

PROGRAMMA DEL CORSO DI AERODINAMICA DEGLI AEROMOBILI - FACOLTÀ DI INGEGNERIA ANNO ACCADEMICO 2011-2012

LUNEDÌ 26 SETTEMBRE 2011 (h 2)

Importanza dell'ala a freccia nella motivazione dell'esistenza del corso: esigenza del volo a velocità quanto più elevata possibile, il trasporto commerciale veloce, inquadramento negli aspetti di traffico aereo e di produzione industriale su grande scala del velivolo con ala a freccia.

Sul funzionamento dell'ala a freccia: importanza delle conoscenze preliminari dell'Aerodinamica bidimensionale e del funzionamento dell'ala diritta, forma in pianta e allungamento, ala infinita, ala infinita a freccia e critica del concetto di bidimensionalità.

Il velivolo nel moto livellato come punto materiale, portanza e resistenza, equilibrio con peso e spinta.

I modelli di moto non viscoso e viscoso. La lastra piana. Lo strato limite (significato dello spessore di spostamento), principali proprietà fisiche e matematiche, il profilo di velocità. Un velivolo in crociera vola in un campo di strato limite contenuto in un campo Euleriano, validità ed efficacia di un'analisi Eulero-strato limite con interazione mutua. Il moto a potenziale armonico, la soluzione del cilindro retto non portante, cresta e punti di ristagno.

Un modo per descrivere il campo di moto ideale intorno all'ala infinita a freccia: decomposizione dell'atto di moto, flusso efficace e flusso ozioso, distorsioni, il caso del cilindro, generalizzazione al caso del profilo.

Il Database aerodinamico di un velivolo.

Unità di misura del coefficiente di resistenza: il Drag Count.

MARTEDÌ 27 SETTEMBRE 2011 (h 5)

RICHIAMI. Numeri di Mach critici, definizione e significato. Campi di moto transonici, subsonici, supersonici. Il profilo supersonico in campo supersonico: calcolo del numero di Mach critico superiore e campo di moto con la teoria dell'urto-espansione.

Effetti di comprimibilità su portanza, resistenza di attrito e di onda, momento ed efficienza in campo viscoso e non viscoso, altri numeri di Mach caratteristici. L'ala a freccia sposta a velocità più elevate i problemi di comprimibilità legati alla nascita di onde d'urto normali in campo transonico: di norma l'angolo di freccia è imposto dalla comprimibilità.

Il profilo. Cilindro fisso e cilindro rotante, il cilindro visto come un profilo portante. La soluzione generale intorno all'ellisse, effetti di spessore ed angolo di attacco su punto di ristagno e cresta. Influenza della curvatura: angolo di portanza nulla del profilo. Retta di portanza, formula per il gradiente della della di portanza.

MERCOLEDÌ 28 SETTEMBRE 2011 (h 7)

Equazione fondamentale del moto, la velocità minima, coefficiente di portanza massimo. Andamento del carico alare con gli anni.

La forza aerodinamica a partire dal tensore degli sforzi, approssimazioni per la portanza di oggetti affusolati a piccoli angoli di attacco (integrazione della pressione).

Il carico alare: carico puntuale, carico medio, portanza dell'ala come integrazione della distribuzione di carico puntuale sulla forma in pianta, portanza di profilo. Distribuzione di portanza lungo l'apertura, carico adimensionale lungo l'apertura. Condizione di minima resistenza ed interpretazione, vincoli e carico desiderato. Lo svergolamento, carico basico e carico addizionale per l'ala. Carichi di manovra: un'ulteriore decomposizione del carico in parte simmetrica e parte antisimmetrica, gli alettoni.

Vantaggio ed alcuni svantaggi dell'ala a freccia: minori effetti di comprimibilità, aggravio di peso dovuto alla riduzione della portanza e dal conseguente duplice aumento della superficie in pianta, spostamento dei carichi, incremento dei carichi torsionali, perdita della bidimensionalità.

LUNEDÌ 3 OTTOBRE 2011 (h 9)

Modo di valutare l'effetto della deflessione degli alettoni sul carico lungo l'ala, vari tipi di alettone (bassa ed alta velocità), spoiler. Svergolamento geometrico e aerodinamico. Retta di portanza nulla dell'ala. Il problema della determinazione dell'angolo di portanza nulla dell'ala.

Differente interpretazione del carico lungo x tra caso bidimensionale e come risultato di un metodo a strisce. L'ipotesi di Prandtl per l'ala e significato della linea portante.

I prodromi della Teoria di Prandtl: bidimensionalità del flusso longitudinale, la 'scomparsa' dell'ala sostituita dalla linea portante, esigenza della scia vorticoso nella striscia a $z=0$, il legame tra la vorticità libera ed il carico lungo l'apertura. Il modello di Prandtl e le sue equazioni costitutive, la scelta di dimezzare il downwash nel piano di Trefftz ed applicarlo sulla linea portante.

RICHIAMI. Anatomia di un profilo alare. Profili low speed, i profili NACA: considerazioni su profili a 4 e 5 cifre. Il problema dell'interpolazione di una tabella di punti. Costruzione di un profilo assegnato per punti.

MARTEDÌ 4 OTTOBRE 2011 (h 12)

RICHIAMI. La Teoria delle Piccole Perturbazioni per i profili. Il carico di profilo, relazioni tra carico, velocità e vorticità. Angoli di attacco ideale e di portanza nulla.

Considerazioni sulla velocità a parete nel caso non viscoso e nel caso viscoso.

Sul concetto di velocità: moto peculiare, ipotesi del continuo, la velocità di massa, moto laminare, moto turbolento (scambi convettivi ed energizzazione del flusso, il concetto di viscosità turbolenta e suo andamento nello strato limite, il 'sottostrato laminare': gli sforzi a a parete sono sempre di tipo laminare).

La forma del profilo di velocità, i flessi, la pendenza a parete, la separazione del flusso. La resistenza di attrito.

Struttura longitudinale e trasversale dello strato limite su lastra (assenza di gradiente assiale di pressione): compresenza di un tratto laminare e di uno turbolento, la zona di transizione, assenza di separazione. Lo strato limite simile. Struttura di massima dello strato limite su un profilo in crociera subsonica.

Applicazioni numeriche per profili alari in ambito non viscoso mediante impiego del codice XFOIL (ing. PETRONE).

MERCOLEDÌ 5 OTTOBRE 2011 (h 14)

STABILITÀ DELLO STRATO LIMITE LAMINARE. I disturbi contenuti in un campo di moto, possibili cause ed evoluzioni. La turbolenza atmosferica, il Fattore di Turbolenza. Considerazioni sulla stabilità di un flusso laminare a piccoli disturbi che possono essere annichiliti o meno, stabilità neutra ed amplificazione, il flusso transizionale da laminare a turbolento. Profili di velocità stabili ed instabili, cenno al risultato di Raileigh.

La transizione naturale, dipendenza da turbolenza iniziale, rugosità, disturbi imposti, numero di Reynolds, effetto del gradiente di pressione.

Il problema centrale della progettazione aerodinamica subsonica: il controllo della transizione. Innesco della transizione su profili ed ali.

I profili laminari della sesta serie NACA: nomenclatura, proprietà, storia, differenza dai profili delle serie NACA precedenti, la qualità dei profili laminari: la sacca di bassa resistenza.

L'importanza della soluzione non viscosa in campo incomprimibile al fine di prevedere la qualità della soluzione viscosa ed il comportamento in flusso veloce.

Il numero di Mach critico inferiore dei profili e sua dipendenza.

Utilizzo dei profili laminari per campo transonico: corrispondenza dell'intervallo di sacca con un andamento regolare del numero di Mach critico inferiore.

LUNEDÌ 10 OTTOBRE 2011 (h 16)

RIPRESA. Assenza di separazione su lastra isobarica.. Il concetto di strato limite simile (solo il concetto...).

La linea media dei profili della sesta serie NACA. Costruzione del profilo. Esempi di distribuzioni di velocità su profili laminari non al variare dell'angolo di attacco.

Il momento di beccheggio: centro di pressione, fuoco, centro aerodinamico.

La struttura del profilo di velocità come fattore fondamentale per l'occorrenza sia della transizione che della separazione.

Considerazioni sull'andamento trasversale della velocità esterna all'esterno dello strato limite. Effetti di aspirazione e soffiamento.

STRATO LIMITE TRIDIMENSIONALE. Considerazioni preliminari.

MARTEDÌ 11 OTTOBRE 2011 (h 19)

STRATO LIMITE TRIDIMENSIONALE. Regioni di tridimensionalità su un velivolo. Il caso dell'ala infinita a freccia, considerazioni sul flusso all'esterno dello strato limite (curvature delle linee di corrente, equilibrio tra forza centrifuga e gradiente di pressione). Il profilo di velocità principale, genesi del crossflow, significato dell'iperbolicità delle equazioni di

Prandtl nel caso 3D. La transizione da crossflow anche in regioni di espansione. La contaminazione del bordo di attacco delle ali a freccia, difficoltà nella realizzazione di ali a freccia laminari. Un cenno alle separazioni tridimensionali.

Su un velivolo in crociera si ha sempre un moto di strato limite (ad esempio, alla giunzione ala-fusoliera)?

Il cosiddetto Principio del Coseno per l'ala a freccia e sua limitazione. Andamento generale del gradiente della retta di portanza in funzione dell'allungamento e della freccia.

RICHIAMI E COMPLEMENTI DI AERODINAMICA. Singolarità armoniche in Aerodinamica. Singolarità concentrate 2D e 3D, proprietà. Le singolarità distribuite, definizione, trattazione bidimensionale, differenza dalle singolarità concentrate, prime proprietà. Costruzione del campo di moto indotto da una distribuzione uniforme di sorgenti su un supporto rettilineo, ortogonalità del campo di vorticità. Descrizione di un campo di doppiette, illustrazione del principio di equivalenza tra due vortici concentrati ed una distribuzione uniforme di doppiette.

Il trattamento di geometrie tridimensionali, anche di forma variabile.

Distribuzioni di singolarità per la simulazione dei diversi effetti (sorgenti per spessore, vorticità/doppiette per curvatura ed angolo di attacco). Considerazioni sulla modellazione della scia dietro le ali mediante distribuzioni di vortici o di doppiette. Singolarità supersoniche,

MERCOLEDÌ 13 OTTOBRE 2011 (h 21)

Il principio di equivalenza tra vortici e doppiette in campo 2D.

Una descrizione dei diversi modelli di moto non viscoso a partire dalle equazioni di Navier-Stokes. L'equazione di Prandtl-Glauert, applicazione in campo supersonico: le singolarità supersoniche.

LUNEDÌ 17 OTTOBRE 2011 (h 23)

Caratteristiche aerodinamiche dei profili in campo non viscoso incomprimibile: coefficiente di portanza e di momento per profili sottili e non sottili, il centro di pressione, il fuoco, il centro aerodinamico, effetto della linea media: angolo di portanza nulla ed angolo di attacco ideale. Il caso del profilo in campo supersonico: inversione dell'effetto della curvatura sull'angolo di portanza nulla, spostamento del centro aerodinamico, effetto sulla condotta di un velivolo nel passaggio da regime subsonico a regime supersonico.

BOLLE. Separazioni laminari e turbolente, le bolle laminari: struttura.

PROFILO ALARE. Strato limite su profili alari. Interconnessione tra transizione e separazione.

Separazioni laminari, riattacco del flusso per effetto Coanda, bolle. Struttura ed evoluzione delle bolle laminari al variare dell'angolo d'attacco e del numero di Reynolds della corrente asintotica, influenza degli sforzi a parete, esplosione delle bolle. Andamento del coefficiente di pressione sul dorso di un profilo laminare in corrispondenza di una bolla.

Interconnessione tra transizione e separazione laminare.

Lo stallo dei profili, tipi e qualità di stallo di riferimento (convenzionale, da esplosione di bolla, da bolla lunga, combinato). Effetto del numero di Reynolds della corrente asintotica sulle caratteristiche di stallo di un profilo in funzione della geometria secondo il criterio di Thain e Gault. Una regola mnemonica per l'alta portanza (picco, angolo d'attacco e C_l o C_L massimo).

Integrazione della pressione in direzione assiale: la resistenza di pressione.

Influenza dello spessore del profilo sul coefficiente angolare della retta di portanza e sul C_l massimo.

Turbolatori.

Il soffiamento indotto dallo strato limite.

PROFILI ALARI ALLE BASSE VELOCITÀ. Il concetto di profilo equivalente, inspessito oppure soffiato. Effetto dell'angolo di attacco e del numero di Reynolds. Evoluzione della distribuzione di pressione al crescere dell'angolo d'attacco: differenza tra caso Euleriano e caso reale in alta portanza (in presenza di flusso separato), motivazione in termini di Profilo Equivalente. La struttura della resistenza: attrito e pressione (anche in flusso attaccato!), resistenza di scia (il caso del corpo tozzo). Le polari dei profili.

MARTEDÌ 18 OTTOBRE 2011 (h 26)

Il concetto di carico nel caso di flusso bidimensionale o non bidimensionale lungo l'apertura: diverso significato del coefficiente di portanza tra i due casi, il significato della distribuzione del coefficiente di portanza lungo l'apertura come indicatore della qualità del funzionamento aerodinamico della sezione. Individuazione dei parametri che caratterizzano il carico: forma in pianta, allungamento. Differenti caratteristiche delle diverse forme in pianta. La soluzione dell'ala ellittica.

Qualità del carico: resistenza indotta, stallo d'estremità, aspetti strutturali e di costo. Il metodo approssimato di Schrenk per il carico addizionale, proprietà di attrattore dell'ala ellittica. Introduzione dello svergolamento, il carico basico, schema vorticoso dietro l'ala svergolata nella condizione di portanza nulla, il problema dell'individuazione della retta di portanza nulla dell'ala.

MERCOLEDÌ 19 OTTOBRE 2011 (h 28)

Il crossflow sull'ala diritta. La Teoria di Prandtl per l'ala. Risolve l'equazione di Laplace in modo implicito, Prodromi, il flusso di tipo bidimensionale lungo l'apertura (ipotesi di Prandtl) ed imposizione implicita della condizione di flusso tangenziale, vorticità aderente e 'scomparsa' dell'ala, vorticità libera, downwash e piano di Trefftz, relazione tra vorticità libera e vorticità aderente, i risultati (ala ellittica, il fattore di Oswald). Il metodo di Schrenk.

LUNEDÌ 24 OTTOBRE 2011 (h 30)

Teoria Globale.

Effetto del numero di Reynolds sulla sacca laminare: resistenza minima ed estensione della sacca. Il fattore di amplificazione dei disturbi, modo teorico di prevedere la transizione: il metodo e-to-n. Dipendenza dello stallo dei profili dai numeri di Reynolds e Mach, criteri ingegneristici di stallo. Modo di stallare di un'ala, il sentiero di stallo.

MARTEDÌ 25 OTTOBRE 2011 (h 33)

Visita agli Istituti Scientifici dell'Accademia Aeronautica di Pozzuoli.

MERCOLEDÌ 26 OTTOBRE 2011 (h 35)

Lo stallo di estremità. Interventi a progetto e fuori progetto per la desiderata qualità di stallo.

Modello di funzionamento dell'ala a freccia, schema vorticoso e spostamento dei carichi: l'estensione di Weissenger del modello di Prandtl ad ala a freccia: comparsa della parte libera del vortice aderente, induzione differenziata tra mezzeria ed estremità, spostamento dei carichi in dipendenza dal segno della freccia.

MERCOLEDÌ 2 NOVEMBRE 2011 (h 37)

Comprimibilità lineare e non lineare in ambito non viscoso. Dal moto iposonico al moto transonico, corretta assunzione dell'equazione di stato nel caso incomprimibile, incremento degli scorrimenti a causa della comprimibilità ed esaltazione delle variazioni del numero di Mach. Formazione regioni supersoniche confinate che terminano con l'onda d'urto normale. Il Principio di Indipendenza dal numero di Mach in condizioni soniche.

LUNEDÌ 7 NOVEMBRE 2011 (h 39)

Comportamento dei profili alari in alta velocità: profili convenzionali, profili shockless.

L'importanza degli effetti di comprimibilità sullo strato limite in condizioni transoniche ed ipersoniche. L'interazione tra onda d'urto e strato limite con possibile formazione della struttura a lambda.

MARTEDÌ 8 NOVEMBRE 2011 (h 42)

Effetti dell'interazione tra onda d'urto e strato limite. Il controllo degli effetti dell'urto: cavità passiva o attiva, bump.

Discretizzazione di operatori differenziali al secondo ordine per la soluzione numerica di equazioni differenziali di interesse in fluidodinamica.

Aerodinamica Numerica: generazione di griglie di calcolo intorno a profili alari.

MERCOLEDÌ 9 NOVEMBRE 2011 (h 44)

Criteri di buffet.

Ipersostentazione. Un cenno alle forze di suzione sul bordo di attacco.

LUNEDÌ 14 NOVEMBRE 2011 (h 46)

MARTEDÌ 15 NOVEMBRE 2011 (h 49)

MERCOLEDÌ 16 NOVEMBRE 2011 (h 51)

Aerodinamica Numerica: impostazione di un calcolo Euleriano per il campo di moto intorno ad un profilo.

LUNEDÌ 21 NOVEMBRE 2011 (h 53)

Ala a delta.

MERCOLEDÌ 23 NOVEMBRE 2011 (h 55)

Metodi di strato limite. Derivazione dell'equazione di Von Karman e grandezze integrali dello strato limite. Problema diretto e problema inverso.

LUNEDÌ 28 NOVEMBRE 2011 (h 57)

Significato delle grandezze integrali dello strato limite. Il metodo di Thwaites per lo strato limite laminare come esecutivo della necessità di complementare l'equazione di Von Karman per la soluzione di uno strato limite, significato dei parametri e delle correlazioni di Thwaites.

I metodi di transizione.

Il concetto di trascinarsi della massa dalla corrente esterna allo strato limite per lo sviluppo di correlazioni integrali in flusso turbolento.

MARTEDÌ 29 NOVEMBRE 2011 (h 61)

METODI A PANNELLI.

Il metodo delle singolarità per la soluzione dell'equazione di Laplace, risoluzione in modo implicito mediante imposizione delle condizioni al contorno.

Metodi in campo bidimensionale. Metodi integrali di soluzione dell'equazione del potenziale di velocità in campo lineare (flussi incomprimibili e fino al numero di Mach critico inferiore, flussi supersonici linearizzati).

Il metodo a sorgenti per il campo non portante: metodo Douglas-Neumann. Campi a 0° e 90° .

MERCOLEDÌ 30 NOVEMBRE 2011 (h 63)

Indice di condizionamento di una matrice. Esempio di una matrice di induzione di vorticità.

Il campo di pura circolazione nel metodo Douglas-Neumann.

Soluzione del problema del flusso portante mediante sovrapposizione dei campi di base ed imposizione della condizione di regolarità vicino al bordo di uscita.

Le conseguenze della Prima Identità di Green.

LUNEDÌ 5 DICEMBRE 2011 (h 65)

Considerazioni sulla Terza Identità di Green.

Metodi a pannelli basati sulla Terza Identità di Green.

Altri metodi a pannelli.

MARTEDÌ 6 DICEMBRE 2011 (h 69)

Considerazioni generali sui metodi a pannelli.

Metodi per il calcolo del campo viscoso intorno a profili alari mediante interazione tra soluzione Euleriana e strato limite.

MERCOLEDÌ 7 DICEMBRE 2011 (h 71)

Aerodinamica Numerica: impostazione di un calcolo laminare per il campo di moto intorno ad un profilo.

LUNEDÌ 12 DICEMBRE 2011 (h 73)

LE ELICHE. Accenni alle differenti prestazioni dei velivoli ad elica e a getto. Definizione, convenzioni e nomenclatura: passo geometrico, l'elemento di pala. E' pensabile un'elica per il volo transonico o supersonico? Funzionamento: accelerazione del fluido e forza di reazione, analogie con il modello di ala. Introduzione alla Teoria impulsiva di Rankine e Froude, l'induzione assiale, analogie con la Teoria Globale. Stato dell'arte dell'impiego della CFD in campo elicistico.

Elica motrice ed elica mossa. Il rendimento. Elemento di pala (rappresentativo), profili per eliche convenzionali, calettamento e passo geometrico, modellistica semplice del triangolo delle velocità, azione aerodinamica sull'elemento e schema della genesi di spinta e coppia, esigenza del passo variabile lungo la pala. Parametri funzionali e coefficienti caratteristici, formule di Renard. L'elemento di pala, il calettamento, funzionamento in analogia con il profilo alare, le limitazioni della modellistica e riferimento a basi di dati bidimensionali, analogie con la Teoria di Prandtl, variazione dell'angolo di attacco e delle caratteristiche con la velocità di avanzamento, il rapporto di funzionamento, stadi di funzionamento, comportamento dell'elemento di pala nei diversi stadi di funzionamento, andamento dei coefficienti caratteristici di un'elica a passo fisso.

MARTEDÌ 13 DICEMBRE 2011 (h 77)

Eliche lente ed eliche veloci. Cenni sui modelli più accurati e relativi rendimenti parziali: perdite rotazionali e viscosi, l'effetto del mozzo. Il passo variabile in volo, curve caratteristiche. Aspetti funzionali sul velivolo: asimmetrie ed influenza sulle polari, P-factor, effetti giroscopici, effetti su fusoliera e piano verticale.

MERCOLEDÌ 14 DICEMBRE 2011 (h 79)

PRESE D'ARIA. Parametri fondamentali. Area di cattura. Dipendenza delle prestazioni della presa dalla manetta e dalla velocità del velivolo, importanza delle prestazioni fuori delle condizioni di progetto. Importanza sul funzionamento della velocità di volo e della portata richiesta, lo spillamento, condizione di progetto con spillamento per la regolazione. Un cenno alle caratteristiche delle prese d'aria subsoniche. Prese d'aria supersoniche: efficienza, importanza dell'urto normale e della sua locazione sulle prestazioni. Presa a Pitot. Il concetto di strozzamento. Un cenno all'avviamento di una presa d'aria convergente-divergente. Prese d'aria a compressione mista, dipendenza delle prestazioni dal numero di urti, non univocità della soluzione progettuale e criteri di ottimizzazione. Prese d'aria a spina centrale: condizioni di off-design, il buzzing.