

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Relazione per la prova finale
Generatori di vortici, analisi aerodinamica
preliminare ed esempi di applicazione

Tutor universitario: Prof. Francesco
Picano

Laureando: *Pavan Lorenzo*

Padova, 24/09/2024

All'inizio del secolo scorso il volo è diventata una realtà e ha subito una rapida evoluzione fino ai giorni nostri. Attualmente è il mezzo di trasporto più rapido del pianeta e la sfida è quella di renderlo più efficiente, abbattendo i costi connessi a carburante e denaro.

In quest'ottica, i **generatori di vortici** rappresentano un notevole sviluppo tecnologico e risultano importanti per la loro capacità di ritardare l'insorgere della separazione dello strato limite d'aria. Per le applicazioni nei profili aerodinamici, l'utilizzo di queste appendici aerodinamiche garantisce la generazione di portanza per angoli d'attacco maggiori rispetto ad un profilo senza dispositivi.

Sono numerose le loro applicazioni nel settore aeronautico ed è noto anche il loro utilizzo in altri settori come quello automobilistico.

Il lavoro svolto ha come obiettivo quello di descrivere preliminarmente questi dispositivi aerodinamici, evidenziando i loro benefici e i gli effetti del loro utilizzo in tutte le applicazioni che verranno presentate.

Equazioni di Navier-Stokes

$$\begin{cases} \vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \\ \rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\vec{\nabla} p' + \mu \nabla^2 \vec{V} \end{cases}$$



Equazioni N-S adimensionali

$$\begin{cases} \vec{\nabla}^* \cdot \vec{V}^* = 0 \\ \frac{D\vec{V}^*}{Dt^*} = -\vec{\nabla}^* p^* + \frac{1}{Re} \nabla^{2*} \vec{V}^* \end{cases}$$

Ipotesi fondamentali di lavoro:

- Fluido incompressibile
- Stazionarietà
- Bidimensionalità

Equazioni dello strato limite

$$\begin{cases} \frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{\partial v'}{\partial y'} = 0 \\ u' \frac{\partial u'}{\partial x'} + v' \frac{\partial u'}{\partial y'} = -\frac{dP'_e}{dx'} + \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2} \\ \frac{\partial P'_e}{\partial y'} = 0 \end{cases}$$



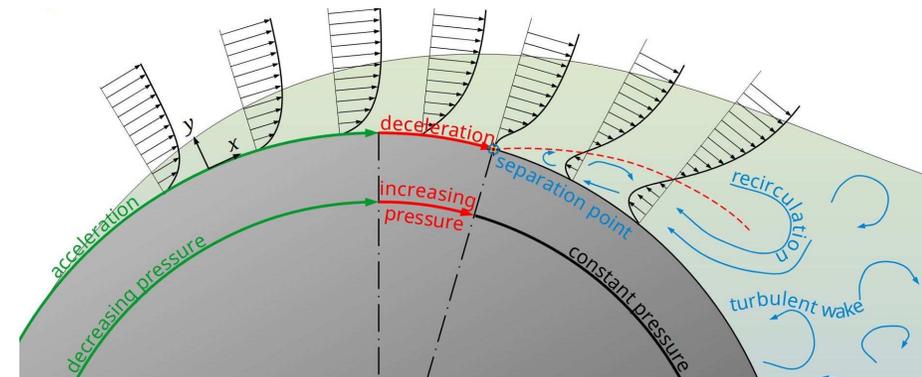
Cos'è lo strato limite? →

Lo strato limite è una regione infinitesima di fluido che si genera in corrispondenza di un oggetto a causa della viscosità del fluido ed è caratterizzato da uno spessore δ .
Richiede due condizioni fondamentali: aderenza e impermeabilità

Come si comporta? →

Partendo dall'analisi dello strato limite in corrispondenza di diversi gradienti di pressione si evidenziano tre possibili comportamenti:

- Gradiente di pressione favorevole
- Gradiente di pressione nullo
- Gradiente di pressione avverso



La situazione peggiore in termini di gradiente di pressione è quella con gradiente avverso.

Si distinguono il **punto di separazione incipiente**, nel quale la velocità del fluido risulta avere tangente verticale rispetto al corpo, oltre ad esso troviamo la **zona di separazione** del flusso.

La separazione è un fenomeno fortemente negativo in quanto aumenta notevolmente il drag di forma di un oggetto. Considerando un profilo aerodinamico generico, la separazione prende il nome di **stallo** e possiamo distinguere due principali effetti sulle proprietà del profilo:

- **Effetti sulla portanza:** il profilo perde le sue capacità di produrre portanza
- **Effetti sulla resistenza:** notevole aumento della resistenza di forma causata dallo sbilanciamento di pressione anteriore/posteriore che rende il profilo un corpo tozzo

La separazione si verifica per un profilo quando raggiunge l'angolo di stallo, oltre il quale il profilo non lavora correttamente. E' chiaro che per poter aumentare l'intervallo di angoli d'attacco bisogna mettere in atto delle strategie di mitigazione della separazione dello strato limite.

Un possibile approccio è fornito dai **generatori di vortici**.

I generatori di vortici sono dispositivi in grado di creare dei vortici, grazie alla loro geometria, per i quali è possibile mescolare zone di flusso a diversa densità di energia e quantità di moto. In particolare si applicano in prossimità dello strato limite, permettendo la rienergizzazione dello stesso.

Il loro utilizzo avviene per due principali motivi:

- Indurre flusso turbolento
- Energizzare ulteriormente flusso già turbolento



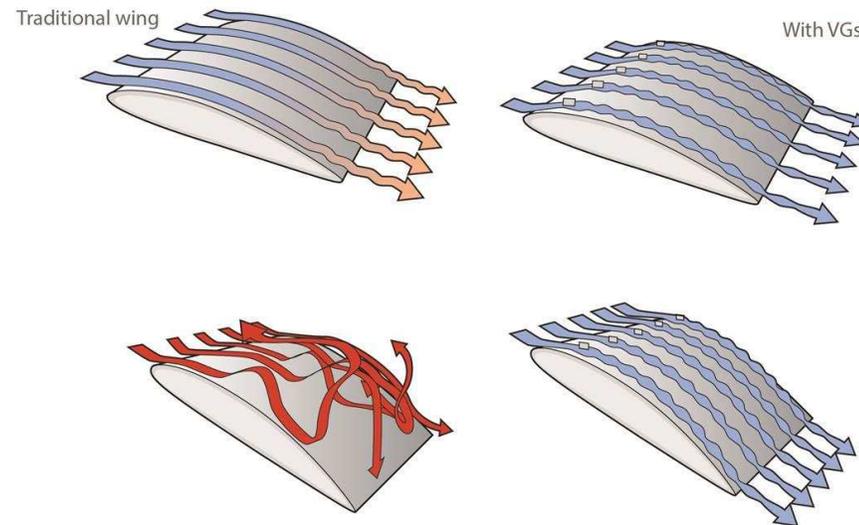
Caratteristiche principali:

- Sono disponibili in varie forme: rettangolare, triangolare, ogivale o parabolico.
- Si sfruttano numerosi parametri per descriverne la geometria, posizione e orientamento col flusso.
- Sono possibili due diverse configurazioni: co-rotante e contro-rotante.
- Il loro utilizzo avviene in tutta la larghezza della superficie in esame, lungo file ordinate.
- Confronto rapido tra VGs e MVGs.

Per le applicazioni nei profili aerodinamici si evidenziano principalmente due effetti:

- Aumento dell'angolo di stallo
- Riduzione della resistenza di forma ad elevati angoli d'attacco
- Riduzione della velocità di stallo

$$L = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_L \quad \longrightarrow \quad V_{stallo} = \sqrt{\frac{2L}{\rho S C_{Lmax}}}$$



- **VELIVOLI**

distinzione in base alla posizione
di applicazione

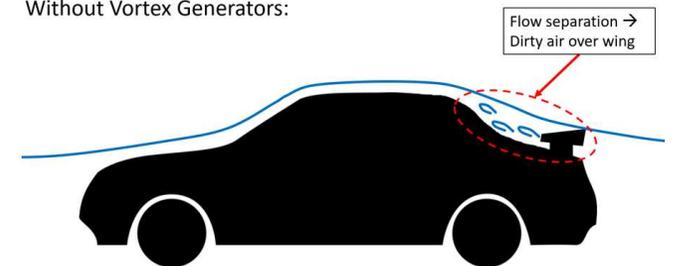


- **AUTOMOBILI**

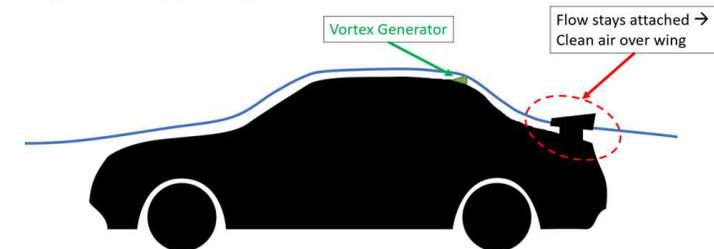
possibile applicazione nelle
vetture della tipologia sedan



Without Vortex Generators:

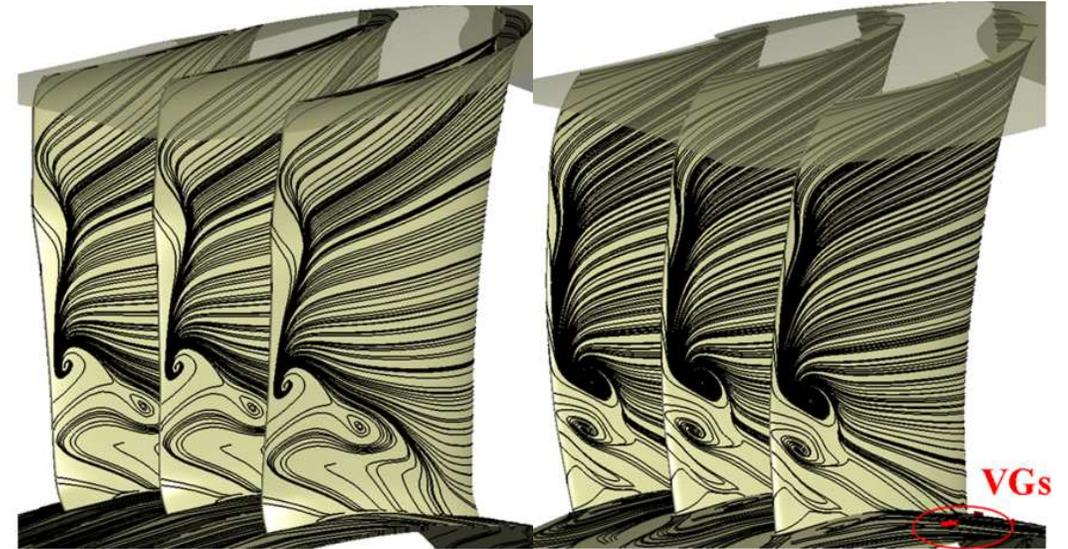


With Vortex Generators:



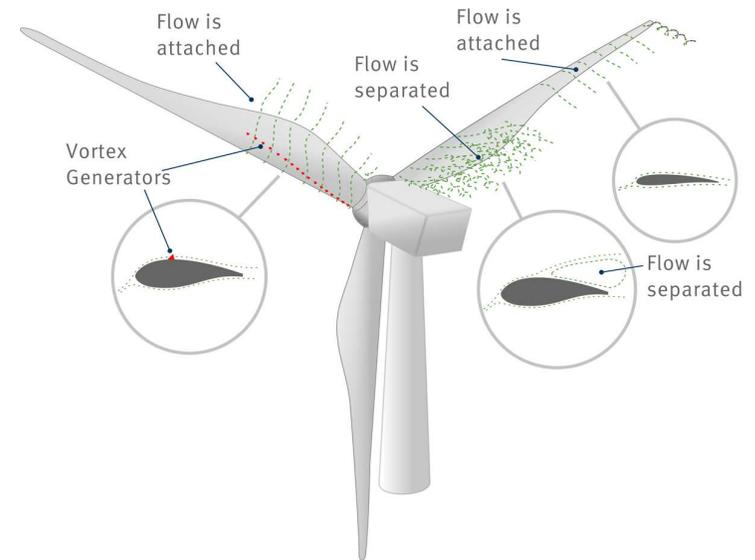
- **COMPRESSORI ASSIALI**

distinzione in base ai punti
di applicazione



- **PALE EOLICHE**

applicazione alla radice delle pale



I benefici negli esempi di applicazione presentati sono i seguenti:

- **Velivoli**  Aumento angolo di stallo, controllo separazione negli ipersostentatori e superfici mobili, riduzione velocità di stallo
- **Automobili**  Riduzione resistenza di forma, miglioramento del flusso incidente nell'alettone posteriore, risparmio di carburante
- **Compressori assiali**  Mitigazione degli effetti negativi dei flussi secondari, miglioramento dell'efficienza del compressore
- **Pale eoliche**  Riduzione della separazione del flusso alla radice delle pale, aumento dell'energia prodotta

Grazie per l'attenzione!