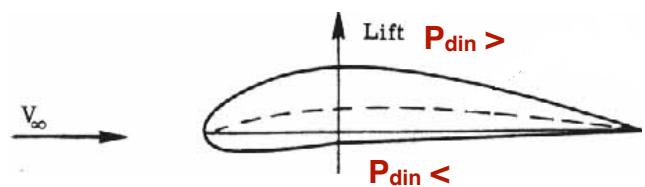


L'ala

- La **portanza** è la forza aerodinamica che agisce in direzione \perp alla direzione dell'aria che investe l'ala e permette il sostentamento del volo quando è $\geq F_g$

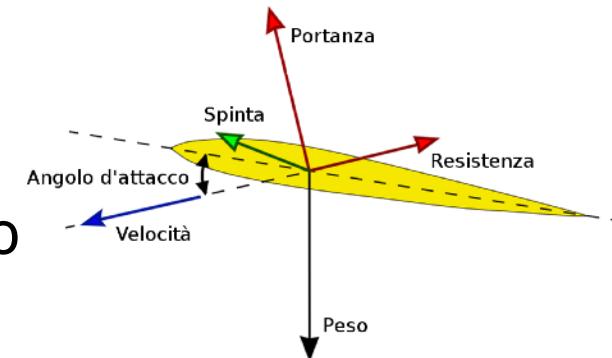


- Sfrutta le leggi dell'aerodinamica → legge di Bernoulli: all'aumentare di \mathcal{V} del fluido, p_{stat} diminuisce.
- Le ali degli aerei sono sagomate in modo che la velocità dell'aria sia:
 - > sull'estradosso (parte superiore dell'ala) e < sull'intradosso (parte inferiore)



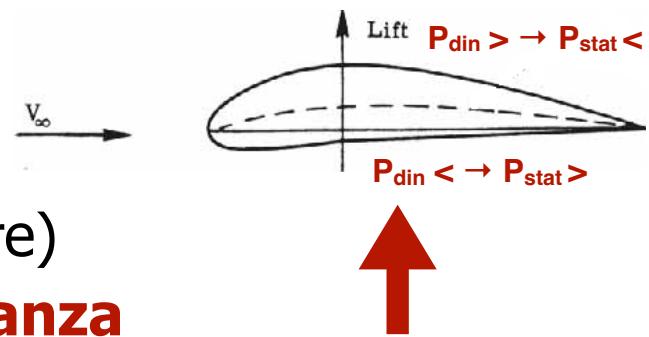
L'ala

- La **portanza** è la forza aerodinamica che agisce in direzione \perp alla direzione dell'aria che investe l'ala e permette il sostentamento del volo quando è $\geq F_g$



- Sfrutta le leggi dell'aerodinamica → legge di Bernoulli: all'aumentare di \mathcal{V} del fluido, p_{stat} diminuisce.

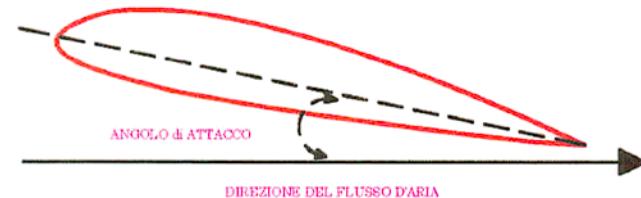
- Le ali degli aerei sono sagomate in modo che la velocità dell'aria sia:
 - > sull'estradosso (parte superiore dell'ala) e < sull'intradosso (parte inferiore)→ la conseguente Δp genera la portanza



L'ala

- La portanza dipende soprattutto dalla **geometria dell'ala** e dall'**angolo di attacco**.

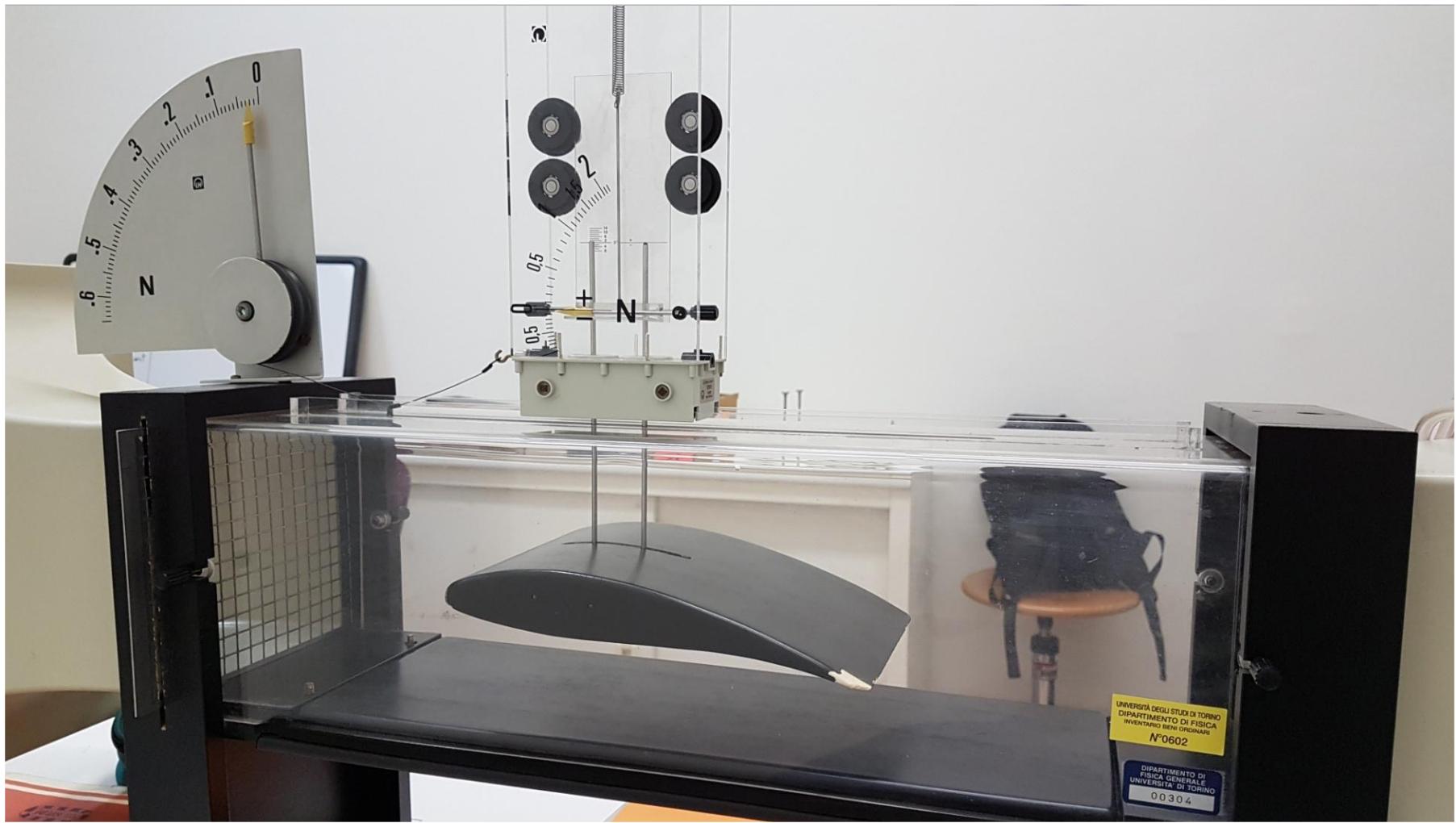
- L'**angolo di attacco** identifica la direzione dell'ala rispetto alla direzione del vento



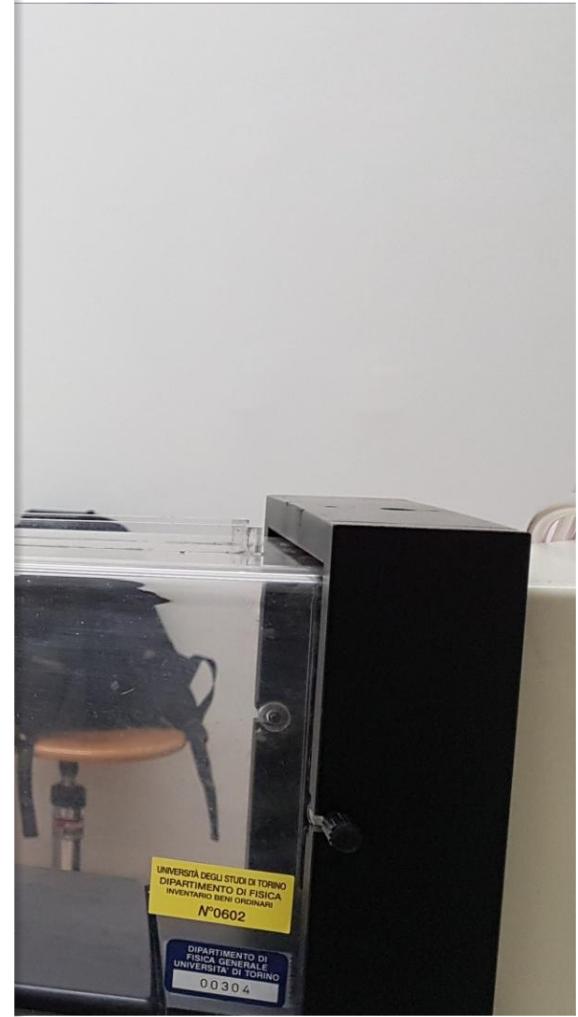
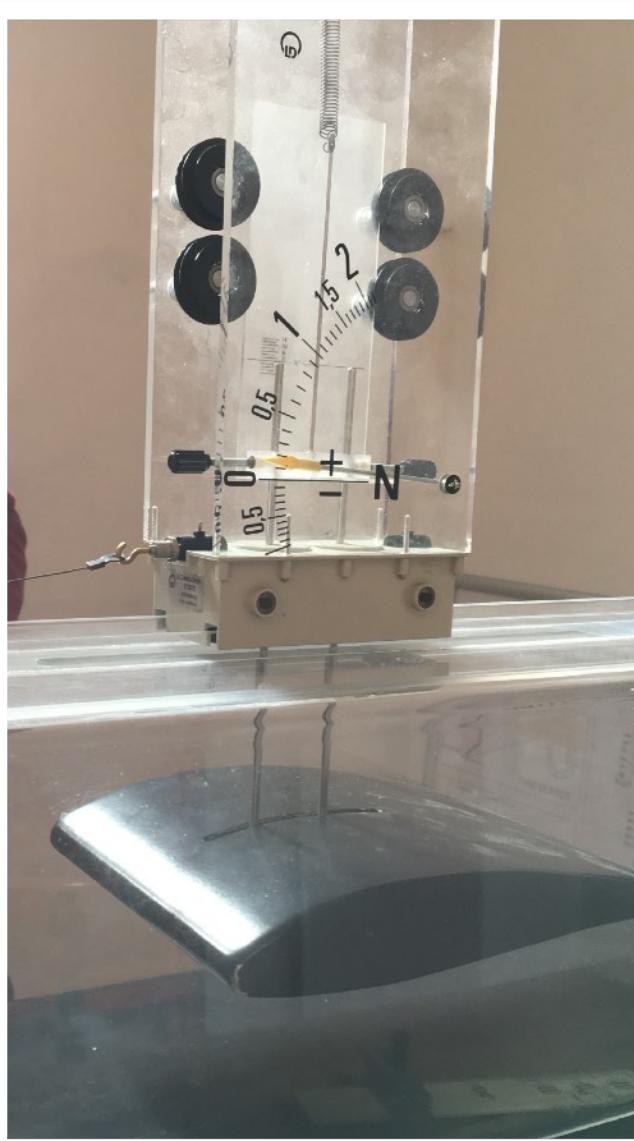
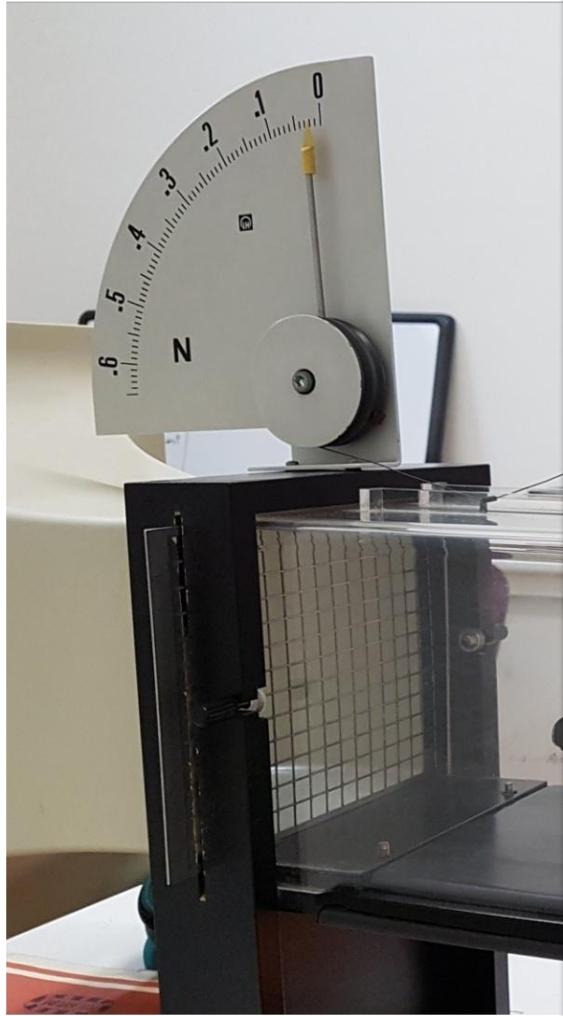
- Inserendo l'ala all'interno del fluido in moto possiamo studiare l'andamento della **forza resistiva F_r** e della **portanza F_p** in funzione dell'**angolo di attacco**

- Misurare F_p con la bilancia di spinta e la F_r con il newtometro, per diversi angoli di attacco α
- Disegnare il grafico dei punti ottenuti → **polare dell'ala**

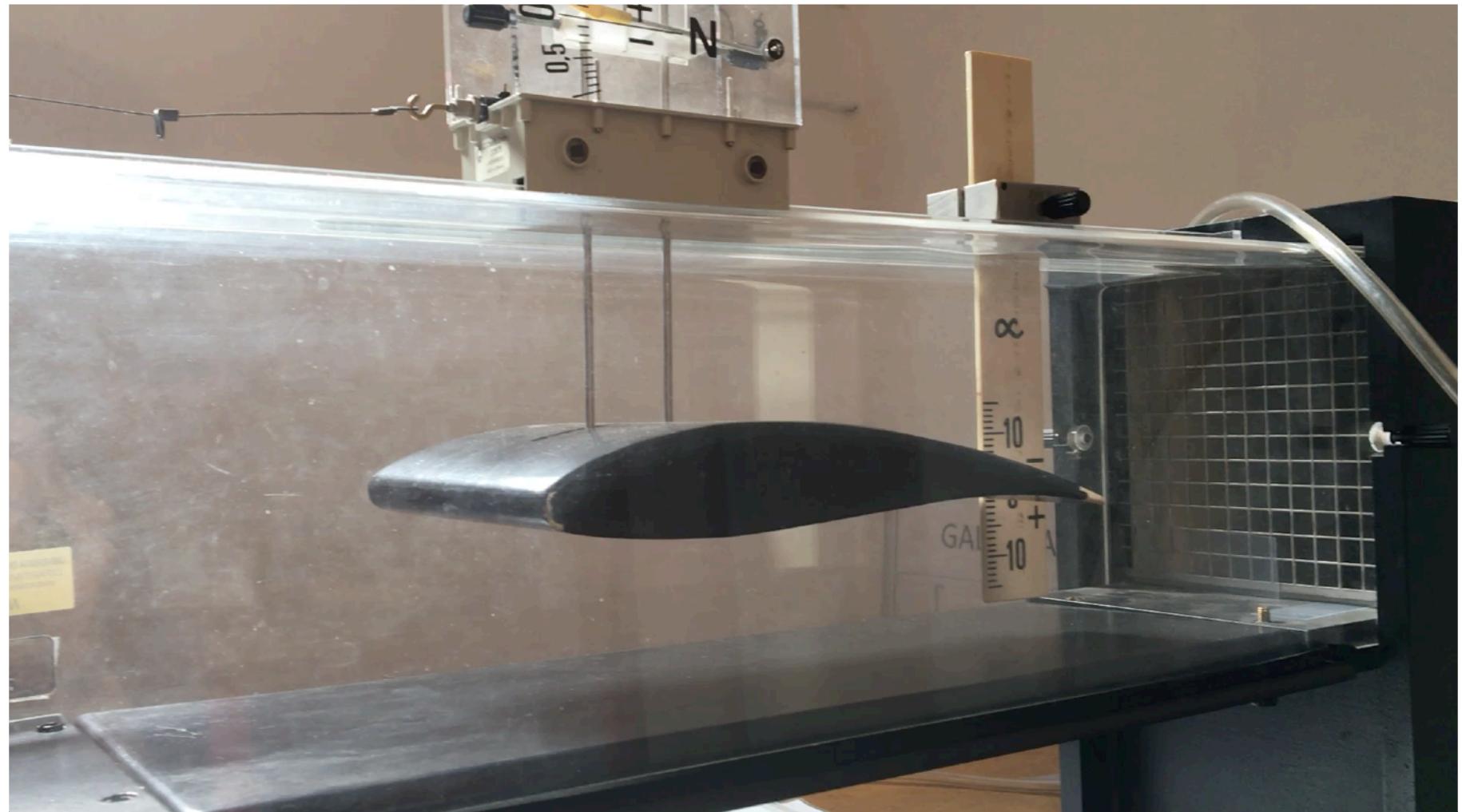
L'ala



L'ala



L'ala
angolo di attacco $\sim 0^\circ$



L'ala
angolo di attacco > 0°



Curva polare

