COMPLEMENTI DI FLUIDODINAMICA E TURBOLENZA

master COPY COPISTERIA

Appunti delle lezioni

A cura di Sara e Selene

master COPY

Prof.Camarri/Salvetti


master
COPY


master
COPY


master
COPY

PARTE 1: STABILITA' IDRODINAMICA

Capitolo 1: Panoramica sui tipi di instabilità

CONCETTO DI STABILITA': Supponiamo di partire da una configurazione iniziale del flusso chiamata **FLUSSO BASE** in cui il flusso è ad esempio stabile. Se il flusso viene poi perturbato e a seguito di questa perturbazione tende ad allontanarsi dalla configurazione di partenza stabile allora si dice INSTABILE.

Esistono **DUE FAMIGLIE di INSTABILITA'**:

1. **Instabilità AUTOSOSTENUTE**: per le quali basta una piccola perturbazione iniziale per far allontanare il flusso dalla configurazione stabile di partenza;
2. **NOISE-AMPLIFIERS**: per i quali non basta una piccola perturbazione iniziale ma serve una sorgente continua di disturbo (es: la rugosità superficiale diventa una sorgente di disturbo per lo strato limite) per far allontanare il flusso dalla configurazione stabile di partenza.

L'instabilità indica quindi un meccanismo di amplificazione del disturbo che eventualmente può dar luogo al fenomeno di **TURBOLENZA**, la quale può essere considerata come una successione continua di instabilità. Essa è importante studiarla in quanto la MAGGIOR PARTE DEI FLUSSI è TURBOLENTA.

Vediamo adesso alcuni ESEMPI DI INSTABILITA':

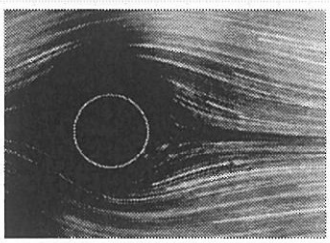
VORTEX SHEDDING: instabilità che si sviluppa a valle di un cilindro circolare 2D e che può essere visualizzata andando ad inseminare il flusso con delle particelle che vengono trasportate per convezione e che sono caratterizzate da bassa diffusività.

L'ipotesi che facciamo è quella di flusso uniforme, incomprimibile e newtoniano, il che significa che l'unico parametro di controllo diventa il numero di Reynolds, il quale viene definito in base alla velocità del flusso asintotico e al diametro D del cilindro:

$$Re = \frac{U_\infty D}{\nu}$$

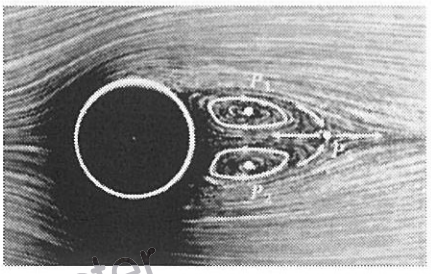
Una volta definito il Re in base a questo possiamo definire le varie CONDIZIONI DI FLUSSO:

- $Re \leq Re_c \cong 47$: per bassi valori di Re si ha una condizione di flusso QUASI POTENZIALE, in cui le linee di corrente tendono ad essere contigue alla frontiera del corpo e a richiudersi dietro.



(a) Re = 1.54

Aumentando il Re il flusso si richiude ancora dietro al corpo ma a valle di esso iniziano a formarsi delle zone di ricircolo controrotanti caratterizzate da tre punti singolari (oltre al punto di ristagno anteriore) che dal punto di vista cinematico possono essere definiti come: P1 e P2 centri e P3 punto di sella.



(b) Re = 26

master COPY

Tali zone diventano sempre più grandi all'aumentare del Re ma la condizione di flusso rimane SIMMETRICA e STAZIONARIA (cioè STABILE) fino a che $Re_c \cong 47$.

- $Re \geq Re_c \cong 47$: poco oltre il valore critico del Re la condizione di flusso non è più ne simmetrica (perché il punto di ristagno posteriore P3 inizia ad oscillare verso l'alto e verso il basso) ne stazionaria (ovvero è INSTABILE) perché i vortici nelle zone di ricircolo iniziano a sfalzarsi.

- $Re > 100$: si ha uno sfalzamento continuo dei vortici i quali si autoinducono facendo progredire la scia. Il FLUSSO diventa quindi PERIODICO e ha luogo il fenomeno del VORTEX SHEDDING, il quale si verifica sempre quando siamo in presenza di corpi tozzi.

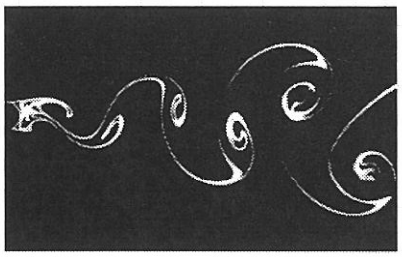


Figura 1.2 – Vortex shedding a Re = 140 [4]

master COPY COPISTERIA

Come si può osservare l'INSTABILITA' porta alla rottura delle simmetrie che si hanno nel FLUSSO BASE ma nel passaggio dalla configurazione stabile a quella instabile (più complessa) il flusso rimane 2D cioè laminare perché non si ha l'alto tasso di diffusività tipico della turbolenza che porta il flusso ad essere 3D.

master COPY

- $Re > 190$: oltre questo valore di Re i vortici iniziano ad oscillare in direzione trasversale con una lunghezza d'onda $\lambda \cong 4D$ (dove D è il diametro del cilindro), e quindi si manifesta per la prima volta la natura 3D dell'instabilità.

- $Re > 250$: le le lunghezze d'onda si riducono al diametro D.

Nella configurazione 3D il flusso base è dato dal vortex shedding 2D e la rottura della simmetria spazio-temporale è legata all'instabilità secondaria nella direzione trasversale, cioè è legata alla nascita di una non stazionarietà in tale direzione. Questo permette di osservare che il flusso base in questo caso non è stazionario (perché è periodico) ma noi per semplicità di qui in avanti studieremo soltanto flussi base stazionari.

Le conseguenze della rottura della simmetria spazio-temporale sono varie ma quella più importante in assoluto riguarda la VARIAZIONE DEI CARICHI AERODINAMICI AGENTI SUL CORPO. Si ha infatti che nel caso di flusso simmetrico i carichi agiscono solo nel piano del flusso mentre nel caso del vortex-shedding i carichi agiscono anche in direzione trasversale e sono in generale oscillanti e tempo-varianti.
Di questo se ne risente molto in regime laminare perché i carichi dipendono dalle velocità indotte dai vortici le quali, essendo in fase con la lunghezza del corpo, danno luogo a carichi in fase tra loro lungo la direzione di apertura (spanwise). Al contrario, in regime turbolento questo effetto è attenuato perché le velocità, non essendo più in fase, fanno sì che anche i carichi non siano in fase il che comporta una loro notevole riduzione.

Quanto appena detto ha ripercussioni sui fenomeni di natura ACUSTICA e soprattutto AEROELASTICA:

- Se la frequenza di oscillazione dei vortici rientra nel campo acustico si ha un corpo che produce rumore;
- Se la frequenza del VS intercetta la frequenza elastica del corpo si può andare incontro al fenomeno di risonanza, molto spesso indesiderato.

Talvolta si possono invece operare sistemi in grado di trarre energia dal flusso instabile. Ad esempio, andando a perturbarlo volutamente con un disturbo acustico (instabilità forzata) è possibile agevolare future procedure di post-processing per ottenere delle medie di fase, noto che la frequenza dell'instabilità è fissata dal disturbo.

master COPY COPISTERIA

Instabilità di Hagen-Poiseuille
Un altro classico esempio di instabilità si manifesta per mezzo dell'esperimento di Reynolds. Consideriamo un flusso base stazionario di Poiseuille all'interno di un tubo con caduta di pressione costante. Se il mezzo utilizzato è acqua o altro liquido trasparente, utilizzando un colorante come tracciante notiamo che all'aumentare del numero di Reynolds quella si manifesta è la cosiddetta instabilità di Hagen-Poiseuille, cioè una tendenza del filo di colorante a fluttuare e disgregarsi dalla condizione di equilibrio, fino a dissolversi nel liquido circostante.

Instabilità di Tollmien-Schlichting
Per quanto riguarda gli strati limite su una lastra piana il flusso base è quello di Blasius. Ciò che si manifesta è un'instabilità secondaria, molto forte e rapida (la velocità è pari a un terzo della velocità di strato limite) data dalle onde di Tollmien-Schlichting.
Se il flusso è stazionario i profili di velocità scalano in modo autosimile. Se le condizioni di