

PROGRAMMA DEL CORSO DI AERODINAMICA DEGLI AEROMOBILI - FACOLTÀ DI INGEGNERIA ANNO ACCADEMICO 2010-2011

LUNEDI' 18 OTTOBRE 2010 (h 2)

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

Citazione delle equazioni di Navier-Stokes, di Prandtl per lo strato limite, di Eulero, di Laplace, di Burgers: Un velivolo in crociera vola in un campo di strato limite contenuto in un campo Euleriano. Principali proprietà fisiche e matematiche dello strato limite, il profilo di velocità, legge di Newton per lo sforzo viscoso a parete. Il velivolo come punto materiale, portanza e resistenza, equilibrio con peso e spinta. Decomposizione della resistenza in una parte non viscosa (indotta e d'onda) ed una parte viscosa (interferenza + altro). Forma in pianta, allungamento, il concetto di ala infinita, o profilo alare. Ipotesi fondamentale della Teoria di Prandtl per l'ala collegata con l'allungamento.

MARTEDI' 20 OTTOBRE 2010 (h 4)

Unità di misura della resistenza.

Anatomia di un profilo alare. Profili NACA, sacca di bassa resistenza dei profili laminari. Costruzione di un profilo assegnato per punti. Campo di moto intorno a un profilo ellittico, casi particolari. Punti di ristagno, la cresta.

Il crossflow sull'ala diritta. Moto ideale intorno ad un'ala infinita a freccia: applicazione al caso del profilo a forma di cilindro circolare.

VENERDI' 22 OTTOBRE 2010 (h 7)

Distorsioni del campo di moto intorno all'ala a freccia. Caso del profilo NACA.

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.

Struttura dello strato limite su lastra piana. Il concetto di velocità di un fluido, moti laminari, turbolenti, transizionali. Profili di velocità. Introduzione del concetto di turbolenza. Cenno alle equazioni di Reynolds.

Struttura dello strato limite sul profilo messo a freccia: profili di velocità trasversale nella regione di espansione.

LUNEDI' 25 OTTOBRE 2010 (h 9)

STRATO LIMITE TRIDIMENSIONALE. Regioni di tridimensionalità su un velivolo. E' sempre un moto di strato limite, ad esempio alla giunzione ala-fusoliera? Discussione sul tipo di flusso -2D o 3D- lungo il profilo, main flow e genesi del crossflow, significato dell'iperbolicità delle equazioni, transizione da crossflow anche in regioni di espansione, contaminazione del bordo di attacco delle ali a freccia, difficoltà nella realizzazione di ali a freccia laminari. Un cenno alle separazioni tridimensionali.

Disturbi contenuti in una corrente. La transizione. Qualità dei profili laminari.

Curve polari.

MARTEDI' 26 OTTOBRE 2010 (h 11)

I diversi tipi di carico. L'equazione fondamentale del volo: il carico medio. Il carico puntuale. Il carico di profilo: relazione tra carico, scorrimenti, vorticità nell'ipotesi di piccole perturbazioni.

VENERDI' 29 OTTOBRE 2010 (h 14)

Portanza dell'ala come integrazione della distribuzione carico puntuale sulla forma in pianta o della distribuzione di portanza lungo l'apertura. Il carico lungo l'apertura. Integrazione della pressione in direzione assiale, il concetto di Strip Theory, il caso del flusso di tipo bidimensionale lungo l'apertura (ipotesi di Prandtl).

MARTEDI' 2 NOVEMBRE (h 16)

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, il problema della retta di portanza nulla dell'ala.

Ala a freccia (di norma l'angolo di freccia è imposto dalla comprimibilità): deficit di portanza, spostamento dei carichi, necessità di maggiore superficie, incremento del peso. Il cosiddetto Principio del Coseno e sua limitazione, andamento generale del gradiente della retta di portanza in funzione dell'allungamento e della freccia.

LUNEDI' 8 NOVEMBRE 2010 (h 18)

Applicazione della Strip Theory per la determinazione del campo di pressioni su un'ala in assegnate condizioni di volo. Teoria Globale (tubo e tubetti di flusso). Applicazione numerica. Comandi di volo, ipersostentazione. Le separazioni laminari e turbolente. Interconnessione tra transizione e separazione.

MARTEDI' 9 NOVEMBRE 2010 (h 20)

Strato limite turbolento, scambi convettivi ed energizzazione del flusso. Il concetto di viscosità turbolenta, andamento nello strato limite, il 'sottostrato laminare', gli sforzi a parete sono sempre di tipo laminare. La forma del profilo di velocità, i flessi, la pendenza a parete, la separazione del flusso. Considerazioni sulla stabilità di un flusso laminare a piccoli disturbi che possono essere annichiliti o amplificati fino alla transizione; innesco della transizione sui profili. Il metodo 'e-to-n'. Lo stallo dei profili: tipi di stallo, 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.

VENERDI' 12 NOVEMBRE 2010 (h 23)

Influenza dello spessore del profilo sul coefficiente angolare della retta di portanza e sul C_l massimo. 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 e stallo brusco. Andamento del coefficiente di pressione sul dorso di un profilo laminare in corrispondenza di una bolla. Turbolatori. Stabilità laminare e produzione di turbolenza in uno strato limite laminare. Effetti di tridimensionalità sulle ali. Influenza dell'allungamento alare sul gradiente della retta di portanza dell'ala. Lo stallo dell'ala, incidenza di stallo, il sentiero di stallo, stallo convenzionale dell'ala.

LUNEDI' 15 NOVEMBRE 2010 (h 25)

Un metodo per la determinazione in sicurezza dell'angolo convenzionale di stallo e del sentiero di stallo: analisi dei limiti del metodo e della sottostima. Ma l'ala è sempre 'clean'? Carico sull'ala flappata e stallo relativo. Introduzione ai carichi di manovra. Un'ulteriore decomposizione del carico in parte simmetrica e parte antisimmetrica, modo di valutare l'effetto della deflessione degli alettoni sul carico lungo l'ala, vari tipi di alettone (bassa ed alta velocità), spoiler. Lo stallo non simmetrico (stallo in virata): esigenza di un database con alettone deflesso. Stabilità dell'ala e del velivolo: impennaggi ed altri elementi architettureali. Stabilità intorno all'asse y. Il coefficiente di momento di profilo, invarianza teorica rispetto al centro aerodinamico. Il velivolo parziale: stabilizzazione alla raffica verticale mediante il piano orizzontale di coda, introduzione di un'ulteriore aliquota di resistenza indotta. Considerazioni sul trimmaggio del velivolo.

MARTEDI' 16 NOVEMBRE 2010 (h 27)

Stabilità del velivolo, esempio della turbolenza in volo e delle raffiche destabilizzanti, margini di stabilità e manovrabilità, velivoli intrinsecamente instabili. Stabilità intorno all'asse di beccheggio, considerazioni sul flusso che investe il piano orizzontale di coda e sul suo dimensionamento. Considerazione sull'ala anteriore del velivolo P180 (introduzione del prestallo per alleviare lo stallo dell'ala). Stabilità latero direzionale: piano di coda verticale, influenza della freccia, effetto del diedro. Considerazioni complessive sulla freccia, l'ala di Jones. Il concetto di profilo equivalente, il soffiamento indotto dallo strato limite. Interazione viscoso/non viscoso per le correzioni viscosi: esigenza di una procedura iterativa, uso del concetto di traspirazione per l'accoppiamento tra campo esterno e strato limite. Modifica della retta di portanza reale e previsione della parte non lineare della curva di portanza. Il metodo di sovrapposizione diretta per una prima stima in condizioni di crociera.

GIOVEDI' 18 NOVEMBRE 2010 (h 29)

Applicazioni numeriche per flussi Euleriani.

VENERDI' 19 NOVEMBRE 2010 (h 32)

Una procedura di accoppiamento basata sulla traspirazione. Soluzione non viscosa e soluzione reale: la resistenza di pressione.

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.

L'estensione ad ala a freccia – modello di Weissenger: il vortice aderente e necessità della sua collocazione, comparsa della parte libera del vortice aderente, induzione differenziata tra mezzeria ed estremità, spostamento dei carichi in dipendenza dal segno della freccia.

Ala a delta alle basse velocità. Il vortice ed i suoi effetti, caratteristiche di stallo.

LUNEDI' 22 NOVEMBRE 2010 (h 34)

I diversi modelli di moto per il moto comprimibile ed i relativi campi di applicazione: il modello linearizzato di Prandtl-Glauert e la relativa similitudine, altre leggi di similitudine, i diversi modelli a potenziale non lineare per la previsione delle onde d'urto, le equazioni di Eulero.

Descrizione generale degli effetti della comprimibilità, andamento dei coefficienti di portanza, momento e resistenza di attrito (2- e 3-D).

Numero di Mach critico inferiore, la resistenza d'onda. Il caso dei profili laminari: il loro utilizzo in campo transonico.

Effetti della comprimibilità in campo viscoso: introduzione al buffet e allo stallo d'urto.

MARTEDI' 23 NOVEMBRE 2010 (h 36)

Comprimibilità lineare subsonica. Modellazione del flusso subsonico in similitudine a partire dal potenziale linearizzato, ipotesi di base e campo di validità del modello, similitudine di Prandtl e Glauert, andamento dei coefficienti aerodinamici, esaltazione degli effetti dovuta alla comprimibilità sulle forze di pressione (esempio del cilindro), motivazioni fisiche a partire dalle equazioni di stato, differenza con il modello incomprimibile. Influenza della temperatura sul profilo di velocità nella strato limite per spiegare la riduzione degli effetti di attrito a parete con la comprimibilità. Coefficiente di resistenza indotta. Coefficiente di pressione sul profilo.

Numeri di Mach caratteristici del campo transonico, assetti possibili per il volo.

Il campo transonico attorno ad un profilo, evoluzione fino ad campo supersonico (se realizzabile): coefficiente di pressione e onde d'urto, numero di Mach di divergenza della resistenza, superamento della cosiddetta barriera del suono ed onda d'urto staccata, il Principio di Indipendenza. Geometria dei profili per il volo transonico, divergenza del numero di Mach critico superiore per geometrie a bordo arrotondato. Profili per il volo supersonico.

Effetti viscosi alle alte velocità: l'interazione tra onda d'urto e strato limite, la formazione della struttura dell'urto a λ .

GIOVEDI' 25 NOVEMBRE 2010 (h 38)

Applicazioni numeriche per flussi Euleriani.

VENERDI' 26 NOVEMBRE 2010 (h 41)

Effetti della comprimibilità: conseguenze dell'interazione tra onda d'urto e strato limite. Inspessimento dello strato limite e considerazioni sulla resistenza d'attrito e sulla resistenza d'onda. Stallo d'urto.

Genesi dell'onda d'urto su un profilo.

Il buffet.

Considerazioni sull'utilizzo di metodi numerici per lo studio di fenomeni instazionari.

Posizione dell'urto staccato. *Stand off distance*.

Determinazione del numero di Mach critico inferiore di un profilo.

Regola delle aree.

Dispositivi per l'abbassamento della resistenza d'onda mediante controllo dell'interazione fra strato limite ed urto normale mediante formazione guidata dell'urto a λ .

Accenni alle differenti prestazioni dei velivoli ad elica e a getto. Profili supercritici. Profili *Shockless*.

Regola pratica per la chiusura dei profili alari a bordo d'uscita spesso.

LUNEDI' 29 NOVEMBRE 2010 (h 43)

Impiego della freccia per innalzare i numeri di Mach critici. Impossibilità del principio di sovrapposizione in campo non lineare.

Ipersostentazione: la velocità minima come qualità di volo e parametro fondamentale di certificazione.

GIOVEDI' 2 DICEMBRE 2010 (h 45)

Applicazioni numeriche per flussi Euleriani.

VENERDI' 3 DICEMBRE 2010 (h 48)

Ipersostentazione. Campo di moto attorno ad un profilo flappato. Diversi tipi di ipersostentatori e loro funzionamento, differenze in termini di massima portanza, resistenza, peso, complicazioni meccaniche. Parametri di progetto: gap ed overlap, angolo di deflessione, cenni sull'ottimizzazione: metodi teorici, prove di gallerie, riporto al volo). Dispositivi pneumatici (soffiamento ed aspirazione): controllo dello strato limite (soffiamento negli slot e relativi profili di velocità), Jet-Flap. Angolo di slant di un oggetto affusolato, fenomeni di scia e resistenza di pressione. Angolo di rampa della fusoliera. Il flap di Gurney: cenno all'impiego in campo automobilistico, utilizzo per volare a velocità più bassa senza compromettere la resistenza della fusoliera. Un cenno all'effetto suolo.

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, la resistenza additiva, 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.

LUNEDI' 6 DICEMBRE 2010 (h 50)

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.

MARTEDI' 7 DICEMBRE 2010 (h 52)

PRESE D'ARIA. Prese d'aria a spina centrale: condizioni di off-design, il buzzing.

ELICHE. Definizione, convenzioni e nomenclatura: passo geometrico, l'elemento di pala. E' pensabile un'elica per volo transonico o supersonico?

GIOVEDI' 9 DICEMBRE 2010 (h 54)

Applicazioni numeriche in campo comprimibile, lineare e per flussi Euleriani.

VENERDI' 10 DICEMBRE 2010 (h 57)

ELICHE. Funzionamento: accelerazione del fluido e forza di reazione, analogie con il modello di ala. Introduzione alla Teoria impulsiva di Rankine e Froude, analogie con la Teoria Globale, l'induzione assiale. 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. 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.

LUNEDI' 13 DICEMBRE 2010 (h 59)

ELICHE. Il passo variabile in volo, curve caratteristiche. Trascurabilità delle induzioni circonferenziali e laterali. Un cenno al carico ottimo sulla pala: deve essere costante la funzione $a(r)$. Teoria del Disco Attuatore. Come inserire il rapporto di funzionamento nella Teoria del Disco Attuatore? Aspetti funzionali sul velivolo: asimmetrie ed influenza sulle polari, P-factor, effetti giroscopici, effetti su fusoliera e piano verticale. La solidità, generalizzazione a casi non aeronautici. Eliche avanzate per il campo transonico e per alta quota.

Un cenno alla formazione di ghiaccio sui velivoli: importanza del fenomeno per gli aspetti operativi del volo, per la progettazione e la certificazione.

MARTEDI' 14 DICEMBRE 2010 (h 61)

Applicazioni numeriche in campo comprimibile supersonico. Applicazioni numeriche in campo viscoso laminare.

GIOVEDI' 16 DICEMBRE 2010 (h 63)

Applicazioni numeriche in campo viscoso laminare e turbolento.

VENEDI' 17 DICEMBRE 2010 (h 66)

METODI PER CAMPI VISCOSI. Analisi delle soluzioni numeriche delle equazioni di Navier-Stokes in prossimità di una superficie: lo strato limite esiste, ma non viene esplicitamente individuato. Lo strato limite. Il profilo di velocità: grandezze integrali, primo fattore di forma del profilo di velocità: valori caratteristici e sua interpretazione come indicatore dello stato dello strato limite. Andamento delle grandezze integrali intorno ad un profilo alare.

METODI PER CAMPI NON VISCOSI. Necessità di solutori numerici per campi transonici, semplificazione del problema del calcolo del campo di moto in ambito lineare (equazioni di Laplace e di Prandtl-Glauert). Richiami sulle singolarità armoniche in Aerodinamica, le singolarità distribuite e loro prime proprietà.

LUNEDI' 20 DICEMBRE 2010 (h 68)

METODI PER CAMPI NON VISCOSI. Altre proprietà delle singolarità distribuite, equivalenza tra distribuzioni di vortici e di doppiette.

Metodi a pannelli. Richiamo del problema di Neumann per l'equazione di Laplace.

MARTEDI' 21 DICEMBRE 2010 (h 70)

METODI PER CAMPI NON VISCOSI. Considerazioni sulla Prima Identità di Green. La formulazione alle singolarità arbitrarie della condizione al contorno, l'equazione generale di Fredholm. Considerazioni sulla Terza Identità di Green ristretta a funzioni armoniche, anche in riferimento al potenziale di perturbazione: relazione tra la l'intensità della distribuzione di sorgenti e la condizione al contorno in un problema di Neumann, coincidenza tra intensità della distribuzione di doppiette e valore del potenziale sul corpo, l'intensità della vorticità superficiale coincide con il valore della velocità tangenziale, riduzione del problema di Neumann ad problema interno (sul potenziale oppure di Dirichlet).

LUNEDI' 10 GENNAIO 2010 (h 72)

METODI A PANNELLI. Induzione di una distribuzione di sorgente (o vortice o doppietta) rispetto ad una giacitura.

Coefficienti di influenza, matrici di influenza. Impostazione del problema e formulazione della condizione al contorno per il metodo Douglas-Neumann in campo non portante. Calcolo di forze e momenti, calcolo della velocità nel campo, linee di corrente. Diverse modalità del calcolo del coefficiente di portanza.

Descrizione del codice per il metodo di Multhopp relativo alla determinazione del carico alare secondo la Teoria di Prandtl per le ali finite.

MARTEDI' 11 GENNAIO 2010 (h 74)

Seminario del Gen. B.A. Guido DI CRESCE (Accademia Aeronautica): "Storia ed evoluzione delle prese d'aria dei velivoli militari". Il Seminario è a completamento dell'argomento 'Prese d'aria'.

VENERDI' 14 GENNAIO 2010 (h 77)

Metodo Douglas-Neumann in campo bidimensionale. Formulazione a due campi di base, sistema risolutivo e soluzione del campo in termini di di velocità e pressione. Un campo non portante particolare: il campo di pura circolazione, il caso del vortice concentrato ed indipendenza dal punto di applicazione, vorticità distribuita, circolazione di base, sistema risolutivo e soluzione del campo. Il campo portante come combinazione di campo non portante e campo di pura circolazione, univocità determinata dalla condizione di regolarità al bordo di uscita. Qualità delle matrici di sorgenti in relazione alla forma del corpo, indice di condizionamento. Inconvenienti della soluzione per profili sottili e carichi determinati dalla struttura del carico (effetto doppietta per le sorgenti per riequilibrare il carico di vorticità uniforme, errori numerici connessi con il crescere dell'intensità delle sorgenti). Struttura delle matrici per profili a più componenti.

Discretizzazione a pannelli di una geometria, ordini delle distribuzioni di singolarità e della descrizione della geometria. Il problema della scelta del tipo di singolarità.

Un cenno agli altri metodi a pannelli. Formulazione del problema di Neumann in termini di vorticità: distribuzioni lineari e chiusura del problema del campo portante, congruità tra condizioni imposte ed incognite introdotte, aspetti numerici. Metodi di Oeller, Woodward, Maskew. Impostazione del problema e formulazione della condizione al contorno in generale e secondo l'Identità di Green. Metodi basati sulla Terza Identità di Green.

METODI A PANNELLI PER IL CAMPO 3D. Utilizzo delle doppiette, condizioni di chiusura, aspetti relativi alla scia e necessità di procedure iterative, determinazione della resistenza indotta. Metodi a pannelli unificati per subsonico e supersonico.

LUNEDI' 17 GENNAIO 2010 (h 79)

METODI DI STRATO LIMITE. Richiamo e considerazioni sulle equazioni di Prandtl e relative condizioni al contorno nel caso bidimensionale incomprimibile stazionario, il dominio di validità, incognite e modalità di soluzione. Esistenza della singolarità di Goldstein alla separazione. Derivazione dell'equazione integrale di Von Karman: identificazione delle grandezze integrali di strato limite, indipendenza dal regime (come per le equazioni di Prandtl), esistenza di un'analogia equazione per flussi tridimensionali comprimibili e per flussi instazionari.

MARTEDI' 18 GENNAIO 2010 (h 81)

METODI DI STRATO LIMITE. Problema diretto, problema inverso, problema ibrido, necessità delle chiusure, significato degli spessori di spostamento e di quantità di moto e del fattore di forma H , legame tra resistenza di una lastra piana e spessore di quantità di moto, determinazione della resistenza (metodo indiretto) mediante la formula di Squire-Young. Strato limite laminare: il metodo diretto di Thwaites, parametri di Thwaites, andamento delle correlazioni di chiusura, la soluzione, casi particolari (punto di ristagno e lastra piana), stima del punto di separazione laminare.

VENERDI' 21 GENNAIO 2010 (h 84)

METODI DI STRATO LIMITE. Un cenno ai metodi per la determinazione della transizione: metodo e-to-n, le correlazioni di Michel e di Smith, previsione ingegneristica della transizione.

Un cenno all'impostazione della soluzione per strati limite turbolenti: il trascinamento turbolento.

Calcolo dello strato limite su linea di corrente fino alla separazione.

Interazione tra flusso esterno e strato limite per le correzioni viscosi su ali e profili: uso dei metodi inversi di soluzione delle equazioni dello strato limite per eliminare la singolarità di Goldstein alla separazione. Previsione delle caratteristiche aerodinamiche con metodi di interazione viscoso/non viscoso, strategie di accoppiamento iterativo debole e forte tra flusso esterno e strato limite, superamento del concetto di inspessimento e dei relativi inconvenienti di applicazione, soffiamento indotto dallo strato limite, il metodo della traspirazione, applicazione al caso di impiego della tecnica dei pannelli, modifica della condizione di Neumann per l'equazione di Laplace e relativa modifica del termine noto.

La previsione di flussi separati: bolle laminari e loro dinamica, alta portanza con estensione al post-stallo mediante applicazione del SW Xfoil.