



Corso Luigi Einaudi, 55/B - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1400A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Luce

MATERIA: Aerodinamica Sperimentale + Eserc. Prof. Iuso

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

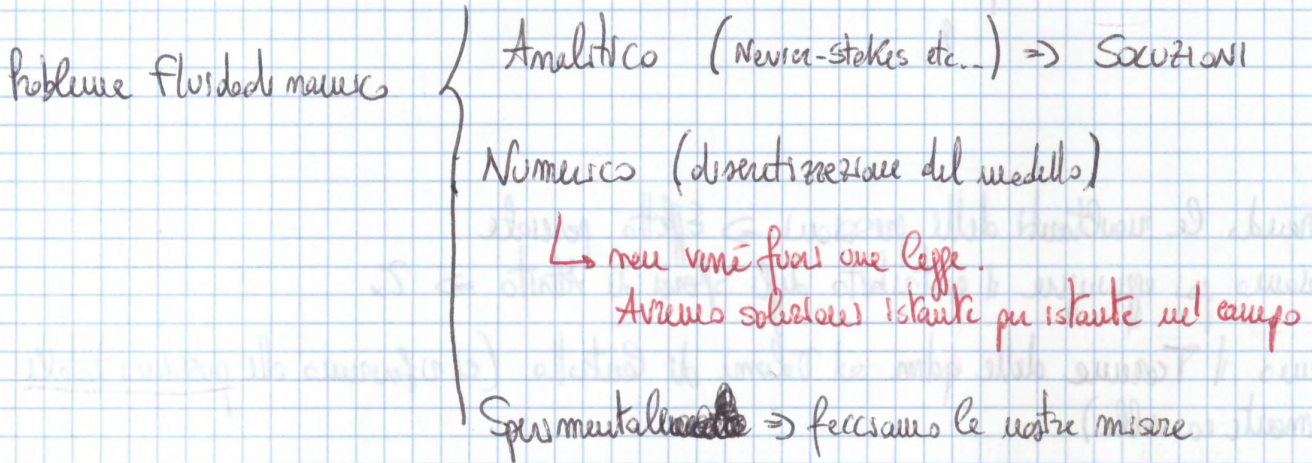
AERODINAMICA SPERIMENTALE

Ricevimento: martedì, mercoledì, giovedì

Esame: Orale (darete almeno un paio di relazioni)
(fenomeno fisico, misure, interpretazione)

Studiare:

- Tecniche di misura (es. pressione, vettore velocità...)
- Impianti (gallerie del vento, condotti etc..)
- Strumentazione, Sonda, Attrezzature



⇒ Obiettivo è descrivere il nostro fenomeno!!

⇒ Scrivere del Report

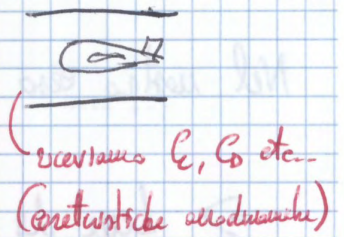
- Problema
- Esperimento
- Acquisizione dati
- DATA REDUCTION (analisi dei dati)

↳ pensare dei segnali equitati (guizzi) alle grandezze fisiche. (es. da Volt a Pascal)
⇒ definire grandezze opportune!

Definire spesso dei coefficienti (es. C_p etc..)

Se facciamo delle misurazioni \Rightarrow Avremo anche **ERRORI DI MISURA**

\Rightarrow Similitudine Fluidodinamica
(es. gellare del vento)



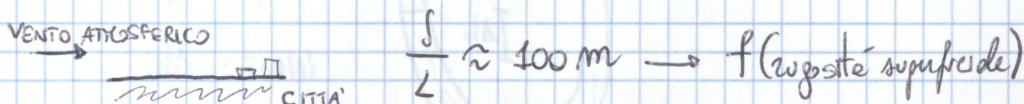
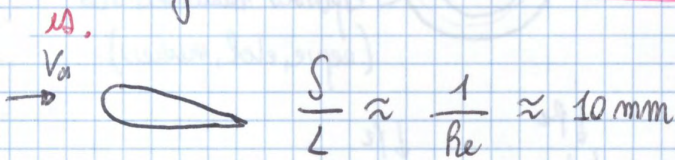
Il parametro fondamentale è il Numero di Reynolds. Re_L

\Rightarrow Deve essere che $Re_{LABORATORIO} = Re_{VERO} \parallel$

$\approx 10^5 - 10^6$ (per il numero sarebbe un po' più esemplificato)

Vediamo Gelare del Vento Subsonico Incompressibili ($M < 0,3$)

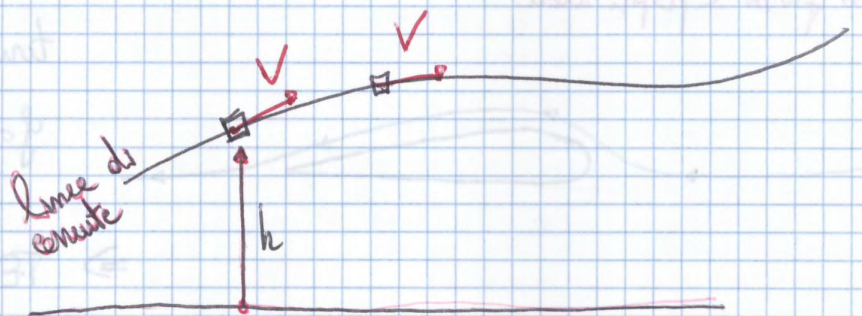
- AERONAUTICHE
- AUTOBOTIVE
- STRUTTURE CIVILI
- AMBIENTALI



\Rightarrow Tecniche di Impedimento dello Strato Limite
(ell'interno vogliamo inserire i nostri modelli di costruzione, etc..)

Misure di Pressione

- Condizioni Stazionarie \Rightarrow Valori medio di pressione normale alle pareti.
(le pressioni da luogo ad una Forza di pressione)
- Campo Incompressibile ($\gamma = cost, M < 0,3$)



Preservando gli effetti transienti:

$y = \text{cost} \rightarrow$ **BERNOULLI**: $y \frac{V^2}{2} + p = \text{cost} \parallel \overset{\text{lungo le linee di corrente}}{=} p_0 \rightarrow$ pressione totale

$\Rightarrow \frac{1}{2} \rho V^2$ è anch'esse una pressione \rightarrow pressione dinamica

$p \rightarrow$ pressione statica

Le costanti mi le fornisce le Costante a Ventre. $\rightarrow \text{cost} = p_0 + \frac{1}{2} \rho V_0^2$

PUNTO D'ARRESTO $\rightarrow V = 0$

$p_0 + \frac{1}{2} \rho V_0^2 = \text{cost} = p + \frac{1}{2} \rho V^2 \Rightarrow$ Ste commutando le Pressione statica

$p_{\text{max}} = p_0 \parallel$

Bernoulli ci dice che tale costante sarà lo stesso su qualsiasi linee di corrente, se considero il fluido a mente.

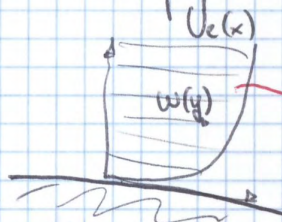
Intorno al nostro profilo \Rightarrow Con fluido reale e Effetti Viscosi davanti alle perle

\Rightarrow Campo Rotazionale viscoso e perle

\Rightarrow Non è valido più il Teorema di Bernoulli. \parallel

(a perle la Velocità è nulla \rightarrow condizione di tangente)

Lontano dal profilo \Rightarrow Velocità Esterne



CAMPO ROTAZIONALE

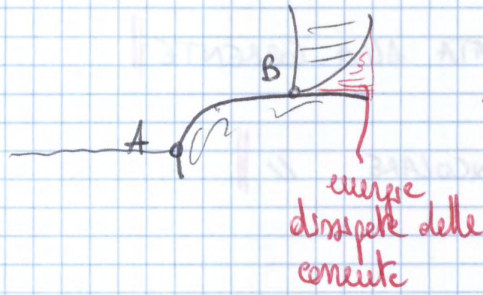
$\omega_z = \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) \vec{k}$

Andremo ad ampliare Bernoulli con la pressione statica che agisce nello strato limite

$\Rightarrow p + \frac{1}{2} \rho W^2(y) = p_0(y) \parallel$ VALE BERNOULLI LOCALMENTE !!!

In qualsiasi y la p statica è cost $\Rightarrow \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \Rightarrow p = p(y) = \text{cost} \parallel$

Per calcolare le $p_{ASS} \Rightarrow$ uso un manometro e $\rho_{AMB} \Rightarrow p_0 = p_{amb} + \int \rho g sh$



A = punto esatto isotropico \rightarrow quello esatto e monte
 B = " " stretto limite $\rightarrow p_0 = p + \frac{\rho}{2} v^2$

$f_{statica} = ?$



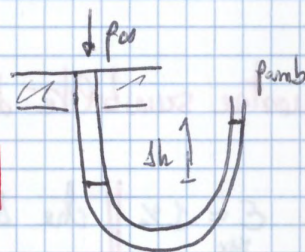
Al di sopra dello stato limite \Rightarrow corrente viene INTERTURBATA

\Rightarrow $f_{statica}$, $p_{statica}$ rotano inversete (cambiano solo se c'è perturbazione)

\Rightarrow Anemometro p_{00} e V_{00}

Se esco e entro una fase di pressione

L'effetto viscoso non perturba le pressioni statiche



$p = p(y) = \text{cost}$

Utilizzeremo, nei nostri casi, delle SONDE \hookrightarrow immerse nel nostro campo di moto

\Rightarrow perturba il corpo ma anche le sonde

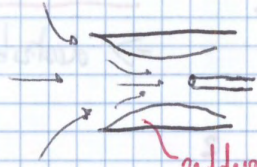
\Rightarrow Che perturbazione avrà e cause delle sonde?

(è per questo che usiamo i metodi di misure ottiche)

REQUISITI:

- SONDA PICCOLA (rispetto alle dimensioni caratteristiche es. $d \ll \delta$)
- SONDA ROBUSTA (non deve certo vibrare)
- " CALIBRATA (legame tra grandezza fisica e segnale es. sh e sp)

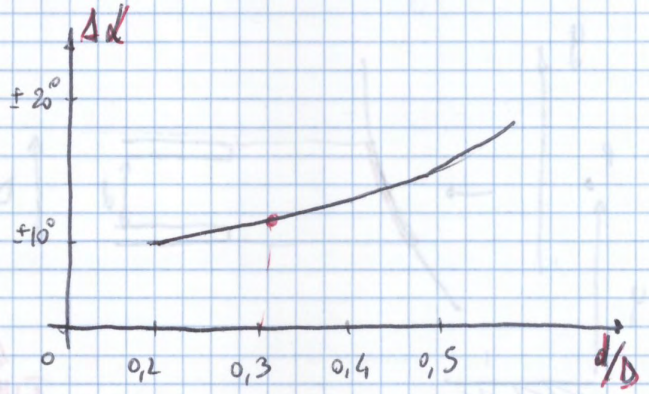
Sonde KIEL → condotto esterno avario + preciso ⇒ Max flessibilità



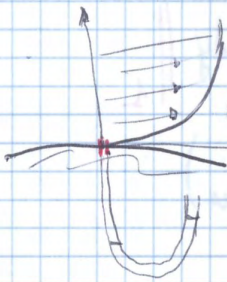
$$\Delta\alpha \approx \pm 60^\circ$$

riduzione Co consente prima. Non emulato fenomeno dissipativo vicino e un a vedere le po effettive.

$$\frac{d}{D} \approx 0,3 \quad || \text{ per una BUONA SONDA}$$



Tali sonde, con geometrie opportune, possono essere utilizzate anche per misure nello Stato-Limite



SONDA A TESTA SFERICA

$$p_0(y) = p + \frac{1}{2} \rho w^2(y)$$

Il modo più facile è misurare e parte (con un foro)

$$\Rightarrow \Delta h \Rightarrow \frac{1}{2} \rho w^2 = p_0(y) - p$$

perquis possibile delle sonde

$$w(y) = \sqrt{\frac{2(p_0(y) - p)}{\rho_{ARIA}}}$$

$$\Rightarrow w(y) = \sqrt{\frac{2(\Delta h \rho_{fluido} g)}{\rho_{ARIA}}}$$

memoristico

barometro e trasometro

$$p_{amb} \approx 710 \text{ mmHg} \approx \dots p_a$$

$$T_{amb} \approx 10^\circ C \rightarrow 283^\circ K$$

⇒ Eq. STATO

Lavoriamo nel S.I. → $p = [Pa] = \frac{N}{m^2}$, $\rho = [\frac{kg}{m^3}]$

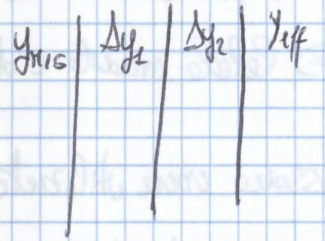
Quali problemi nascono nelle misurazioni?

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

• Nel campo di moto sarà presente un gradiente di velocità

Annuncio chere:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\Delta y_1}{D} &= 0,021 \frac{d}{D} \\ \frac{\Delta y_2}{D} &= 0,131 + 0,083 \frac{d}{D} \end{aligned} \right.$$



⇒ $f_0(\text{eff.})$ e $w(\text{eff.})$

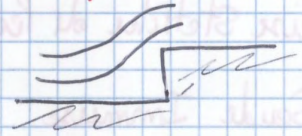
- Problemi se effettuiamo misure troppo vicine e piccole



INTERFERENZA

è come se vi fosse un gradino

le linee di contatto saranno riflesse



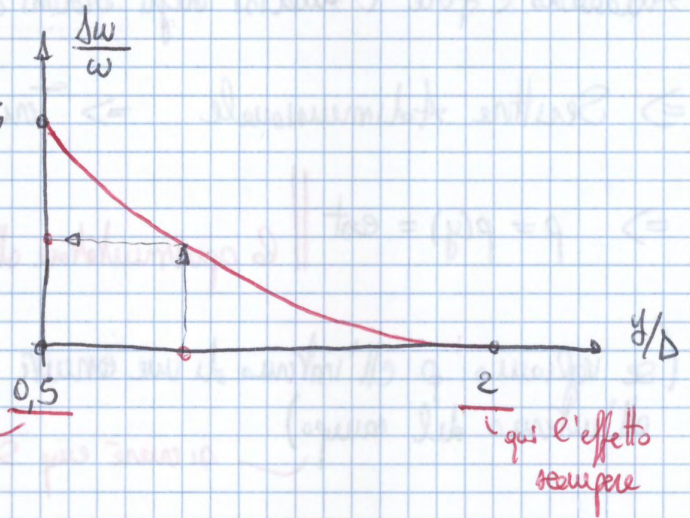
⇒ In questo caso sto misurando qualcosa di più piccolo!!
(sto misurando qualcosa che in realtà viene da più in basso)

⇒ $w_{sp} - \Delta w$

Annuncio un diagramma di consistenza

CORREZIONI:

$$w_{true} = w_{mis} \left(1 + \frac{\Delta w}{w} \right)$$



sonde che tocca le particelle

qui l'effetto sempre

- Per queste misurazioni sono più adeguate le sonde e teste piatte!! (interferiscono meno)



$$\frac{S}{H} \approx 0,15 \div 0,18$$

CORREZIONE

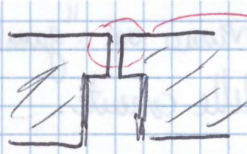
a parte (Δw)

② Sonde cilindriche Perpendicolari con la cemente



la parte di pressione effettiva è il forellino

Si può pensare un Foro "ottimizzato"



determinare le Pressioni

Analisi più difficili sono le Misurazioni in **Stretto Limite Turbolento**

$$w(t) = \bar{w} + w'$$

$$v(t) = \bar{v} + v'$$

$$w(t) = \bar{w} + w'$$

$$p(t) = \bar{p} + p'$$

⇒ Equazioni di Reynolds //

Le equazioni le sono di Reynolds

il Flusso è mediamente Stazionario $\bar{w} = \text{cost}$

$$\Rightarrow \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial (\bar{p} - \bar{v}^2)}{\partial y} + \nu \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} //$$

Facendone sempre l'analisi degli ordini di grandezza $\Rightarrow \frac{\partial (\bar{p} - \bar{v}^2)}{\partial y} = 0$

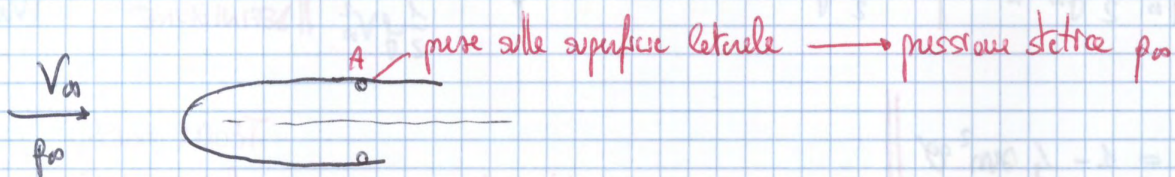
$$\Rightarrow \bar{p} - \bar{v}^2 = \text{cost} //$$

ma nelle misurazioni V_{totale} a parete = 0 $\rightarrow v' = w' = 0$

Tuttavia se faccio un foro \Rightarrow esistono fluttuazioni turbolente sulle pressioni statiche

⇒ Importante è che il foro sia più piccolo possibile.

① Seconde Cilindriche allineate con le Correnti



Le Linee di corrente, e cause delle pressioni delle seconde, subiremo una deformazione

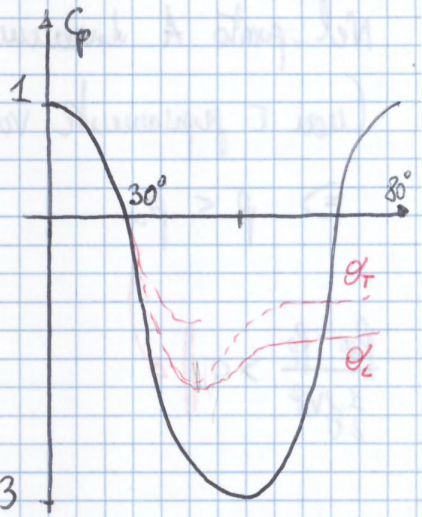
subiremo un'eccellenza dovuta alle traccie delle seconde

$$\Rightarrow p_A < p_{\infty} //$$

pressione scarse

(Il riferimento sarà 0° con allineamento rispetto a V_∞)

↳ e lo posso calcolare calcolando le f_θ .



In realtà $\mu \neq 0$

⇒ Esiste una separazione del flusso ad un angolo $\theta \geq 90^\circ$
(dipende dello strato limite)

$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ Laminare } \theta < 90^\circ \\ 2 \text{ Turbolento } \theta > 90^\circ \end{array} \right. \rightarrow f(h_c)$

$$h_c = \frac{V_\infty \Delta}{\nu}$$

$$h_{c,c} \approx 5 \cdot 10^5 \text{ (per il cilindro) } \parallel \parallel$$

$\left\{ \begin{array}{l} h_c > h_{c,c} \text{ TURBOLENTO} \\ h_c < h_{c,c} \text{ LAMINARE} \end{array} \right.$

Le parti del $\theta < 30^\circ$ è sempre le stesse (indifferentemente del numero di Reynolds)

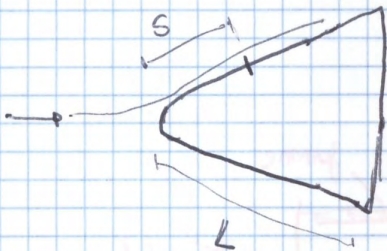
Una volta separate, le correnti, avrà un moto circolare ⇒ resistenza ($\rho < \rho_0$)

- Il laminare avrà una depressione maggiore → $C_p \approx 1$
(per il turbolento $C_p \approx 0,4 \div 0,5$)

Posso allora pensare di motorizzare le prese per calcoli immersi tutto calcolare dove $C_p = 0$

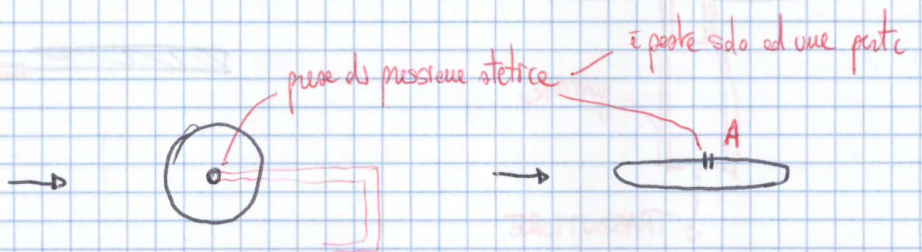
Per completezza diciamo che esistono anche sonde di forme triangolare $\parallel \parallel$

⇒ da qualche parte evremo che $\rho = \rho_0 \Rightarrow$ Li piazziamo le sonde (s)



$$\rho = \rho_0 \rightarrow \frac{s}{L} \approx 0,37$$

Sonde e disco

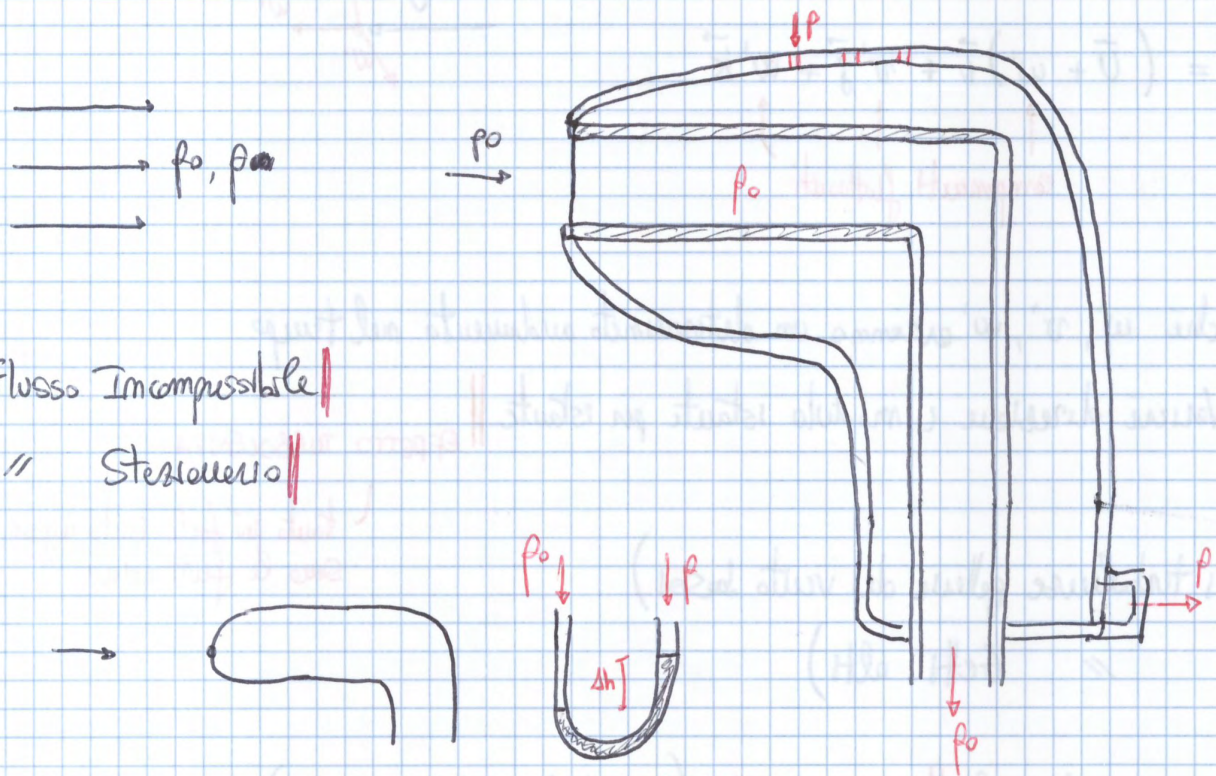


Tubo di Pitot

serve a misurare le velocità delle correnti

IMP. BENE!

(Le vee misore calcolate a partire le pressioni totale p_0 e statica p)



- Flusso Incompressibile
- // Stazionario

$$p_0 = p + \frac{1}{2} \rho V^2$$

In definitiva, disponendo di un opportuno trasduttore di pressione, calcol le differenze di press. (se volenti solo p_0 dovrai costruire un $p_{st} = p_{amb}$)

$$\Rightarrow V = \sqrt{\frac{2(p_0 - p)}{\rho_{ARIA}}} \quad \text{VELOCITA' CORRENTE}$$

Stivimo: $\Delta p = \rho g \Delta h \Rightarrow V = \sqrt{\frac{2(\Delta h \rho_{fluida})}{\rho_{ARIA}}}$

$$\left(\rho_{ARIA} = \frac{\rho_{amb}}{\gamma_{amb}} \right)$$

Se usiamo pitot in una corrente Turbolente?

(nelle gallerie del vento si evie di corce turbolente molto ridotte)

Ricordiamo che $\bar{q}^2 = (\bar{u}^2 + \bar{v}^2 + \bar{w}^2)$

Energie cinetiche delle Turbine

è basso per una galleria del vuoto $\rightarrow I \approx 0,2\%$

Livello Tabellone

Getto $\rightarrow I \approx 10-20\%$

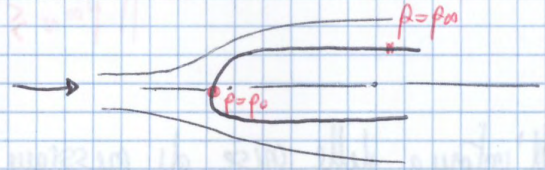
Stretto Limite $\rightarrow I \approx 10-15\%$

Flussi Compressibili

effetto dell'Arresto di Velocità

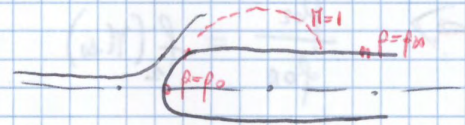
• Scade es Compressa

INCOMP



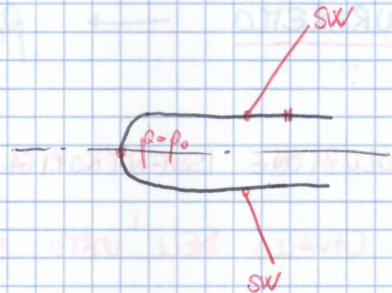
COMP

$\pi_{00} \approx 0,4$
(curve orti x5)



COMP

$\pi_{00} > \pi_{02}$



Localmente ovunque e che fare con degli ORTI

$p_0 = p_{0,00}$ sempre ma cosa succede a p sulle fessure laterali?

A valle dell'Orto la $p_{statica} \uparrow \Rightarrow p_{pr} > p_{pm} \Rightarrow p > p_{00}$ NON GARRETTA

Se e partire da queste situazioni $\pi_{ech} \uparrow$

\Rightarrow L'orto tende a spostarsi verso valle (lo stretto limite si assottiglia un po')

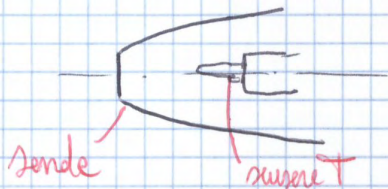
A un certo punto ovunque $p = p_{00}$ perché l'orto sarà successivo.

\Rightarrow **Flusso Transonico** è il più difficile da studiare

Se ne andiamo nel Supersonico:

$$a_{\infty} = \sqrt{\gamma \frac{R}{M} T_{\infty}} \quad \longrightarrow \quad V_{\infty} = \Pi_{\infty} \cdot a_{\infty}$$

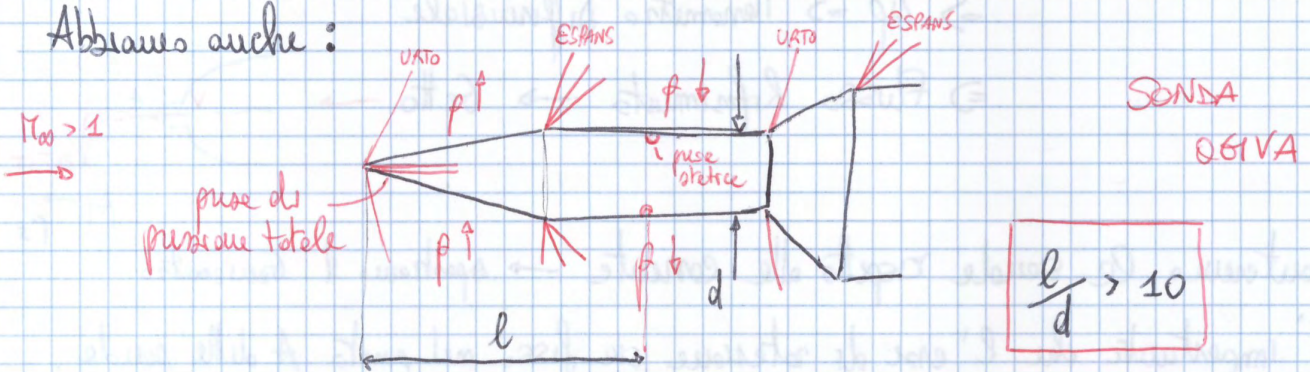
⇒ Ho bisogno di un Sensore di Temperatura per conoscere T_{∞} a valle dell'orto
 ↳ misurare la Temperatura di Arresto



$$T_{p_{\text{misurate}}} = T_{0_{\infty}}$$

⇒ passo conoscere $T_{\infty} = \frac{T_{0_{\infty}}}{\left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_{\infty}^2\right)}$

Abbiamo anche:



Allo stesso modo (+ utile):

$$\varepsilon = \frac{(\rho_0 - \rho_{amb})_{\alpha} - (\rho_0 - \rho_{amb})_{\alpha=0}}{(\rho_0 - \rho_{amb})_{\alpha=0} - (\rho_s - \rho_{amb})_{\alpha=0}}$$

$$\frac{(\rho_0 - \rho_{amb})_{\alpha=0} - (\rho_s - \rho_{amb})_{\alpha=0}}{(\rho_0 - \rho_{amb})_{\alpha=0} - (\rho_s - \rho_{amb})_{\alpha=0}}$$

(possiamo calcolare il densimetro diversamente)

Per prime cose ve calcolo

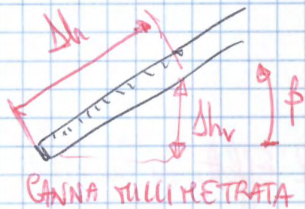
$$q_s = (\rho_0 - \rho_s)_{\alpha=0} \quad (\text{SONDA ALLINEATA})$$

misurato un $\Delta h \Rightarrow$ calcolo il densimetro

Successivamente anche a vedere l'inclinazione α .

Cosa leggiamo del densimetro?

- leggiamo dei Δh (corrispondenti a dei $\Delta \rho$)



$$\Rightarrow \Delta \rho = \underbrace{\Delta h_v}_{\text{VERTICALE}} \cdot \gamma_{\text{fluido manom}} = \Delta h \cdot \gamma_f \cdot \sin \alpha$$

Le incliniamo perché Δh sarà così più grande \Rightarrow Errori minori!!!

Per le quantità lette allora:

$$\varepsilon_{p\%} = \frac{\Delta h_{\rho_0, \alpha} - \Delta h_{\rho_0, \alpha=0}}{\Delta h_{q, \alpha=0}} \cdot 100$$

$$= f(\alpha)$$

Risposte del titolo
el disallineamento

α	Δh	$\varepsilon_{p\%}$
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮

DA CALCOLO

MISURATE

\Rightarrow Grafichiamo

$$\varepsilon_p = f(\alpha)$$

semplo LEGGERE!!!

$$\Rightarrow V_f = \sqrt{\frac{2(p_0 - p_s)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(\Delta h \gamma_f \sin \beta)}{\rho_{ARIA}}}$$

$$\left. \begin{array}{l} p_{amb} = \dots \\ T_{amb} = \dots \end{array} \right\} \Rightarrow p_f = R^* T \Rightarrow \rho = \frac{p_{amb}}{\frac{R}{T_{amb}}} = \text{cost (Incompressibile)}$$

In definitiva alcune considerazioni

- 1 Obiettivo
- 2 Catene di Misura
- 3 Descrizione analitica che creterebbe problemi
- 4 Dati
- 5 Analisi Dati + Diagrammi
- 6 Commenti / Conclusioni

6 prese di pressione statiche $\rightarrow \frac{1}{10}$ mm di diametro
 estremità sode \rightarrow punto fisso del campo di moto

$\Delta h_1 = 72$ mm \rightarrow dinamometro

$$\beta = 30^\circ \parallel$$

$\Delta h_2 = 70$ mm \rightarrow dinamica

Offset (sode eliminate) = 2°

Conversione: senso antiorario negativo

$$p_s = p_{amb}$$

Con -5° :

$$\Rightarrow \Delta h = 72 \text{ mm}$$

$$t_{cort} \approx 1 \text{ sec}$$

$$-10^\circ \rightarrow \Delta h = 69 \text{ mm}$$

$$-15^\circ \rightarrow \Delta h = 66 \text{ mm}$$

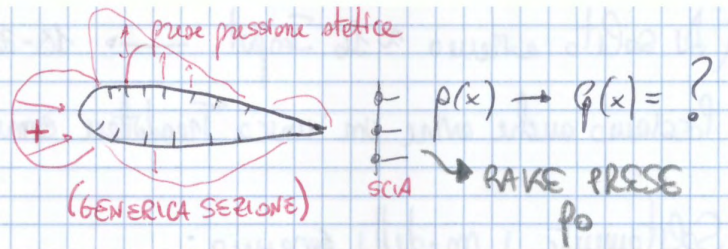
$$-20^\circ \rightarrow \Delta h = 62 \text{ mm}$$

$$-25^\circ \rightarrow \Delta h = 56 \text{ mm}$$

$$-30^\circ \rightarrow \Delta h = 50 \text{ mm}$$

Misure Pressione

↳ se \bar{c} MULTI POINT



A volte bisogna poi posizionare prese di pressione statiche anche lungo l'apertura b (SPAN)
 Imp. sono anche le MISURE DI SCIA (info su resistenza Aerodinamica)

① Tecnica Tradizionale → ~~Trasduttore~~ MULTIMANOMETRO // (+ come manometriche) // TECNICA ANTICA

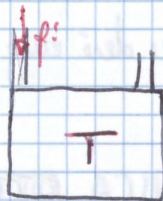
p_s → profilo
 p_{0s} → scese

Si sceglie h_i e successivamente $\Delta p_s = p_s - p_{0s}$

$$\Rightarrow C_{p_s} = \frac{p_s - p_{0s}}{\frac{\rho V_{\infty}^2}{2}}$$

② Trasduttori (ELETTRICI)

Non misurano più Δh_s !!



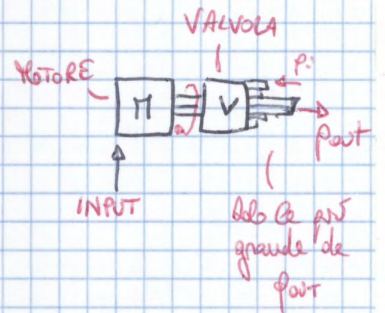
TENSIONE TENSIONE OFFSET

$$\Delta p_s \rightarrow \Delta \epsilon_i = \epsilon_i - \epsilon_0$$

[V]

Si usano ed come SCANIVALVE

- 1 a scansione meccanica
- 2 a " elettronica



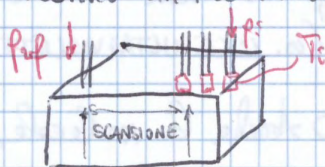
1 Ad ogni impulso elettrico ogni pressione p_s → p_{out}



↳ fornisce il Trasduttore elettrico

Nelle scansione meccanica evitavo imp on tempo caratteristico delle linee pneumatiche. //

2 Più comodi → Avremmo un trasduttore per ogni presa // PIÙ COMODO / PIÙ COSTOSO !!



$$T_s \rightarrow \Delta \epsilon_s \xrightarrow{\text{DIGITALIZZ.}} \underline{\underline{PC}}$$

Se abbiamo anche una camera d'aria che lambisce le pareti

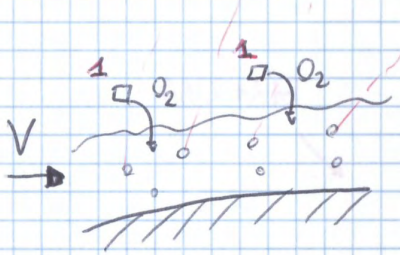
Le vuote sarà PERMEABILE alle molecole di O_2 (1)

⇒ Blocca l'emissione luminosa delle rispettive molecole
(QUENCHING)

↳ è un fenomeno LOCALE

⇒ Luminiscenze + estinzione

↳ dipende dalle
pressioni e dipende
dal n° di molecole



Ne l'aria → 20% O_2
80% N_2

$$X_i = \frac{V_i}{V_t} = \frac{N_i}{N_t}$$

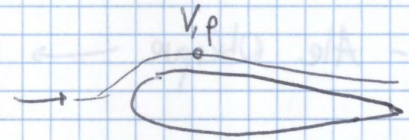
Il livello di pressione locale quindi sarà $p = p_{O_2} + p_{N_2} \parallel f_i \propto X_{O_2} \rightarrow N_{O_2}$

⇒ $V_{locale} \uparrow \Rightarrow p_{locale} \uparrow \Rightarrow N_{O_2} \uparrow \Rightarrow$ maggiore effetto quenching \parallel

Avremo allora $\forall p(x,y) \rightarrow I(x,y)$ distribuzione di colori !!
(INTENSITA')

$$p_{tot} = \text{cost} = p_{at} + \frac{1}{2} \rho_{tot} V_{tot}^2 = p + \frac{1}{2} \rho V^2 \text{ locale}$$

↑
 $p_{O_2} + p_{N_2}$



Le tecniche allora ^{anche} delle Telecomunicazioni → esprimono il modello
NON è assoluta

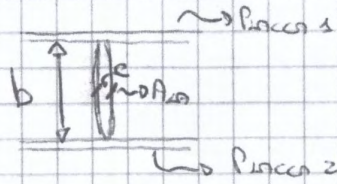
⇒ Necessità di CALIBRAZIONE !! (delle Vuote)

↳ $\forall I(x,y) \xrightarrow{\text{associe}} p(x,y) \parallel$ è da fare prima $\left\{ \begin{array}{l} \text{IN SITU} \\ \text{IN CASI OPPORTUNI} \end{array} \right.$

⇒ Bisognerebbe realizzare sul modello qualche presa dove $p_{mis} \rightarrow I_{fisso}$ con telecomunicazioni
↳ Leggo il colore, nota la pressione e quindi \parallel

NB

nelle prove su di un galleggiante del vento, non posso considerare l'ala finita poiché ciò implicherebbe la presenza di effetti di estremità (vortici) dovuti al fatto che l'ala non è molto lunga. Uno delle piastre piastre:



TRASDUTTORI DI PRESSIONE

Per passare energia:

1. Mechanici
2. Elettrici

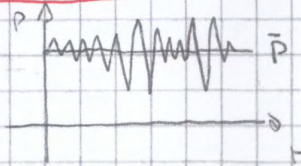
e trasformano la pressione in un segnale di pressione leggibile (elettronico o segnale elettrico).
 Possono essere per esempio di:

- pressione statica \bar{p}
- pressione fluttuante \Rightarrow Caso di n.l. Turbolento p'

Quindi nei:

① S.L. LAMINARE \Rightarrow $a = \text{cost}$ $V = \text{cost}$ $p = \text{cost}$

② S.L. TURBOLENTO \Rightarrow $p = \bar{p} + p'$ (p' = fluttuazione di p)



$p(t) = \bar{p} + p'(t)$

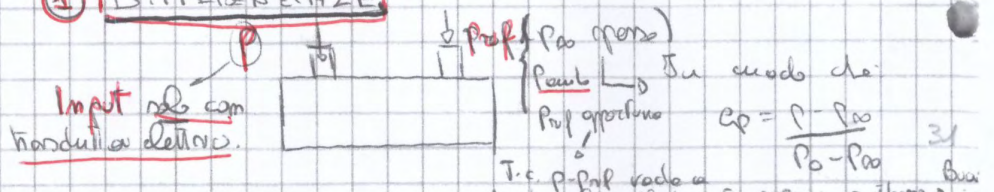
In questo caso possono essere:

- ① $\left\{ \begin{array}{l} a = \text{cost} \\ V = \text{cost} \end{array} \right.$
- ② $\left\{ \begin{array}{l} a \neq \text{cost} \\ V = \text{cost} \end{array} \right.$ PALA DI ELICOTTERO

In ogni caso una semplice trasduzione di pressione ma con tecniche diverse caso per caso

sono dist. inguere tra trasduttori:

① **DIFFERENZIALE**



N.B.

$$[K_T] = \left[\frac{\text{Pascal}}{\text{Volt}} \right]$$

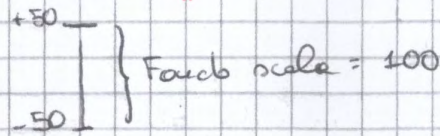
2) B) Fondo scala (Full Scale) \Rightarrow livello di pressione max che possiamo misurare con il trasduttore.

Se c'è il + vuol dire che il trasduttore è bidirez. e di p.

3) C) Accuratezza \Rightarrow Dato in % fondo scala

Es:

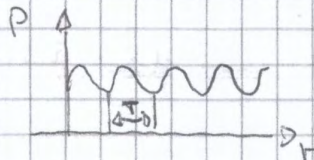
$$150 \Rightarrow F.S. = 100$$



Se: $Acc = 0.2\% F.S. \Rightarrow Acc = 0.2 \text{ mbar}$

4) D) BISTABILITÀ IN FREQUENZA \Rightarrow req. per analisi non stazionaria

$$f = \frac{1}{T}$$



Ho un segnale fluttuante sinusoidale, se voglio misurare Δp il trasduttore deve seguire l'evoluzione temporale di p.
Quindi:

CONDIZIONE: Tempo caratteristico trasduttore $<$ Tempo caratteristico fenomeno fisico.

$f = \frac{1}{T}$ Esso è la capacità del trasduttore e regole le più rapide fluttuazioni del fenomeno fisico

\hookrightarrow Requisito da soddisfare se si vogliono elaborare dati non stazionari (flusso turbolento).

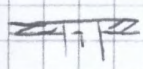

In caso di un certo stazionamento i trasduttori hanno una risposta in frequenza che è molto grande e varia poco ai fini dell'uso.

5) E) FREQUENZA DI RISONANZA \Rightarrow L'importante per il misuratore di fluttuazione di pressione, ma c'è anche per trasduttori usati in case stazionarie.

D piccolo \Rightarrow Ben descritto il contributo delle strutture piccole, mentre le strutture piccole forniscono un contributo integrale.
 Δ funzione da filtro pass-banda.

- Se:
- ① Struttura con $L > \Delta$ \Rightarrow Pressione uniforme e precisa
 - ② Struttura con $L < \Delta$ \Rightarrow Pressione non uniforme
 \Rightarrow si percepisce un valore medio.

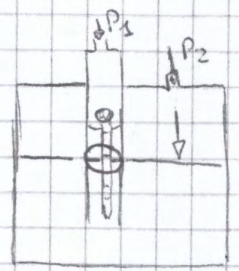
Il montaggio può essere:

- ① FLUSH MOUNTED \rightarrow ACQ. precisa 
- ② PHINOLE \rightarrow  \Rightarrow Ho la freq. di risonanza del trasduttore.

MANOMETRO BETZ.

È un trasduttore differenziale che può essere anche bidirezionale (usato raramente come tale), composto da:

- \rightarrow ACCURATEZZA ~ 0.01 mbar
- \rightarrow COSTO ~ 4000 €



All'interno del tubo vi è un tubicino con rullo graduato che ha una sferra in testa, e che consente di misurare il dislivello.

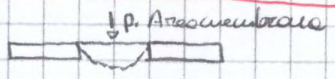
TRASDUTTORI ELETTRICI

Possno essere:

- ① RESISTIVI
- ② CAPACITIVI
- ③ PIEZOELETTRICI

RESISTIVI

ho come parametro di precisione C_0 caratteristica del trasduttore

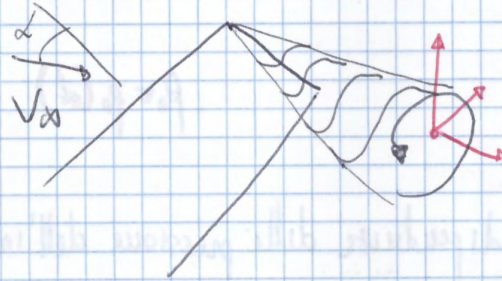
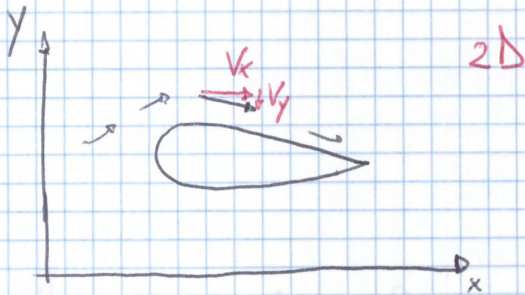


nella membrana c'è una resistenza di lunghezza l che è causa della precisione diventa $l + \Delta l$

Misure del Vettore Velocità

$$\vec{V} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j} + V_z \vec{k} \quad \left. \begin{array}{l} 2D \\ 3D \end{array} \right\}$$

Il campo aere complesso

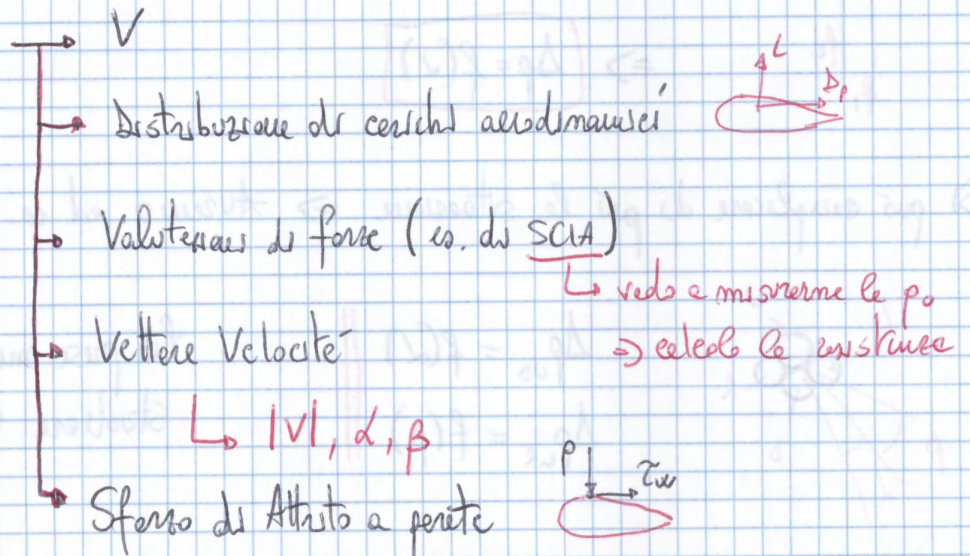


Come si misurano i vettori ?

- ① Se misurazione di pressione → Tecniche Inerziali → \vec{V} SONDE
 - ② Tecniche Anemometriche (Anemometro e Filo caldo)
 - ③ " Ottiche (LDV e PIV) → $\vec{V}(t)$ istante per istante
- misura puntuale $\vec{V}(t)$ si misura un intero piano istante per istante (molto potente)

Tecniche Inerziali

Considerando p_0, p

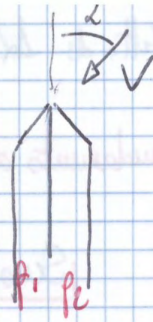


È la più semplice/economica/affidabile da utilizzare

SOLUZIONI OPERATIVE

1 Azzeramento Δp

(prevede motorizzazione)

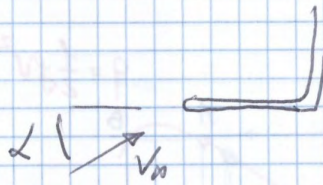


$$\Delta p = p_1 - p_2 < 0$$

Se si ruota le sonde finché $\Delta p = 0 \Rightarrow$ Coerenza (stesse rotazione) anche α ||

2 Tecnica e punto fisso

(senza ruotare le sonde)



• Si leverà allora per CURVE DI TARATURA

(devo preliminarmente costruire le curve di risposta delle sonde.)

3 Metodo misto

(si leverà per azzeramento in 1 piano (quello più facile da manovrare) e per curve di taratura nell'altro piano.)

REQUISITI SONDE

1 - devono essere Miniatizzate \rightarrow riduce l'interferenza (disturbo)

(rispetto alle dimensioni tipiche del campo di moto)

più è piccola la sonda + serie puntiforme le nostre misure \Rightarrow Aumento RISOLUZIONE SPAZIALE

2 - Geometrie adeguate al campo di moto

3 - Semplice

4 - Robuste (non deve vibrare !!)

5 - Sensibilità \rightarrow i le risposte dovute alle variazioni di pressione conseguenti e quelle di α

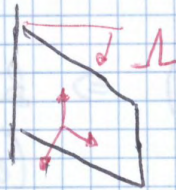
Andremo oltre ed eseguire $|V|, \alpha, \beta$ → vedo bene verso $\Delta p_a, \Delta p_p, q_{\infty}$
 → si calcoleranno delle curve
 → Interpolazione } curve
 Superfici

⇒ In fase di misure calcoleremo Δp_i

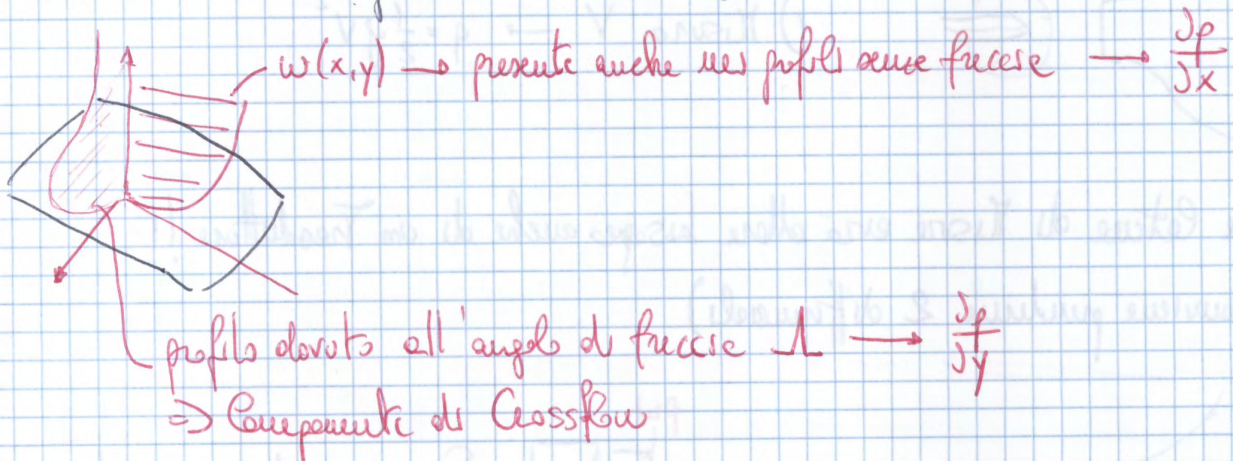
Allora tratteremo le curve di Teitura andremo e calcoleremo $\alpha, \beta, |V|$

SONDE 2D → V_x, V_y

// 3D → Ale con frecce



L'angolo di freccia α misurare un ∇p . Se abbiamo un $\frac{\partial p}{\partial y}$ (pressioni diverse $x-k$ a diverse distanze dell'ingresso) cosa succede?



Sonde **CONRAD** → servono oltre nei campi 2D in due campi di pressione ||

Nella s.p. 3D → il vettore velocità vuole allontanarsi dalla punta

• Appena vicino alla punta le direzioni sono quelle di ∇w ||

• Lentamente sono quelle delle correnti vortice $V_c(x)$ ||

$$\vec{V} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j} + V_z \vec{k} \quad \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial y} = 0$$

Vediamo come è fatta la sonda **CONRAD** : ↓

Allora per quello che si misura:

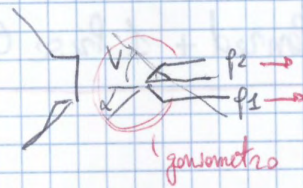
$$f_x(d) = \frac{p_1 - p_2}{\frac{p_1 + p_2}{2} - p_{tot}} \quad \parallel \rightarrow \text{è sensibile alle direzioni} \parallel$$

2

$$f_z(d) : \frac{\frac{p_1 + p_2}{2} - p_{tot}}{(q)_{d=0}} \quad \begin{array}{l} \rightarrow \text{è come prima misura} \\ \rightarrow \text{è sensibile all'Intensità} \end{array}$$

$(q)_{d=0}$ VERA \rightarrow è la quantità che dobbiamo misurare a parte = $\frac{1}{2} \rho V_s^2$ ↙ con Pitot

⇒ In fase di taratura, misuriamo a parte



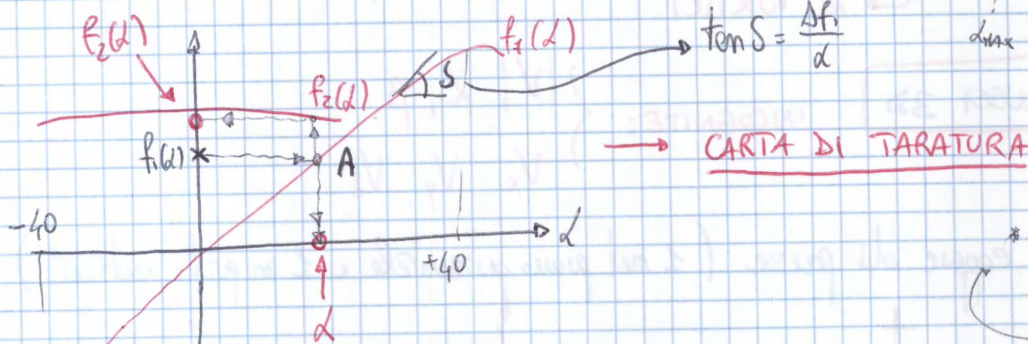
$$p_2 \rightarrow T_2 \rightarrow p_2 - p_{tot}$$

$$p_1 \rightarrow T_1 \rightarrow p_1 - p_{tot}$$

@q →

d	$p_1 - p_{tot}$	$p_2 - p_{tot}$	f_1	f_2
down				
0				
down				

(Si sape che le curve di taratura non vanno con le Velocità)



Si effettua poi la MISURA

$$\begin{array}{l} \rightarrow p_1 - p_{tot} \\ \rightarrow p_2 - p_{tot} \end{array} \Rightarrow f_x(d) = \frac{p_1 - p_2}{\frac{p_1 + p_2}{2} - p_{tot}}$$

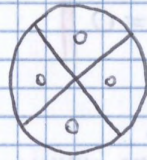
Si entra nel diagramma con $f_x(d) \Rightarrow$ determiniamo d

Da A si intercettiamo verso l'alto la 2^a curva $f_z(d)$

⇒ Conoscendo $f_z(d)$ posso ricavare q_{VERA} || così per ogni distanza y

$$V = \sqrt{\frac{2 q_{VERA}}{\rho}} \quad (V_x = V_{verd}, V_y = V_{omd})$$

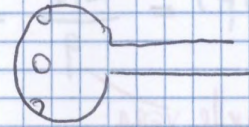
2) A teste piramidale



3) ⁴ A teste Emisforica



4) A teste Sferica



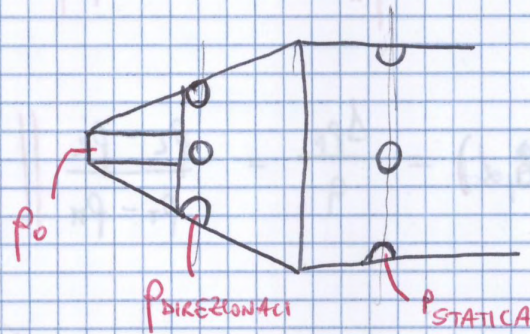
• Se sono 5 prese \Rightarrow 4 come prima + 1 totale

si posizione sul bordo d'attacco delle prese

(Se non è ellimete \Rightarrow Emore)

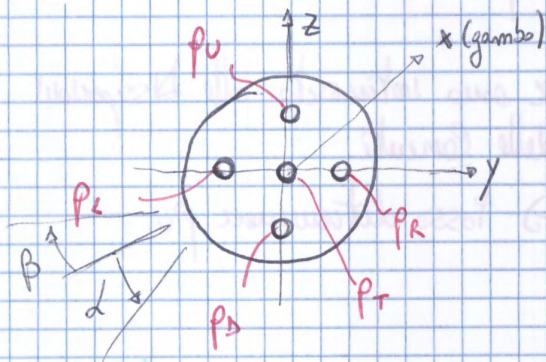
• Se \bar{i} e ∇ prese (es. Sonda Gottfrige)

sono le + prete



Consideriamone ora come e vediamo come le osiamo:

Sonde a 5 prese \rightarrow (a Teste Sferice)



PV (presa verticale)

PO (// orizzontale)

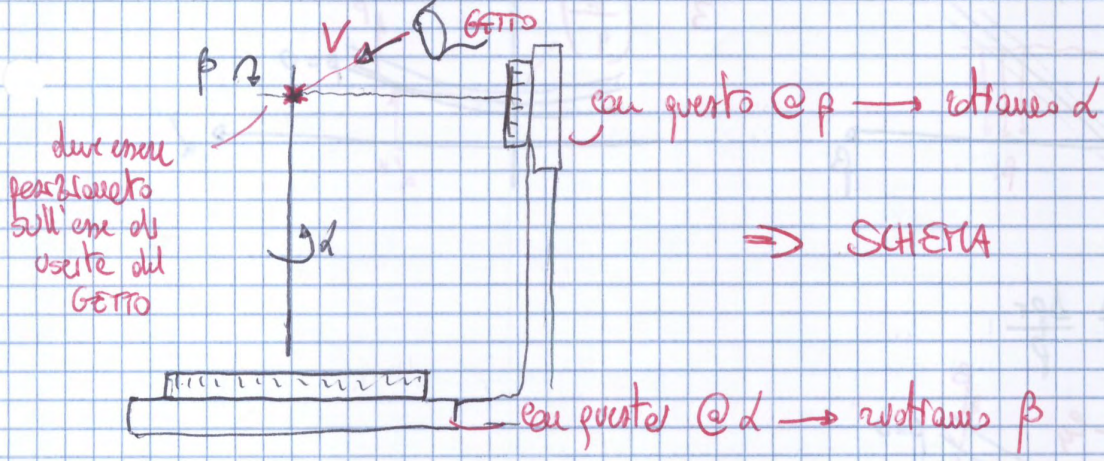
$z_x \rightarrow \alpha$

considerato positivo se ∇ curve del bomo $\Rightarrow \alpha > 0 \rightarrow P_z > P_0$

$y_x \rightarrow \beta$

positivo se le curve curve de amistie $\Rightarrow \beta > 0 \rightarrow P_r > P_z$

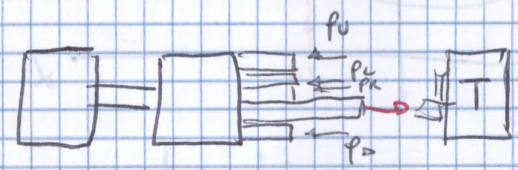
• Per ~~...~~ per venire $d, \beta \Rightarrow$ Occorrono 2 GONIOMETRI



\Rightarrow SCHEMA

Schema HPC1:

• Trasduttore + Scemivalve
($p_i - p_{ref}$)



① Misura $q_{VERA} \rightarrow$ PITOT // MISURA PRELIMINARE

② @ β \rightarrow PV

debbiamo leggere i 5 segnali di pressione

d	$p_s - p_{ref}$	$p_c - p_{ref}$	$p_v - p_{ref}$	$p_R - p_{ref}$	$p_T - p_{ref}$	$\frac{\Delta p_x}{\rho}$	$\frac{\Delta p_p}{\rho}$	p_{ref}	p_{ref}

serà piccolo (accoppiamento)

All'inzio otterremo $\beta=0$ // per effettuare qualche prova anche a $\beta \neq 0$

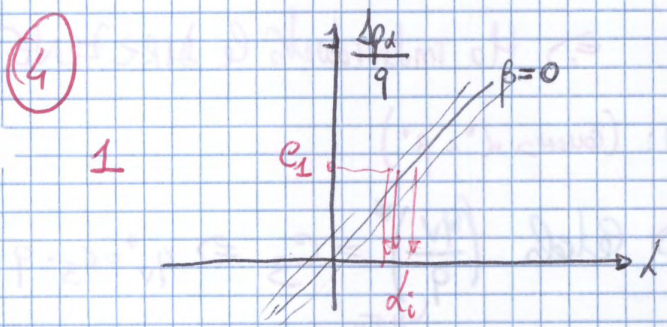
③ @ d \rightarrow p_0

Stesse cose

β	$p_s - p_{ref}$	$p_c - p_{ref}$	$p_v - p_{ref}$	$p_R - p_{ref}$	$p_T - p_{ref}$				

000

$d=0$ Primo Valore



Per avere una buona sonda
 \Rightarrow Al variare di β le curve
si distende di poco!!

Quanto è solo un esempio \rightarrow Ne esistono tantissime in industrie.

\Rightarrow Si può ricavare anche $C_d \rightarrow \frac{A_T}{A_0} \parallel \text{VERA}$ \rightarrow calcolo $p_T \text{ VERA}$

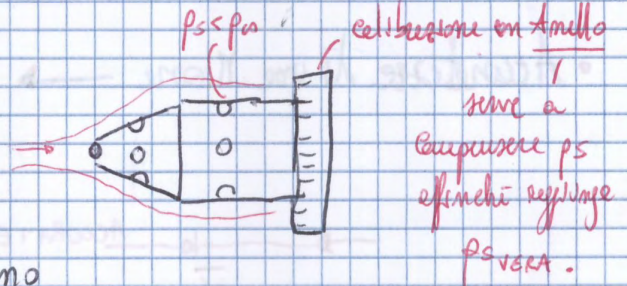
(per misurare le perdite verso)

per Bernoulli:

$$p_s + \frac{1}{2} \rho v^2 = p_T \Rightarrow \text{posso calcolare } p_s \text{ VERA}$$

SONDA GOTTINGA

fornisce sia p_s che p_0



- Si può utilizzare sia per Azzeramento in un pieno (più facile) (mentre nell'altro si lavora per CURVE DI TARATURA)

sereno cmq anno!

sia e punto fisso (con grazie a Software, con prime)

Ve bene nei flussi 3D quando il flusso non è laminare !! (es. turbolento)

(PUNIFARINA \rightarrow SONDA A 14 FORI (7 prese da un lato e 7 dall'altro))



- Sonde + moderne (per risp. rapide) \rightarrow hanno il trasduttore miniaturizzato direttamente in loco sulle sonde !!!

- Nei flussi fortemente non stazionari (es. SCIA), le rilevazioni $\approx O(\text{MINUTI})$ \parallel

ERRORI DI MISURA

1) Valutazione su un grandezza single misure

2) $\approx \approx$ che coinvolge una catena di misure

Ogni grandezza X , quando viene misurata, non è detto che sia il valore vero

potrà ed esempio fare il VALORE MEDIO \Leftarrow delle varie misurazioni

questo che andremo a stimare

Definiamo l'Imprecisione: Errore $\rightarrow S_x$

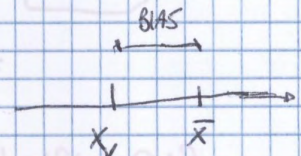
$$S_{x \text{ ASSOLUTO}} = X_{\text{MIS}} - X_v$$

$$S_{x \text{ RELATIVO}} = \frac{S_x}{X_{\text{MIGLIOR STIMA}}} \rightarrow \text{Errore percentuale} = S_{x_{\text{rel}}} \cdot 100$$

Classificazione:

1 - Errori Casuali \rightarrow **RANDOMI** \Rightarrow le fluttuazioni avvengono in maniera casuale.
($x+\Delta x$) *($x-\Delta x$)*
sovrastruttura o sottostruttura in maniera casuale

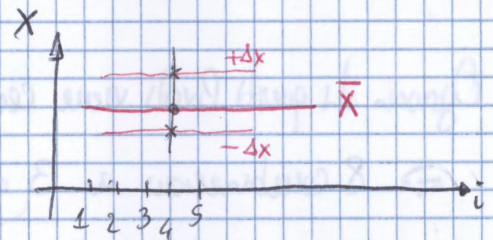
2 - // Sistematici // l'errore viene sempre in una direzione \rightarrow sono imprecisioni
 (es. uno strumento mal tarato)
 \Rightarrow Errori **BIAS**



Dovremmo sempre riportare

$$X = \bar{x} \pm S_x$$

bisogna imporre a calcolo



Se l'errore è dell'ordine di 10^{-2} allora le grandezze dovranno essere dette e 2 cifre decimali

$$(S_x \approx 10^{-2} \Rightarrow x = 20,153427)$$

① Singole Misure

$$X_{\text{MIGLIOR STIMA}} = X_i$$

S_x è legato all'accuratezza dello strumento che stiamo utilizzando (RISOLUZIONE)

(es. come manometro \rightarrow accuratezza \approx millimetri etc..) $\rightarrow S_x \approx 1 \text{ mm}$

$$S_x \text{ (BETA)} \approx 0,01 \text{ mbar}$$

$$S_x \text{ (TRASDUTTORE DI PRESSIONE)} \approx 0,14\% \text{ F.S.}$$

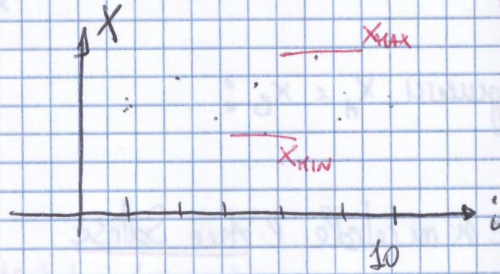
10. Emulato. $\rightarrow m = 16$

$\Rightarrow 2^{16} = 65536$ livelli di discretizzazione con $\text{Livello} = \frac{10}{2^{16}} = 0,153 \text{ mV}$

errore assoluto delle \pm
 single misure

② poche misure ($N \approx 10$)

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i$$



$$S_x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}$$

$$x = \bar{x} \pm S_x$$

③ N misure ($N \approx 10^3 \div 10^5$)

Ogni misura avrà un suo errore \Rightarrow Metodo Statistico
 (se l'errore è random è bene)

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i$$

avrà quello visto in esercit.

$S_x \rightarrow$ legato alla Deviazione Standard

di ogni single misure rispetto al valore medio

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

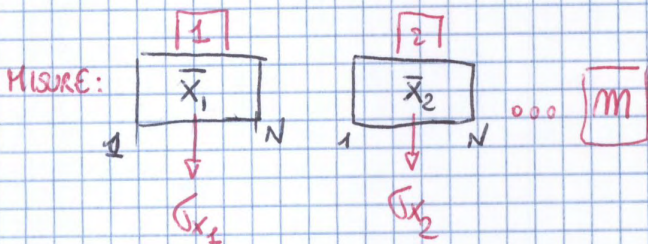
SULLA SINGOLA MISURA

\Rightarrow a mai imprecise

$$x = \bar{x} \pm S_x$$

$$x = \bar{x} \pm S_{\bar{x}}$$

Ma imprecise allora le S sul valore medio



(Riceviamo un valore \bar{x})

$$\Rightarrow S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

equivalente a \rightarrow

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{N}}$$

usciamo quote *

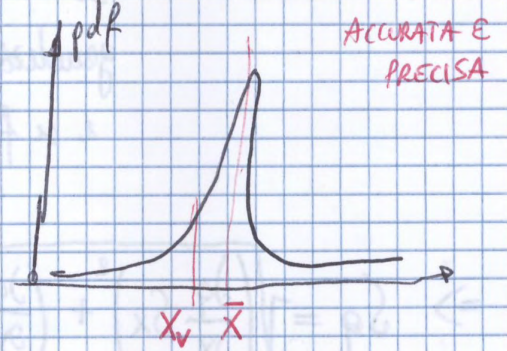
Distribuzione di Gauss

è definita
 ANALITICAMENTE

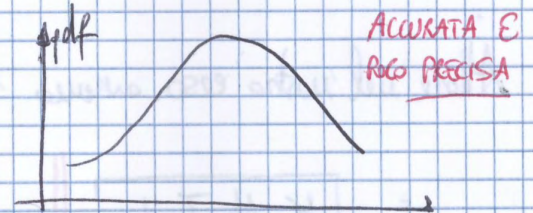
\rightarrow eravamo e che fare con le funzioni densità di probabilità

Una volta calcolate le pdf dei nostri dati

- se \hat{x} è stretta = σ_x piccole
 \Rightarrow Misura precisa !!!

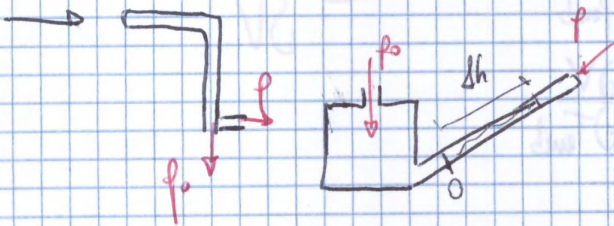


- se \bar{x} è vicino a x_v allora è ACCURATA e PRECISA



PROPAGAZIONE ERRORE IN CATENA MISURA

\downarrow vediamo un esempio



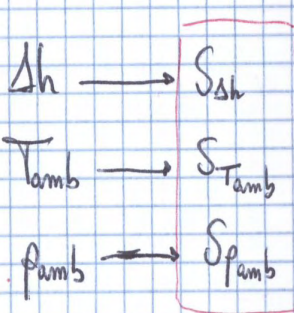
$$V = \sqrt{\frac{2(p_0 - p)}{\rho_{\text{ARIA}}}} = \sqrt{\frac{2 \Delta h \rho_{\text{AMB}} R^* T_{\text{AMB}}}{p_{\text{AMB}}}}$$

RELAZIONE

$$V = f(\Delta h, \rho_f, \beta, T_{\text{AMB}}, p_{\text{AMB}})$$

$$\rho_{\text{ARIA}} = \frac{p_{\text{AMB}}}{R^* T_{\text{AMB}}}$$

Supponendo che non vi siano errori su $\rho_f, \beta \Rightarrow V = f(\Delta h, T_{\text{AMB}}, p_{\text{AMB}})$



ATTN \rightarrow sono le RISOLUZIONI degli strumenti

MANOMETRICA \rightarrow THERMISTRO \rightarrow BAROMETRO

@ V quanto vale SV = ?

Come propagano gli Errori di Misura ?

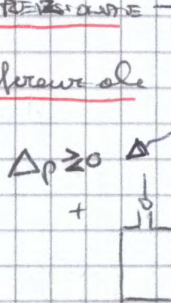
ESERCITAZIONE 2 INTRO

TEMPERATURA DEL TRASDUTTORE DI PRESSIONE

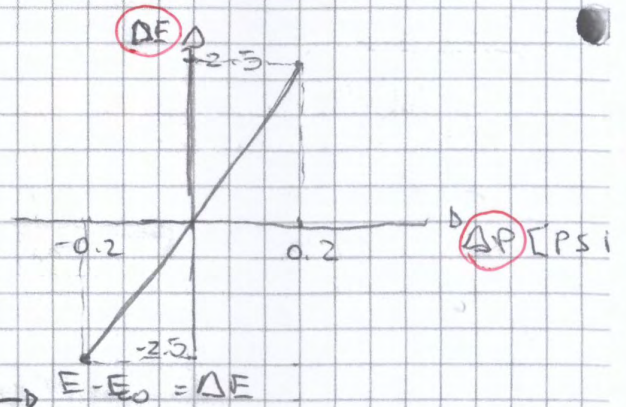
Il trasduttore è:

- ① Capacitivo
- ② Bistabile
- ③ Differenziale

- Accuratezza = 0.14 % F.S.
- Fondo scala = ± 0.2 PSI
- (Fondo scala) delta V = ± 2.5 Volt



CURVA DI CALIBRAZIONE



TEMPERATURA = CALIBRAZIONE

Individuare caratteristiche di risposta del nostro strumento applicando Δp e leggendo la loro risposta ΔE

CASENA DI JUSURA

• TRASDUTTORE

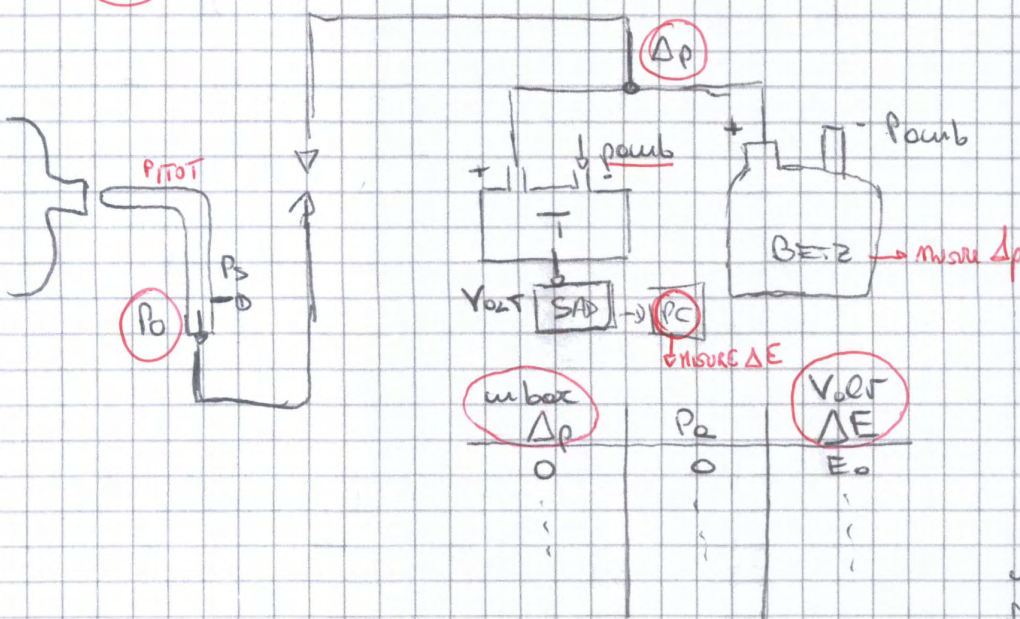
• MANOMETRO DI BEIZ (graduato in mbar, con fondo scala = 30 mbar, accuratezza = 0.01 mbar) FARE TUTTO IN PASCAL

• GETTO

• TUBO DI PITOT

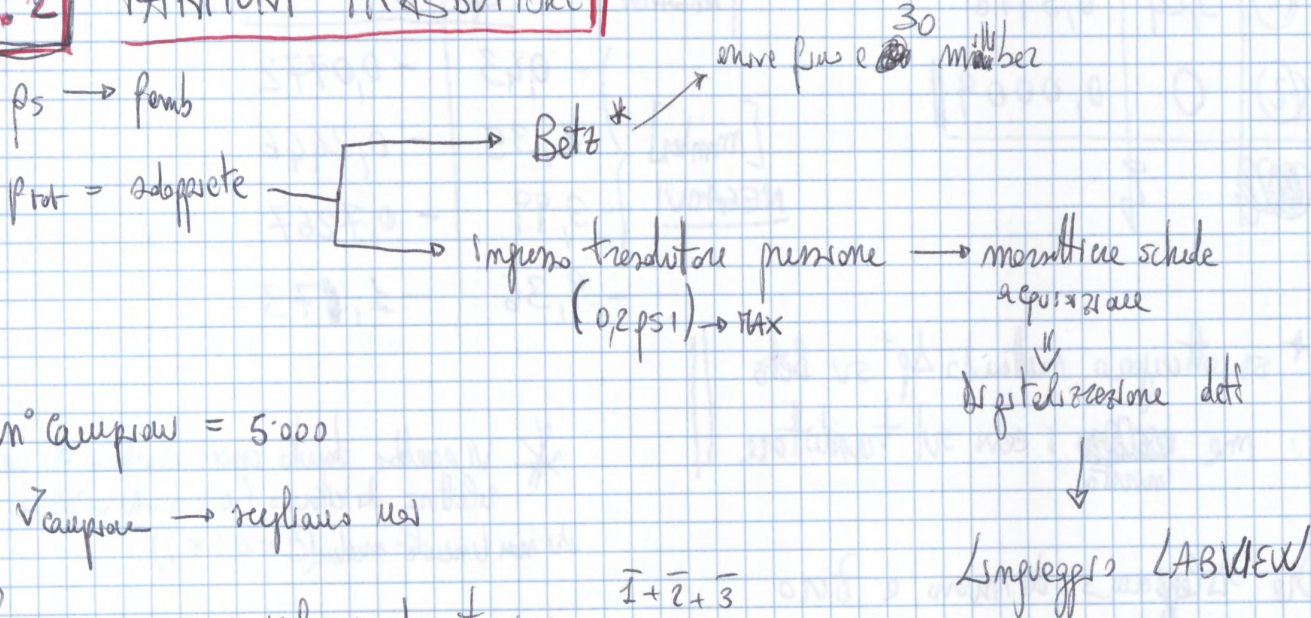
Accuratezza Beiz migliore accuratezza del trasduttore?

Δp è prelevato da un getto e da un tubo di Pitot.



Schema di acquisizione dati. È un software informatico sul PC, è della NATIONAL INSTRUMENTS ed è installato in linguaggio MATLAB. Dall'interfaccia user vedremo la scala che noi abbiamo una visualizzazione cui si collegano i vari elementi in uscita del trasduttore.

Es. 2 | TARATURA TRASDUTTORE



• n° Campioni = 5.000

• V_campioni -> replano us

Preprocessing -> valor medio trascurare $\frac{\bar{1} + \bar{2} + \bar{3}}{n}$

• $t \approx 5s$? SI $t = \frac{5.000}{1000}$

* scale ottica che viene a seconda del $\Delta p = p^+ - p^-$
 ↓
 decimi di millibar (però fisse -> millesimi di millibar)
 ↓
 precisione centesimi millibar

* Betz -> avrà un certo transitorio
 ↓
 $t_{1/2}$
 ↓
 si può anche calcolare

I millibar letti saranno sempre positivi mentre siamo noi che dobbiamo dare i negativi

• (1) 1000 dati/s -> visualizziamo $E(t)$ -> $\bar{E}_0 = 0,0009$ Volt (OFFSET)
 (Es funzione a 0,1 psi) -> essano i filtri

Dando ore pressione:

Δp	\bar{E}
0,006	0,00125
0,05	0,0939
1,57	0,2875
4,08	0,7449
8,65	1,5780

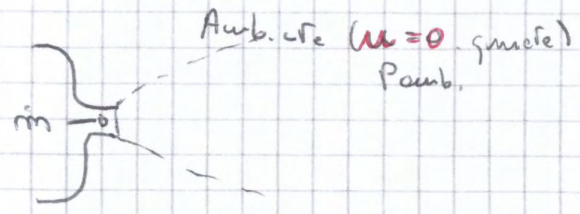
il nostro MAX (2)

Ore anche ~~...~~ (punti di ritorno) -> e per andare a Δp negativi (3)
 un po' indietro (1)

Esercitazione 3

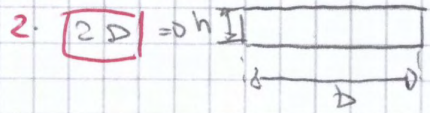
STRUTTURA DI UN GETTO TURBOLENTO

GETTO => Campo di v. genero quando una certa portata di fluido fluisce tramite orifizio in un ambiente ristretto che può essere in quiete o in moto.



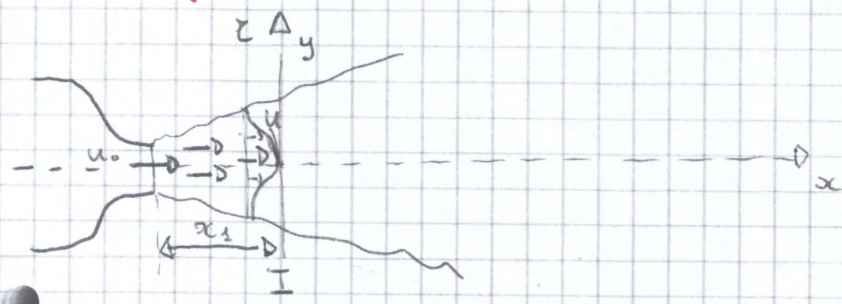
Può essere:

1. Ass. cilindrica



Se $b \gg h$ la velocità lungo l'asse non è risent.

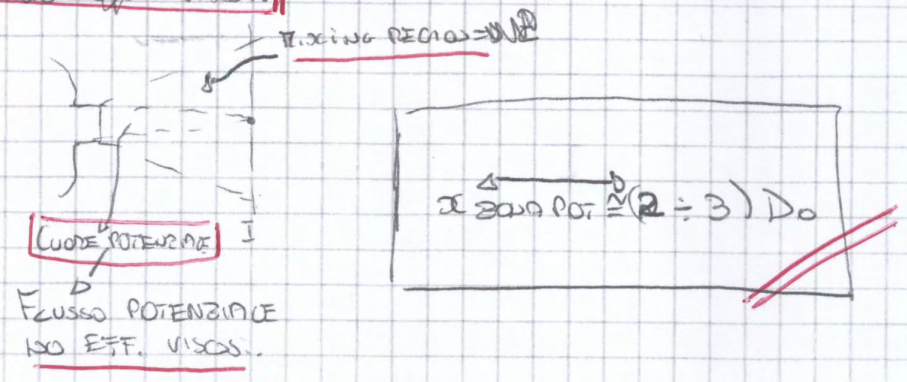
3 regioni:



x = Asse del getto
 z = radiaz. trasv.
no y .

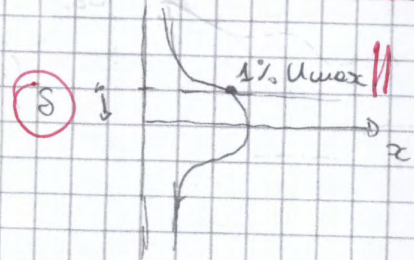
① Profilo in corrispondenza dello orif. d'uscita è la stessa => $u(x, z)$. lungo l'asse ha sempre u_0 , lungo la direzione radiale u diminuisce.

Alla fine della regione 1 finisce il cuore potenziale, ma lo non è in cui non si hanno eff. viscosi



Foratura misura del profilo di velocità e portata puntata, e velocimetro (P) e (P)

Spostare del getto \Rightarrow $S(x)$ \Rightarrow τ r.c. $u = 1/2 U_{max}$



$(Re)_{getto} = \frac{U_0 \cdot D_0}{\nu_{acqua}}$ \parallel $D_0 = 26 \text{ mm} =$ diámetro nominale d'usc del getto.

GETTO \Rightarrow dentabilizzato molto ed è turbolento

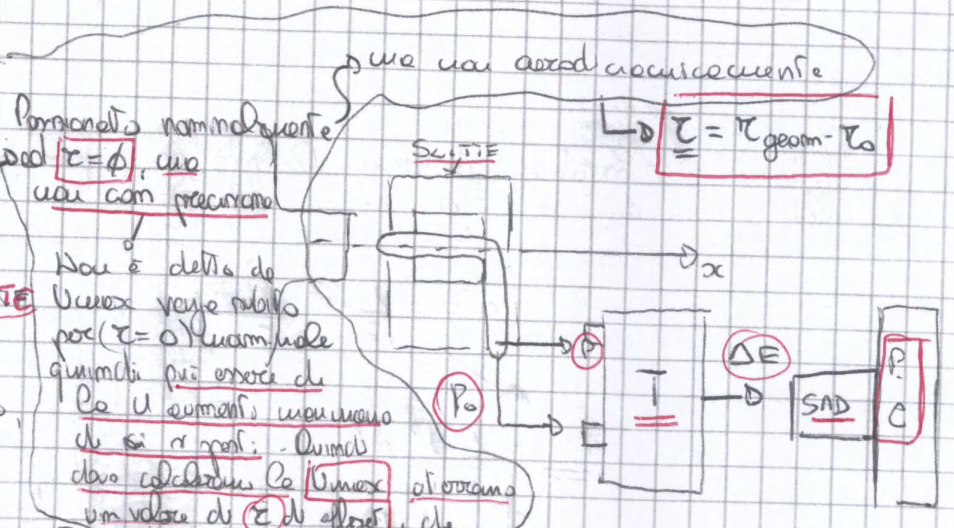
C.N.S. perde un profilo di v. decente, instabile e da cui non un piano nel profilo di velocità \parallel Graturo di Rayleigh

Per bassi Re i getti, si espandono molto mentre per Re alti i getti, si allargano molto meno. Con alti Re si possono avere oscillazioni di s.c. e variazioni non solo a quella dello s.c., in questo modo possono essere le eq. di N.S. per lo s.c.

CATENA DI TURBO

GETTO
Tubo di Pitot

SISTEMA di SCITTE
Si parte di zuchi ed ogni giro di manovella. Su imp è pagato, il getto è costante al numero e pitot lungo x ed z .



Non è detto che U_{max} venga molto per $(\tau=0)$ U_{max} ideale quindi più errore di C_0 il sistema manovrato di si si può. Quindi dato calcoliamo C_0 U_{max} attraverso un valore di τ di offset, che daremo ritorno a $\tau \rightarrow \Delta E \rightarrow \Delta P$ (OFFSET)

Imponiamo una tabella del r.p.

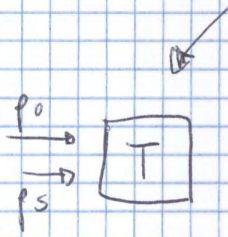
τ	ΔE	ΔP	u
			U_{max}
			$1/2 U_{max}$

$\Delta P = \frac{1}{2} \rho U^2 \Rightarrow U = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}}$
Bernoulli

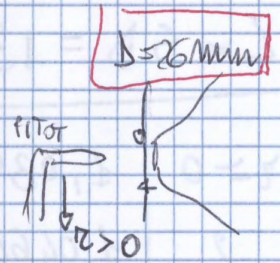
$\Rightarrow S(x) =$ $\Delta(x) =$ \Rightarrow Prezzo C_0 τ dove ho:
 $u = 0,1 U_{max}$
 $u = 0,5 U_{max}$

Es. 3

Retene di Misura (come l'ultima volta)



le scelle di spessore di 2mm → ogni giro di manovella



Parametri Aggravazione → qual tempo?

n° esec. → 10.000
1.000 Hz

⇒ $t = 10\text{s}$

~~...~~



$r=0$ 1,0725 → ΔE e $r=0$

* zone di forti gradienti

2mm 1,0656 (vario nel caso principale non cambia per le velle)

4mm 1,0641

6mm 1,068

8mm 1,0723

10mm 1,0774

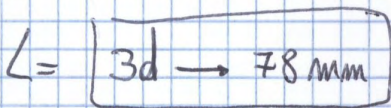
11mm 1,0811

12mm 1,0847

13mm 1,0398

14	0,2030
15	0,0024
16	0,0017

Adesso si fanno i sottotipi



25 | 0,0054

errore principale $r=0$ 1,0714

2mm 1,0712

4mm 1,0708

6mm 1,0661

8mm 1,0315

9 0,9881

10 0,9126

11 0,8181

12 0,704

13 0,5856

15 0,3726

17 0,2097

19 0,1035

21 0,0478

23 0,0163

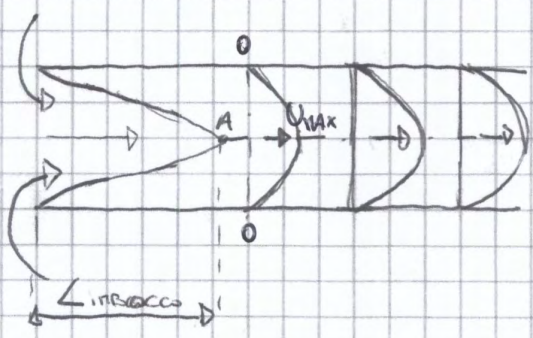
ESERCITAZIONE 4 **INTRO**

Analisi di un FLUSSO in un condotto //

Portata di fluido che scorre in un condotto di ϕ guidato dall'entrata.

↳ Cassotto con sezione pieno.

Tenere il flusso nel getto è ad isobaria, i.e. flusso nel condotto pieno.



Nelle immediate vicinanze dell'ingresso si verifica la ho spessore della δ_z , tra finché le due regioni convergono.
Da lì in poi debbono un flusso che rispetta la ca di aderenza e co in ve lo ϕ (perché) il valore massimo dell'asse.

L_imbocco $\left\{ \begin{array}{l} \text{LAMI} \Rightarrow \frac{u}{D} = 0.56 \text{ ReD} \\ \text{TURB} \Rightarrow \frac{u}{D} = 0.60 \text{ ReD} \end{array} \right.$

lungo l'asse del condotto, da A poi il flusso si mantiene, ed in part. valore costante.

$e_x = \phi \Rightarrow \text{max} = F_{ax}$

e lungo l'asse:

$\left. \begin{array}{l} u \neq 0 \\ v = 0 \\ w = 0 \end{array} \right\}$

Procedendo l'eq. della continuità:

$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \Rightarrow \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \Rightarrow u = \text{cost.}$

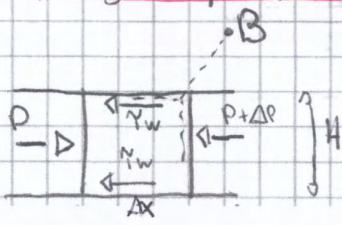
↳ Flusso congelato vera nella

Eq. pdca:

$u \frac{du}{dx} + v \frac{dv}{dy} = -\frac{dp}{dx} + \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \right)$

↳ No accelerazione lungo x ($a_{xx} = 0$) e la forza di pressione equilibrata da la forza d'attrito.

Considero un vol. Δx



$pHB - (p+\Delta p)HB - \tau_w \Delta x = 0 \Rightarrow -\Delta p H = \tau_w \Delta x \cdot 2$

Per cond. circolari: la transizione LAM-TURB avviene a:

$$Re_{cr} = 2300$$

Per sez. rettangolare:

$$Re_{cr} \propto Re$$

$$\left| \frac{Re_{cr}}{D_{id}} \right|_{RETT} > \left| \frac{Re_{cr}}{D_{id}} \right|_{CIRC}$$

Da trovare

Trans di perdita di:

o perda di:

$$\lambda = \frac{\Delta P / \Delta x}{\frac{1}{2} \rho U_{me}^2 / D_{id}}$$

(\bar{U} velocità media)

e in particolare:

$$\lambda = f(Re)$$

LAM $\Rightarrow \lambda = \frac{64}{Re} \quad \lambda = \text{CIRC}$

TURB $\Rightarrow \lambda = \frac{96}{Re} \quad \lambda = \text{RETT}$

BASSA TURB.

$$\lambda = 0.32 / Re^{(1/4)} \quad 10^3 < Re < 10^8$$

ALTA TURB.

$$\lambda = 0.12 / Re^{(1/4)} \quad Re > 10^8$$

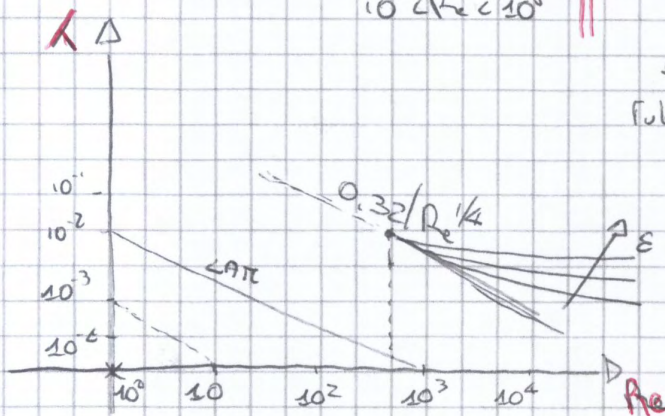


Diagramma di correlazione nei Tubi e reti circolari (TURBO LISCIO) (BIZGARTIA)

$$\log(\lambda) = \log(0.64)$$

$$\log(\lambda) = \log(0.64) - 1$$

$$y = ax + b$$

-1

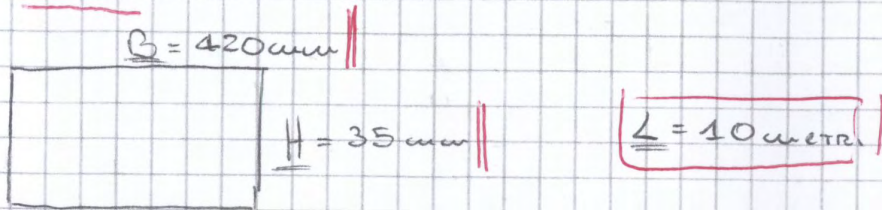
Alberici:

- n° giri //
- Δp all'uscita dal convergente (dal trasduttore ho un'uscita dedicata) //

Re corre Corio con cambio da nuovo in CAP o TURB. in parti: 6 Cori.

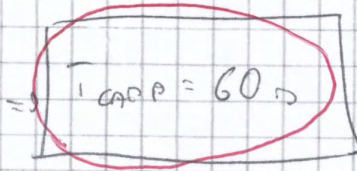
• CAP $\Rightarrow q_{PASSE} = 0.0004731 n^2 - 0.033161 n$ ($n^{\circ} giri \leq 180$)

• TURB $\Rightarrow q_{PASSE} = -0.000000153 n^3 + 0.00017485 n^2 - 0.0112239 n$
 (n° > 180)



N° CAP = 600

f_{CAPP} = 10 Hz



n° di giri diverso
 che quello della
 q₁

Diagramma:

• $\Delta p = f(x) \Rightarrow$ ricerca $\frac{\Delta p}{\Delta x}$ (pendenza retta)

• $\frac{\Delta p}{\Delta x} = f(\rho, \mu)$ sull'aria //

• $\lambda = f(Re)$ //

1° e 2° caso in
 q₁ e q₂ per

Per calcolare la p.dinamica all'aria
 ho usato 2 press. di pressione tra ingresso ed
 uscita condotti

Ricerca:

(Re)_{CR}

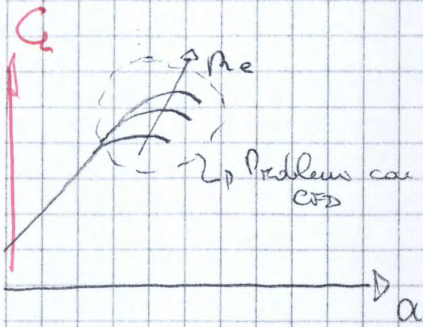
n° giri

- 87
- 100/150
- 250 (Regime transizionale)
- 400
- 500
- 800
- 1200
- 1600

$\rho = 740 \text{ kg/m}^3$ } Acubente
 $T = 21^\circ \text{C}$ }
 L₀ per trave U

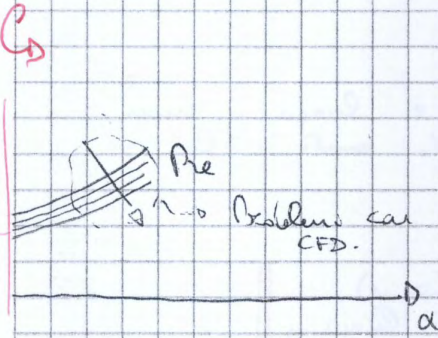
Dati non corretti, soprattutto verso
 la fine del condotto possono essere
 errati:

Sul profilo aerea il
 valore medio di ogni
 presa di pressione



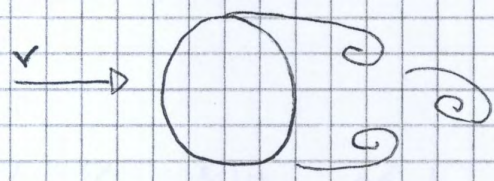
la parte lineare non dipende dal ρ , quindi ad alte α ciò che conta in galleggiare non è vero perché ρ non sono uguali. Problemi con:

- ① Come visto prima (Vento geometrico, pressione e temperatura)
- ② Prove in acqua, perché $\frac{\mu_{H_2O}}{\mu_{Aria}} = \frac{1}{10}$



CILINDRO

(Tutte dipendenti)



la coinvolte nel problema:

$N=5, K=3$

$\Rightarrow N-K=2$

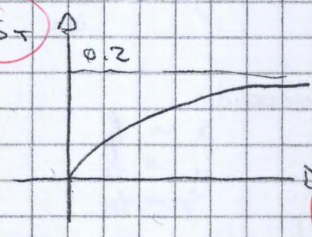
v, ρ, D, μ, ρ_0

$\pi_1 = St = \frac{\rho D v}{\mu}$

$f = \text{frequenza}$

St

$\pi_2 = \frac{\rho v D^2}{\mu}$



Ande sulle placche piane che in Re critico, ad un certo punto il flusso diventa turbolento:

$$Re_x = \frac{V_{\infty} \cdot x \cdot \rho}{\mu}$$

Per la placca piana abbiamo:

$$Re_{cr} = 5 \times 10^5$$

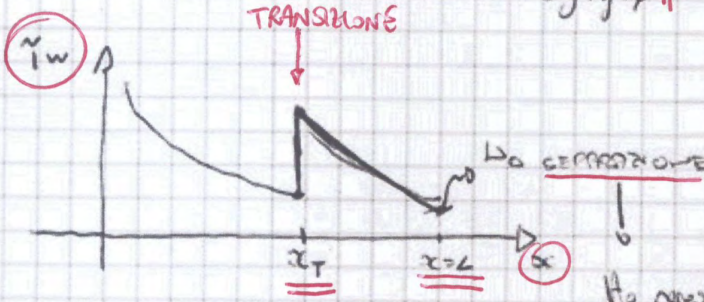
Lavoriamo:

① I Squadrato: $V_{\infty} = \text{cost}$
 $x = \text{variabile}$ ← $\gamma = 10$

② II Squadrato: $V_{\infty} = \text{variabile}$
 $x = \text{cost.}$ ←

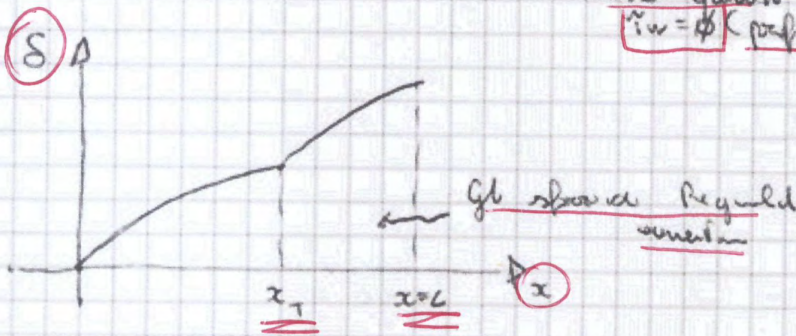
Quando Re_x diventa più turbolento esso è più gonfio, perde il flusso è più energetico e cioè maggiore succumbenza. Inoltre è la zona d'attorno \tilde{w} e parte è maggiore del caso laminare

$$\tilde{w} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0}$$

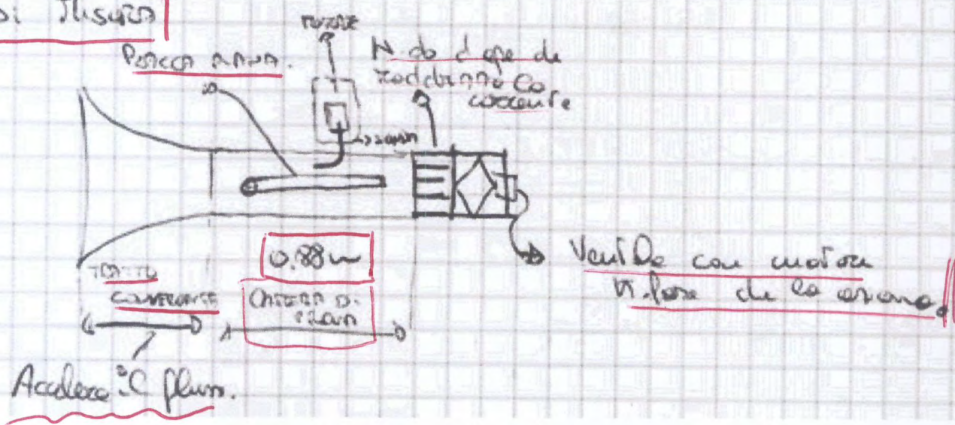


Quando il Re è prossimo al critico una piccola perturbazione può amplificarsi e generare instabilità di più a valle la transizione

Ho spostato nel caso $\tilde{w} = \phi(x)$ (profilo dove)



CATENA DI TRASMISSIONE



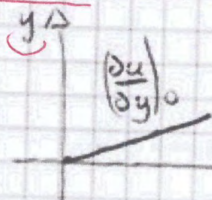
Turbolento

$u^+ = f(y^+)$

$\frac{u}{u_T} = y \frac{u_T}{\nu} \Rightarrow$ Sub viscos

$\frac{u}{u_T} = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{y u_T}{\nu}\right) + c \Rightarrow$ Log.

$u_T = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \Rightarrow$ Lo ricaviamo da:



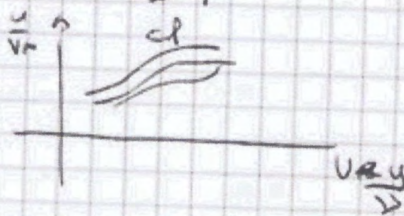
Relazione all'incirca per zone y e viscose

$n = \mu \left(\frac{du}{dy}\right)_0$

Lo ricaviamo da profilo per laminare, usato per turbolento ne caso abbiamo calcolato.

Clausius

$\frac{u}{V_m} = f\left(\frac{y}{\delta} \frac{V_m}{\nu}\right)$



various τ_w \Rightarrow $\tau_w = f(\rho)$

primo tratto:

- $\delta(x) \Rightarrow$ Da trovare per definizione di δ $U = 0.99 U_e$
- $\delta^*(x) = \int_0^{\delta} \left(1 - \frac{u}{V_m}\right) dy$
- $\theta(x) = \int_0^{\delta} \frac{u}{V_m} \left(1 - \frac{u}{V_m}\right) dy$
- $H = \frac{\delta^*}{\theta}$ (parametro di forma) $\left\{ \begin{array}{l} \approx 2.6 \rightarrow \text{Laminare} \\ \text{Celle} \rightarrow \text{Turbolento} \end{array} \right.$ Buon calcolo \Rightarrow no flusso \Rightarrow turb.

secondo Empirico:

$\rho = \frac{0.0576}{\text{Re}_x^{1/2}}$

(TURBOLENTO) \Rightarrow Da usare per confrontare con Clausius

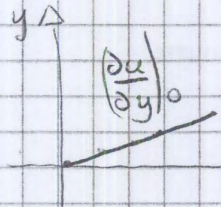
auto

$$+ = f(y^+)$$

$$= y \frac{u^+}{\Delta y} \quad \leftarrow \text{Sub viscous}$$

$$\frac{u}{u^+} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{y u^+}{\Delta y} \right) + e \quad \kappa = \log_e$$

$\frac{w}{p}$ \Rightarrow la relazione da:



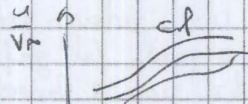
Relazione all'incavo per zone y e lineare

$$\tau_w = \mu \left(\frac{du}{dy} \right)_0$$

La relazione da grafico per laminare, mentre per turbolento non sono applicabili, ma

CLAUSER

$$\frac{u}{V_m} = f \left(\text{cf} \frac{u}{V_m} \right)$$



cf e da cf

$\frac{u}{V_m}$

tracce:

$\delta(x)$ \Rightarrow Da trovare per definizione di δ , $U = 0.99 U_e$

$$\delta^*(x) = \int_0^{\delta} \left(1 - \frac{u}{V_m} \right) dy$$

$$\theta(x) = \int_0^{\delta} \frac{u}{V_m} \left(1 - \frac{u}{V_m} \right) dy$$

$$H = \frac{\delta^*}{\theta} \quad (\text{parametro di forma})$$

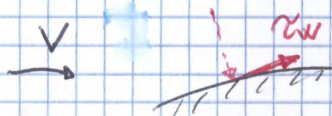
$\approx 2.6 \rightarrow$ Laminare
 \leftarrow $\approx 1.3 \rightarrow$ Turbolento
 Buon controllo \Rightarrow no fluttuazioni
 cas. o turb.

Empirici:

$$= \frac{0.0576}{\text{Re}_x^{1/2}}$$

(TURBOLENTO) \Rightarrow Da usare per confronti con Clauser

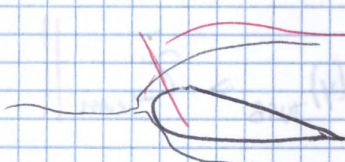
Tecniche per misurare lo sforzo di Attrito a parete \rightarrow

v  τ_w è importante per le resistenze aerodinamiche
(se integriamo $\tau_w \rightarrow$ Resistenza)

Un 50-60% di resistenza è di Attrito \parallel (comp. aerodinamica)
(vi sono per resistenze d'onda, indotte, dovute alle pressioni) $D_f \approx 50\% D$

$$D_f = \int_A \tau_w dA$$

Una volta che le correnti si separano invece aumenta tantissimo la $D_{pressione}$ \parallel

 qui da subito già si stacca \Rightarrow Grande $D_{pressione}$
(per profili ed eliche meridionali)

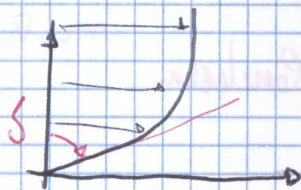
$$\tau_w = \mu \left(\frac{du}{dy} \right)_{y=0}$$

(è il risultato delle viscosità) \leftarrow ci sarebbe anche $\frac{dv}{dx}$ ma è molto più piccolo

Se il FLUSSO è 2D può essere $\left\{ \begin{array}{l} \text{LAMINARE (vi è solo quello)} \\ \text{TURBOLENTO} \end{array} \right.$

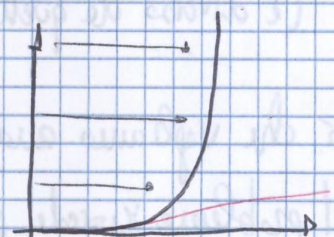
\leftarrow dobbiamo invece aggiungere un contributo

Uno S.L. laminare di solito non è molto povero



più alto è S maggiore è lo sforzo d'attrito

Lo strato limite turbolento è più povero



$$\Rightarrow \tau_{w-TURB} > \tau_{w-LAMIN}$$

Le sponde deve essere in grado di misurare le velocità vicino e parete !!

- 1 Campo di Voto
 - 2 Dimensione Sonda
 - 3 Numero di Reynolds
- } fattori che influenzano le nostre misure!

MISURE

- consideriamo S. L. 2D, mediante STAZIONARIO,
- servono informazioni ellare ed uno spazio medio $\bar{\tau}_w$
- presenza di misure di pressione

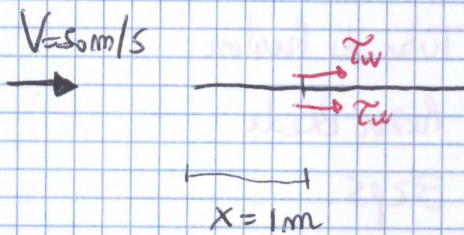
2D) misura ellare $|\tau_w|$ eu direzione NOTA (flusso esterno)

3D) = $|\tau_w|$, direzione ; verso invece NOTO (direzioni parete)

Quali sono gli ordini di grandezza ?

- E' la Superficie lambite che è grande ; i $|\tau_w|$ sono piccoli

es. plice piane



e' e' solo resistenza // D'ATTRITO !!
(le pressioni \perp non da contributo)

$$Re_x = \frac{V_\infty x}{\nu_{aria}} \approx 3,3 \cdot 10^6 //$$

Sappiamo che se tutto turbolento
($Re_c \approx 500'000$)

$$Re_x \longrightarrow C_f \text{ (LOCALE)}$$

$$Re_L \longrightarrow C_D \text{ (GLOBALE)}$$

a noi interessa:

$$C_f = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2(x)} // f(Re_x) \approx \frac{0,0576}{Re_x^{1/4}} \approx 0,00285 // \text{TURBOLENTO}$$

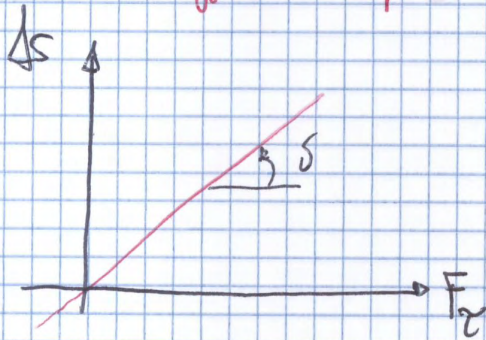
Di solito l'elemento fluttuante è un disco $\rightarrow S = \frac{\pi D^2}{4}$ $Z_w = S = F_z$
 (spostamento di qualche μm)

\hookrightarrow LVDT

(Linear Variable Differential Transformer)

Così che si misura sarà allora $\Delta S \Rightarrow$ TARATURA

Le legge è di tipo LINEARE \leftarrow applichiamo forze note e si vedono gli spostamenti



• $\tan \beta = \frac{\Delta S}{\Delta F_z} =$ Sensibilità Sistemica

diver come il + elevato possibile

REQUISITI \Leftarrow

REQUISITI :

- elevate sensibilità \rightarrow elevato $\Delta S @ Z_w$

(fero grossi dischi)

- misure puntuali \rightarrow elevate Risoluzione Spaziale

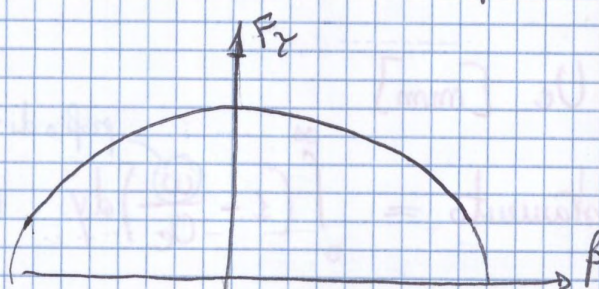
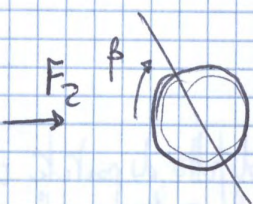
\Rightarrow se uso grossi dischi vedo verso misure integrali

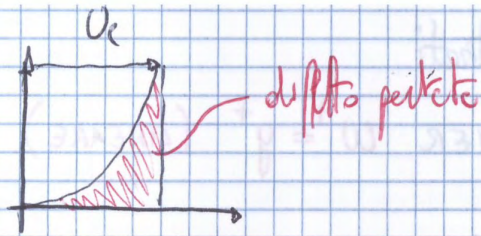
(fero piccole dimensioni)

COMPROMESSO

Di solito $D \approx 10-12 \text{ mm}$ ||

Avremo come Legge di Hooke \rightarrow è importante usare $\beta = 0$ ||

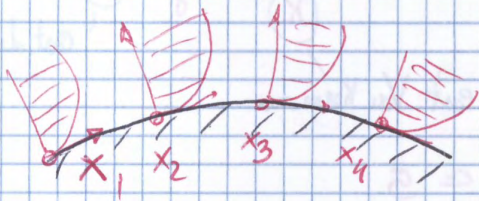




$$\Rightarrow H = \frac{S^*}{\sigma} \text{ (PARAMETRO FORZA)}$$

$$\sigma = \text{spessore } \sigma \, dm = \int_0^{\infty} \frac{\omega}{U_c} \left(1 - \frac{\omega}{U_c}\right) dy$$

Dobbiamo essere disposti di tanti profili di velocità lungo l'asse x (curvilineo)



- osservando il profilo di velocità posso calcolare S^* , σ , U_c ...

\Rightarrow Tanto più punti uso più sono preciso //

Si descrive inoltre con continuità l'aumento di τ_w sulle pareti
 queste tecniche vale se per il fenomeno che per il Turbolento

Se invece posto da un profilo di velocità a parete con S.L. Turbolento

WALL SIMILARITY

$$\omega = \omega(y, \mu, \rho, \tau_w)$$

Se tutte e 5 le grandezze sono opportunamente scelte \Rightarrow Profilo similare //

$$\omega \rightarrow \omega_r = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \text{ [m/s]}$$

$$y \rightarrow l_r \text{ (lunghezza d'Attrito)} = \frac{y}{\omega_r} \text{ [m]}$$

$$\Rightarrow \frac{\mu}{\omega_r} = f\left(\frac{y}{l_r}\right) = f\left(\frac{y \omega_r}{\nu}\right)$$

$\uparrow \omega^+$ $\uparrow y^+$

LEGAME TRA ω^+ e y^+
 GENERICO

METODO CLAUSER: $\frac{w}{w_z} = \frac{1}{K} \ln \frac{y w}{z} + C$

- moltiplicando e dividendo per U_e
- " " " " " " nel logaritmo

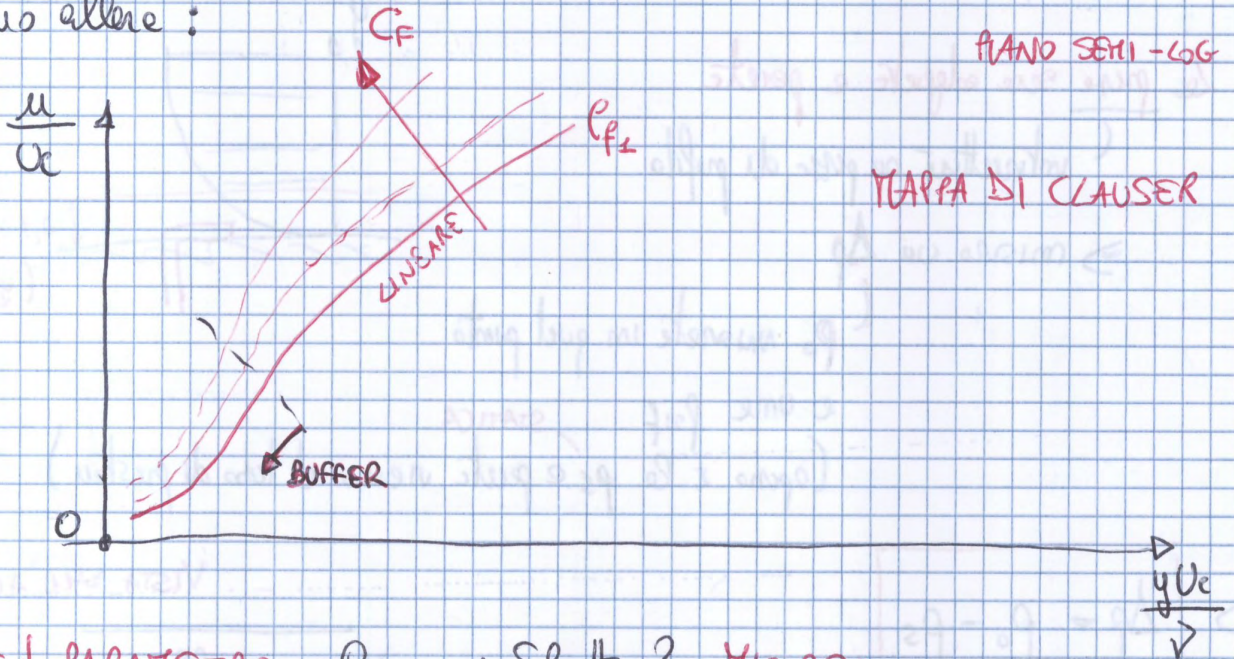
⇒ misuro w me Clauser he isoletto $\frac{w}{U_e} \parallel$ sfratto la legge log.

INTERO PROFILO
 $\Delta \Rightarrow$
 VELOCITA'

$$\frac{u}{U_e} = \frac{w_z}{U_e} \left[\frac{1}{K} \left(\ln \frac{y U_e}{z} + \ln \frac{w_z}{U_e} \right) + C \right]$$

mesure il $C_f \rightarrow \frac{w_z}{U_e} = \sqrt{\frac{C_f}{z}}$ facciamo riferimento alle C_f

Arreuo allere:



C_f è il PARAMETRO. Come si Sfratte? MISURE:

y	u	$\frac{y U_e}{z}$	$\frac{u}{U_e}$
0	0	--	--
...	...	--	--
∞	U_e	--	--

- se il profilo è turbolento, di sicuro le curve serie one di quelle o come pensate tre quelle (C_f intermedio)

(di solito fatte le CURVA facciamo vedere il C_f finoc du le curve non cambiano).

$\Rightarrow \Delta p = f(D, \mu, \rho, \tilde{\omega})$ // legge di dipendenza
di misure veglia scegliere

Si vanno a cercare e cercare i gruppi adimensionali di interesse ∇

Anzitutto: $\frac{\Delta p D^2}{\rho v^2}$ // e $\frac{\tilde{\omega} D^2}{\rho v^2}$ // (ADIMENSIONALI)

$\Rightarrow \frac{\Delta p D^2}{\rho v^2} = f\left(\frac{\tilde{\omega} D^2}{\rho v^2}\right)$ \rightarrow forme universali che noi ricercheremo!

SIMILARITÀ DEL FLUSSO APARETE \rightarrow va ricercate Sperimentalmente

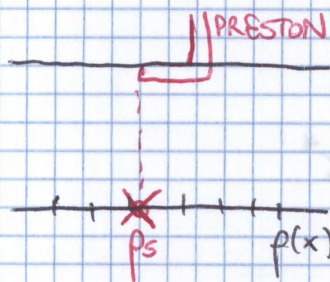
\Rightarrow Bisogna fare la TARATURA (per ricercare f) . Anzitutto cercare:

• IMPIANTI (dove il flusso è NOTO $\Rightarrow \tilde{\omega}$ NOTO \Rightarrow MISURA Δp)

(es. in un condotto si ha $\tilde{\omega} = \left| \frac{\Delta p}{\Delta x} \right| \cdot \frac{H}{2}$ // ES. CONDOTTO N° 4)

• mettiamo ed es. un tubo di Preston nel condotto

(sceglie una delle $p(x)$ che conosce)



x	$p(x)$	$\frac{dp}{dx}$	$\tilde{\omega}$	$p_0 - p_s$
---	--------	-----------------	------------------	-------------

\Rightarrow conoscere le quantità ADIMENSIONALI

• variando il n° di pz: cercare nuove tabelle

• disegnammo, in formato logaritmico, questi gruppi adimensionali

Im fare di MISURA invece:

$$\Delta p = p_0 - p_s$$

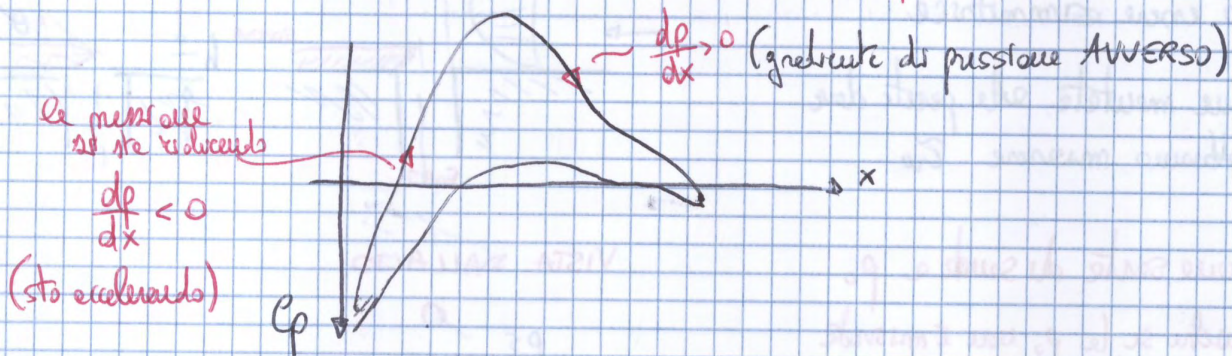
es. profilo



- estruisco $\log \frac{\Delta p \Delta^2}{\rho v^2}$
- cerco il valore di y^+
- ripeto la formula e quella giusta o sbagliata
- cerco $y^+ \rightarrow$ cerco τ_w in quel punto

LIMITAZIONI:

1. gradienti di pressione $\left(\frac{dp}{dx}\right)_{\text{flusso}}$



Se $\frac{dp}{dx}$ non è troppo elevato OK altrimenti diviene Sorgente d'Errore

$$(\Delta p)_{\text{mis}} = (\Delta p)_{\tau_w} + (\Delta p)_{\frac{dp}{dx}}$$

↑ che mi interessa ↑ deve essere il più piccolo possibile !!
 (crescente poi all'aumentare dell'incidenza)

Ordini di grandezza errori emmissibili:

$$\Delta p^* = \frac{dp}{dx} \cdot \frac{\Delta}{\rho v^2} \quad \left(\frac{dp}{dx} \text{ edimensionale diretto}\right)$$

Con $\frac{dp}{dx} > 0 \Rightarrow 0 < \Delta p^* < 0,01 \rightarrow \epsilon \approx 3\%$ finché $\frac{W_p \Delta}{v} < 200$

$(y^+ < 500)$
INNER LAYER

Annuncio: $\Delta p_{RB} = f(h, \mu, \gamma, \tilde{\omega})$ Anche qui si normalizza:

$\Rightarrow \frac{\Delta p_{RB} D^2}{\gamma v^2} = f\left(\frac{\tilde{\omega} D^2}{\gamma v^2}\right)$ // LEGAME DI CORRELAZIONE
 si cerca allora f sperimentalmente (si può fare anche numericamente)

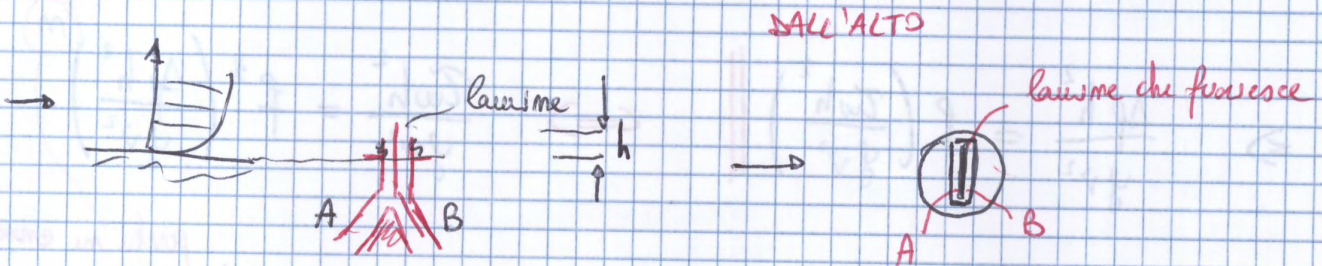
Anche qui si hanno altre regemi:

$x^* = \log_{10} \frac{\Delta p h^2}{\gamma v^2}$ $y^* = \log_{10} \frac{\tilde{\omega} h^2}{\gamma v^2}$

// $y^* = -0,23 + 0,618 x^* + 0,00165 x^{*2} \rightarrow \frac{h \cdot \tilde{\omega}}{v} \leq 500$ (INNER LAYER)

Esistono poi sonde più piccole (soprattutto per flussi compressibili o viscosi)

SONDA FENCE



\Rightarrow delle sonde avviene direttamente $\Delta p = p_A - p_B$ // $(p_A > p_B)$ SEMPRE!!
è in un punto d'arresto fence

Queste sonde vengono montate nel VISCOUS SUBLAYER // esp. TURBOLENTO
 $(y^+ < 5)$

$\Rightarrow \frac{h \cdot \tilde{\omega}}{v} \leq 5 \Rightarrow h < \frac{5v}{\tilde{\omega}}$ // (decimi, centesimi di mm)

$h \approx 0,05 \text{ mm}$

Queste sonde da distanzi molto piccoli.

(micrometri)

Si ha che: (con h. perimetri)

$$\Delta \approx \left(\frac{h}{3} \div h\right), \quad l \approx 3h, \quad b = 1,5h$$

Avremo queste correlazioni:

$$\log\left(\frac{\Delta p}{\tau_w}\right) \stackrel{\text{seguito misando}}{=} 1,307 + 0,117 \log_{10}\left(\frac{\Delta p \cdot \varphi h^2}{\mu^2}\right) \quad \parallel \quad \text{con: } 3 \cdot 10^6 \frac{\Delta p h^2}{\mu^2} \approx 587 \cdot 10^9$$

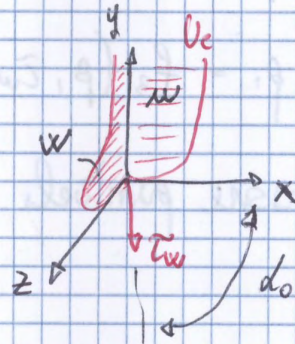
quantità da calcolare

@ τ_w ovvero Δp maggiore (maggiore sensibilità) $\parallel S = \frac{\Delta p}{\tau_w}$

- La migliore è la soluzione blocco con skeleton
- Per ottimismo: Retor Bleda
- " " Preston
- Infine FENCE

S.L. 3D ovvero da

(nel 2D τ_w e U_c vengono nelle stesse direzioni)



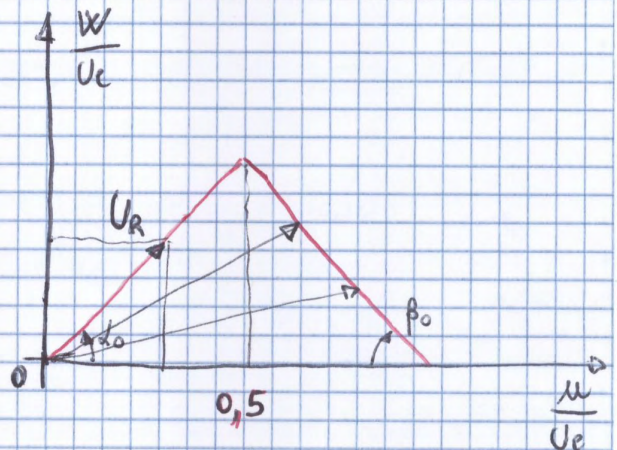
Esistono vari modelli per descrivere come viene la velocità. $U \perp W$

Il più semplice è il Modello di Johnston (1960)

U_c è funzione del $\frac{dp}{dx}$, $\frac{dp}{dy}$

\parallel fino a $w = \frac{1}{2} U_c$ l'aumentato è lineare

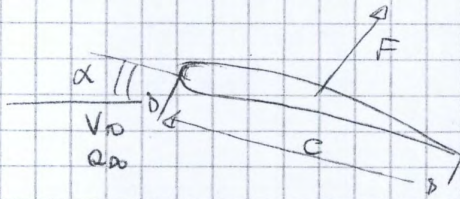
$$\parallel \frac{w_R}{w_z} = \frac{1}{K} \ln \frac{\rho w_z}{\nu} + C$$



Come si misura?

STRUTTURINE EUCORDINATE

Consideriamo un problema del tipo:



Per risolvere il problema occorre definire le grandezze dimensionali e poi le grandezze adimensionali per meglio definire il problema.

$$F = P(v_0, c, M_0, p_0, a_0)$$

Se funzione f si da definire. Abbiamo 6 grandezze fisiche dimensionali, per cui si possono trovare f dalle 6 grandezze ed andare a pezzi variare una volta (Tempo di integrazione molto elevato). Si fa quindi riferimento a gruppi di grandezze adimensionali → TEOREMA DI BUCKINGHAM

La base di tutto c'è l'analisi dimensionale e l'adimensione fisica dipende dal sistema di unità di misura da si usa (S.I., S.Tecnico...).

GRANDEZZE FONDAMENTALI	
<u>S.I.</u>	<u>S.T.</u>
Massa L Tempo	Forza L Tempo

Quindi nel S.I. la $[F_{peso}]$ è una grandezza derivata:

$$[F_{peso}] = m \cdot g = Kg \cdot \frac{m}{s^2} = \pi \cdot L \cdot T^{-2}$$

mentre la co morsa nel S.T. è una grand. derivata:

$$[\pi] = \frac{F_{peso}}{g} = \frac{Kg \cdot l}{m/s^2}$$

Il passaggio da S.I. ad S.T. avviene per mezzo di $[g]$

$$[g]_{S.I.} = \frac{Kg}{m^3} \quad [g]_{S.T.} = \frac{\pi}{Vol} = \frac{Kg \cdot l}{m^3/s^2}$$

$$[Y]_{S.I.} = \left[\frac{N}{m^3} \right] \quad [Y]_{S.T.} = \frac{Kg \cdot l}{m^3}$$

Peso per unità vol

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} F^{\alpha_1} \cdot V_0^{\alpha_2} \cdot \rho_{00}^{\alpha_3} \cdot \mu_{00}^{\alpha_4} \cdot \rho_{00}^{\alpha_5} \cdot C^{\alpha_6} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\left[(\pi \cdot L T^{-2})^{\alpha_1} \cdot (L T^{-1})^{\alpha_2} \cdot (\pi \cdot L^{-3})^{\alpha_3} \cdot (\pi L^{-1} T^{-1})^{\alpha_4} \cdot (L T^{-1})^{\alpha_5} \cdot (L)^{\alpha_6} \right] = [0]$$

$$\begin{bmatrix} \pi^{\alpha_1 + \alpha_3 + \alpha_4} \cdot L^{\alpha_1 + \alpha_2 - 3\alpha_3 - \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6} \cdot \pi^{-\alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_4 - \alpha_5} \end{bmatrix} = [0]$$

$$\begin{cases} \alpha_1 + \alpha_3 + \alpha_4 = 0 \\ \alpha_1 + \alpha_2 - 3\alpha_3 - \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 = 0 \\ -\alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_4 - \alpha_5 = 0 \end{cases} \Rightarrow \text{Poss esprimere solo } (3 \alpha_3) \text{ in funzione delle restanti } 3.$$

Storciamento di una operazione:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_2 &= -\alpha_1 - \alpha_4 - \alpha_5 \\ \alpha_3 &= -\alpha_1 - \alpha_4 \\ \alpha_6 &= -\alpha_1 - \alpha_4 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{Valore unico nello } (1)$$

Otteniamo:

$$\begin{bmatrix} F^{\alpha_1} \cdot V_0^{2\alpha_1 - \alpha_4 - \alpha_5} \cdot \rho_{00}^{-\alpha_1 - \alpha_4} \cdot \mu_{00}^{\alpha_1} \cdot \rho_{00}^{\alpha_5} \cdot C^{-2\alpha_1 - \alpha_4} \end{bmatrix} = [0]$$

Si prendono le grandezze dimensionali che hanno lo stesso esponente, esse quelle in numero almeno uno stesso esponente.

$$\left[\frac{F}{V_0^2 \rho_{00} C^2} \right]^{\alpha_1} \cdot \left[\frac{\mu_{00}}{V_0 C \rho_{00}} \right]^{\alpha_1} \cdot \left[\frac{\rho_{00}}{V_0} \right]^{\alpha_5} = [0]$$

prevedo:

$$\alpha_1 = 1 \quad \alpha_4 = -1 \quad \alpha_5 = -1$$

Otteniamo 3 gruppi adimensionali:

$$\Pi_1 = \frac{F}{V_0^2 \rho_{00} C^2} = C_F$$

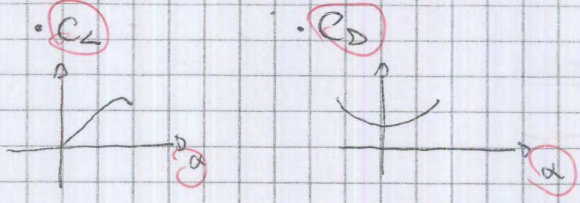
$$\Pi_3 = \frac{V_0}{\rho_{00}} = \Pi_{\rho_0}$$

$$\Pi_2 = \frac{V_0 C \rho_{00}}{\mu_{00}} = \Pi_{\mu_0}$$

In vista di ciò, quello che si misura in galleria è l'interferenza alle condizioni in un modo adimensionale se:

$$\begin{aligned} (Re)_{GALLERIA} &= (Re)_{VERO} \\ (\Pi_{Co})_{GALLERIA} &= (\Pi_{Co})_{VERO} \end{aligned} \Rightarrow \boxed{(CF)_{GALLERIA} = (CF)_{VERO}}$$

3. Interferenza solo: parametri adimensionali f.p.:



da cui possiamo ricavare le grandezze dimensionali:

$$L = \frac{1}{2} \rho V_{vero}^2 S C_L \quad D = \frac{1}{2} \rho V_{vero}^2 S C_D$$

• dare tutti le altre grandezze con quelle del modello reale (p, rho, nu, ...)

• valido se il Re è costante possiamo fare le prove usando fluidi diversi con quello dell'aria (acqua, olio, ...). Tuttavia non sempre il Re in galleria è pari a quello vero, o per fare in modo che non ugual aumento la velocità in galleria!

$$\boxed{V_{modello} = V_{vero} \cdot \frac{\rho_{vero}}{\rho_{modello}} \cdot \frac{\mu_{vero}}{\mu_{modello}}}$$

dove:

$$\frac{\rho_{vero}}{\rho_{modello}} = f(P, T) \quad \frac{\mu_{vero}}{\mu_{modello}} = f(T) \Rightarrow \text{Scala } \mu = S \cdot \frac{T^{-3/2}}{X + T}$$

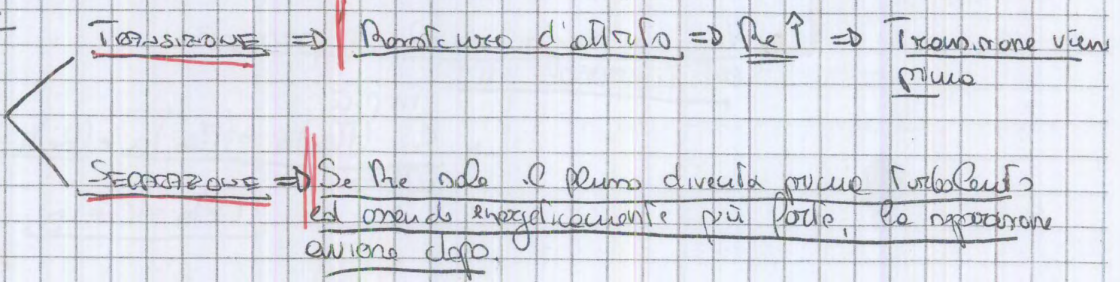
• $\frac{\rho_{vero}}{\rho_{modello}} > 1$ (rapporto di scala)

• in galleria, per chi si richiederà di avere a che fare con parametri approssimati \rightarrow allora $V_{modello}$ per fare in modo che il Re modello sia pari a quello vero si lavora su una montagna come Re.

- ① Geometria;
- ② Pressione \Rightarrow galleria a p. variabile;
- ③ Temperatura \Rightarrow galleria criogenica (T fluido in galleria è modificabile)

Per ridurre Re modello mantenendo $Re = cost$, aumento la geometria, aumento pressione o abbasso la temperatura.

Reynolds influenza



$$f_3(p) = \frac{U_{\text{ref}}}{U} = \sqrt{\cos^2 p + h^2 \sec^2 p}$$

generalmente bisogna considerare che il coefficiente di riflessione al
 tra di uno scorcio ha i valori U_A , U_B ed U_C

In U_A ed U_B sono presenti tutte e 3 abbiamo la legge di

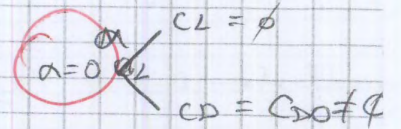
Legge di
 Sörgensen

$$\Rightarrow \underline{U_{\text{ref}}} = \sqrt{U_A^2 + k^2 U_A^2 + h^2 U_B^2} \Leftarrow$$

H.B. - ACTe α \Rightarrow α sep. aumento di raggiunge un cl. cresce finché non si ha stalli \Rightarrow Porta non lineare.

• PARTE LINEARE \Rightarrow Poco pre dipendente

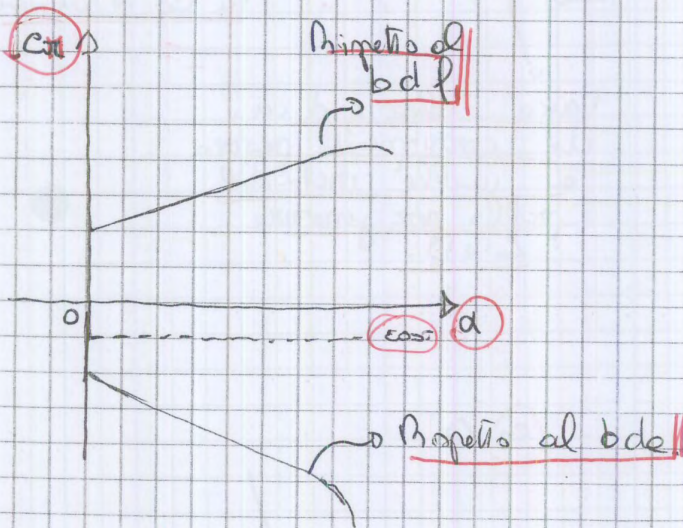
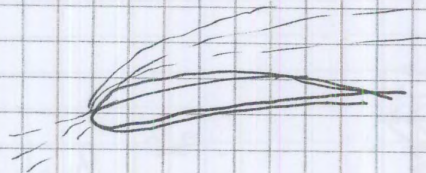
• PARTE NON LINEARE \Rightarrow Pre dipendente



STALLI \leftarrow P. ASSO
BRUSO dipende da caratter. del profilo.

• CD \leftarrow Basse α \Rightarrow Crescita poco alta
ACTe α \Rightarrow NON LINEARE \Rightarrow Alta crescita
STALLI \Rightarrow CD / α $\rightarrow \infty$

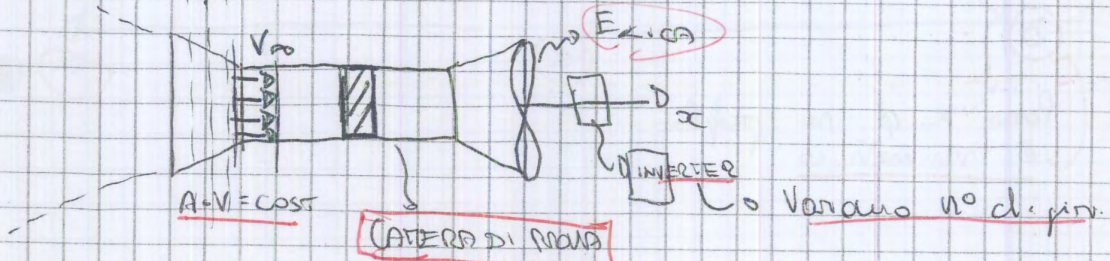
Alc stalli il p.to di separazione è prossimo al b.d.e., il campo di moto aumenta all'aumentare di α poiché α sep. si avvicina a b.d.e.



Cl \leftarrow Proprio al b.d.e. \Rightarrow 2 cresce negativa
Proprio al b.d.e. \Rightarrow Non-vo cresce post-vo
Proprio al fuoco
Cl = C_D
Per profilo simmetrici
non vale ϕ .

CAMERA DI MISURA

Galleria del vento a circuito aperto (prende aria da fuori e la butta fuori)



Definiamo:

$$\underline{h_i} \Rightarrow \underline{c_p}$$

Altezza ... in una colonna

$$c_{p_i} = \frac{p_i - p_{\infty}}{\frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2} = \underline{f(\alpha, Re, \dots)}$$

Denominatore ha il segno del c_p che può essere:

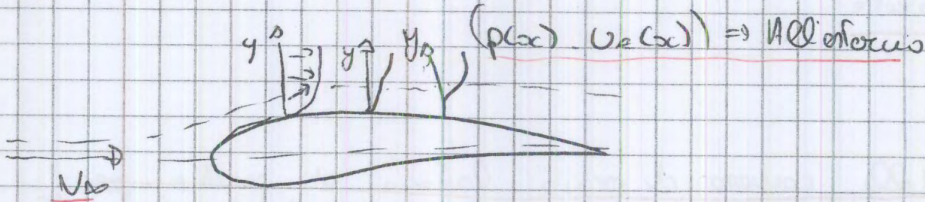
$$c_{p_i} \leq 0$$

Se $p \uparrow$ $h \downarrow$, quindi il segno è conservato se faccio:

$$h_{\infty} - h_i = p_i - p_{\infty}$$

$$\Rightarrow \underline{c_{p_i}} = \frac{h_{\infty} - h_i}{h_{\infty} - h_{00}}$$

Allo studio del c_p possiamo valutare la distrib. di velocità attorno al profilo:



$c_p(x)$ esterno = $p(x) = p_{\infty}(x)$ perché $\frac{dp}{dy} = 0$

Perché $p(x)$ si conserva lungo y :

$$\frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2 + p_{\infty} = p(x) + \frac{1}{2} \rho V_u^2(x)$$

$$\Rightarrow c_p = \frac{p - p_{\infty}}{\frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2} = 1 - \left(\frac{V_u}{V_{\infty}} \right)^2$$

Velocità per tutti i corpi perché $\frac{dp}{dy} = 0$ per ogni y

$$\underline{\frac{V_u}{V_{\infty}} = \sqrt{1 - c_p}}$$

Misurati da cui c_p

Da ricavare e confrontare con dati sul portale.

(β è importante per le Velocità !!)

$\alpha = 6^\circ$ Dorsale

le serie di depressione cumulative \rightarrow più portante

è il dorso che produce le maggiori portanze

\rightarrow continue con foto 000

NB:

11° \rightarrow 12°
(DORSO)

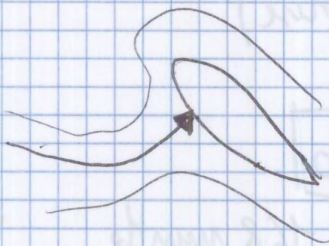
le pressioni cumulative * ed oscillare (Stallo Iniziale)

al punto è ancora tutto attaccato

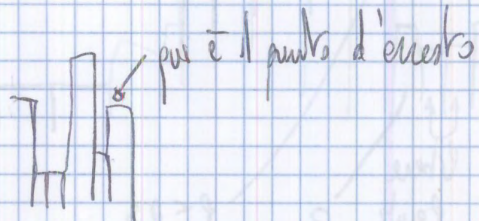
\Rightarrow Cerchi non staccarsi!

* il punto di separazione si sposta

@ 12,5 \rightarrow grè stallo \rightarrow le p non hanno più un picco (sono più basse)



12° ventre \rightarrow



Aumentando il Reynolds più \rightarrow il flusso si rrettifica !!
(quando si è allo stallo)

\Rightarrow per farlo stallare deve diminuire $\alpha > 12,5^\circ$!!!

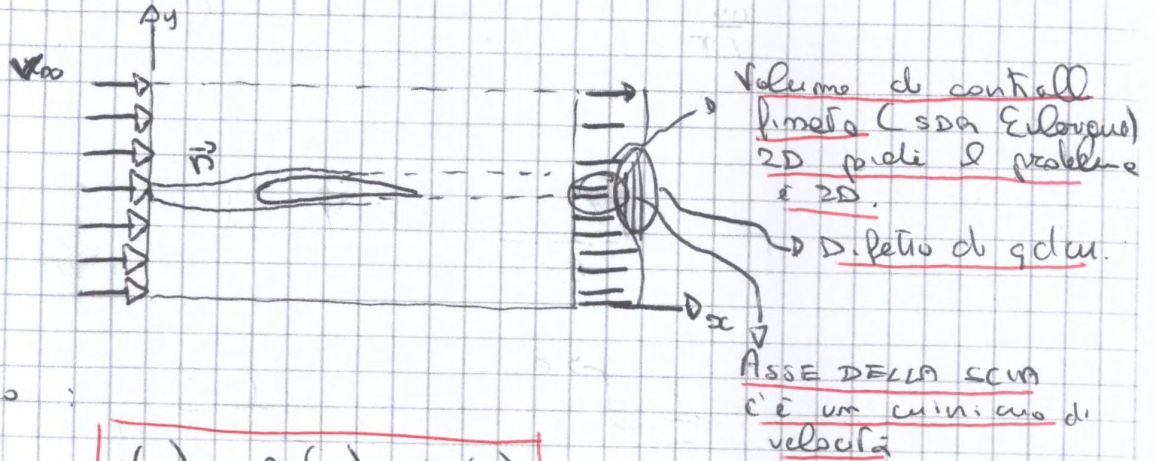
UN \rightarrow bens hey.

$\rho_{amb} = 738$ ~~kg~~ m^3

$\rho = 0,825 \text{ Kg/dm}^3$

$T_{amb} = 22,4^\circ C$

Th. della var. della q.d.c.u.



Nella scia abbiamo:

$$u(y), p_s(y), p_{os}(y)$$

Lo scambio di q.d.c.u.

In caso

La var. di q.d.c.u. del fluido nel vol. e nell'unità di tempo genera una forza:

$$\frac{\Delta(q.d.c.u.)}{\Delta t} = \vec{R}$$

Proiettando lungo ciascuna direzione otteniamo:

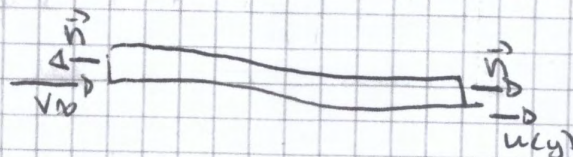
$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{\Delta(q.d.c.u.)}{\Delta t} \right)_x &= R_x \\ \left(\frac{\Delta(q.d.c.u.)}{\Delta t} \right)_y &= R_y \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{C'è la forza esterna applicata al vol. di controllo.}$$

Quanto maggiore è il deficit di q.d.c.u. maggiore sarà la R_x

Per a suoi inferiori l'azione del flusso sul corpo piumato:

$$\begin{aligned} R_x &= -L \\ R_y &= -D \end{aligned}$$

Forza \vec{m} pos. va verso l'interno e \perp alla sup. del fluido:



$$q.d.c.u. = m \cdot v_{el}$$

$$\frac{\Delta(q.d.c.u.)}{\Delta t} = \frac{\Delta(m \cdot v)}{\Delta t} = \frac{m}{\Delta t} \cdot \Delta v$$

$$\Rightarrow \underbrace{cD}_{\text{coefficiente di resistenza}} = \frac{\int_{-a}^{+a} u(V_{\infty} - u) dy}{\frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2 c} = \frac{2}{c} \int_{-a}^{+a} \frac{u}{V_{\infty}} \left(1 - \frac{u}{V_{\infty}}\right) dy$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{cD}} = \frac{2}{c} \cdot \theta$$

Spessore di q. d. u. θ

!
Rappresentat. vis delle
portate di q. d. u.
del ~~post~~ piano in cond
viscose nell'attraverso
il vel. di controllo.

Coefficiente portante:

$$\underline{\underline{cL}} = \frac{2}{c} \int_{-a}^{+a} \left(\frac{u}{V_{\infty}} - \frac{u^2}{V_{\infty}^2} \right) dy$$

perché con coefficiente C premessa: dinamica

$$u \rightarrow q = \frac{1}{2} \rho u^2$$

$$V_{\infty} \rightarrow \underline{\underline{q_{\infty}}} = \frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2$$

A quanto Bernoulli si ragionamente vena piana:

$$P_{0\infty} - P_{s\infty} = \frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2$$

e velle Bernoulli si applica nel escludente:

$$\frac{1}{2} \rho u^2 = P_{0s}(y) - P_s(y) \rightarrow \text{P. statica s.u.a.}$$

Portante:

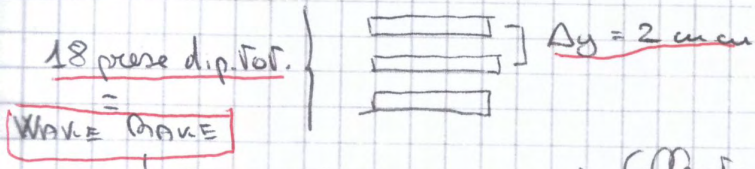
$$\left(\frac{u}{V_{\infty}} \right) = \sqrt{\frac{q}{q_{\infty}}} = \sqrt{\frac{P_{0s}(y) - P_s(y)}{P_{0\infty} - P_{s\infty}}}$$

$$\underline{\underline{\left(\frac{u}{V_{\infty}} \right)^2}} = \frac{P_{0s}(y) - P_s(y)}{P_{0\infty} - P_{s\infty}}$$

Quindi:

$$\underline{\underline{cL}} = \frac{2}{c} \int_{-a}^{+a} \left[\sqrt{\frac{P_{0s}(y) - P_s(y)}{P_{0\infty} - P_{s\infty}}} - \frac{P_{0s}(y) - P_s(y)}{P_{0\infty} - P_{s\infty}} \right] dy$$

Le prese di pressione Tot. sono:



Collegato al mult. manometri.

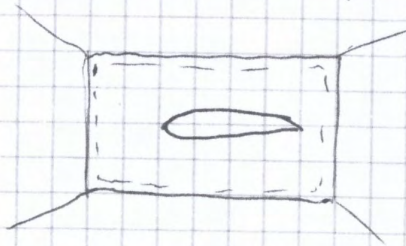
$P_s \Rightarrow S_2 \Delta x \approx c$

La corrente m è adeguata in modo che $P_s = P_{ao}$ come si vede alla corrente indisturbata.

Assunzione $\boxed{P_s = P_{ao}}$

1) Ad ogni P_s dobbiamo conferire P_{ao}

2) A rigore di fatto trascurando la perdita della parte della corrente di prova che genera anche non si trova perché il v.d.c. è fatto da corrente di prova:

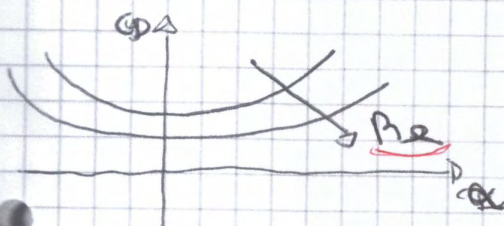


$M_x = M_{x \text{ canotto}} + M_2$

Conviene approssimare una tabella:

Prese	1	2	...	18
y				
nos				
$\frac{u}{\sigma}$				
σ				
c_w				

$\Rightarrow \sigma = \dots$



$T_{amb} = 19.7^\circ\text{C}$
 $P_{amb} = 741 \text{ mmHg}$

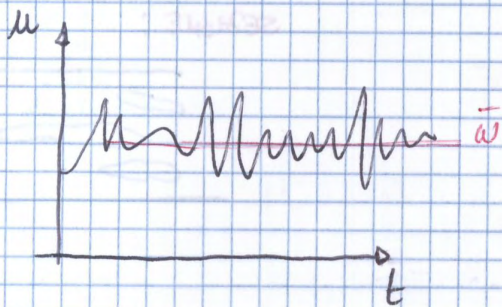
MISURE DI GRANDEZZE ISTANTANEE

Abbiamo visto $p'(t)$ come si vede con alcuni trasduttori. Come si vede $v'(t)$ oppure $\tau_w'(t)$?

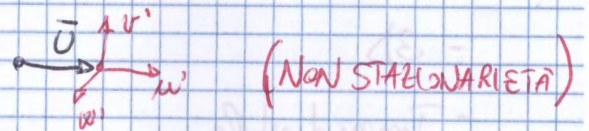
Le maggior parte delle applicazioni è a correnti **TURBOLENTE**

⇒ È importante andare a valutare non solo le grandezze medie (che poi sono buone per numerici con le RANS) ma anche le **fluttuazioni**.

Come è fatto il flusso turbolento:



Anche se il flusso è 1D, avremo \bar{u} ma con 3 fluttuazioni



RANS: derivazione alle Reynolds:

$$\begin{cases} u(t) = \bar{u} + u'(t) \\ v(t) = \bar{v} + v'(t) \\ w(t) = \bar{w} + w'(t) \end{cases}$$

Se v medio = cost nel tempo

⇒ Flusso **Mediano** Stazionario

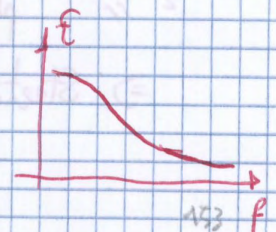
Il flusso all'interno della S.L. è un flusso del genere.

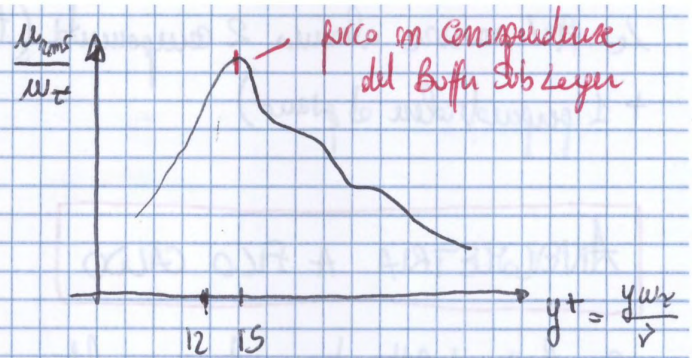
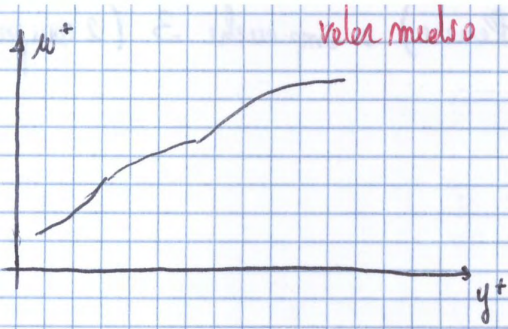
• Per studiare le caratteristiche delle Turbolenze occorre:

1 **Analisi Statistica** (velocità \bar{V} , $\overline{V'^2}$...)

2 // **Spettrale** (spettro tramite Analisi di Fourier l'andamento $E(f)$)

velocità come si distribuisce l'Energia (ed qui si sono emesse una frequenza)





u' → istantaneo

$\sqrt{u'^2}$ → root mean square → \bar{u} rappresentativo delle fluttuazioni turbolente (u_{rms})

REQUISITI TECNICA:

- caratteristiche di alta intensità
- " di elevata risoluzione spaziale
- " di elevata risposta in frequenza

Grande Energia → basse frequenze (strutture grandi)

↳ decadimento energia verso strutture piccole

Per $V \approx 30-40$ m/s ⇒ Flussi in Area Incomp. → (in ogni caso si riduce)

$f_{MAX} \approx 10$ KHz

lo strumento deve essere **ADEGUATO**

- " di elevata Sensibilità
- Sonde sufficientemente RIGIDA (per evitare che $f_{VORTICI} \approx f_{SISTEMA}$)

TECNICHE:

1 - Anemometria Termica → Hot Wire Anemometry (E CONTINUA) $\left\{ \begin{array}{l} V'(t) \\ T_w(t) \end{array} \right.$
 (misura 1, 2 o anche 3 componenti di velocità)

2 - Anemometria Ottica $\left\{ \begin{array}{l} LDA \\ PIV \end{array} \right.$ → misure puntiformi
 (regio laser ⇒ Sorgente luminosa) → per gli istanti migliore di punti di misura

Se esiste oltre solo Convezione forzata (in condizioni **STAZIONARIE**)

$$\Rightarrow^1 Q_f = I^2 R_w$$

$$\Rightarrow^2 Q_{\text{conv}} = \underbrace{\pi D l}_{\text{Scambiatore (laterale)}} \cdot \underbrace{h}_{\text{Coeff. scambiatore termico}} \cdot (T_w - T_f)$$

= in condizioni di Equilibrio

$$h \longrightarrow N_w \text{ (Nusselt)} \quad N_w = \frac{h \cdot D}{k_f} \quad \parallel \text{conduttività termica del fluido } (\lambda)$$

$$\Rightarrow N_w = f(Re, Pr, \mu, \alpha, \frac{T_w - T_f}{T_w}, \frac{l}{d}, \dots)$$

inclinazione flusso rispetto al filo
rapporto di surriscaldamento

KING: $N_w = 1 + \sqrt{2\pi \cdot Pr \cdot Re}$ $(Re = Re_{crit.} = \frac{V_{crit} D}{\nu})$

$\propto \sqrt{Re} \quad \Rightarrow h \propto V^{0,5}$

KRAMERS: $N_w = 0,42 Pr^{0,2} + 0,57 Pr^{0,33} Re^{0,5}$

Altre equazioni che:

$$I^2 R_w = \frac{k_f \cdot N_w}{D} \cdot \pi D l \cdot (T_w - T_f)$$

resistenza sonda e $T_{\text{fluido}} \rightarrow R_0$

$$R_w = R_f [1 + b(T_w - T_0) + b_1 \frac{(T_w - T_0)^2}{T_0} + \dots]$$

$$\approx R_f [1 + b(T_w - T_f)]$$

$$\Rightarrow I^2 R_w = \pi l k_f \cdot \frac{R_w - R_f}{b R_f} \cdot N_w \quad \leftarrow \text{KRAMERS}$$

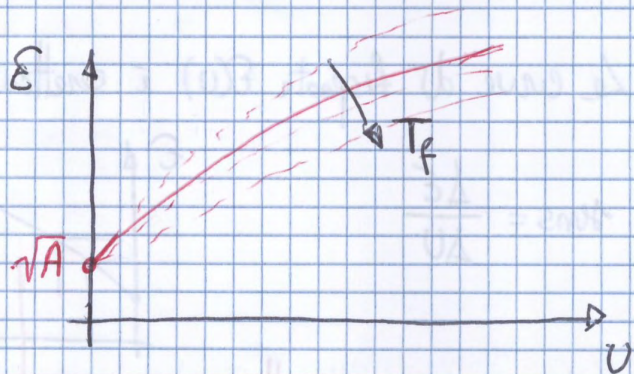
$$\Rightarrow I^2 R_w = \pi l k_f \cdot \frac{R_w - R_f}{b R_f} \cdot [0,42 Pr^{0,2} + 0,57 Pr^{0,33} Re^{0,5}] \quad \parallel$$

Si può osservare:

① Terreno & Sonda \Rightarrow Velocità A, B, m

\Rightarrow Si vede che la relazione non è lineare

CURVA DI
RISPOSTA
NON LINEARE



$E_0^2 = A \rightarrow$ prima transce sonda con l'Escluso //
in Condizioni di Conversione Neutrale

\Rightarrow Si vede che la curva $\rightarrow f(T_f)$

Se $T_f \uparrow \Rightarrow$ Scambio diminuisce (CCA \rightarrow con $V \uparrow, T_w \downarrow$) (CA $\rightarrow T_w = \text{cost}$)

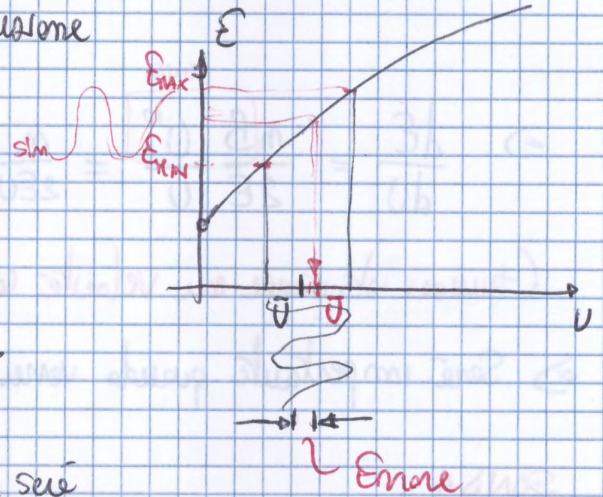
② Misurare \rightarrow misurare la Tensione

Se $E \rightarrow$ sinusoidale

$\Rightarrow V \rightarrow$ sinusoidale

\Rightarrow Possiamo vedere $\bar{E} \rightarrow \bar{U}$

Se invece faccio \bar{U} sull'asse x \Rightarrow non sarà lo stesso



\Rightarrow Quest' Errore è sinonimo di Non Linearità //

De si linearizzare in maniera Software

(entro cui E_i e ascissa U_i per N letture \Rightarrow dopo fatto le statistiche)

\Rightarrow Oggi non è un problema la Non Linearità !!

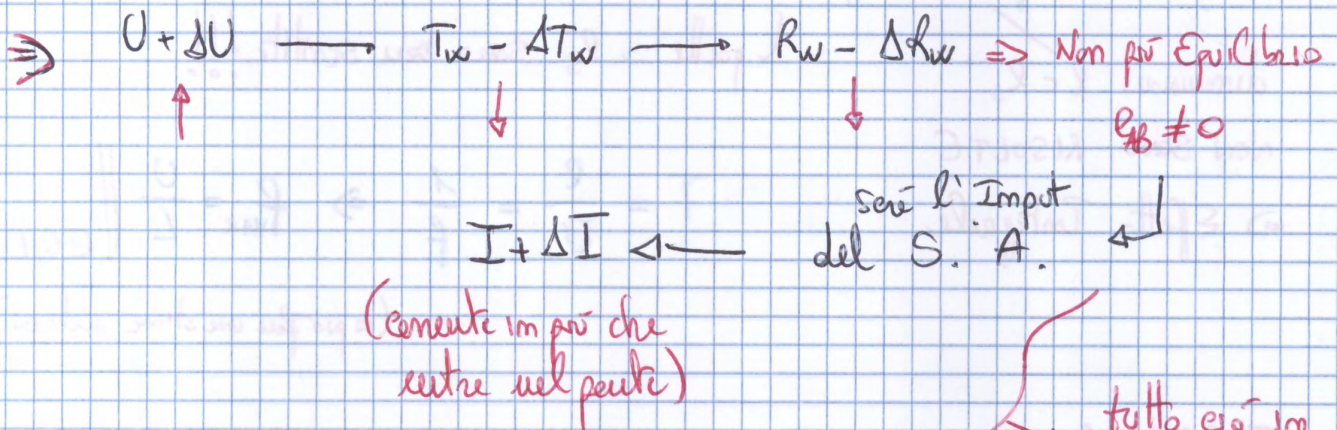
Se il sistema è in Equilibrio $\Rightarrow E_{AB} = 0 \parallel$
 quando $R_1 R_3 = R_2 R_w$ (resistenze opposte)
 EQUILIBRIO

Entre une difference de potentiel
 Esce una corrente che rientra nel circuito } *servoamplificatore*

@ R_1, R_2

@ R_w deriva da noi $R_w = R_p(1 + \alpha(T_w - T_p)) \Rightarrow R_3$ variabile per raggiungere "punto in Equilibrio"
 (@ T_w)

Supponiamo che istantaneamente vi sia una fluttuazione positiva



\Rightarrow Effetto Joule + forte (R_w è aumentato)
 \Rightarrow Si ripete alle T_w iniziale. (c'è di nuovo Equilibrio)

$f \approx 100 \text{ KHz}$

• Come si può analizzare il Transistoro? (come servivano @ E_p differenziale?)

ci si riferisce allo Scambio Termico per Convezione Forzata

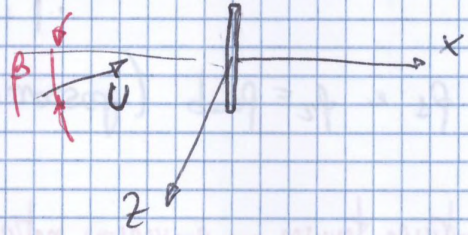
$R_w I^2 = h \pi d l (T_w - T_p)$

Se $V = \text{cost} \Rightarrow$ Risultante Forza = 0 (altamente = m.a)



Se consideriamo l'altro piano (x,z) \Rightarrow Anche lì sarà lo stesso caso

PIANO xz
(immaginario sculto piano)



Arrivato in generale che:

$$E = f(|V|, \alpha, \beta) \parallel \Rightarrow E^2 = A + BU_{eff}^m \parallel$$

velocità di raffreddamento

$$\Rightarrow E = f_1(|V|) \cdot f_2(\alpha) \cdot f_3(\beta) \parallel$$

come calcolò le 3 funzioni?

1 $f_1(|V|) \rightarrow$ pongo $\alpha = 0, \beta = 0 \Rightarrow$ Eq. di Teretore \parallel

2,3 @ $V = \text{cost} \Rightarrow f_2(\alpha), f_3(\beta) \rightarrow$ Eq. di risposte dimensionale \parallel

$$\left. \begin{array}{l} f_2(\alpha) @ \beta = \text{cost} \\ f_3(\beta) @ \alpha = \text{cost} \end{array} \right\}$$

① Come si fa sperimentalmente le Teretore

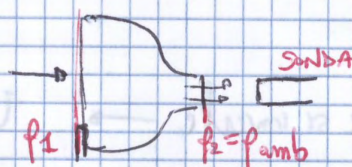
② Quali sono i parametri

1) Con flusso misto \Rightarrow Misuro E

nel cuore POTENZIALE

dove è facile misurare U (es. al centro delle gallerie del vento oppure con GETTO)
(U = cost)

REQUISITI \parallel (Assenza Turbolente)



Se traccio le curve facendo le pensare solo per A e B (2 punti), potrei commettere errori (visto che le variabili $f(u)$) \Rightarrow Si scelgono 2 coppie di punti (come per le bene velocità e come per le altre)

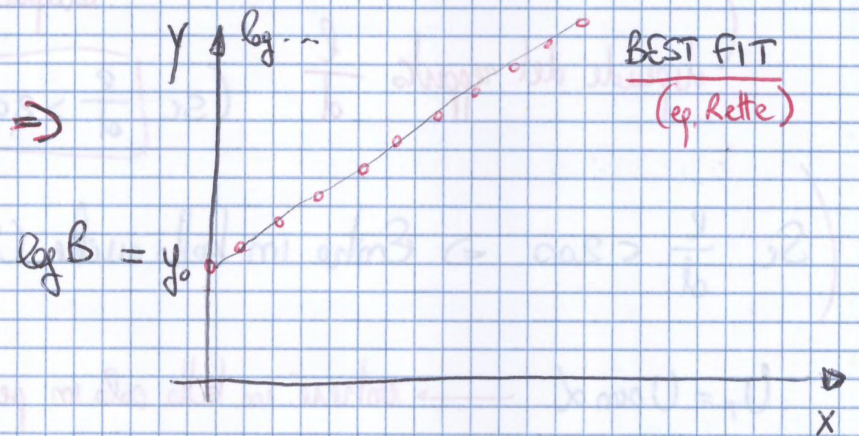
2^a Tecnica \rightarrow considero tutti i punti (MINIMI QUADRATI)

$$E^2 - A = BU^m \Rightarrow \log_{10} (E^2 - A) = \log_{10} B + m \log_{10} U \quad \parallel \quad \text{LEGAME LOGARITMICO} \quad (A = E_0^2)$$

NOTA

$$Y = Y_0 + mX \quad (\text{Eq. Retta})$$

U	E	$\log(E^2 - E_0^2)$	$\log U$
---	---	---------------------	----------



$$(Y_0 = \log_{10} B \rightarrow B = 10^{y_0})$$

Vi sono emg anche altre tecniche

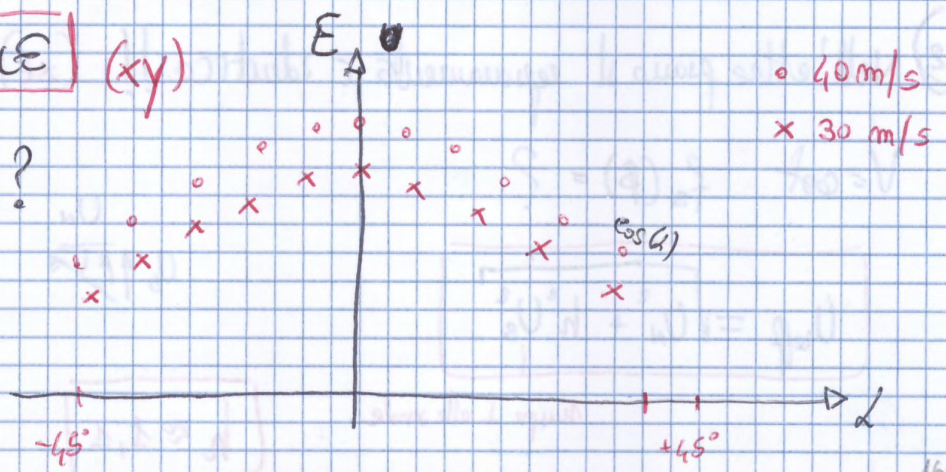
1. Eq. King Kodifricate $\rightarrow E^2 = KE_0^2 + BU^m$

2. Leggi Polinomiali $\rightarrow U = f(E)$ (forme esplicite)

$$\Rightarrow U = a + bE + cE^2 + dE^3$$

RISPOSTA DIREZIONALE (xy)

1) $V = \text{cost} \rightarrow f_c(\alpha) = ?$



$E \rightarrow U_{\text{eff}} \parallel$
se viene E viene $U_{\text{eff}} \parallel$

$$\Rightarrow U_{eff} = \sqrt{U^2 \cos^2 \beta + h^2 U^2 \sin^2 \beta} \Rightarrow f_3(\beta) = \frac{U_{eff}}{U} = \sqrt{\cos^2 \beta + h^2 \sin^2 \beta} \quad ||$$

⇒ A raffreddare il sensore c'è sempre una mescola di componenti di velocità

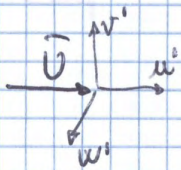
⇒ Nelle **TURBOLENZA** le fluttuazioni rappresentano le nostre componenti di U !!!

IN GENERALE: (a sens. tutti e 3 presenti)

$$\Rightarrow U_{eff} = \sqrt{U_N^2 + K^2 U_T^2 + h^2 U_B^2} \quad || \quad \text{LEGGE DI JORGENSEN (MODELLO DI RAFFREDDAMENTO)}$$

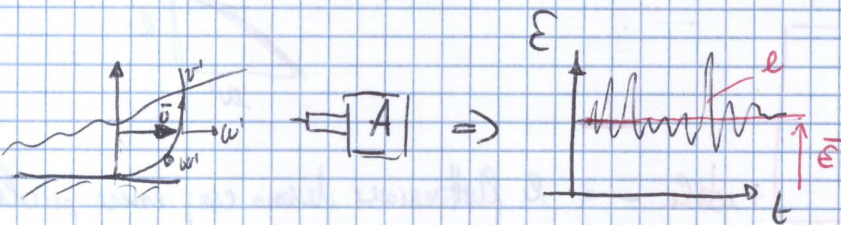
↑ ↑ ↑
INCIGNITE

es. Turbulenze



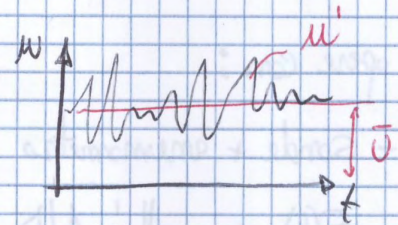
$u', v', w' \rightarrow$ incognite
 U_{eff} NOTA (@E)

$$\left\{ \begin{array}{l} U_N = \bar{U} + u' \\ U_T = v' \\ U_B = w' \end{array} \right. \quad \leftarrow$$



$$E(t) = \bar{E} + e$$

Allora tramite le Curve di Terebra \rightarrow



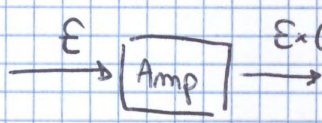
$$u(t) = \bar{U} + u'$$

• Come si misurano le 3 componenti istantanee? **TURBOLENZA** \downarrow

con fluttuazioni non elevate \rightarrow possiamo **LINEARIZZARE** il problema
(origini di essere alle terce di profilo)
 $[I_x < 20\%]$
se sono grandi perturbazioni

es. in genere vi sono fluttuazioni di basse frequenze \Rightarrow si usa un Filtro a Passo-Alto

- Nel Signal Conditioning può essere utilizzato per anche un Amplificatore \rightarrow con un certo guadagno > 1



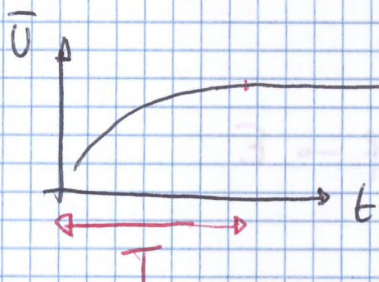
\rightarrow voglio che sia elevato soprattutto se uso A/D con pochi bit!!
(diminuisce l'Errore)

- Alle fine vi serve il PC (che deve un E' in uscita)

Nel Post-Processing devo ricordare che vi era G \Rightarrow prendo il valore di uscita del PC \rightarrow E' e G diviso per G. $\Rightarrow E'/G \parallel$

Per quanto tempo equivochiamo il segnale?

Tutto il tempo necessario per portare a convergenza le grandezze che vogliamo vedere.



\bar{U} deve andare a convergenza

T \rightarrow tempo di tempo di mescolamento che popola il flusso turbolento

Se invece di \bar{U} voglio $\overline{w'^2}$ \Rightarrow T \uparrow (perché le fluttuazioni convergono + lentamente)

Altri parametri importanti sono:

$$S = \frac{\overline{u'^3}}{(\overline{u'^2})^{3/2}} \parallel$$

\downarrow
 viene usato per il livello di Asimmetria \Rightarrow distorsione delle fluttuazioni.

$$F = \frac{\overline{w'^4}}{(\overline{w'^2})^2} \parallel$$

\downarrow
 viene usato di quanto è alto il livello torrensivo delle PSF \Rightarrow Intermittente

In questo caso devo equivarre con

$$f_{\text{samp}} = \frac{1}{T} \cdot 2 \quad (\text{così che copro tutto l'andamento})$$

⇒ Le f_{samp} deve essere almeno 2 volte le f_{max} **NYQUIST**

$$f_{\text{samp}} \geq 2f_{\text{max}}$$

es. $f_s = 20 \text{ kHz}$

⇒ Andando e fore lo spettro dovremmo considerare $f_{\text{max}} = 10 \text{ kHz}$

Come lo calcoliamo oltre le fluttuazioni?

$$E^2 = A + B U_{\text{eff}}^m$$

$$U_{\text{ref}} = \sqrt{U_m^2 + K U_t^2 + h^2 U_b^2}$$

↑ ↑ ↑
integrata

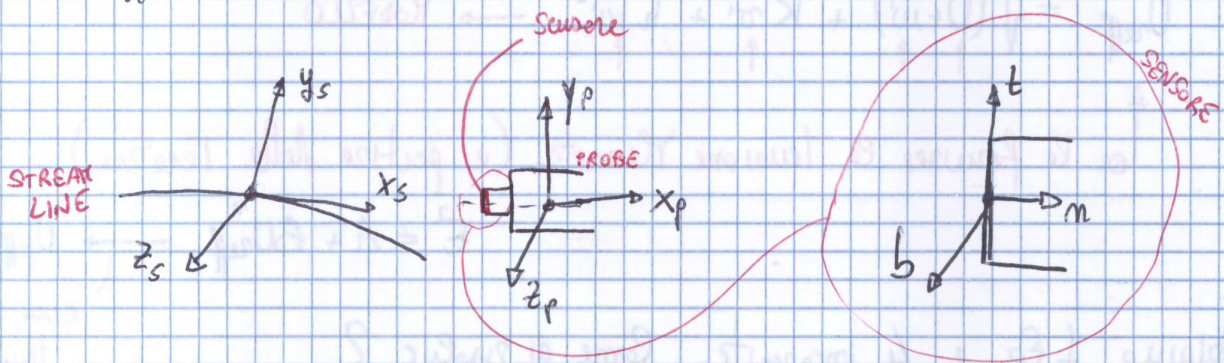
$$K \approx 0,2$$

$$h \approx 1,05$$

INPUT: $E(t)$

INCOGNITE: u', v', w' (otterremmo una discretizzazione RANS)

Supponiamo di avere:



ASSUNZIONI:

- Livello di turbolenza $< 20\%$

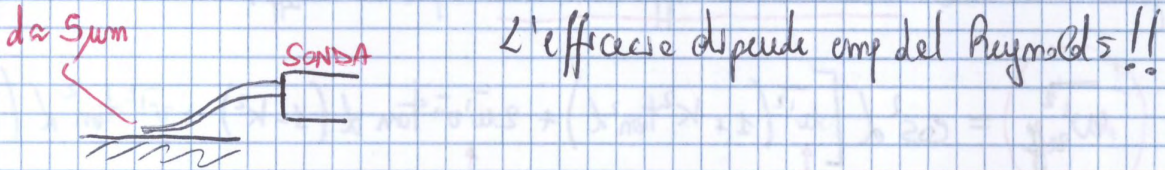
representativo $I_{\%} = \frac{\sqrt{(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2})/3}}{\overline{U}} \cdot 100$

$$I_{u\%} = \frac{\sqrt{\overline{u'^2}}}{\overline{U}} \cdot 100$$

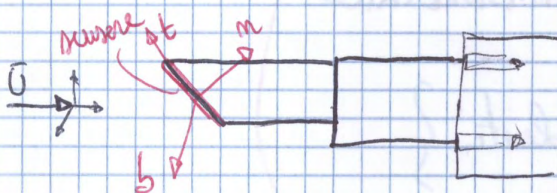
ma $U_m = \bar{U} + w'$ $\Rightarrow \bar{U}_{eff} + w'_{eff} = \bar{U} + w'$ ($\alpha = 90^\circ$)

\Rightarrow $w' = w'_{eff}$ posso poi fornire le statoriche (w'^2, w'^3 etc...)

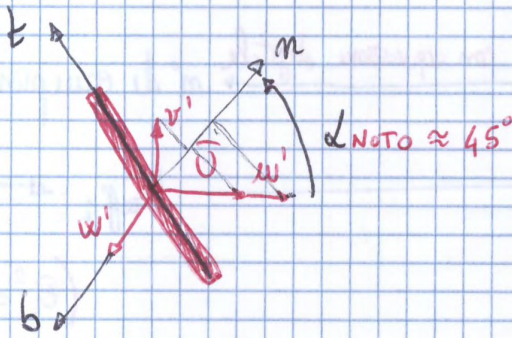
Con una sonda e sensore singolo non ha altre informazioni su v' e w' \parallel
 \Rightarrow Si pensa a geometrie + semplificazioni



SONDA ~~SONDA~~ SENSORE ~~SONDA~~ inclinate a 45° rispetto ad Assa sonda



Cambiare da le Terme Semplici
 ($b \perp (t,m)$)
 $z_p \equiv b$ ma gli altri no



$$\begin{cases} U_m = (\bar{U} + w') \cos \alpha + v' \sin \alpha \\ U_t = -(\bar{U} + w') \sin \alpha + \cos \alpha \cdot v' \\ U_b = w' \end{cases}$$

$\Rightarrow U_{eff} = \sqrt{\dots}$ \parallel ore \bar{v} + semplificazioni ma le incognite sono sempre quelle di prima

• sempre con $I_x < 20\%$ \Rightarrow $w', v', w' \ll \bar{U}$, $U_{eff} = \bar{U} + w'_{eff}$ \parallel

\Rightarrow Il 1° termine sarà dominante \Rightarrow $U_{eff} = \bar{U} \cos \alpha$ $\bar{U} = \frac{U_{eff}}{\cos \alpha}$
 INCOGNITA \rightarrow

La sonda è fissata nel piano xy . Allora, con un opportuna rotazione della sonda, posso risolvere l'eq per 3 diversi angoli $\alpha = 90^\circ$, $\alpha = \pm 45^\circ$

↳ serve dare un'altra sonda con spessore \perp
 $(\bar{\omega}_{eff}^2 = \bar{u}^2)$

Con $\alpha = 45^\circ$

$$\Rightarrow \tan \alpha = 1, \cos \alpha = \sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}, k = 0,2$$

$$\Rightarrow \bar{\omega}_{eff}^2 = \left[\bar{u}^2 (1+k^2) - 2\bar{\omega}^2 (1-k^2) + \bar{v}^2 (1-3k^2) \right]$$

Con $\alpha = -45^\circ$ (basta ruotare la sonda di $180^\circ \rightarrow$ non le succedono cose!!)

$$\Rightarrow \bar{\omega}_{eff}^2 = \frac{1}{2} \left\{ \bar{u}^2 (1-k^2) - 2\bar{\omega}^2 (1-k^2) + \bar{v}^2 (1-3k^2) \right\}$$

Invertendo il sistema, si ricavano le 3 incognite:

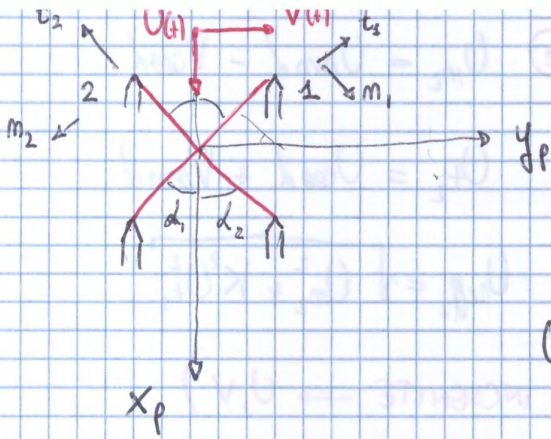
- $\bar{u}^2 = \bar{\omega}_{eff}^2(90^\circ)$

- $\bar{v}^2 = \frac{\bar{\omega}_{eff}^2(45^\circ) + \bar{\omega}_{eff}^2(-45^\circ) - (1+k)\bar{\omega}_{eff}^2(90^\circ)}{(1-3k^2)}$

- $\bar{\omega}^2 = \frac{\bar{\omega}_{eff}^2(45^\circ) - \bar{\omega}_{eff}^2(-45^\circ)}{2(1-k^2)}$

Ne esistono 6 componenti del Tensore di Poyndts. |||

⇒ Se ruotiamo ora la sonda nel piano orizzontale (di 90°), posso risolvere nuovamente i calcoli e ho altre 3 relazioni (el posto di \bar{v}^2 e \bar{u}^2 o $\bar{\omega}^2$...)



Nel piano \$x_p, y_p\$, pensiamo le nostre componenti di Velocità incognite \$U(t), V(t)\$

\$U_{m1}\$ e \$U_{m2} \rightarrow\$ componenti misurate ai 2 sensori

$$\left. \begin{aligned} U_{m1} &= U \cos \alpha + V \sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} (U+V) = U_{\text{eff}1} \\ U_{m2} &= U \sin \alpha - V \cos \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} (U-V) = U_{\text{eff}2} \end{aligned} \right\} \text{velocità grezze alle TARATURE (che si fa per ogni sensore)}$$

Anche allora che:

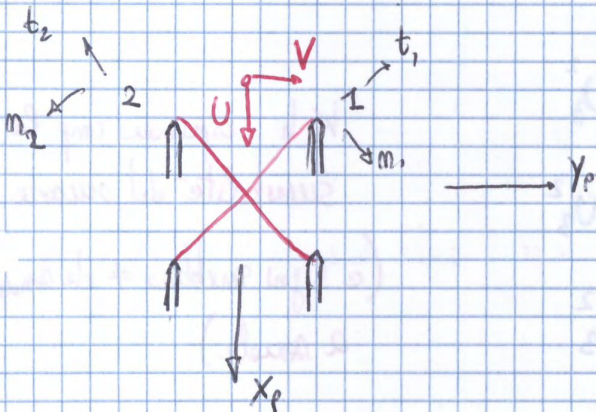
$$\left. \begin{aligned} \text{GRAND.} \left\{ \begin{aligned} U &= (U_{m1} + U_{m2}) \frac{\sqrt{2}}{2} \rightarrow \bar{U} = \frac{1}{N} \sum U_i \rightarrow w_i = U_i - \bar{U} \\ \text{ISTANT.} \left\{ \begin{aligned} V &= (U_{m1} - U_{m2}) \frac{\sqrt{2}}{2} \rightarrow \bar{V} = \frac{1}{N} \sum V_i \rightarrow v_i = V_i - \bar{V} \end{aligned} \right. \end{aligned} \right.$$

• Se ore ruoto di \$90^\circ \rightarrow\$ piano \$xz\$ } $\left. \begin{aligned} U &= 000 \\ W &= 000 \end{aligned} \right\} \text{serie che } \bar{W} = 0 \text{ (} w_i \neq 0 \text{)}$

Si sfrutta anche l'elivete rispetto in frequenza dell'anemometria

② Metodo con riferimento e Jorgensen

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{U_m^2 + K^2 U_t^2}$$



Si sfrutta che:

Cio che è componente tangenziale per un sensore, sarà componente normale per l'altro sensore

$$\left. \begin{aligned} U_{t2} &= U_{m1} \\ U_{t1} &= U_{m2} \end{aligned} \right\}$$

Andrebbero essere ricevuti K_i, h_i tramite otturatore TARATURA

(1° Teorema \rightarrow Legge di King $\rightarrow A_i, B_i, m_i$ e delle velocità)

$$L \rightarrow U_{eff,i} = \left(\frac{E_g - A_i}{B_i} \right)^{\frac{1}{m_i}}$$

inquinante
fluidodinamico

\Rightarrow Ricevo U_1, U_2, U_3 dalle risoluzioni del sistema. Il legame con U, V, W è funzione delle GEOMETRIA delle sonde !!

$$f(\alpha, \beta, \gamma, U_1, U_2, U_3)$$

possiamo avere Sonde a FILLO o sonde a FILM

MATERIALI \rightarrow TUNGSTENO / PLATINO

GALLERIE

Servono per la sperimentazione aerodinamica. Si simula il comportamento reale del modello.

per l'aerod. del veicolo si andranno a valutare allora le prestazioni del modello (in Avanzamento)

(se c'è SIMILITUD. AEROD. \rightarrow i coeff. si convergono)

• A posteriori si valuta se le prestazioni sono effettivamente reali. Nel frattempo si va anche a VALIDARE il CODICE DI CALCOLO utilizzato.

• Si possono studiare fenomenologie di base (Transizione, Turbulenze etc..)

• Si può studiare anche la Sperimentazione nell'Imp. Civile / Ambientale ^{anche ponti} _{INQUINAMENTO}

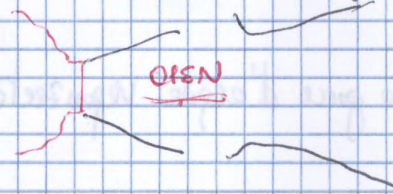
\Rightarrow Il problema sono imp. rischi aerodinamici, ma vi sono GRPI 10221

(rischio del vento e dello strato limite fenestrate)

$$L \rightarrow S \approx 100m //$$

CFD \rightarrow studio numerico effluenti e Sperimentazione

CAMERA DI PROVA → geometria e sezione costante; dove si effettua le prove!!
 può essere o con periti guidati (camere di prova chiuse)
 oppure e mentre vi è un convergente dopo cui vi è un
getto e successivamente un divergente (aperta)



Se è chiusa, le sezioni delle camere di prova può essere di varie forme. Per come
 gellare con camere di prova CIRCOLARE → ha qualità di flusso MIGLIORE ||
 (non ha spigoli o discontinuità)
 Ci sono anche sezioni ottagonali etc...

↳ che genera flussi
 secondari
 (strutture vorticosi)

2. In funzione delle $V_{max TS}$ → mi di Mach

$$M = \frac{V}{a} \quad a \propto \sqrt{T}$$

- Gellare Subsoniche - INCOMP. / COMPRESS.

- Gellare Transoniche ($0,8 \leq M \leq 1,4$)

- // Supersoniche ($1,3 < M < 4$)

- // Iperoniche ($M > 4$)

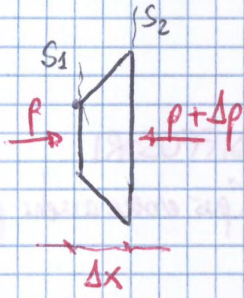
Uno dei problemi è il TRASFERIMENTO DEI RIVOLTI // da gellare al vno

REQUISITO ⇒ si lavora ad ALTO REYNOLDS (e MACH emp ELEVATI)

Come si realizza?

Si utilizzano gellare CRIOGENICHE (flusso a T_{base} gassoso ed esoto liquido)

Allora, se abbiamo un corpo, e noi consideriamo un pezzettino



Allora come stima di queste resistenze è:

$$\Delta F = \Delta D = \Delta p \cdot \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right) \cdot \frac{\Delta x}{\Delta x}$$

risorse medie

$$\Rightarrow = \frac{\Delta p}{\Delta x} \cdot \Delta V$$

volume

$$\Rightarrow \boxed{D_g = \left| \frac{\Delta p}{\Delta x} \right| \cdot V}$$

resistenza di galleggiamento

Le bilanciare allora misura: $D_{inertio} + D_g = D_{risorsa}$ // voglio allora minimizzare D_g

SOLUZIONE → divergere dalle pareti delle camere di prova
($\gamma \approx 1^\circ$)

In condizioni **ON-DESIGN**, le cose sono ottimizzate $\Rightarrow \gamma \approx 1^\circ$ e annulla $\frac{\Delta p}{\Delta x}$.

Si determinasse infatti il $Re_{max} \Rightarrow V_{max}$ è fissata = $\frac{Re_{max} \nu}{L}$ // = $V_{IS, max}$

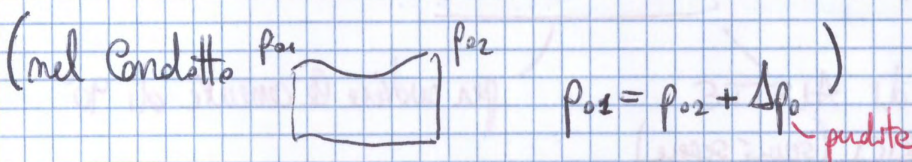
\Rightarrow Solo per le condizioni MAX ha un γ_{max} !!!

(Sperimentato per anche e Reynolds minori \Rightarrow **OFF-DESIGN** $\Rightarrow \frac{\Delta p}{\Delta x}$ è serio !!!)

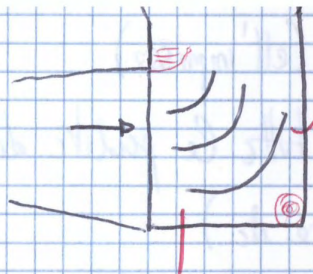
*vergano misurato
insufficientemente grande
a delle scale.*

2 CIRCUITO DI RITORNO

due esser fatto in maniera da ridurre le perdite di carico !!



*tridotte in termini
di Δp*



anche delle lemniscate curve

Emp. alle fine le curve si separano
 ⇒ Vi saranno perdite di carico

VANO RADDAZZATORE

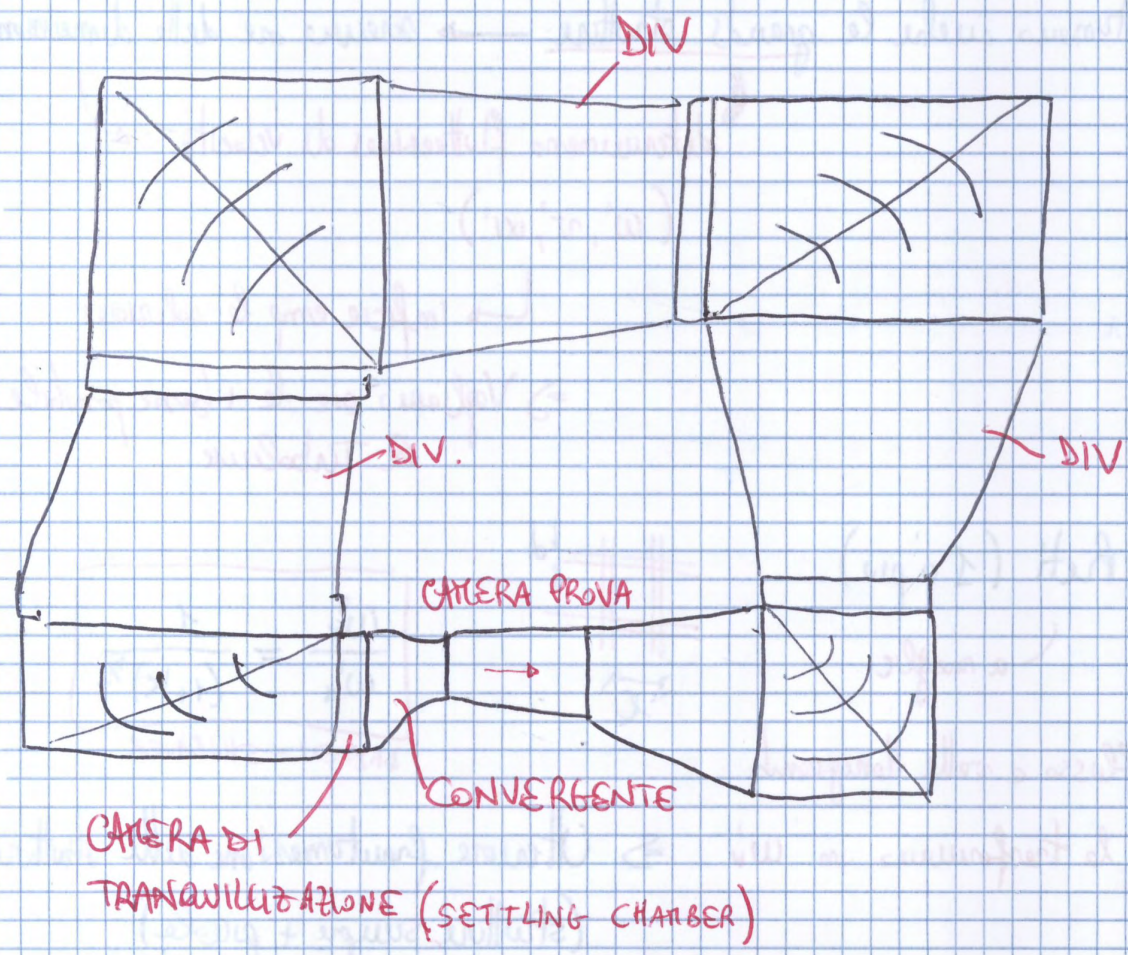
Efficienze? $V_i = V_w$ ($A_i = A_w$) ⇒ Ove si ebbero statica !!!

⇒ $\Delta p_o = \Delta p = p_i - p_w$ PERDITE
 si separano alle punte
 dimandose delle curve in ingresso → $\eta = \frac{\Delta p}{q_i}$ $\eta \approx 0,2$

più è basso η più piccole sono le perdite !!

Forse le curve e forme di profilo sono da $\eta \approx 0,11$

Alle fine allora avremo:



$K \rightarrow$ tiene conto delle resistenze che si generano (Δp , perdite di carico) dovuta alle reti. (Le perdite di pressione sono statiche !!)

\hookrightarrow xk le sezioni "m" e "n" sono uguali \Rightarrow velocità cost !!

$$K = \frac{\Delta p}{q} \quad \text{è una normalizzazione} \quad \left(q = \frac{\rho}{2} g V_{sc}^2 \right)$$

$N \rightarrow$ numero delle reti || $K = f(\text{diametro, mesh})$

Il prezzo da pagare allora è proprio le perdite di pressione !!

3. Convergente (e sezione decrescente)

Correttore del rapporto di contrazione del convergente m (NOZZE)

$$m = \frac{A_i}{A_w} \approx 7 \div 20 \quad \text{|| RAPPORTO DI CONTRAZIONE}$$

diminuzione uscite

$$L \text{ (lunghezza convergente)} \approx (1,5 \div 2,5) A_w$$

$$\dot{m} = \dot{c} \rho A$$

\Rightarrow Le velocità convergente $\rightarrow A_i V_i = A_w V_w$

$$\Rightarrow \frac{V_w}{V_i} = \frac{A_i}{A_w} = m \quad \text{||}$$

\Rightarrow Converge accelerare lungo x (le particelle convergenti $\omega \frac{\partial \omega}{\partial x}$!! $\bullet \frac{\partial \omega}{\partial t} = \dot{c} \rho A$)

è più anche turbolenza $\omega', v', w' \rightarrow$ e nelle reti

(è una Turb. Omogenea e Isotropa)

non dipende dalle
posizione e velocità
delle reti

non dipende
della direzione
(= cost)

Annuncio una serie di Indici di Turbulenze

$$\Rightarrow \frac{w'_w}{\bar{U}_w} = \frac{w'_i}{\bar{U}_i} \cdot \frac{\bar{U}_i^2}{\bar{U}_w^2} \Rightarrow \frac{w'_w}{\bar{U}_w} = \frac{w'_i}{\bar{U}_i} \cdot \frac{1}{M^2}$$

\uparrow \uparrow $A_i \bar{U}_i = A_w \bar{U}_w$

Indici di turbolenza BENEFICIO DEL GONFAMENTO AI FINI DELLA TURBOL.

(In realtà - più le componenti v' aumente leggermente)

SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO

↓ x le perdite → calore !!

Le temperature ↑ ⇒ Influenza su ρ che $\mu \Rightarrow \nu \propto T^{1,75}$
 ⇒ Reynolds diminuisce

Oggi si utilizzano: RADIATORI (che può desso ottenere perdite di carico)

↳ circuiti idraulici
 (circuiti avvolge tubi ⇒ Aspette calore delle emittenti)

oppure si ~~usano~~ ^{spuntano} le pelette rettilinee

non occupate spazio
 di perdite di carico

vengono raffreddate tramite
 acque fredde

L'interazione del vento (e una struttura) può andare anche in RISONANZA
 (soprattutto per basse frequenze)

$$f_m = \frac{a}{4L} (2m-1) \quad || \quad \text{FRSQ. RISONANZA PER CONDOTTO}$$

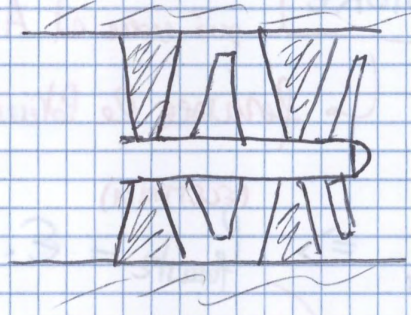
Velocità vento

ordine delle
 freq. di risonanza ($m=1 \rightarrow$ frequenza fondamentale)

Elice = Rotore + Statore

parti rotanti
che forniscono
 Δp

serve
a mantenere l'elice
ferma nelle
sue posizioni assiale



Le scie dell'elice è vorticoso e ha energie cinetiche rotatorie

⇒ Voglio ridurre queste perdite e utilizzarle

(e però servono anche le pale STATORICHE)

approssimamente disassiate

- Rendimenti
- Costo

Influenceremo posizione Elice

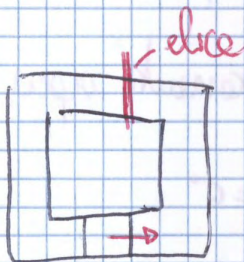
Costo $\propto D_f^2$ (+ è grande + costoso)

Rendimenti $\eta_c \propto$ Velocità che investe elice

Le pressioni dove
 w è V_{max} ?
(usare formula Prandtl)

|| No! xk è estremamente pericolosa per posizione
(troppo vicino a flusso dopo modello)

⇒ Si posizione dopo il 2° angolo (sezione non troppo grande e flusso con abbastanza velocità)

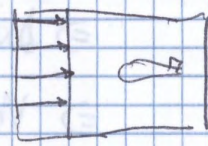


N.B. A Torino è piazzata dove c'è V_{max} - -"
(x questione di soldi)
(è collegata (stato motore) ad un'altra pale transonica)

ER → è la prima cosa che si può vedere grazie al Voltmetro (e un tubo di Pitot)
 ⇒ Legge Peletz

Pelett → $m_{in} \cdot Pelett$ → $m_{in} \cdot Pelett \cdot \eta_e$ // *perdite pure del fluido*
 ⇒ *Perdite Formate*

QUALITÀ DEL FLUSSO
 (in Camera di Prova)



① • UNIFORMITÀ DELLA q (pressione dinamica) → V ⇒ $\frac{\Delta q_0}{q_0}$ più bassa possibile

$$\frac{\Delta q_0}{q_0} \cdot 100 \approx (0,2 - 0,3)\%$$

• UNIFORMITÀ DELLA p_0 ⇒ $\frac{\Delta p_0}{p_0} \cdot 100 \approx (0,2 - 0,3)\%$

• " " $p = \frac{\Delta p}{p} \cdot 100 \approx (0,5)\%$



② • ANGOLARITÀ BASSA

ϵ potrebbe essere un $\Delta d, \Delta \beta \approx 0,1^\circ$ → *modificherebbe le curve*
 (es. $C_e - d \rightarrow C_e - (d + \Delta d)$)

③ • Turbolenza in camera di prova

deve essere nulla

→ che è per le condiz. REALE quando il corpo si muove all'interno del fluido fermo

FREE STREAM
 TURBULENZA

→ *turbolenza e molto* → *influenza i risultati!!*

↳ *impone lo stretto limite (in particolare punto transizionale e separazione)*
 (x_T) (x_S)

Avremo Turbolenza Omogenea e Isotropa !!!

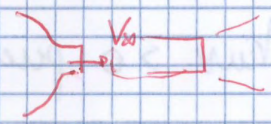
- 1 Hot Wire Anemometry
- 2 LDV
- 3 PIV

Si ve essere immensurato e misurare il Livello di Turbolenza !!

$$I\% = \frac{\sqrt{\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}}}{V_{\infty}} \cdot 100$$

Somme vettoriale (è quasi l'Energia cinetica turbolenta)

V_{∞}
 quelle due entità in camera di prova



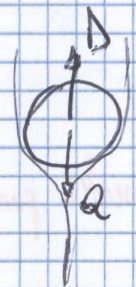
$I \approx (0,2 \div 0,3)\%$ di solito || $I < 0,1\%$ per gallerie pressurizzate ||

($D_{tubo} \ll D_p$ per un AUTO (corpo tozzo) \Rightarrow anche $I \approx 0,4$ è buono)

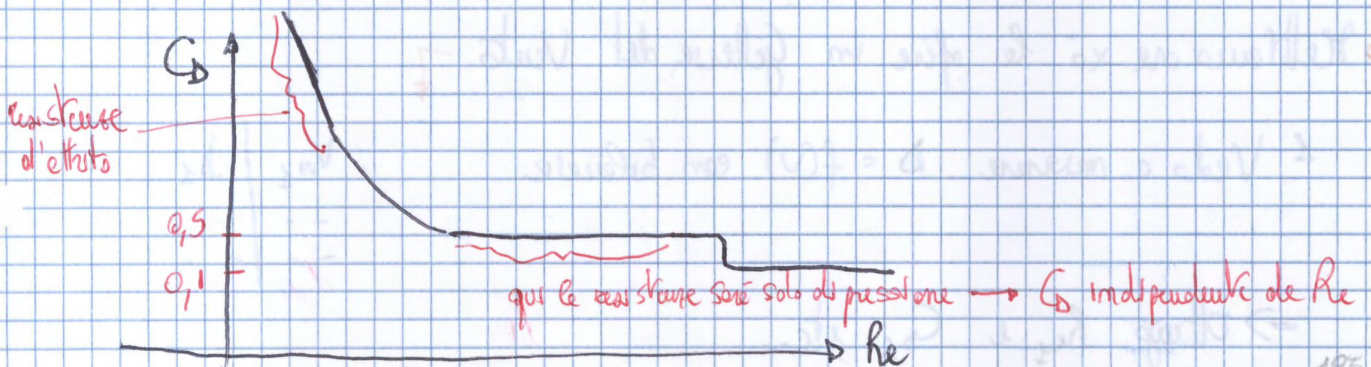
• Importante è anche il $Re_{critico}$

si fa riferimento al comportamento di un corpo tozzo per il quale si conosce $C_D - Re$ (in esse) \Rightarrow **SFERA**

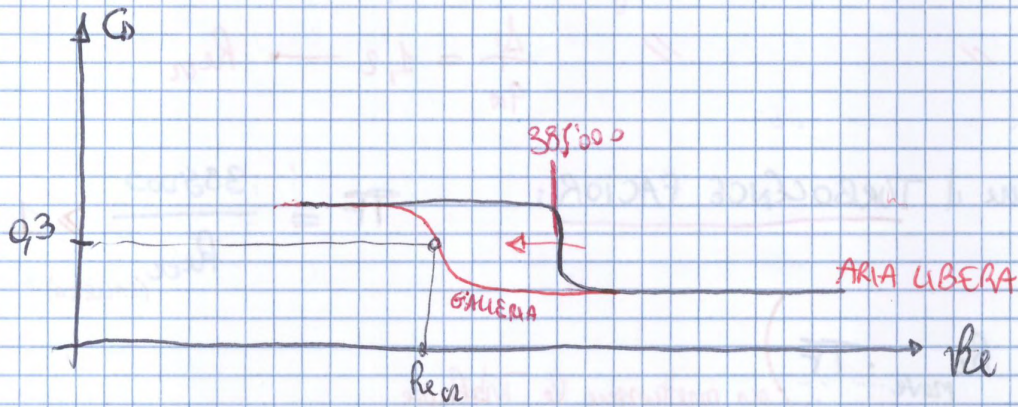
$Re \propto V \Rightarrow$ serie variabile \rightarrow Le forze che agiscono su una sfera in caduta sono le resistenze



$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2 S}$$



Avvenso ellere che:



- Il salto G avviene prima in galleria

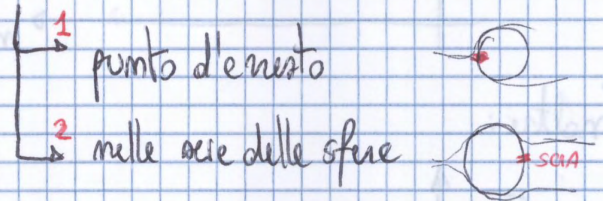
$$Re_{GALLERIA} < Re_{CADUTA LIBERA}$$

- Se può ho una galleria migliore (I% ↓)

⇒ Il salto sarà un po' più a destra delle curve rosse

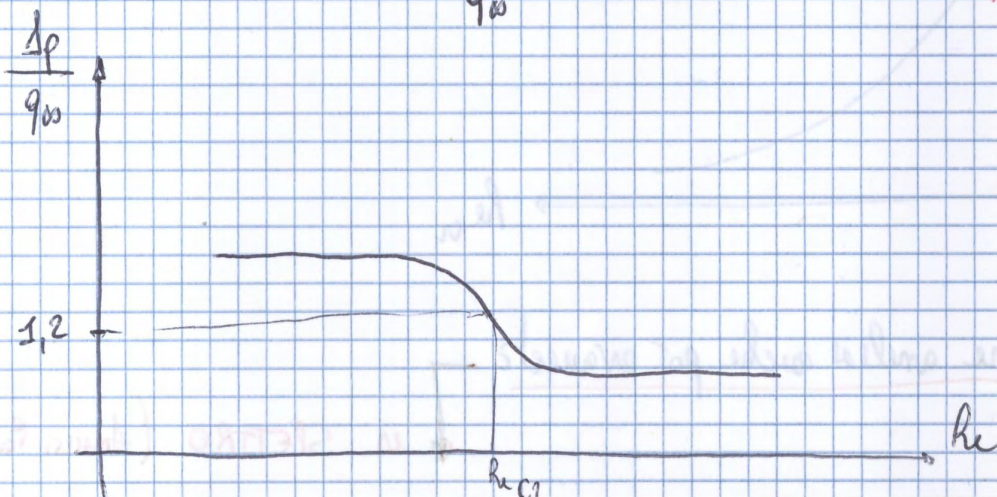
- Un altro modo per vedere il Re_{cr} (senza blue curve) ↓

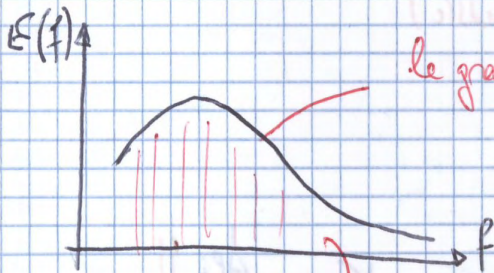
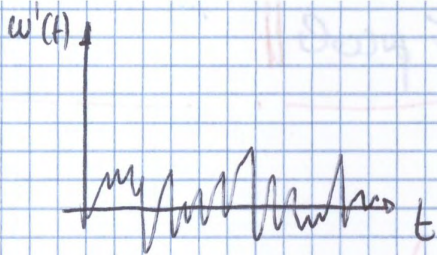
- Si vanno a misurare 2 pressioni "civili" (strategiche)



$$\Rightarrow \Delta p = p_0 - p_{SCIA}$$

$$\frac{\Delta p}{\rho u^2} = f(Re) \Rightarrow \text{faccio un diagramma equivalente}$$





le grandi quantità di Energie \rightarrow basse frequenze !!

si ricave che $\overline{w'^2} = \int E df$ (VARIANZA)

Lo spettro è anche identificativo dei **DEFETTI** delle vee fluvide

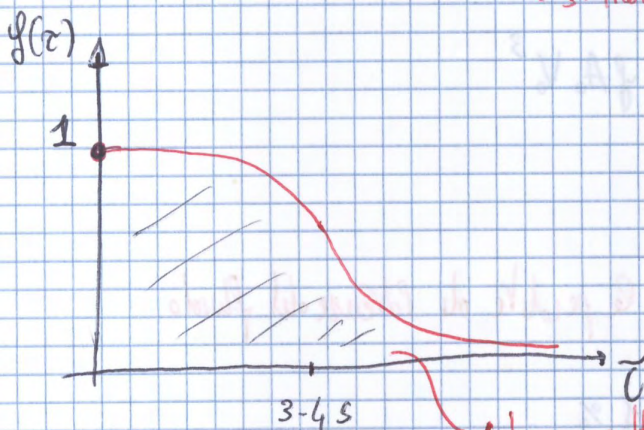
(si può avere un picco di Energie ad una certe frequenze \rightarrow difetto)
(eventuale pulsazione)

- Si possono vedere per le SCALE delle Turbulenze \downarrow
 vs summa strutture più o meno organizzate.

\Rightarrow Si può calcolare il tempo di decorrenza (osservando $w'(t)$)

Considero le funzioni di autocorrelazione ($w'(t) \cdot w'(t+\tau)$)

\downarrow moltiplico e sto a tempo
 Ne faccio poi le medie $\rightarrow \frac{\overline{w'(t) \cdot w'(t+\tau)}}{\overline{w'^2}}$
 e si normalizza per $\overline{w'^2}$



a τ elevato $g \downarrow \Rightarrow$ sto scordando il segnale

\hookrightarrow l'area sottile è il Tempo di decorrenza $\tau = \int_0^\infty g(\tau) d\tau$

PRIMO DIFFUSORE $\rightarrow K_0 = 21\%$

// ANGOLO $\rightarrow K_0 = 25\%$

TRATTO CILINDRICO $\rightarrow K_0 = 1\%$
(+ Q_{ul0} ; $A \uparrow$)

$$\frac{\sum K_{0i}}{100} \approx 0,185$$

SECONDO ANGOLO $\rightarrow K_0 = 25\%$

TRATTO CILINDRICO $\rightarrow K_0 = 1\%$

$$ER = \frac{1}{0,185} \parallel$$

SECONDO DIFFUSORE $\rightarrow K_0 = 10\%$

TERZO ANGOLO $\rightarrow K_0 = 4,7\%$

QUARTO // $\rightarrow K_0 = 4,7\%$

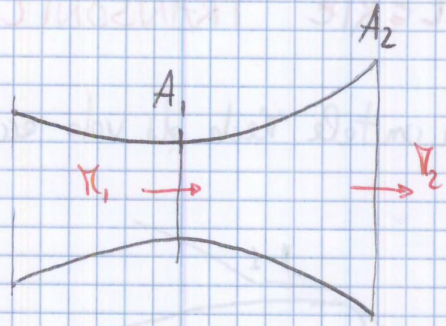
LAMERA TRANQUILLIZZAZIONE $\rightarrow K_0 = 1\%$

CONVERGENTE $\rightarrow K_0 = 2,7\%$

PERDITE !!

Consideriamo ora una sezione di condotto in cui:

- Effetti Viscosi Nulli
- Non ci Sono Urta



Vi serve un legame AREA - MACH:

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \Rightarrow \frac{A_2}{A_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \frac{\pi_1}{\pi_2} \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

Possiamo esprimere le densità come densità di ossigeno

$$\rho_{O_1} = \rho_1 \cdot f(\pi_1)$$

$$\rho_{O_2} = \rho_2 \cdot f(\pi_2)$$

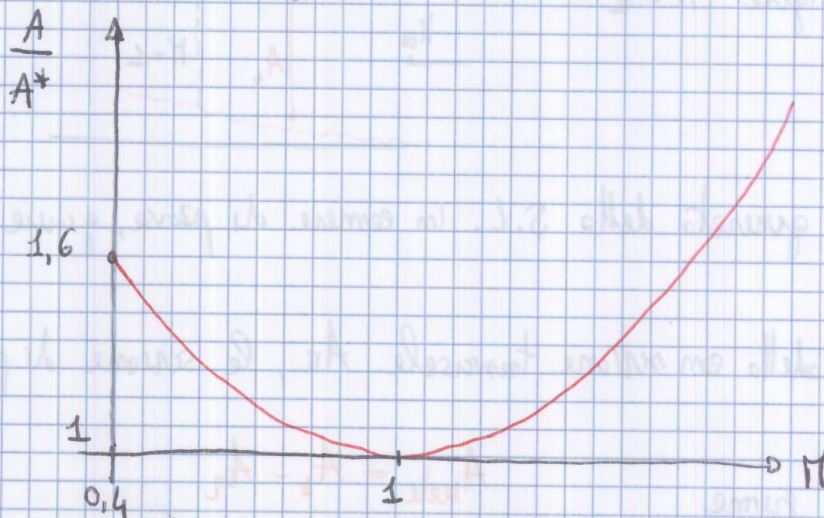
$$T_{O_2} = T_{O_1} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{f(\pi_2)}{f(\pi_1)}$$

$$\Rightarrow \rho_{O_1} = \rho_{O_2} \Rightarrow \rho_1 \cdot f(\pi_1) = \rho_2 \cdot f(\pi_2) \Rightarrow \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{f(\pi_2)}{f(\pi_1)}$$

$$\Rightarrow \frac{A_2}{A_1} = \frac{f(\pi_2)}{f(\pi_1)} \cdot \frac{\pi_1}{\pi_2} \Rightarrow \frac{A_2}{A_1} = \frac{\pi_1}{\pi_2} \left[\frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} \pi_1^2}{1 + \frac{\gamma-1}{2} \pi_2^2} \right]^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$$

Con $\gamma = 1,4$ e $A_1 = A_{gola} = A^*$ ($\pi = 1$)

$$\Rightarrow \frac{A}{A^*} = \frac{1}{\pi} \left[\frac{5}{6} \left(1 + \frac{\pi^2}{5} \right) \right]^3 \quad \text{ARIA}$$



$$\pi = 1 \rightarrow \frac{A}{A^*} = 1$$

$$\pi = 0,4 \rightarrow \frac{A}{A^*} = 1,6$$

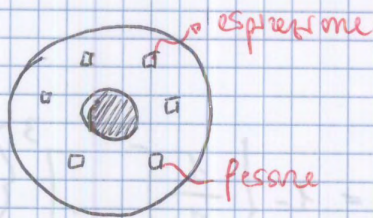
Quindi $\alpha M_\infty \Rightarrow$ Avrà un valore di A_{II} : posso avere o no cond. di choking !!

es. $M_\infty \sim 0,92 \Rightarrow \frac{A_{II}}{A_I} = 0,005$ // per evitare il choking devo fare il modello molto piccolo

• Gellese transoniche (e supersoniche) hanno le parti delle camere di prova fessurate longitudinalmente (o perforate).

1 Fessure longitudinali \rightarrow evitano o attenuano la riflessione delle s.w.

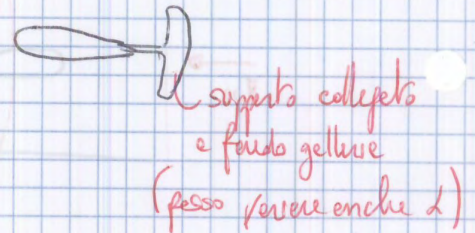
2 Aspirazione Aria in corrispondenza fessure \rightarrow Le camere si espandono di più $\Rightarrow V \uparrow$



Il SUPPORTO del Modello può essere: ~~ORBITALE~~

1 De parete e parete \rightarrow PROVE 2D

2 Strink posteriore \rightarrow // 3D



Esistono 2 tipi di gellese:

(1) A circuito CHIUSO (funzionamento CONTINUO)

(2) // APERTO (// INTERRUPTENTE)

Per il funzionamento intermittente può essere:

1 Sistema di vuoto e Velle delle Camere di Prova (IN DRAFT WIND TUNNEL)

2 // di Arie Compresse e Tante (BLOWING WIND TUNNEL)

GALLERIE SUPERSONICHE ($M > 1$)

Come facciamo il condotto?

Abbiamo la relazione Area-Velocità: $\frac{A}{A^*} = \frac{1}{M} \left[\frac{5}{6} \left(1 + \frac{M^2}{5} \right) \right]^3$ ($\gamma = 1.4$)

$$\frac{dA}{A} = (M^2 - 1) \frac{dV}{V}$$

velocità
critica

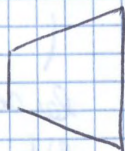
⇒ per un flusso subsonico → $M^2 < 1$ ⇒ $\frac{dA}{A} = -k \frac{dV}{V}$

es. convergente



$$\frac{dA}{A} < 0 \Rightarrow \frac{dV}{V} > 0 \quad (\text{convergente accelera})$$

es. divergente



$$\frac{dA}{A} > 0 \Rightarrow \frac{dV}{V} < 0 \quad (\text{divergente decelera})$$

Per un flusso supersonico: → $M^2 - 1 > 0$ ⇒ $\frac{dA}{A} = k \frac{dV}{V}$

$$\frac{dA}{A} < 0 \longrightarrow \frac{dV}{V} < 0 \quad \parallel \text{CONVERGENTE DECELERAZIONE}$$

$$\frac{dA}{A} > 0 \longrightarrow \frac{dV}{V} > 0 \quad \parallel \text{DIVERGENTE ACCELERAZIONE}$$

Allora per avere un'Accelerazione Continua:

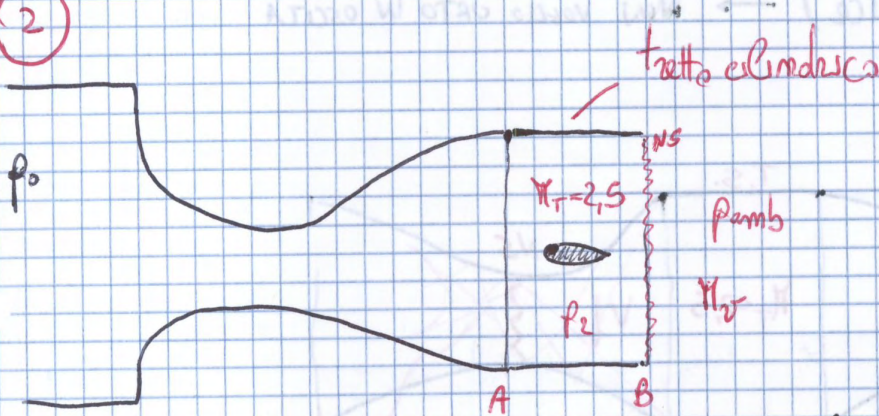
Quanto spendiamo così?

$$\frac{p_0}{p_c} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_{TS}^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \cong 17,09$$

⇒ Nel serbatoio devo accumulare pressione $p_0 \cong 17 \text{ atm}$ //

A partire da M_{TS} posso ottenere queste p_0 ?

(2)



Si fa in modo che l'URTO capiti proprio sulle sezione B !!

$p_2 \rightarrow$ PRONTE ORTO

$$\frac{p_{VALLE}}{p_{FRONTE}} = \frac{p_{amb}}{p_2} = f(M_{PRONTE}) = f(M_T)$$

$$= 1 + \frac{\gamma}{\gamma+1} (M_T^2 - 1)$$

$M_T = 2,5$

$$\Rightarrow \frac{p_{amb}}{p_2} = 7,125 \parallel \Rightarrow p_2 = 0,14 \text{ atm (T.S.)}$$

da p_2 a p_0 l'evoluzione è Isentropica !! (non ci sono urti)

⇒ Vedo e ritroso

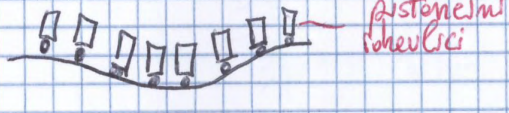
$$\frac{p_0}{p_2} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_T^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 17,08$$

$$\Rightarrow p_0 = 2,39 \text{ atm} \parallel \text{essere è sicuramente più vantaggioso}$$

Le gelose possono essere a funzionamento CONTINUO o INTERMITTENTE ↳ x rispondere

Come posso vedere Π_{TS} ?

1 Devo cambiare oggetto (perché $\frac{A}{A^*} = \infty$) ↳ Non c'è deformazione continue

2 pareti deformabili (e stesso materiale) 

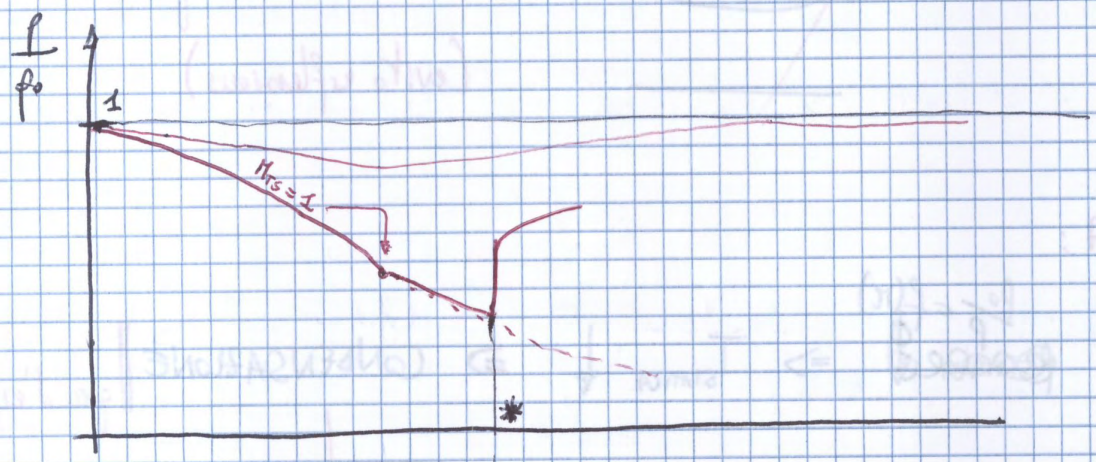
↳ Punti di deformazione comp FINITI \Rightarrow m° punti discreti
 \Rightarrow Uniformità di flusso non eccellente !!

@ $\frac{A}{A^*}$ \Rightarrow Le Forze deve essere tale da non creare riflessioni
 (si utilizza il Metodo delle Caratteristiche)

Come si evolve le Gelose ?

1 Le Π^e gole deve essere + grande delle I^e !! |||

Perfluoro de $V=0$



$$\frac{fo_2}{fo_1} < 1$$

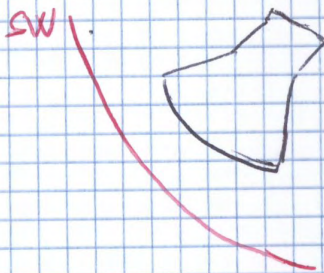
Per evitare questo si utilizzano anche:

- **Essiccatore** (per Mach non troppo alti)
- **Riscaldatore** aggiuntivo (per Mach più elevati)

↳ posso xò avere problemi con le pellicole del compressore
 ⇒ Ci sarà da qualche parte anche un **RAFFREDDATORE**

GALLERIE IPERSONICHE ($M > 4$)

Il problema è quello delle elevate temperature di un corpo in fase di rientro in atmosfera



- in alte atmosfere P_{basso} , T_{elevato}
- ultimi 10km $\Rightarrow h \uparrow$ Mach \downarrow

Il problema è ora quello delle **CONDENSAZIONE**

Un'alternativa: gallerie con RISCALDATORI } ELETTRICI \rightarrow RESISTENZE
 } COMBUSTIBILI

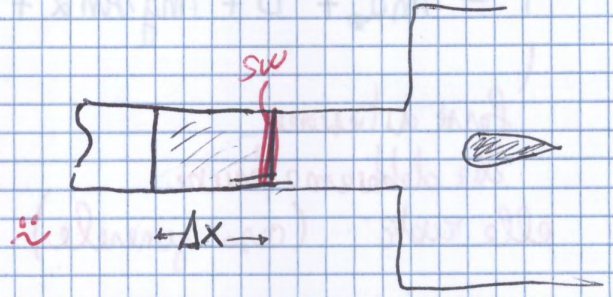
Gallerie ed ARCO \rightarrow PLASTICA

Tubi d'URTO

Il flusso nell'interfaccia sarà **UNIFORME**

base prima dell'orlo

Δx è piccolo $\rightarrow t_{PROVA} = f(\Delta t) \approx 10 \text{ ms}$



Si sfrutta allora l'interfaccia

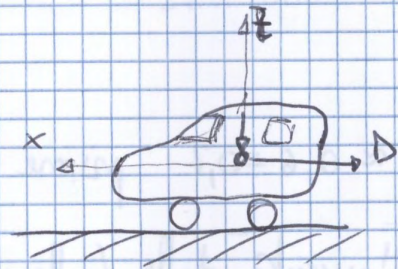
GALLERIE AUTOMOTIVE (auto, treni, camion)

- Aerodinamica Esterna \rightarrow DRAG REDUCTION
- // Interna \rightarrow Impianti condizionamento, confort etc...
- Impianti

1. Minimizzare D

2. Minimizzare Consumi

3. Leggermente deflettanti



$\alpha = 0$

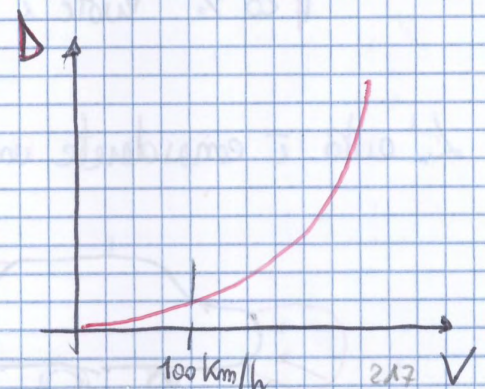
$x \equiv V_{\infty} \equiv$ asse corpo
Si parla di C_x

$$C_x = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2 \cdot S}$$
 $S =$ sezione max trasversale

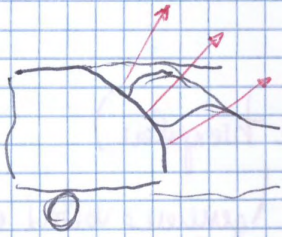
Si parla anche di $C_x S = \dots [m^2]$ + utile

A basse velocità è l'Attrito che determina i Consumi + Accelerazioni transitorie

L'aerodinamica vale per $V \uparrow$



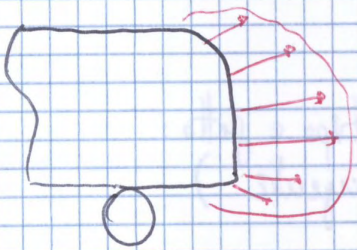
Con $\varphi \approx 30 \div 40^\circ \Rightarrow$ Le conchiglie lenticolari anche le fette posteriori con VORTICI



Vortici attaccati al profilo posteriore
forze di pressione ($p < p_0$) $C_p < 0$

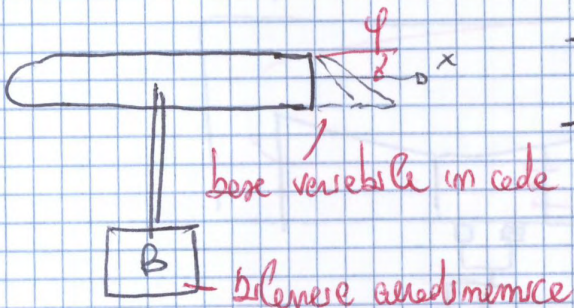
Con $\varphi \approx 90^\circ \Rightarrow$ Separazione. E' il caso $C_p < 0$ ma è più piccolo rispetto al caso con vortici !!!

(es. Ala e Deltre \rightarrow le perdite viene proprio dai vortici, generati)



Si formano una specie di bolle a $C_p < 0$

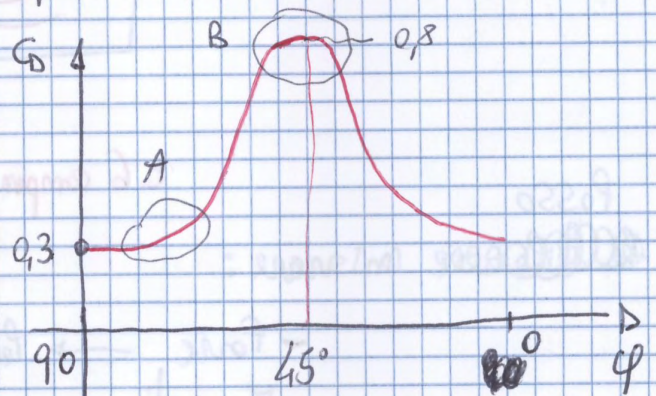
90.



- perso di resistenza per strati limite $\approx \text{cost}$
- " piume pelle davanti delle basi posteriori

SPERIMENTALM. \rightarrow

($C_{D_{max}} \approx 45\%$)



A: distribuzione di pressione $\approx \text{cost}$

B: // a vortici \rightarrow picchi di depressione

\hookrightarrow venivano bene per generare L per ala e delfe, ma qui NO!
(creano resistenza)

Per la SPERIMENTAZIONE

- c'è presenza di S.L. sulle pareti inferiori → il vero non ci deve essere!
- ⇒ Necessità di corrente sotto l'auto //
- ⇒ Modifica distribuzione pressione auto inferiore (scelta pannello ↓)
 $V_{velocità} \uparrow$

Come ottenere?

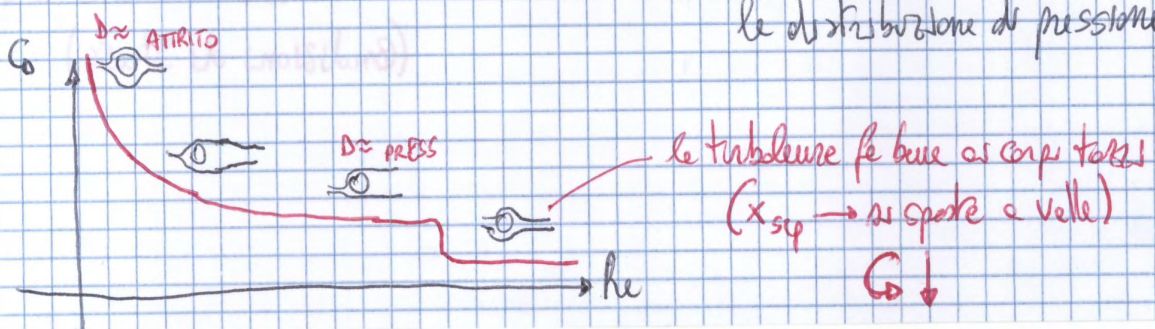
- 1 - Si crea **ASPIRAZIONE** (di mossa) = $f(V_{\infty})$
- 2 - Ricordo che $V_{\infty inferiori} = 0$ → si realizza un **TAPPETO ROTOLANTE***
 (non inferiore + punti contatto con Boleuse)
 * con $V = V_{\infty} \Rightarrow$ Eliminazione Vortice
 \Rightarrow // Strato Limite
- 3 - Opzione Combinate !!
 * **COSTO** ↑

Se si sperimenta su **MODELLI** (SCALA 1:4, 1:5). C'è SIMILITUDINE?

- Flusso Incompressibile ($\mu \approx 0,2 - 0,3$) $C_x = C_x(Re)$
- Bisogna valere esclusivamente il $Re = \frac{V \cdot L}{\nu}$ // $Re_{GALLERIA} = Re_{VERO}$?
 $\Rightarrow V_{mod} = V_v \cdot \left[\frac{L_v}{L_m} \cdot \frac{\nu_m}{\nu_v} \right]$
 SCALA ≈ 1

Scale 1:4 → facciamo pare e 400 km/h?

NO → Corpo Tolto ⇒ Re non influenza enormemente la distribuzione di pressione //



GALLERIE AMBIENTALI (simulano il Vento Atmosferico)

- rischi sulle strutture esterne (sonelle)
- diffusione di sostanze inquinanti

RUGOSITÀ → dete de elbui, ette, feneste etc...

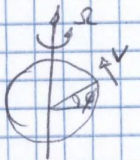
$$\tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$

$$S = f(\text{rugosità}) \approx 100 \text{ m}$$

- zone e p maggiore a zone e p minore (si crea velocità)
- Vc le tunc ruote anche con Ω → Nene le feneste di CORIOLIS

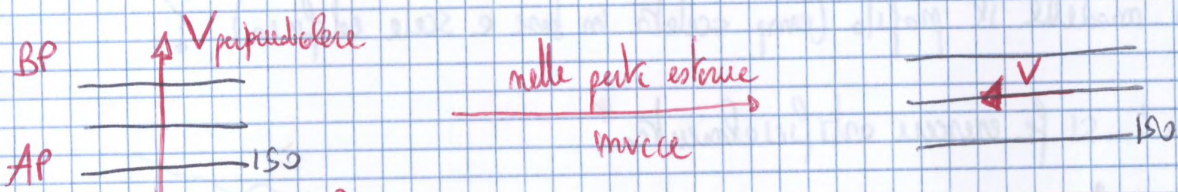
$$F_c = V \wedge \Omega \sin \phi \parallel$$

Si combinate V e Ω

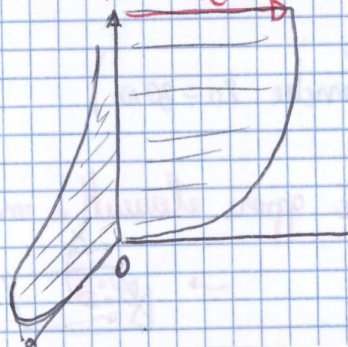


→ Allora lo S.L. tunnel è **3D** ⇒ profilo velocità non è proprio così. He esempio:

$y \uparrow \Rightarrow V \uparrow$ e ruote finché all'esterno la corrente va in direzione delle ISOBARE



(come esperimento anche) U_e come Isobara



PROBLEMI ALLORA:

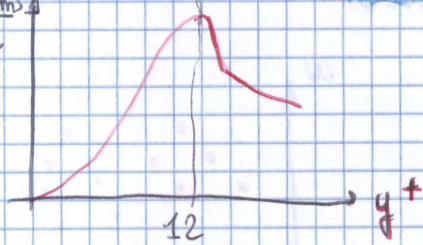
- 1 • Stato Limite 3D
- 2 • Rugosità Superficiale da mettere
- 3 • Riscaldamento
- 4 • Similitudine

Riusciamo allora a ricreare, dopo una certa distanza x , il profilo \approx quello empirico per $m \approx 0,4$

- Oltre al profilo bisogna però simulare la Distribuzione di Turbolenze (I.F.%)

(serie maggiore e parte)

$$\overline{v_{wi}^2} = \frac{w_{rms,i}^2}{w_z}$$



⇒ Posso estrapolare altre uscite !!

LASER DOPPLER VELOCIMETRY (LDV)

Utile per flussi turbolenti (altri livelli di risonanza)

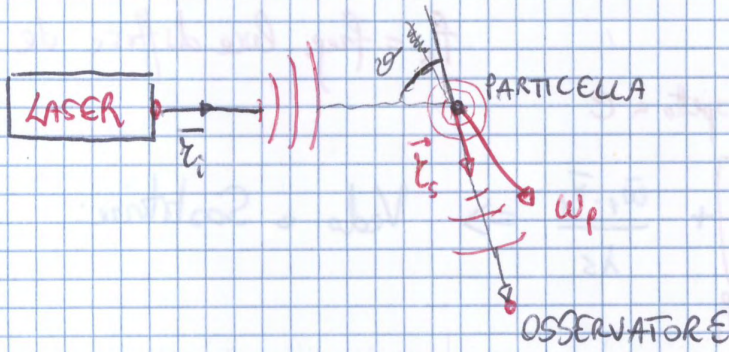
- Velocità Istantanee
- 1, 2, 3 Componenti
- Tecnica a PUNTI FORME

VANTAGGI:

- È una tecnica non Invasiva !! (Abbassano del Paggio term)
 - ↳ non perturbano il flusso
- Non richiede calibrazione ⇒ Tecnica Assoluta
(dipende solo delle caratteristiche del Sistema)
- Va bene sia per misurare in GAS che in LIQUIDO
 - ↓ a filo
 - ↓ a film
- Caratterizzato da elevate uscite in frequenza e elevate risoluzioni Spaziali !!
 - ↳ Più piccolo è il volume più sale risonanza e perdute !!

Arredo:

PRINCIPIO FISICO



\vec{c}_i = direzione raggio laser

viaggia con una velocità $c_i = \text{luce}$
e $\lambda_i = \text{lunghezza d'onda}$

$$\lambda = \frac{c_i}{f_i}$$

w_p = velocità particelle

Osservatore = ottica ricevente

Una volta colpita la Particella \Rightarrow luce che propaga in quel direzione ($F_w \approx 90\% F_0$)
 \Rightarrow Vi sarà un particolare raggio diffuso che colpisce osservatore (α)

Con quale velocità è colpita P?

(Se fosse ferma $\rightarrow c_i$)

\Rightarrow In questo caso creiamo una $V_{rel} = c_i - \vec{w}_p \cdot \vec{c}_i = w_{pr}$

$$f_{pr} = \frac{w_{pr}}{\lambda_i} = \frac{c_i - \vec{w}_p \cdot \vec{c}_i}{\lambda_i} = \boxed{\frac{c_i}{\lambda_i}} - \frac{\vec{w}_p \cdot \vec{c}_i}{\lambda_i}$$

f_i

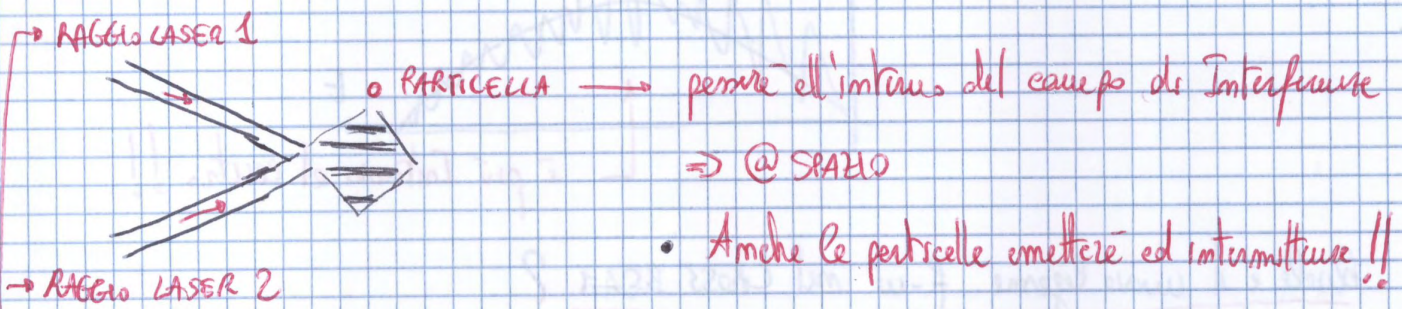
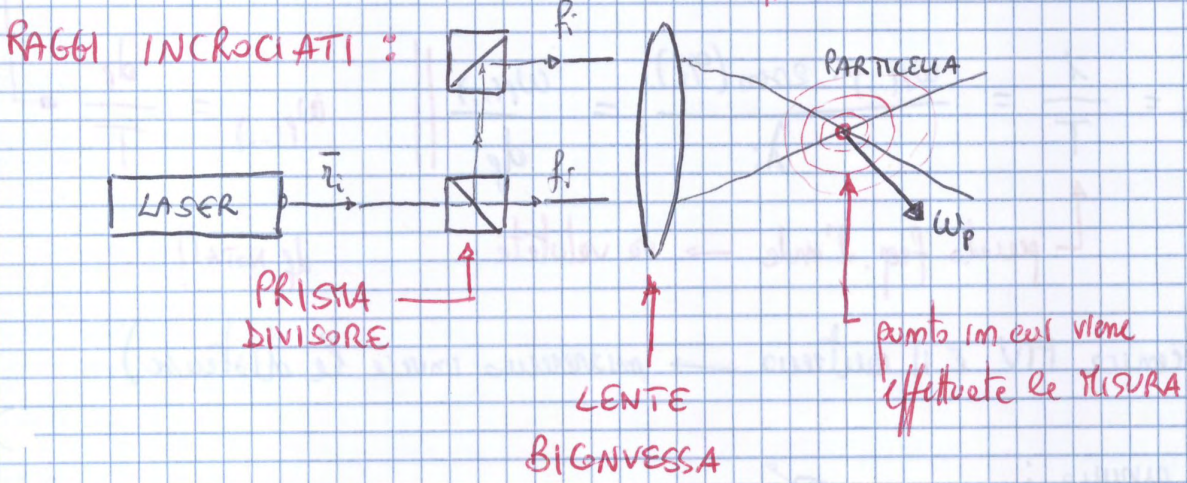
$$\Rightarrow \boxed{f_p = f_i - \frac{\vec{w}_p \cdot \vec{c}_i}{\lambda_i}}$$

Successivamente nel 2° tratto (la seguente ora e P):



Praticamente quali sono i SISTEMI OPERATIVI ?

- 1) Sistemi a Regge di Riferimento \rightarrow osservatore su 1 dimensione $\vec{r}_1 \Rightarrow$ FILTRO
- 2) // a Regge Incrociate $\parallel +$ diffuso (CROSS BEAM)

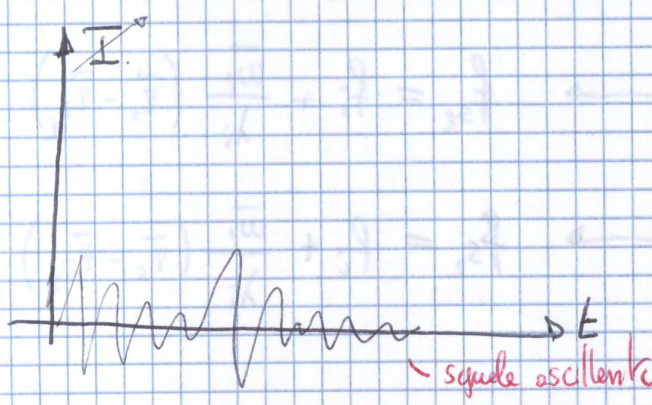


- determinare il Volume di Misura (è un Ellissoide)

Avvicino delle frange di Interferenza (luce \rightarrow fessura o buco \rightarrow interferenza)

\hookrightarrow Sono uguali e equispaziate

Avvicino che oltre il Segnale è Oscillante



• in realtà questo segnale si sommano ed uno = cost



Torna verso l'alto