

Parliamo di Profili, per i piu' e meno esperti

Mario Marzocchi, mariomarzocchi@inwind.it, <http://spazioinwind.libero.it/voloindipendio>

Vi voglio riproporre gli interessantissimi articoli "Parliamo di profili, per i piu' e meno esperti" scritti da Mario Marzocchi sull'argomento profili alari, e pubblicati sulla rivista Modellistica Int tra Giugno del 2002 e Maggio del 2003. Abbiamo ripubblicato gli articoli in seguito ad autorizzazione da parte dell'autore **Mario Marzocchi** (<http://spazioinwind.libero.it/voloindipendio>) e dalla rivista **Modellistica International** (www.modellisticaint.it). Ringraziamo quindi enormemente sia Mario Marzocchi che Marco Benincasa, per aver acconsentito alla ripubblicazione!!

Gli articoli sono divisi in 5 parti:

Parte prima - Introduzione all'argomento profili (Modellistica, Giugno 2002)

Parte seconda - Il programma XFOIL (Modellistica, Agosto 2002)

Parte terza - I profili nella pratica modellistica (Modellistica, Settembre 2002)

Parte quarta - I profili MM (Modellistica, Febbraio 2003)

Parte quinta - Profili estremi (Modellistica, Maggio 2003)

Per navigare negli articoli utilizzare il menu a fondo pagina.

Parliamo di profili - Parte Prima

PROFILI

Dopo un lungo intervallo dovuto ad articoli riguardanti meetings, voli in alta montagna e altre attività svolte lo scorso anno, è mia intenzione riaprire l'argomento profili, dando vita ad un numero ancora imprecisato di puntate, partendo dalle caratteristiche geometriche dei profili, passando per la progettazione, tramite XFOIL di Mark Drela, e la presentazione delle mie ultime fatiche: I profili MM. Un interessante capitolo sarà dedicato alla analisi della risposta dei profili ai difetti di riproduzione geometrica, riguardanti bordo d'entrata, ondulazioni, bordo d'uscita, spessore, camber, e anche alla differenze di rendimento fra il volo in pianura e il volo in pendio, dovute alla presenza di aria più o meno turbolenta. Vedremo anche lo strano comportamento dei profili simmetrici Naca e non solo, la loro risposta alle basse velocità alle quali sono di sovente chiamati a rispondere, e gli effetti che provocano mettendo, talvolta, il pilota in difficoltà, soprattutto nel volo lento.

Molti lettori saranno sicuramente esperti in questo campo, ma per parlare di profili in modo approfondito e permettere a tutti, e soprattutto ai meno esperti, di comprendere questo affascinante argomento aerodinamico è necessario fare un ripasso dall'ABC, utilizzando le famose parole poveramente povere.

In pratica un lunghissimo articolo da mal di testa che vi consiglio di saltare a piè pari (pena una settimana nera in compagnia dei ns politici, offerta dall'editore), o sottoporsi volontariamente alla tortura da parte di "Hannibal", ma con scorta di analgesici di grosso calibro.

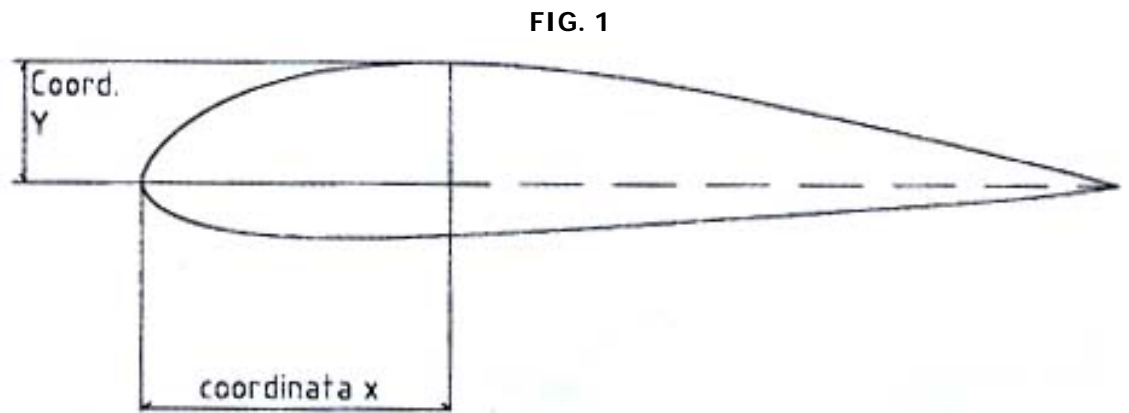
Scherzi a parte, dovrebbe essere un lungo papiro accessibile a tutti dove la difficoltà è rappresentata dalla concentrazione richiesta per la lunga lettura.

GEOMETRIA

Immergiamoci immediatamente nell'argomento andando a vedere quali siano le caratteristiche che definiscono il nostro oggetto misterioso. Il profilo è caratterizzato da due dimensioni; lo si traccia attraverso il sistema cartesiano con una serie di coordinate: uso già noto agli "anziani", perché utilizzato per il vecchio gioco della "battaglia navale". Un elevato n° di coordinate è importante per una buona definizione del profilo, soprattutto nelle zone del bordo d'entrata e del bordo d'uscita, parti che devono essere curate con grande attenzione.

Generalmente, le coordinate sono fornite in base 1, questo significa che se il profilo, per assurdo, venisse disegnato così, misurerebbe un solo millimetro: alcuni programmi di progettazione (vedi Xfoil), lavorano con queste misure.

Attraverso una coppia di coordinate "x,y" si ottiene un punto e così per un numero di coordinate che possono arrivare anche a 280 e che vengono stabilite nel programma (FIG.1). Con l'unione di tutti i punti ottenuti, al di sopra e al di sotto della corda (linea orizzontale che unisce il bordo d'entrata con quello d'uscita), si raggiunge una forma aerodinamicamente armoniosa, utile ai nostri scopi domenicali.



Sistema cartesiano per la tracciatura dei punti

verticale del punto trovato con la coordinata "x". Il segno meno di alcune coordinate "y", indica che il punto in questione va disposto, alla distanza "x", sotto la corda. In generale, le coordinate di un profilo partono dal bordo d'uscita, definiscono il dorso, e passando dal bordo d'entrata "percorrono" il ventre fino al bordo uscita. I piccoli segmenti di retta che uniscono tutti punti che definiscono il contorno, prendono il nome di pannelli. Attraverso il "metodo dei pannelli" i programmi di analisi permettono di stabilire, in fase di progettazione, le caratteristiche aerodinamiche, mentre la densità dei pannelli nelle zone bordo d'entrata, d'uscita e in alcuni punti del dorso, è regolata anche in base all'angolazione fra un pannello e l'altro, angolazione che non deve superare certi valori per mantenere aderente al profilo, il flusso aerodinamico. (FIG.2).

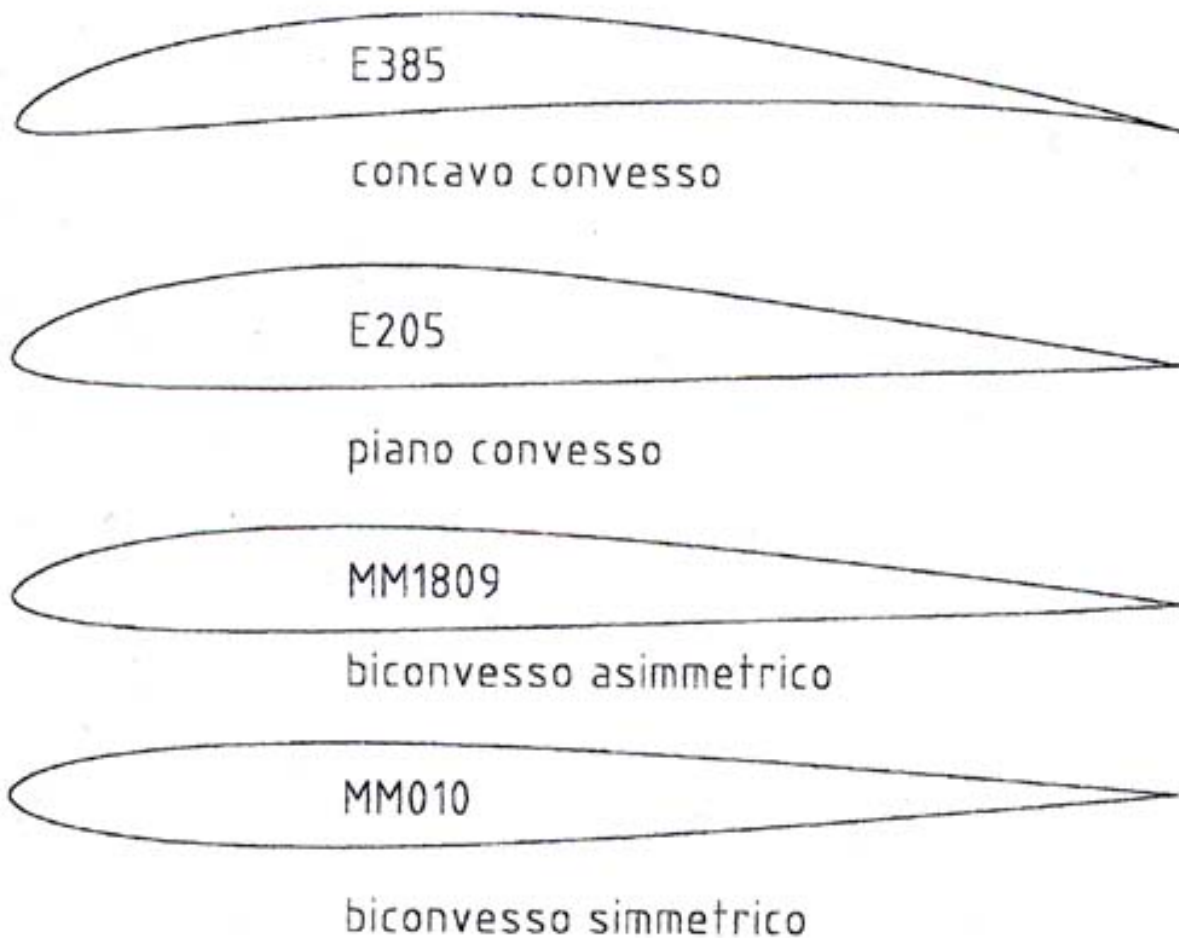
FIG. 2



Pannellizzazione profilo MM1809

Alcuni vecchi profili pur essendo stati tracciati manualmente con un curvilinee e tanta fantasia, si comportano ancor oggi ottimamente. Per questo, progettare un profilo attraverso complicati codici che tengono conto delle leggi aerodinamiche più complesse, potrebbe sembrare inutile o assurdo, ma la maggior precisione raggiunta nella costruzione attuale, e l'uso di stampi, ha reso sensato la scelta di profili di tipo semilaminare. Il miglioramento di un profilo, in termini di prestazioni, talvolta, richiede una lunga e paziente applicazione con numerose prove, modifiche e riprove, fino ad arrivare alla costruzione materiale di un pannello alare da inserire in una vera galleria del vento, dove tuttavia gli errori di riproduzione, talvolta, vanno a modificare sensibilmente, i risultati ottenuti in via teorica, sperimentale. Anche le caratteristiche costruttive delle gallerie del vento, possono influenzare le risposte, e per classificarle, è stata creata una scala dove, attraverso il "Numero Critico", si forniscono indicazioni sul fattore di turbolenza delle stesse. Con il Ncrit 9, generalmente si indica una galleria dalle caratteristiche standard. Per fare un es. pratico la Galleria della università di Princeton utilizzata da Selig, fu classificata con il Ncrit 9. Sorprendente il fatto che una galleria del vento possa essere influenzata dalle vibrazioni del traffico cittadino e che alcuni test effettuati negli orari serali, quando il traffico è scarso, abbiano dato risultati diversi da quelli fatti durante il giorno. Ci sono poi altri fattori importanti che vanno a modificare i parametri rilevati in galleria del vento: da sempre si dice che in galleria del vento non esiste resistenza indotta dato che il pannello d'ala viene fissato, da una parete all'altra della galleria e non provoca vortici d'estremità. Ma affinché questo possa essere inclinato ai vari angoli per le misurazioni, è necessaria una pur piccola fessura che va comunque ad influenzare il Coeff. di portanza massimo. Inoltre, sulle pareti verticali, nel punto in cui è presente il pannello alare, si formano flussi trasversali, dovuti all'incrocio fra il flusso dell'ala e quello delle pareti. Anche in questo caso, c'è una interferenza che va a modificare i dati finali in modo pessimistico. Nelle gallerie del vento della Boeing, ad es., il problema è stato risolto attraverso una suzione del flusso di parete, nella zona di inserimento dell'ala. Nei programmi scientifici di analisi il Ncrit viene invece scelto dal progettista, ad es., il Ncrit per l'analisi di un aliante reale va da 12 a 14; per una buona galleria, da 10 a 12, e per una galleria "sporca", da 4 a 8. La cosa ci può anche non interessare ma bisogna pur tener conto che nel volo reale, a causa della turbolenza dell'aria, i risultati della galleria del vento superlaminare possono essere poco rispondenti alla realtà, mentre un Ncrit basso influisce positivamente sulla resistenza alle basse velocità e negativamente alle alte. Nel profilo, il raggiungimento di un piccolo miglioramento, in certi casi, richiede molto tempo, speso a modificare la distribuzione delle velocità delle particelle d'aria che lambiscono la superficie e che il programma traduce, attraverso il metodo inverso, in una modifica del contorno del profilo. Fortunatamente, i computer sono in grado di sviluppare questa enorme mole di calcoli, permettendo a semplici aeromodellisti come me e voi, di progettare profili per il proprio uso e consumo, con risultati che possono essere al di sopra delle aspettative. Comunque, se doveste decidere di avventurarvi nella progettazione con un programma come XFOIL, preparatevi a passare un buon numero di ore davanti al pc, solo per poterci prendere confidenza, poi ce ne vorranno ancor di più per arrivare a risultati accettabili. Alcuni amici mi hanno fatto notare che di profili ce ne sono già in quantità, e, aggiungo io, tanti, ottimi e dimenticati; ma se oggi abbiamo tanta scelta lo dobbiamo anche alle persone che si sono dedicate a questo lungo lavoro non retribuito. La ragione principale, è data sicuramente da una grande passione e dalla soddisfazione di aver creato qualcosa di proprio, giusto come facciamo quando progettiamo o costruiamo con bravura un modello, anche dalle misure molto ridotte. L'aeromodellismo, infatti, non si misura con i metri di apertura alare, ma dal livello di precisione, e nei profili la precisione è tutto.

FIG. 3



Tipi di profilo

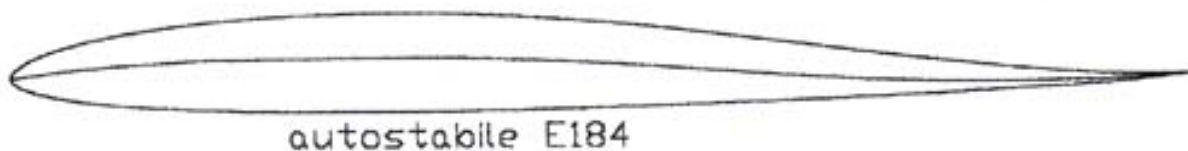
Iniziamo con la descrizione geometrica dei profili, dicendo che si dividono in piano convessi, concavo convessi, biconvessi simmetrici e biconvessi asimmetrici (FIG.3). Ci sono poi alcune combinazioni che impiegano queste caratteristiche, assieme: il Worthmann, utilizzato sul reale, Nimbus 2, e' costituito da una biconvesso asimmetrico nella prima parte e da un biconcavo nella parte finale, verso il bordo d'uscita. Si tratta di un profilo molto caratteristico, ottimizzato per l'uso dei flaps, positivi, in termica e in fase di atterraggio, e, negativi, nei traversoni di trasferimento da una termica all'altra. Gli autostabili, così chiamati perché ogni variazione tende ad essere stabilizzata automaticamente dalle caratteristiche intrinseche del profilo, non richiedono obbligatoriamente lo stabilizzatore (tuttala): sono caratterizzati da una parte anteriore biconvessa e da una parte posteriore concava (fig.4:

E184), nella parte dorsale, verso il bordo d'uscita, con una forma particolare, necessaria per ridurre o azzerare quel "momento" che vedremo in seguito.

Oltre a quelle viste, altre definizioni riguardano lo spessore. Una ulteriore suddivisione classifica i profili come spessi, semispessi e sottili. I sottili, sono quelli compresi sotto il 9%, i semispessi fra il 9% e il 12%/14% a seconda delle correnti di pensiero, e, al di là di queste ultime percentuali, gli spessi. Lo spessore di un profilo è una importante caratteristica che viene riferita alla corda; infatti, per un profilo di spessore 10%, se ipotizziamo una corda 10 cm, avremo uno spessore di 10 mm; se la corda sarà 20 cm, lo spessore diverrà 20 mm. Lo spessore di un profilo, è rilevante perché, oltre alle caratteristiche strutturali dell'ala, va ad interessare direttamente due parametri aerodinamici: la portanza e la resistenza. La portanza è la forza diretta verso l'alto che si sviluppa durante il volo e si può descrivere, in breve, come la capacità della nostra ala a sostenere il peso del modello. La sola portanza, non è sufficiente a permettere la permanenza in volo di un aeromodello dato che la resistenza, la forza diretta in senso contrario a quello di moto, rende arduo questo compito, per cui, il volo continuato viene garantito dal motore, dal vento (in pendio) e dalle correnti ascensionali (termiche), sia in pianura, che in pendio. Scontato il fatto che la ricerca nel campo di profili sia indirizzata verso un incremento della portanza e di pari passo al contenimento della resistenza: una lunga guerra progettuale che dura da molti anni. Portanza e resistenza non hanno un valore costante, ma variabile, a seconda dell'angolo d'incidenza aerodinamica dell'ala (inclinazione della stessa rispetto al flusso di aria che la investe. Entrambe le forze tendono ad aumentare, incrementando l'angolo di attacco dell'ala, e viceversa.

Iniziamo con la descrizione geometrica dei profili, dicendo che si dividono in piano convessi, concavo convessi, biconvessi simmetrici e biconvessi asimmetrici (FIG.3). Ci sono poi alcune combinazioni che impiegano queste caratteristiche, assieme: il Worthmann, utilizzato sul reale, Nimbus 2, è costituito da una biconvesso asimmetrico nella prima parte e da un biconcavo nella parte finale, verso il bordo d'uscita. Si tratta di un profilo molto caratteristico, ottimizzato per l'uso dei flaps, positivi, in termica e in fase di atterraggio, e, negativi, nei traversoni di trasferimento da una termica all'altra. Gli autostabili, così chiamati perché ogni variazione tende ad essere stabilizzata automaticamente dalle caratteristiche intrinseche del profilo, non richiedono obbligatoriamente lo stabilizzatore (tuttala): sono caratterizzati da una parte anteriore biconvessa e da una parte posteriore concava (fig.4: E184), nella parte dorsale, verso il bordo d'uscita, con una forma particolare, necessaria per ridurre o azzerare quel "momento" che vedremo in seguito.

FIG. 4

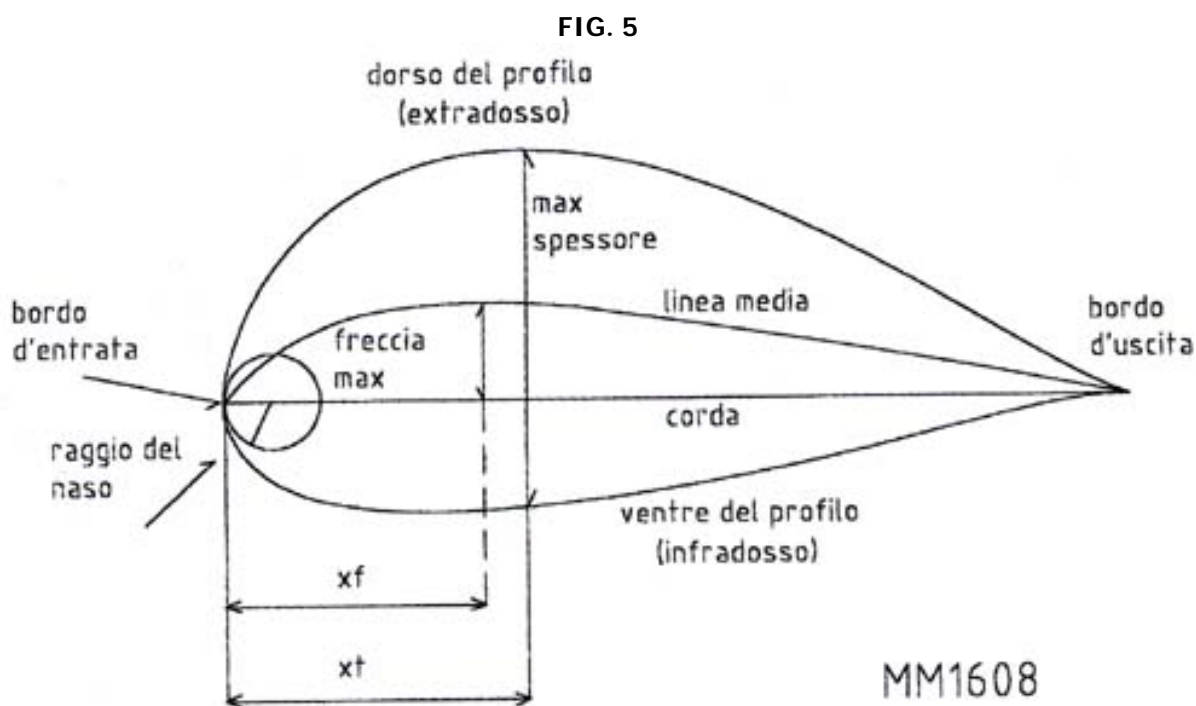


E184 autostabile con linea media reflex

Oltre a quelle viste, altre definizioni riguardano lo spessore. Una ulteriore suddivisione classifica i profili come spessi, semispessi e sottili. I sottili, sono quelli compresi sotto il 9%, i semispessi fra il 9% e il 12%/14% a seconda delle correnti di pensiero, e, al di là di queste ultime percentuali, gli spessi. Lo spessore di un profilo è una importante caratteristica che viene riferita alla corda; infatti, per un profilo di spessore 10%, se ipotizziamo una corda 10 cm, avremo uno spessore di 10 mm; se la corda sarà 20 cm, lo spessore diverrà 20 mm. Lo spessore di un profilo, è rilevante perché, oltre alle caratteristiche strutturali dell'ala, va ad interessare direttamente due parametri aerodinamici: la portanza e la resistenza. La portanza è la forza diretta verso l'alto che si sviluppa durante il volo e si può descrivere, in breve, come la capacità della nostra ala a sostenere il peso del modello. La sola portanza, non è sufficiente a permettere la permanenza in volo di un aeromodello dato che la resistenza, la forza diretta in senso contrario a quello di moto, rende arduo questo compito, per cui, il volo continuato viene garantito dal motore, dal vento (in pendio) e dalle correnti ascensionali (termiche), sia in pianura, che in pendio. Scontato il fatto che la ricerca nel campo di profili sia indirizzata verso un incremento della

portanza e di pari passo al contenimento della resistenza: una lunga guerra progettuale che dura da molti anni. Portanza e resistenza non hanno un valore costante, ma variabile, a seconda dell'angolo d'incidenza aerodinamica dell'ala (inclinazione della stessa rispetto al flusso di aria che la investe. Entrambe le forze tendono ad aumentare, incrementando l'angolo di attacco dell'ala, e viceversa. Per semplificare, e fare in modo che le caratteristiche aerodinamiche di un profilo siano, in tutto il mondo, considerate e utilizzate allo stesso modo, alcune di queste vengono ridotte a coefficiente adimensionale. C_p , C_r e C_m , sono le sigle che indicano rispettivamente i coeff. di portanza, di resistenza e di momento.

Osservando un qualsiasi profilo, possiamo vedere che il suo "corpo" inizia con un bordo d'entrata arrotondato quindi si ispessisce e torna a divenire sottile verso il bordo d'uscita (FIG.5), dove finisce a zero. Generalmente lo spessore max. è posizionato dal progettista fra il 25 e il 40% della corda e la sua posizione sulla corda, viene indicata percentualmente con la lettera "x" (coordinata), e dalla lettera "t" (sigla dello spessore). Se lo spessore è posizionato al 30% del profilo, leggeremo $x_t = 30\%$. Il profilo è tuttavia caratterizzato da una distribuzione dello spessore lungo la corda, infatti possiamo trovare un profilo con più o meno spessore nella parte che precede quello massimo (t_{max}), o che, nella parte successiva, sia più o meno "corposo".

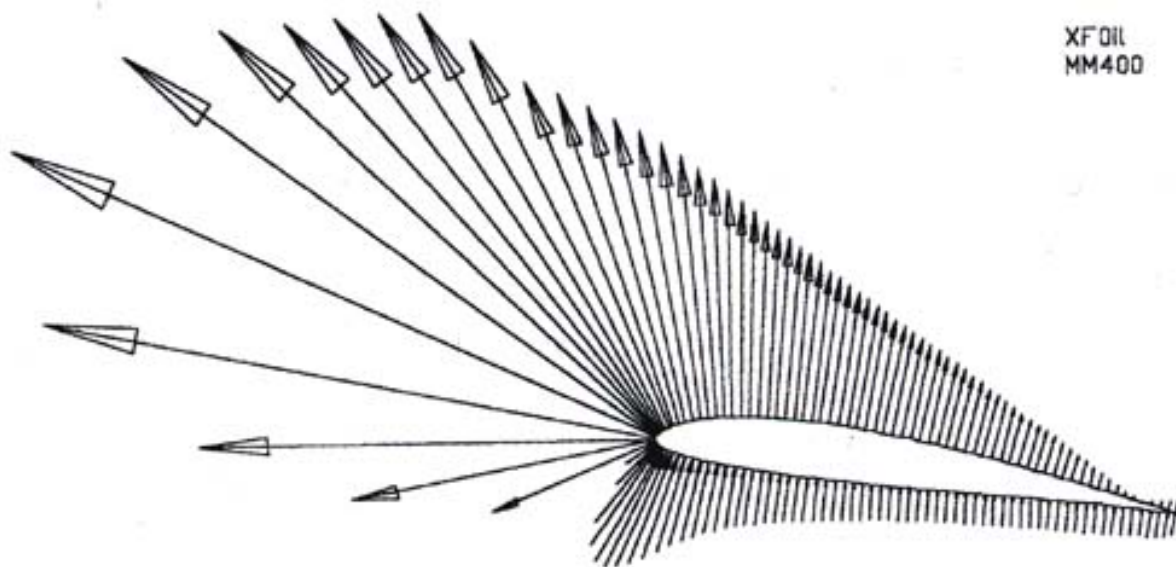


Caratteristiche geometriche

Sono tutte caratteristiche che durante la progettazione vengono scelte per raggiungere un obiettivo, e che dipendono dalla distribuzione delle velocità, trattata più avanti. Un aumento di spessore massimo conferisce migliori caratteristiche di portanza ma oltre il limite del 15% la portanza non aumenta ulteriormente, ma il C_r , sì. Portanza, resistenza e momento, sono le tre caratteristiche più significative di un profilo. La resa aerodinamica di un profilo è legata alla sua geometria, ma

variando la geometria, se le caratteristiche migliorano da una parte, generalmente peggiorano dall'altra. Il profilo, e sue caratteristiche, sono paragonabili al comportamento di un elastico che, tirandolo, si allunga e si assottiglia, rilasciandolo, si accorcia, ma si ingrossa. Altre caratteristiche geometriche riguardano il bordo d'entrata, costituito da un arco di un cerchio iscritto all'interno del naso e definito da un raggio che in molte sezioni, ha un rapporto con lo spessore ed è espresso in percentuale della corda. Oggi, grazie ai programmi che abbiamo a disposizione è possibile scegliere un raggio del naso qualsiasi, miscelandolo poi, lungo la corda, in modo graduale e a proprio piacimento. Il naso del profilo, rappresenta il primo contatto con la corrente d'aria e le sua misura può modificare sensibilmente il movimento delle particelle di aria andando ad interessare stallo e coeff. di portanza max. Poco sotto il centro del naso, l'aria si divide, e il punto dove si verifica questa divisione è detto punto di stagnazione. A partire da questo punto, prende forma lo strato limite che con il suo spessore, segna il confine fra la superficie del profilo e la corrente di aria esterna, non interessata dai fenomeni di viscosità dell'aria. La viscosità è la proprietà di un fluido che si manifesta con la tendenza di uno strato in movimento a trascinarsi dietro quello adiacente. Il primo straterello di aria a contatto con il profilo, è fermo ed incollato alla superficie. I numerosi straterelli successivi scorrono con velocità crescente fino all'ultimo, che raggiunge il 99% della velocità del flusso indisturbato. Il flusso di aria inizia a sentire la presenza del profilo prima di incontrarne il naso, deviando verso l'alto con una improvvisa accelerazione dei filetti fluidi che scorrono sul dorso e una decelerazione di quelli del ventre. Appena la pendenza della superficie dorsale inizia a decrescere, poco oltre il punto di stagnazione, anche la velocità decresce e continua farlo fino al bordo d'uscita dove avviene il ricongiungimento con le particelle che provengono dal ventre dando forma ad una scia vorticosa. Se la ricongiunzione non avviene, il profilo è in stallo. Questa variazione di velocità delle particelle di aria è detta distribuzione delle velocità o delle pressioni, dato che ad un aumento della velocità corrisponde una diminuzione di pressione (fig. 6) e la differenza di pressione fra ventre e dorso è la ragione per cui si sviluppa la portanza, ma non la sola. Nei programmi di analisi lo spessore del bordo d'uscita è solitamente zero. Nella realtà questa parte viene spesso modificata, sia per esigenze di costruzione, per errore, ma anche volutamente. Dal punto di vista della resistenza, un bordo d'uscita tagliente sarebbe la soluzione migliore, ma anche la più difficile, tuttavia rimanere intorno 0.5 mm è già un ottimo risultato, dato che lo spessore va ad incrementare il C_r , tanto più, quanto maggiore è la velocità del modello e, quindi, si vanno a perdere preziosi punti di efficienza. Non buone tutte quelle soluzioni, con bordi spessi, che vanno a modificare anche la geometria finale del profilo, e che di fatto peggiorano la scia di Karmann, eccetto il "Gurney flap", costituito da un piccolo scalino artificiale di dimensioni adeguate (listellino sottilissimo), incollato nella parte inferiore del bordo d'uscita, allo scopo di aumentare il C_p (coeff. portanza) al costo di un leggero aumento di C_r . Ma nel modellismo attuale, talvolta, il bordo d'uscita viene volutamente costruito più spesso per ottenere un rallentamento del modello. Succede, ad esempio, in F3A dove, attraverso uno spessore di 5 mm del bordo, di un maggior spessore dell'ala, dello stabilizzatore e del direzionale, si provoca una resistenza aggiuntiva al fine di raggiungere una velocità più omogenea possibile: in verticale, gli attuali potenti motori riescono comunque a tirare su il modello abbastanza facilmente, mentre in picchiata, profili spessi, bordi d'uscita grossi e fusoliere importanti, fanno in modo che la differenza di velocità fra salita e picchiata non sia troppo evidente.

FIG. 6



Distribuzioni delle pressioni MM400 (Xfoil)

Entrando nel "cuore" del profilo, vediamo che la caratteristica geometrica determinante è la curvatura. La curvatura non è l'unità di misura della velocità dell'astronave Enterprise del capitano Kirk, bensì il modo di indicare a noi poveri terrestri quali capacità portanti abbia 'sto benedetto profilo. La curvatura si "nasconde" anche sotto altri termini: freccia, oppure con il termine inglese camber, che preferisco. La sigla italiana della curvatura viene rappresentata con la lettera "f", oppure

"C", in inglese.

Il camber è spesso il primo argomento indigesto per i neofiti, ma non è niente di trascendentale. Cominciamo dicendo che un profilo simmetrico, quindi con la linea di contorno ventrale e dorsale perfettamente uguali, non ha camber: $f=0$: la corda divide il profilo in due parti perfettamente simmetriche. Il modo più semplice per conferire una curvatura ad un profilo è quello di differenziare lo spessore di una delle parti delimitate dalla corda. Tracciando la linea media, questa differenza è graficamente evidente ed è comprensibile che la portanza dipenda dalla curvatura dal momento che, una linea dorsale più curva, costringe le particelle di aria ad accelerare ulteriormente rispetto a quelle ventrali. La linea media di un profilo la si ottiene per differenza algebrica delle coordinate del profilo, ignorando il segno algebrico. La distanza massima della linea media dalla linea di corda, costituisce la freccia o il camber max. La posizione, sulla corda (x_f), del camber max è un altro parametro geometrico che ci illumina sulle caratteristiche di portanza, ma anche sul coeff. di momento del profilo ed è espressa percentualmente rispetto alla corda. La linea media ci dà anche una immediata "sensazione" sulla distribuzione della curvatura lungo la corda. La distribuzione è un parametro "nascosto" che ha molta influenza nel comportamento del profilo ed è comprensibile come un profilo con linea mediana ad arco (portante), sia molto diverso rispetto ad uno con linea mediana reflex (autostabile). Il problema portanza potrebbe anche sembrare facilmente risolvibile lavorando sul camber: più camber = + portanza, tuttavia, l'aumento di camber provoca molti altri effetti collaterali indesiderati, fra i quali: incremento di resistenza e del coeff. di momento, per cui spesso si ricorre a un compromesso fra le varie caratteristiche in modo da non penalizzare troppo una fase di volo rispetto ad altre.

UN MOMENTO, PREGO

Partendo da un esempio elementare di laboratorio di fisica, vediamo che se applichiamo una forza ad un corpo qualsiasi, in un punto diverso da quello che passa attraverso il suo centro di figura, otteniamo di farlo ruotare da un lato. Ad es.: se spingiamo con un dito un libro posto su un tavolo e siamo perfettamente allineati con il suo centro di figura, il libro si sposta in avanti, procedendo in pari. Se invece applichiamo la nostra forza fuori dalla linea di mezzeria, il libro si sposta ugualmente ma compie una rotazione. In questo caso abbiamo applicato una forza ad una distanza x dal "CG"; questa distanza è un semplice braccio di leva e, in meccanica, la rotazione causata dall'applicazione della forza per il braccio viene definita "momento", ma più frequentemente "coppia", mentre il punto in cui abbiamo applicato il dito potremmo chiamarlo semplicemente centro di pressione (C.P.). A differenza della forza che abbiamo applicato con il ns dito, la portanza alare non si sviluppa tutta in un solo punto ma è distribuita lungo la corda per la della distribuzione delle velocità che per "magia" crea una leggera pressione sul ventre e una depressione sul dorso, quando l'incidenza di volo è superiore a quella di portanza nulla. È immaginabile che se avviciniamo o allontaniamo il nostro C.P. dal centro di figura del libro, le cose cambino; così succede anche per l'ala quando il C.P. cambia posizione rispetto al CG. Il C.P. è un punto convenzionale che rappresenta la risultante di tutte quelle piccole forze che si sviluppano lungo le due superfici del profilo, come il CG rappresenta la risultante di tutte le forze di gravità che agiscono sulle varie parti del modello.

Dopo questo facile esempio, è molto più semplice comprendere che la posizione del centro di pressione, quando cade fuori dal CG, tenda a fare ruotare l'ala, e che questo movimento rotatorio venga trasmesso al modello intero. In quale senso ruoti l'ala, dipende dal tipo di assetto in quell'istante, dato che il centro di pressione non è un punto fermo (troppo facile), ma si sposta avanti o dietro al CG, a seconda dell'assetto. Quindi osserviamo che si sposta verso il bordo d'uscita, quanto più azioniamo il picchia, e verso il bordo d'entrata alare, se azioniamo il cabra. Si intuisce, come questa azione tenda ad amplificare gli effetti del ns comando con risultati che in certi casi possono anche essere pericolosi per le strutture del modello. In picchiata, il C.P. si sposta verso il bordo d'uscita, provocando un ulteriore aumento dell'angolo di picchiata. Durante una cabrata succede il contrario: il modello che vede un incremento dell'angolo di incidenza, a causa dello spostamento del C.P. verso il bordo d'entrata, tende ad aumentare il suo angolo. Queste azioni si traducono in instabilità e sono la prima ragione della presenza dello stabilizzatore. Il momento (che viene ridotto a coefficiente: C_m), a seconda del suo valore e segno, ci dice quanta instabilità ci propina il ns amatissimo profilo per sviluppare portanza e ci "consiglia" circa le dimensioni dello stabilizzatore, nel senso che un profilo con C_m elevato negativo, richiede uno stabilizzatore di superficie adeguata. Nei dati forniti dagli sperimentatori, il C_m viene specificato come C_{m0} , riferito al 25% della corda del profilo, punto detto "fuoco o punto neutro" dove il C_m rimane mediamente "costante" col variare dell'incidenza aerodinamica. Facciamo, ora, un bel salto dall'ala allo stabilizzatore, sperando, di non precipitare nel vuoto. Lo stabilizzatore, è un ala di misure più piccole, con tutti i benefici e le complicazioni del caso. Se da una lato abbiamo l'ala che sviluppa portanza e un momento che spinge la coda del modello verso l'alto, dall'altro c'è lo stabilizzatore, il quale ha il compito di annullare la rotazione, destabilizzante. Senza lo stabilizzatore non sarebbe possibile un volo molto lungo, infatti chi lo rompe in volo è perduto, non solo perché non ha più la possibilità di cabrare o picchiare, ma perché il modello ruota immediatamente a picchiare e mette il nasone in direzione della terra. Amen. Al limite, un tentativo di controllo sarebbe possibile, mettendo il modello in volo rovescio. Per verificare tutto questo, basta prendere un piccola ala isolata e lanciarla in planata, questa si metterà immediatamente a ruotare su se stessa, in avanti. A riprova, ci sono i tuttala, che dimostrano come un profilo che abbia un $C_{m0}=0$, o leggermente positivo, non necessita di stabilizzatore, mentre la quota del modello viene semplicemente gestita, variando la forma finale del profilo, attraverso il movimento parallelo dei flapperoni. In molti casi la condizione di autostabilità la si raggiunge "artificialmente", regolando in maniera opportuna i

flap del modello, infatti il profilo impiegato, non sempre è un autostabile, ma spesso, un biconvesso asimmetrico, che attraverso i flapperoni negativi, viene modificato nella forma; in questo caso, la linea media del profilo passa, da leggermente concava, a reflex, contraddistinta da una caratteristica forma ad "S", linea che interseca la corda, divenendo negativa.

RESISTENZA

Non si tratta di quella di un popolo contro l'invasore, ma degli attriti che si sviluppano sul profilo e per il profilo. Abbiamo tre diversi tipi di resistenza: la resistenza d'attrito, la resistenza di profilo o di Karmann e la resistenza indotta.

Tutte e tre dipendono dalle caratteristiche geometriche o quasi. La resistenza d'attrito si sviluppa anche a causa della viscosità dell'aria ma il suo contenimento oltre ad una perfetta distribuzione delle velocità sulle due superfici, dipende anche dal grado di finitura delle stesse. Per contenerla è necessario che almeno la parte compresa dal naso al punto di massimo spessore, sia perfettamente levigata, priva di ondulazioni o scalini. Ovvio che la precisione del profilo sia importantissima, prova ne è la sempre più frequente produzione di ali in stampo soprattutto per modelli da competizione. Una superficie leggermente satinata o moderatamente ruvida (es. carta abrasiva 400) può portare dei benefici, entro certi limiti, quando, alle basse velocità, si vogliono mitigare gli effetti deleteri di una bolla di separazione. La bolla, come molte volte abbiamo detto, si forma per distacco, dalla superficie del profilo, del flusso di aria che la lambisce (strato limite), classificabile in laminare o turbolento. Il distacco del flusso determina sempre un aumento di resistenza perché la bolla, entra a far parte dello spessore del profilo e quindi trasforma il nostro sottile profilo in qualcosa di "mostruosamente" diverso, con effetti, che in certi casi raggiungono l'horror. La resistenza di forma è semplicemente dovuta allo spessore del profilo e alla "fatica" che l'aria impiega ad aggirarlo. Dietro il profilo si forma una scia detta di Karmann, dovuta al mancato ricongiungimento, in modo perfetto, dei filetti fluidi, selvaggiamente separati dalla penetrazione nell'aere del corpo estraneo.

La resistenza indotta è conseguente alla portanza, per il fatto che fra ventre e dorso dell'ala si crea una differenza di pressione per la diversa distribuzione delle velocità. In pratica la particella di aria inferiore fa meno strada per giungere al bordo d'uscita, e, rispetto alla sorella del piano superiore, è meno veloce. In questo caso, nel ventre si verifica un leggero aumento di pressione (Fig.6), mentre sul dorso c'è una diminuzione della pressione, dovuto all'incremento di velocità delle particelle di aria che dovrebbero giungere all'appuntamento bordo d'uscita, nello stesso tempo delle sorelle del sottosuolo.

Questa differenza di pressione, dorso ventre, fa sì che nella zona di estremità alare le particelle d'aria del piano di sotto tentino in tutti i modi di passare al piano superiore. Se ci fosse un buco nell'ala, milioni di invasori passerebbero ai piani alti generando scompiglio, resistenza e un calo di portanza, e questo è il motivo per cui le fessure non "hanno" da esistere. Ma ecco che in estremità, l'ala, improvvisamente, finisce, e finalmente gli invasori riescono a passare, creando numerosi vortici rotanti che si protraggono per metri dietro di essa. Ma il bello è che fin da una porzione di ala che è influenzata percentualmente dal rapporto di rastremazione (corda d'attacco/ corda d'estremità), i filetti fluidi ventrali iniziano a piegare verso l'estremità a partire anche dal 50% dell'apertura, modificando il rendimento di tale porzione alare. Il rimedio a questa catastrofe passa attraverso la scelta di profili poco portanti, quindi di camber contenuto, oppure attraverso l'impiego di terminali con freccia elevata, come quello usate sul Dornier, riprese da Quabeck, che ha studiato e prodotto alette particolari che riducano il Cri (coeff. Resistenza indotta). La cosa viene attuata per gli aerei di linea, valida soprattutto per la velocità di crociera. In genere le alette devono essere studiate a lungo in galleria del vento e le spese di sperimentazione sono molto elevate. Le alette aeromodellistiche, non sempre migliorano la situazione: un guadagno nel Cri spesso viene vanificato da un incremento del Cr provocato dalle stesse alette. Oltre alle alette o alla forma delle estremità, molta importanza assume la forma dell'ala vista in pianta. Studi e prove recenti, indicano nella pianta Schoeman la miglior soluzione per il volo in spirale e di fatto la vediamo sempre più spesso sugli alianti full size di grande efficienza.

Ma prima di passare ad altri argomenti, finiamo quello delle caratteristiche geometriche del profilo e osserviamo che la linea media, ha un suo angolo rispetto alla corda che viene espresso in gradi e viene misurato al naso del profilo. Un angolo più elevato indica un profilo più portante. Stessa cosa dicasi dell'angolo di uscita, sempre espresso in gradi rispetto alla corda. Anche questo ci dà una idea sulla portanza del profilo, dato che una forte inclinazione indica un'altrettanto forte deflessione del flusso in uscita. Anche l'angolo di uscita della linea dorsale e ventrale viene misurato in gradi.

L'eventuale punto d'intersezione della linea media con la corda, viene indicata in percentuale della corda, e ci fornisce un'idea della portanza del profilo: quanto più arretrato è questo punto, tanto più portante è il profilo. Se trattasi di profilo autostabile, la posizione avanzata dell'intersezione indica caratteristiche di stabilità maggiori. Osservando con attenzione queste caratteristiche geometriche, non senza un certo allenamento, si arriva a stimare approssimativamente il comportamento di un profilo, mentre per saperne di più, e con più precisione, è indispensabile ricorrere alla polare. Proseguendo con le caratteristiche aerodinamiche, vediamo che il profilo durante il suo lavoro, oltre che per C_p , C_r e C_m lo si distingue per altri aspetti.

L'incidenza di portanza nulla, esprime l'angolo al quale il profilo non sviluppa alcuna portanza, ma solo resistenza. Al di sopra di questo angolo si ha portanza positiva, sotto di esso, portanza negativa.

Per profili molto portanti, l'angolo di portanza nulla, arriva a valori negativi consistenti, ad es. un HQ 3.5/10 ha un angolo di portanza nulla di -4.34° , mentre per un Naca simmetrico 009 tale valore è $= 0^\circ$. I profili biconvessi asimmetrici di

camper=2 generalmente hanno un angolo di portanza nulla intorno a $-1.5/1.8^\circ$. Dalla parte opposta, troviamo l'incidenza di portanza massima che rappresenta l'angolazione positiva per la quale il profilo sviluppa il C_p max. Oltre questa incidenza, si incorre nello stallo: il flusso dorsale si scolla dalla superficie, la portanza cade a picco e la resistenza aumenta a dismisura, ma non tutti i profili (ali) stallano alla stessa maniera.

L'incidenza di massima efficienza, riferita al solo profilo, la si può ottenere dai dati numerici di analisi ed è il valore massimo che si ottiene dividendo i valori di C_p per quelli di C_r , o (visivamente), tracciando sulla polare una retta tangente alla curva in esame, partendo dal "polo" (punto di contatto/incontro fra asse delle ordinate e delle ascisse). Quanto più alto è questo rapporto, migliori sono le prestazioni del profilo. Nella polare non è inclusa la resistenza indotta per cui per conoscere l'efficienza di un aliante si devono considerare tutte le resistenze che si sviluppano sulle sue superfici: resistenza indotta dell'ala, dei piani di quota, resistenza della fusoliera e resistenze di interferenza fra fusoliera e ali. L'efficienza di un aliante indica il rapporto altezza planata per cui $E50$, indica che l'aliante è in condizione di planare per 50km partendo da un'altezza di 1000m. Per i modelli, oggi non si punta più esclusivamente alla durata ma anche all'efficienza. In passato, nelle competizioni dove era il tempo e non la distanza, l'obiettivo da raggiungere, comandava la minima velocità di discesa (V_{ymin}), rilevabile nella polare della velocità del modello nella parte più alta della curva. La polare della velocità molto raramente viene inclusa nelle scatole di montaggio. Oggi, un modello in grado di planare velocemente con poca perdita di quota viene privilegiato rispetto ai "galleggioni ad oltranza" e i moderni profili SELIG, RG, MH, HQ, ecc. hanno dato un gran contributo al miglioramento di questa caratteristica.

Mario Marzocchi
(continua)

Bibliografia :

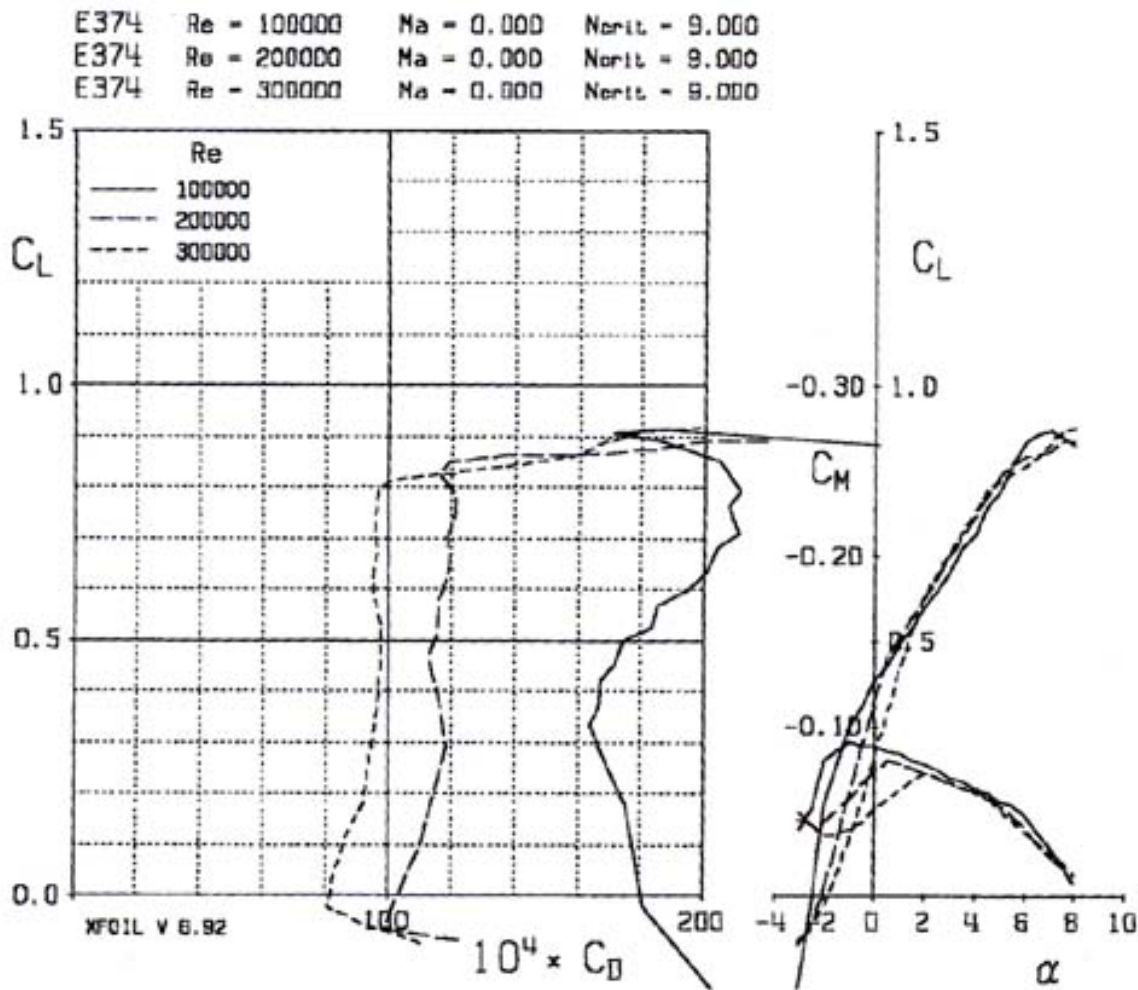
Progettiamo gli aeromodelli di Loris Kannevorff;
Progetto di alianti radiocomandati di Ferdinando Galè;
Airfoils at low speed di Michael Selig;

Ripubblicato per gentile concessione dell'autore Mario Marzocchi e dell'editore della rivista Modellistica Int

IL PROGRAMMA XFOIL

Quello di Mark Drela, è un vero programma scientifico utilizzato da progettisti, professori di aerodinamica, costruttori di aeroplani, di turbine, studenti universitari, nonché da appassionati di aeromodellismo e idrodinamica. Per un certo periodo questo codice è stato accessibile solo ai paganti: il prezzo, come altri programmi di questo tipo, era di qualche migliaio di dollari. Oggi il programma è scaricabile liberamente per fini non speculativi, nel sito: <raphael.mit.edu/projects&research.html>. Con l'iscrizione alla lista Xfoil e a Yahoo, oltre alla normale attività del forum, è consentito accedere agli archivi contenenti tutti i messaggi passati, dove si possono scoprire soluzioni e risposte per l'uso di Xfoil, nonché porre qualche quesito per la soluzione di complessi problemi riguardanti la progettazione e l'analisi. Ma non vi aspettate una assistenza dettagliata e risposte numerose, ma piuttosto un invito a consultare l'archivio dei messaggi. Il Prof. Mark Drela, di origine Polacca, ha compiuto gli studi di aerodinamica negli States e, per un lungo periodo, ha insegnato al MIT. Negli States, ha ripreso seriamente il vecchio hobby dell'aeromodellismo, che aveva intrapreso all'età di 5 anni, progettando, con successo, alcuni alianti che sono stati poi commercializzati da note ditte americane. Drela, ha stabilito nuovi record di volo con i modelli, ma anche con aerei per il volo umano, di sua progettazione, e con un Hydrofoil, progettato e costruito con l'aiuto di alcuni studenti del MIT, con il quale stabilì il record mondiale di velocità: 18.5 nodi.

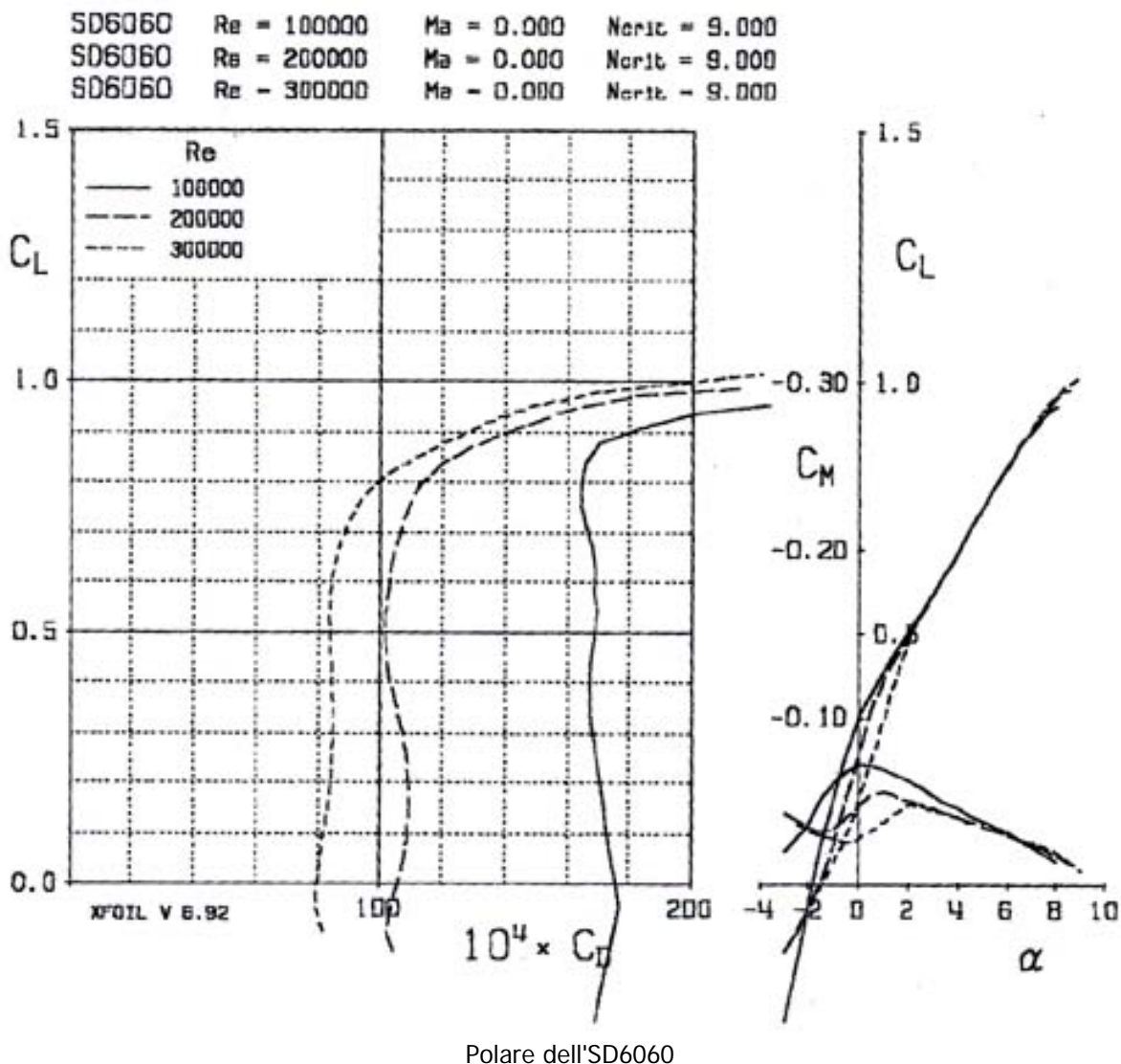
FIG. 1



Polare dell'E374

XFOIL, corre in Dos ed è supportato da un manuale, in lingua inglese, non molto esplicativo: la miriade di comandi è sicuramente poco incoraggiante, ma col tempo, si riesce ad impadronirsi delle sigle e del loro impiego. Per avere successo con le routines di progettazione è necessaria una minima preparazione in aerodinamica e comprendere la distribuzione delle velocità, o pressioni. Xfoil è un codice 2D, per l'analisi e la progettazione di profili subsonici isolati: nei profili, sono compresi anche quelli riguardanti pale di elicotteri, turbine, ecc. Il programma consente l'analisi viscosa e non viscosa del profilo, attraverso la transizione libera o forzata; analizza la bolla di separazione e la separazione di bordo d'uscita; permette previsioni sulla portanza e resistenza fino ed oltre il C_{pmax} . La correzione per la compressibilità Karmann-Tsien è inclusa e assicura buone previsioni di compressibilità fino alle condizioni soniche. È consentita la miscelazione di due profili esistenti, scegliendo la percentuale di mixaggio. Le routine, permettono la riprogettazione dei profili, attraverso la distribuzione delle velocità direttamente sullo schermo, via mouse. La routine geometrica "GDES", apre la strada alle variazioni geometriche dirette, riguardanti camber, spessore, posizione in ascissa del camber e dello spessore, raggio del bordo d'entrata, spessore del bordo d'uscita, e, in ultima analisi, con la modifica del contorno, via mouse. Una delle opzioni più interessanti è quella riguardante la variazione del profilo con il comando "FLAP" per poi analizzarne i risultati tramite la polare. Il sistema misto/inverso (Routine QDES) agisce su parti limitate del profilo attraverso un relativo stretto controllo della geometria. Il sistema inverso è basato sul metodo complesso della mappatura (Routine MDES), e rende possibile la modifica totale del profilo.

FIG. 2



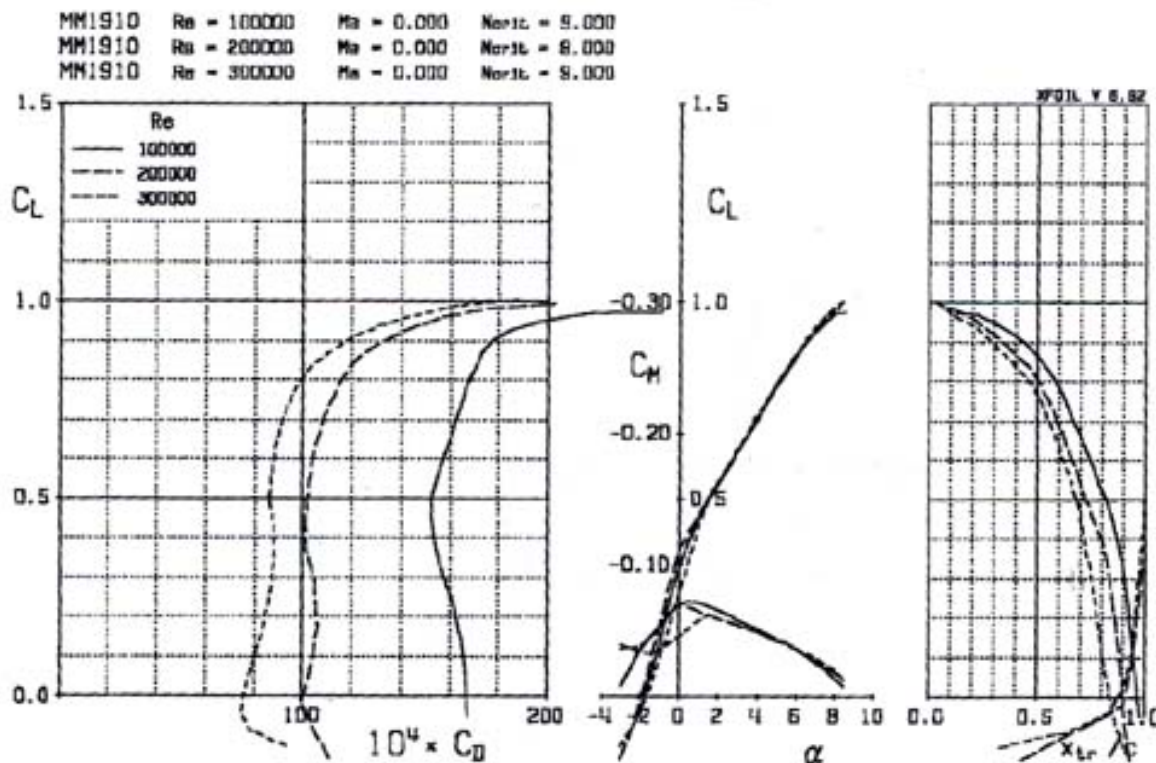
Come per il codice di Eppler, e Profoil, di Selig, Xfoil calcola la geometria del profilo partendo dalla distribuzione delle velocità e una nuova serie di coordinate che possono essere salvate dal programma per usarle, poi, con i programmi di stampa o CNC. Attraverso il calcolo non viscoso, che impiega il metodo dei pannelli, con funzione di linearità vorticoso semplice (Routine OPER), la distribuzione delle velocità viene calcolata in pochi istanti, non tenendo conto delle caratteristiche dell'aria: le curve che appaiono sullo schermo hanno un andamento molto regolare e non denunciano la presenza di bolle. Attivando il modo viscoso, con il pulsante "VISC", il programma considera le reali caratteristiche di viscosità dell'aria e dei conseguenti fenomeni di separazione. Nella distribuzione delle velocità viscosa, Xfoil evidenzia la bolla di separazione che si manifesta a partire dal bordo d'uscita (per basse incidenze), e che si sposta gradualmente verso il bordo d'entrata del profilo, man mano che l'angolo aumenta. Le varie schermate ottenibili singolarmente, punto per punto, con il comando "ALFA", rendono visibile l'andamento dello strato di aria che lambisce il profilo, per l'angolo indicato. La grafica colorata del programma, è accattivante, e accompagnata da una serie di dati che riguardano: l'angolo a cui viene testato il profilo, il coefficiente di momento, il coefficiente di resistenza e di portanza, il rapporto portanza/resistenza e il Ncrit impostato (Ncrit di default =9).

LA PRIMA POLARE

Per partire con il programma, occorre estrarre Xfoil (in formato zip) in una cartella omonima, creata appositamente, e scaricare l'archivio (profili.zip), dal sito di Selig, scompattandoli nella stessa cartella. Xfoil, si apre normalmente, cliccando l'icona due volte, ma i comandi vanno digitati all'interno della finestra di programmazione in DOS, ad uno ad uno, mentre si chiude correttamente digitando il comando "QUIT", dal menu di ingresso. Teniamo presente che la finestra grafica non deve essere ridotta ad icona per funzionare correttamente con il comando di "plottaggio": PPLO (Polar Plot). Prima di partire con le istruzioni, è necessario dire che il programma esegue i calcoli relativi alla polare, attraverso 10 iterazioni

(impostazione di default).

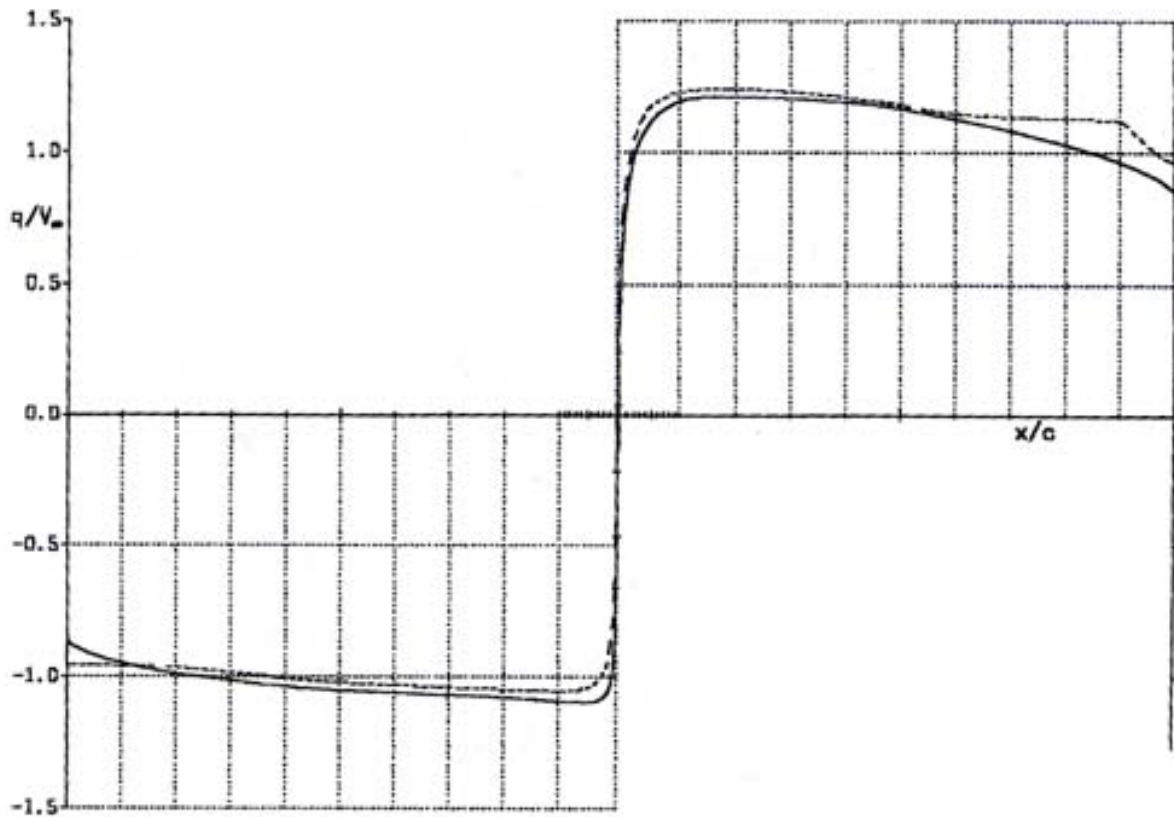
FIG. 3



Polare dell'MM1910

Durante il calcolo, il codice incrementa l'angolo di incidenza aerodinamica in base al valore suggerito dallo sperimentatore, e la risposta, è tanto migliore, quanto più basso è lo scalino di incremento dell'angolo. Consideriamo che un angolo di 0.5° è valutato grande, ma buono per profili che non hanno grossi problemi con la distribuzione della velocità. In caso contrario è consigliabile uno "step" di $0,2/0,25^\circ$. Nel caso i due flussi in uscita dal profilo (dorsale e ventrale), non convergano per quattro punti consecutivi, le iterazioni si interrompono e il programma segnala la caduta di convergenza del flusso del dorso con quello ventrale. Tale caduta potrebbe essere una conseguenza di una scarsa pannellizzazione del profilo. Per questa eventualità si può operare aumentando il numero dei pannelli, attraverso "PPAR", oppure incrementando il rapporto di densità dei pannelli nelle zone critiche (Bordo d'entrata e di uscita, o zona della bolla), o il numero delle iterazioni fino ad un massimo di 38, con "ITER". Ogni volta che cade la convergenza, prima di ripartire, e' d'obbligo il comando "INIT", altrimenti il programma "ricorda" e riparte dall'ultimo calcolo effettuato con sicura nuova caduta di convergenza. Partendo da incidenze negative, es.: -3° , per profili sperimentali, e a bassi NR, è molto probabile una caduta di convergenza. Per evitare questo inconveniente, è consigliabile testare inizialmente il profilo partendo da "ALFA 0" con scalini di $0.25/0.5^\circ$ a scendere. Nel caso si verifichi una caduta di convergenza, lo stesso programma domanderà se proseguire le iterazioni. In questo modo, sarà possibile raggiungere gradualmente l'incidenza negativa voluta, per poi effettuare il calcolo di tutti i punti che andranno a comporre la polare, con "ASEQ". Analizzando un profilo sperimentale, è probabile che nella curva della polare, scappi fuori una linea retta, indesiderata, che unisce i punti estremi della curva. Per mezzo del comando "PSOR", seguito dal n° di curva, al successivo comando per la schermata (PPL0), la retta indesiderata, scomparirà.

FIG. 4



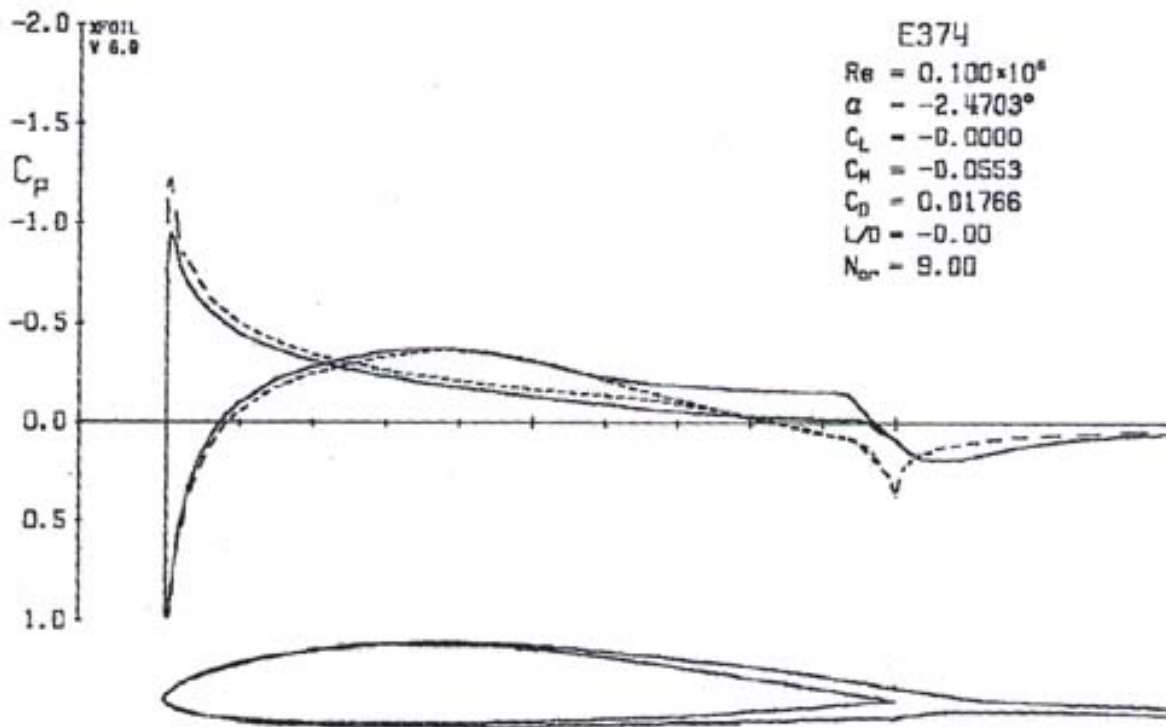
Ospec dell'SD606

Generalmente una polare si compone di tre curve: 100/200/300KNR ma nessuno vieta di effettuare un numero superiore di prove partendo da 50K NR, o anche meno. In questo modo si andranno a testare le caratteristiche del profilo alle basse velocità. Alcuni modelli attuali, passano i 200Kmh, per cui, effettuare dei test fino a 1000KNR, darà la possibilità di analizzare il comportamento del profilo considerando tuttavia solo le basse incidenze. Una volta completata la polare, il comando "HARD" consente il salvataggio del diagramma in formato "PS", ma per cambiare a proprio piacimento il titolo del file "hard" e' indispensabile chiudere prima Xfoil e, poi, rinominarlo. I file "PS" possono essere aperti tramite AUTOCAD, dal menu "INSERT" : "ENCAPSULATED POSTSCRIPT", scegliendo l'opzione "file postscript" nella finestra di dialogo in apertura.

RIPROGETTAZIONE

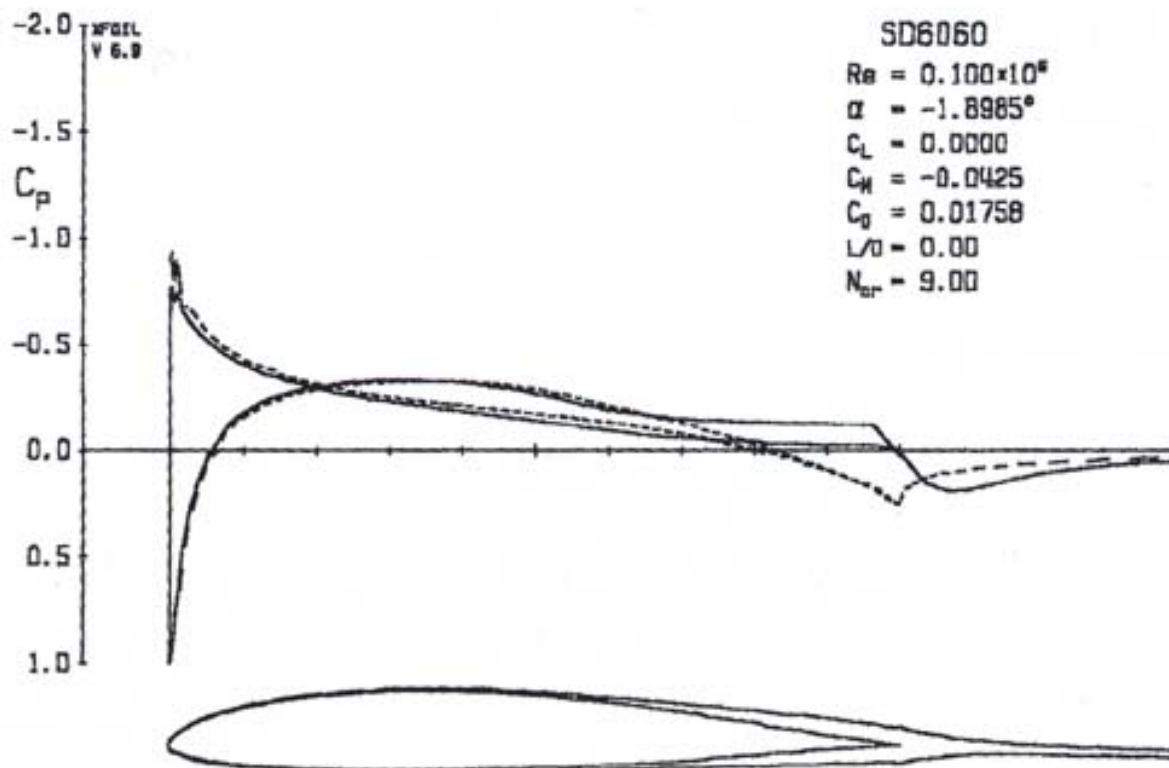
Per portare un valido esempio, ho ripercorso la strada di Selig, applicando i suoi insegnamenti circa la rampa della bolla per il profilo E374, trasformato dal professore americano nel più performante SD6060. Attraverso l'analisi del grafico della distribuzione delle pressioni dell' SD6060, ho operato variazioni simili nella distribuzione delle velocità del profilo Eppler 374, ottenendo in breve tempo l' MM1910, le cui caratteristiche sono, ovviamente, molto vicine a quelle dell' SD6060. La distribuzione delle pressioni dei due profili (prima e dopo la cura) ricalcano, in generale, quelle mostrate da Selig in "Airfoil at low speed" (volume pubblicato oltre dieci anni fa e che ancora oggi fornisce dati importanti a molti aeromodellisti). Alcuni di questi profili vennero appunto modificati con Xfoil. Nei suoi volumi, Selig, parla di questo programma convalidandone le prove agli alti NR, mentre per i bassi NR, asserisce che le previsioni di Xfoil sono leggermente pessimistiche, il che ci rassicura sulle prestazioni dei nostri profili nel caso le polari non siano così buone. Ai bassissimi NR, quindi, con corde molto ridotte, quali quelle degli HLG, lo stesso Prof. Drela assicura l'alto grado di precisione di XFOIL ; e su questo c'è da credergli, visti i suoi risultati nelle competizioni americane nella categoria e nel volo indoor.

FIG. 5

Distribuzione delle pressioni dell'E374 per $\alpha 0^\circ$

Tornando ai nostri profili, vediamo che la fig.5 mostra (con linea continua), la distribuzione delle pressioni dell'E374. Nell'analisi, vengono considerate le caratteristiche di viscosità dell'aria, per cui la bolla viene visualizzata, mentre la linea tratteggiata (relativa alla distribuzione non viscosa), non la evidenzia. A destra del diagramma, sono riportati i dati relativi al test. L'angolo a cui questo si riferisce è quello di portanza nulla (-2.47°). Oltre alle differenze relative ad un minor coefficiente di momento e ad un angolo di portanza nulla più piccolo (fig.6), la curva della distribuzione viscosa appare più morbida e meno gibbosa, per le modifiche apportate da Selig. Entrambe le curve mostrano un evidente appiattimento (verso il 60% della corda per l'E374, e a partire dal 65% per l' SD6060, per 100KNR). Gli appiattimenti, indicano la presenza di un distacco laminare, con successiva transizione e riattacco, immediatamente prima del bordo d'uscita, evidenziato da un ripida inclinazione e da un flusso di spessore maggiore (turbolento). Sul profilo (sotto il diagramma), è riportato il comportamento dello strato di aria che lo lambisce: sottile nella prima parte del profilo, e sempre più spesso - bolla compresa - verso il bordo d'uscita. La fig.7 evidenzia il risultato dello stesso test, per condizioni uguali, dell' MM1910. Il valore zero riportato in ordinata in corrispondenza dell'asse delle ascisse, indica il livello della pressione corrispondente sottoforma di coefficiente. Osservando la curve è visibile che la pressione relativa alla superficie dorsale è inizialmente positiva fin quando si sviluppa sotto l'asse delle ascisse, ma nella la fig.8 della distribuzione dell' MM1910, relativa ad un angolo di 6° , la distribuzione dorsale ha un valore negativo (depressione), per oltre il 90% della superficie, mentre la distribuzione ventrale, mostra valori di pressione positivi. Da notare che, mentre nel diagramma ottenuto per $Cl=0$, la bolla è situata in prossimità del bordo d'uscita, nel diagramma relativo ad Alfa 6° , è posizionata fra il 30 e il 60% della corda, e continua ad avanzare, man mano che l'angolo aumenta, fino all'incidenza di stallo. Ad ora, abbiamo visto le distribuzioni ottenute attraverso il comando "ALFA", ma vediamo come è possibile modificarle per ottenere risultati differenti.

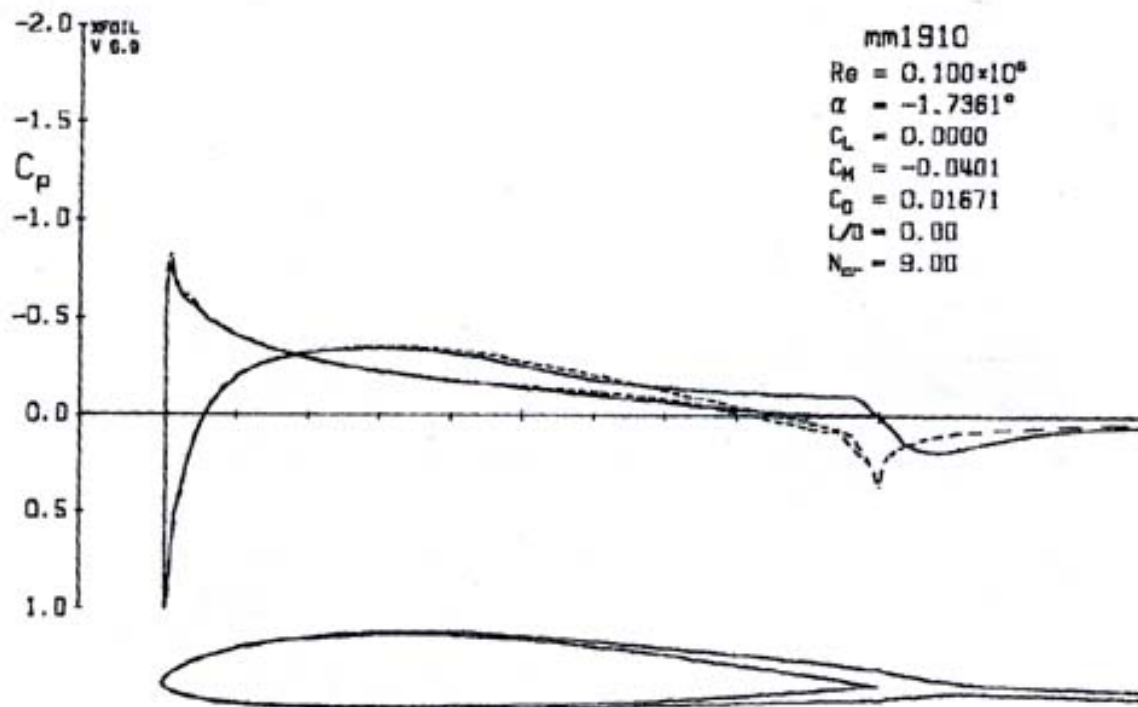
FIG. 6



Distribuzione delle pressioni dell'SD6060 per alfa 0°

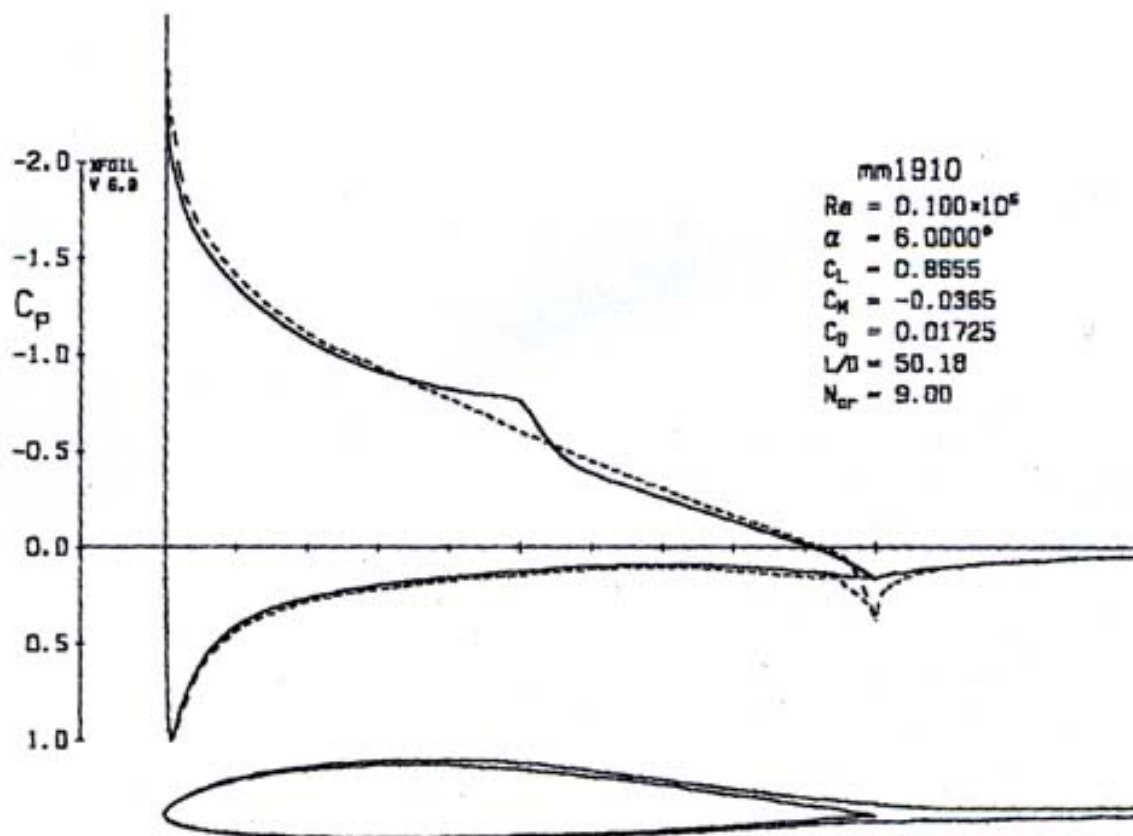
Attraverso la routine "MDES", entriamo nel vivo della progettazione. Come nel caso dell'E374, trasformato nell'SD6060, possiamo partire da un profilo che ha caratteristiche medie, ma che nella polare presenta dei problemi, costituiti da una ampia bolla di separazione e da conseguente resistenza elevata. Volendo creare un profilo completamente nuovo, nessuno ci vieta di partire da un profilo simmetrico e modificarlo sostanzialmente con la routine geometrica, prima (variando camber, spessore e bordo d'entrata), e, tramite "MDES", poi, regolarizzarne la distribuzione delle velocità. Tale routine, parte da un grafico della distribuzione delle velocità denominato "QSPEC", specificato per l'intera superficie, come punto di partenza per le modifiche. Digitando "MDES" dal menu principale, immediatamente si apre il grafico che presenta la distribuzione dorsale (a destra), e ventrale (a sinistra), dove le curve vengono tracciate su una griglia, suddivisa in dieci parti, che, in lunghezza, rappresenta la corda. Il comando "BLOW" ingrandisce la zona che comprende la curva da modificare a proprio piacimento, mentre "MODI", attiva il mouse per la modifica, punto per punto, del tracciato della distribuzione. Con il comando "SMOO", si va a lisciare la parte di curva modificata, ma prima è necessario delimitare tale zona (con il mouse), digitando nella finestra di programmazione, il comando "MARK" (Nome di Drele). "MODI e SMOO", possono essere usati ripetutamente, tenendo conto che, attraverso l'utilizzo ripetuto di quest'ultimo "utensile", una linea curva viene trasformata in una retta. Il tutto, agendo a intermittenza, ora sulla finestra grafica, ora su quella di programmazione, fino ad ottenere il risultato voluto. Con tale comando è anche possibile lisciare l'intero profilo. "FILT", è una alternativa al comando precedente, ma agisce direttamente sul quartetto di coefficienti del QSPEC ed è utilizzabile per "purificare" le coordinate da piccole deficienze o da irregolarità introdotte per una insufficiente definizione di una eventuale modifica, effettuata via mouse, da "GDES".

FIG. 7

Distribuzione delle pressioni dell'MM1910 per $\alpha 0^\circ$

Ma come agire? La distribuzione si può presentare più o meno regolare. Per cominciare si parte con l'ammorbidire ogni variazione di velocità, considerando che le accelerazioni improvvise, Deviazioni e rallentamenti eccessivi, creano resistenza. Attraverso il comando "VISC", avremo la possibilità di verificare, nel QSPEC, la formazione della bolla. Questa, e' riconoscibile (linea tratteggiata), da una deviazione della curva con incremento della velocità, seguito da un tratto a velocità quasi costante e un successivo brusco rallentamento che indica la transizione in flusso turbolento. Se la bolla è troppo ampia tenteremo di modificare la curva del QSPEC nella zona che la precede e che ne provoca la formazione. Difficilmente riusciremo a ridurre la bolla a zero, ma possiamo provare a ridurne le dimensioni. Teniamo presente che modificare il rapporto fra l'area superiore e inferiore del "QSPEC", corrisponde ad una variazione del C_p . Il C_p è due volte l'area sottostante la curva. Osservando la forma del profilo e facendo dei paragoni, prima e dopo la cura, nella polare, si possono verificare i risultati e capire dove agire ulteriormente. Come abbiamo detto in precedenza, le particelle di aria acquisiscono molta velocità nella primissima parte del profilo, subito dopo il punto di stagnazione. Questa parte, corrisponde, nel "QSPEC", al 2/3% della corda, poi le particelle iniziano a rallentare fino al bordo d'uscita. Per ottenere buone prestazioni, in fatto di resistenza, oltre al contenimento della bolla, il primo 25/30% del profilo dovrebbe presentare una pendenza molto graduale. I progettisti, regolano la distribuzione in modo da provocare, attraverso un rallentamento delle particelle, la transizione anticipata del flusso, da laminare a turbolento, in modo da limitare l'altezza della inevitabile bolla, e avere una ampia zona di recupero.

FIG. 8



Distribuzione delle pressioni dell'MM1910 per alfa 6°

La superficie dorsale, attraverso il "Qspec", va modellata in maniera che la perdita di velocità (= recupero di pressione) avvenga nel modo più dolce possibile. Un esempio valido e' rappresentato dal profilo S7003 dove la lunga rampa della bolla occupa gran parte della superficie dorsale. I risultati della buona distribuzione, sono visibili nella polare che mostra un andamento regolare e un C_r molto contenuto. L'altezza e l'ampiezza della bolla è monitorabile da "OPER", entrando nel Menu "VPLO", e digitando: "H". Attraverso il grafico che ne scaturisce, incrementando l'angolo "alfa", da "OPER", il comportamento della bolla non ha segreti. Con "CF" si apre, invece, un grafico che ne evidenzia l'ampiezza. Nel grafico, la formazione della bolla e' riconoscibile nel momento in cui la curva assume valore negativo, fino al punto in cui tale valore ritorna positivo (transizione). Se la curva non scende sotto la linea dello zero, il flusso è completamente laminare. Sempre nella routine "OPER", con "VPAR", possiamo definire un turbolatore dorsale o ventrale, posizionandolo a piacimento lungo la corda. Il turbolatore non è modificabile geometricamente ma i suoi effetti sono ben visibili quando le caratteristiche del profilo, ai bassi NR, non sono, così buone. Terminate le modifiche del "QSPEC", il comando "EXEC" le traduce in un nuovo profilo che deve essere ripannellizzato con "PANE" al livello superiore, perché dispone di uno scarso numero di nodi. Una volta eseguito il comando "PANE", le coordinate precedentemente caricate nel "buffer" con "LOAD", vengono sostituite con le nuove e il profilo corrente può essere ulteriormente modificato tramite le altre routines, oppure salvato con "SAVE", o analizzato in "OPER".

La routine "QDES" è intesa per la modifica di un segmento di un profilo esistente, nel caso le restanti parti del profilo non debbano essere modificate. Quando immettiamo il comando "QDES" la distribuzione "QSPEC" utilizzata, è l'ultima calcolata in "OPER", e nel caso questa non sia stata ancora calcolata, "QDES" lo fa automaticamente. Desiderando intervenire, il tratto da ridefinire, va prima delimitato con il comando "MARK" e quindi modificato, anche ripetutamente, con "MODI", esattamente come nella routine "MDES". Al termine, il comando "EXEC" interesserà solo il tratto di profilo modificato, lasciando invariato il resto del profilo. "EXEC" richiede il numero di iterazioni di Newton da utilizzare per il calcolo misto/inverso. Due iterazioni sono generalmente sufficienti per stabilire con sufficiente precisione la nuova geometria. Le modifiche effettuate verranno tradotte direttamente nel profilo corrente che non dovrà essere ripannellizzato (segue).

Mario Marzocchi
(continua)

SEQUENZA COMANDI PER LA POLARE

NORM - normalizza il profilo portando la corda a 1 mm.

LOAD SD6060.DAT - carica le coord del profilo e specifica i dati relativi: n° di pannelli, valore della coordinata di bordo d'uscita; valore delle due coordinate di bordo d'entrata, corda normalizzata a 1 mm.

PANE – stabilisce il numero di pannelli a 140 per una buona definizione del profilo modificabili fino a un massimo di 280 tramite il comando PPAR con possibilità di variare la loro densità nelle zone di Bordo d'entrata , d'uscita o nella zona della bolla. Necessario in caso di caduta di convergenza.

OPER - apre la routine di calcolo della distribuzione delle velocità e della polare.

VISC - pulsante di attivazione del modo viscoso/non viscoso. Chiede il NR a cui operare. Digitare 100000 oppure 50000 per la prima curva della polare.

PACC - attiva l'accumulo dei punti della polare e chiede di specificare il nome di un file dove salvare i dati relativi alla prima curva. Es.: SD6060re100.

Alla richiesta del file Dump dare "INVIO". Il file Dump riguarda i soli dati numerici della DdV.

ASEQ – richiede l'angolo di attacco iniziale e finale, + il valore di incremento. Più piccolo e' l'incremento, più preciso e' il calcolo della curva. Es.: -3 ; 9 ; 0.25.

PACC disabilita l'accumulo dei punti.

PPLO - traccia la curva sullo schermo.

RE - richiede il NR per l'analisi successiva. Es.: 200000 - NR da digitare per la seconda prova

.INIT – "inizializza" il calcolo dello strato limite

Tornare alla riga: "PACC" e ripetere la sequenza per NR superiori.

ALTRI COMANDI

HARD – salva la polare in formato PS (postscript) visibile con AUTOCAD.

PWRT – salva i dati nei file specificati, se non salvati in precedenza con PACC.

ALFA – calcola e visualizza la distr.delle pressioni, Cp,Cr, Cm e E per l'angolo impostato.

CL 0 – come sopra x l'angolo di portanza nulla.

PSOR – ordina i punti della polare.

PGET – richiama per la visualizzazione (PPLO) i file precedentemente salvati con PACC.

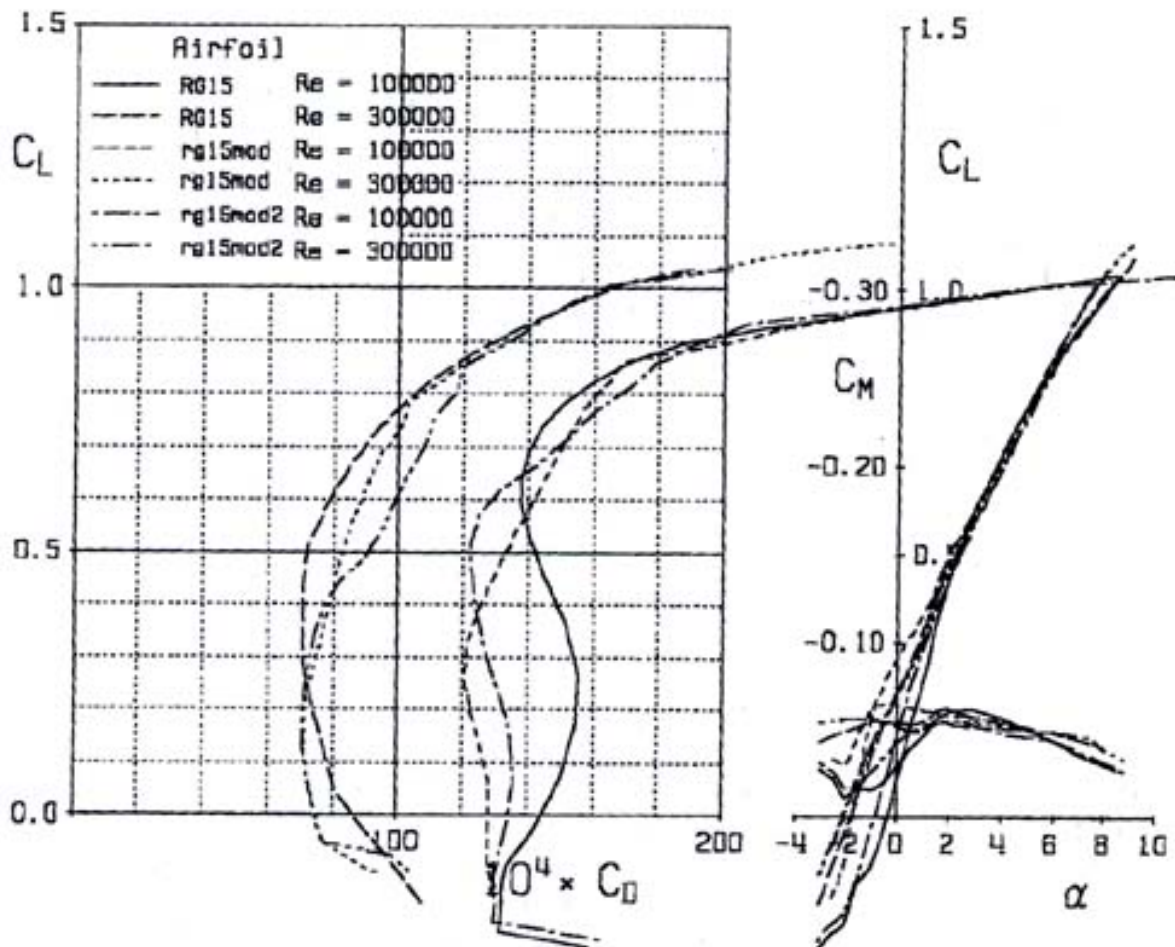
INVIO – torna al livello superiore.

La maggior parte dei modelli impiega ali costruite in modo tradizionale, mentre altre sono fabbricate con stampi di vario genere, dove la precisione del profilo non sempre arriva a livelli eccelsi. Ci sono sezioni che soffrono molto i difetti, alcune, invece, sembrano meno danneggiate dagli errori di riproduzione perciò la scelta del profilo, oltre alle normali caratteristiche, può essere influenzata anche da quest'aspetto. In un articolo precedente abbiamo accennato a prestazioni inferiori di quelle previste teoricamente per l'MH32 nei test di galleria del vento eseguiti dal Prof.Selig. In quel particolare caso, il campione alare, costruito da aeromodellisti collaboratori presentava un difetto di riproduzione. Lo stesso Selig pubblicò le coordinate effettive del profilo sotto esame, evidenziando lo scostamento da quelle originali. Martin Hepperle (progettista), tenne a precisare le discrepanze fra i test d'Urbana e di Stoccarda: nel test successivo il campione analizzato fu costruito più fedelmente e dette risultati sostanzialmente migliori. L'RG15 è indubbiamente un altro di quei profili molto usati in tutto mondo. Le sue performance, nonostante la progettazione di vecchia data, sono ancora oggi buone e uno dei motivi per cui probabilmente continua ad essere preferito è forse dato dal fatto che si comporta bene in tutte le salse: anche quando l'ala è costruita con sistemi tradizionali, le prestazioni non si allontanano così brutalmente da quelle teoriche; naturalmente gli errori devono essere contenuti altrimenti le prestazioni decadono. Uno dei modi per utilizzare Xfoil è di testare un profilo per vederne la risposta ai difetti, maltrattando la distribuzione delle velocità, o agendo direttamente sulle caratteristiche geometriche. Si possono poi fare interessanti test circa le performance dei Flap o turbolatori per scoprire l'esatto grado d'inclinazione o la migliore percentuale di corda dove piazzare il marchingegno. Ricordiamo che i profili che utilizziamo normalmente sui nostri modelli sono il frutto di programmi di questo tipo e che dopo la progettazione non sempre passano per i test di galleria del vento reale. Solo negli ultimi anni è stato possibile esaminare una buona parte di profili vecchi e nuovi, per appurarne le prestazioni. Fra i test condotti da Selig, quelli riguardanti gli Eppler hanno prodotto risultati abbastanza discordanti: il vecchio codice Eppler non prevedeva, allora, la bolla di separazione, ma solo alcuni simboli triangolari d'avvertimento. I triangolini erano stampati vicino alle curve della polare, in prossimità del tratto dove era ipotizzabile un'eventuale separazione laminare riguardante la superficie dorsale o ventrale. Oggi, questi profili, analizzati con programmi come Xfoil, danno risultati più realistici: non sempre le curve non sono così regolari e perfettamente parallele come una volta e le bolle, quando presenti, sono ben visibili. Sfruttando le possibilità offerte da questo programma, ecco i risultati di alcune prove condotte su certi profili, non tanto per ottenere normali polari, ma per analizzarne il comportamento anche nelle situazioni peggiori.

TEST

Partendo proprio dall'RG 15 vediamo che il primo test effettuato con il programma di Mark Drela (100/300KNR), riguarda il profilo originale dove ai bassi NR, lamenta un incremento di resistenza causato da una bolla di separazione estesa fra $C_p-0.1$ e $C_p0.6$. La seconda coppia di curve si riferisce al profilo RG15mod. così chiamato perché include una modifica alla curva dorsale allo scopo di verificare le conseguenze di un difetto di riproduzione. La deficienza è costituita da una piccola ondulazione positiva di due decimi, che si estende fra il 30 e il 40% della corda. Il terzo test si riferisce all'RG15mod2 con la stessa gobba, spostata verso il naso, al 15% della corda. I risultati dei test a 100KNR sono singolari, poiché "RG15mod" mostra caratteristiche diverse da quelle immaginabili: la piccola gobbetta, per le incidenze comprese nei 5° , precede la bolla e funge da rampa di transizione, annullandone gli effetti negativi, ma oltre $C_p0.65$ la resistenza aumenta leggermente. L'analisi della polare tuttavia non è così chiarificatrice come il calcolo del rapporto C_p/C_r (efficienza): alle basse incidenze i vantaggi di RGmod sono quantificabili con un guadagno di circa 7 punti, mentre a quelle alte, l'efficienza rimane praticamente invariata. Stessa cosa per RGmod 2 che tuttavia mostra 1 punto d'efficienza in meno alle alte incidenze. Nella prova a 300KNR: le curve concernenti i due profili modificati evidenziano un significativo miglioramento della resistenza nel campo d'incidenze comprese fra meno due gradi e zero gradi. Oltre i due gradi, il profilo originale mostra invece una differenza positiva di 8 punti (E), ribadendo gli effetti negativi del difetto. Una seconda analisi (polare non riportata x motivi di spazio), riguardante un incremento dello spessore dell'ondulazione a 4 decimi di mm, denuncia un forte aumento della resistenza e qualche problema del programma nel trovare la convergenza.

FIG. 1

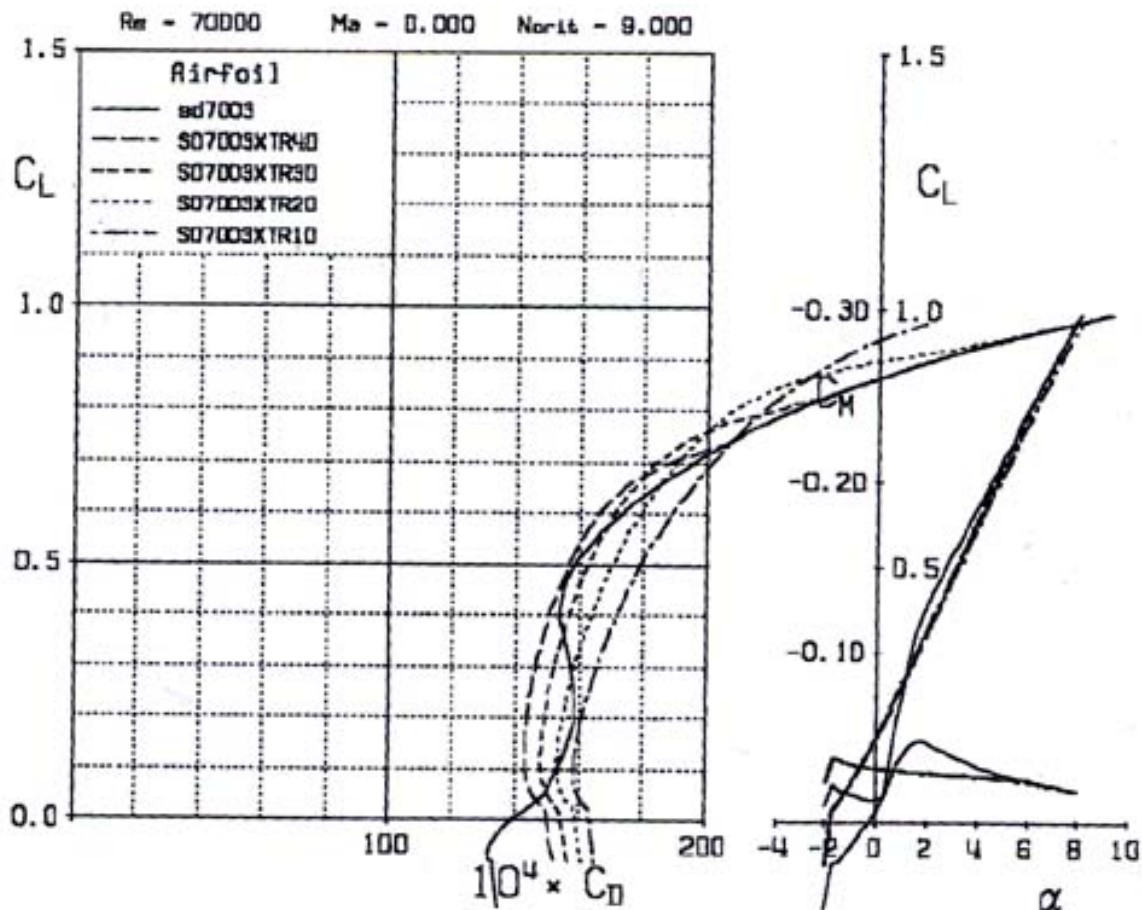


Test dell'RG15 normale e modificato con una protuberanza di 0.2mm, posta al 35% e al 15% della corda

GENERATORI DI VORTICI

Per quanto riguarda i turbolatori, vediamo un semplice test condotto sul profilo SD7003 impiegato su un modello di piccole dimensioni da un aeromodellista che ne lamentava la facile entrata in stallo al diminuire della velocità. La ricerca riguarda l'utilità e l'esatta posizione di un turbolatore di estremità, nella zona del bordo d'entrata del profilo, allo scopo di ritardare leggermente lo stallo, con corde estreme ridotte, quindi ai bassi NR. A costo di divenire ripetitivi e noiosi, ricordiamo che il NR si ottiene moltiplicando la corda, espressa in cm, per la velocità, in m/s, per il numero 690. Sapendo che ai bassi NR le prestazioni dei profili peggiorano notevolmente, è abbastanza scontato che la scelta cada su corde il cui valore minimo sia superiore a quello critico. Tornando all'SD7003, vediamo che questo profilo, fra quelli di Selig, è quello che ha meno bisogno di un turbolatore, giacché la sua particolare rampa della bolla ha un andamento talmente dolce e che il generatore di turbolenze, oltre le velocità che andremo a vedere, ha solo effetti negativi sul C_r . Per chi non conoscesse la funzione del turbolatore, vediamo che questo dispositivo serve a forzare la transizione del flusso da laminare in turbolento al fine di contenere l'elevato l'incremento di resistenza causato da una bolla di separazione che si sviluppa su molti profili ai bassi NR. Il dispositivo, generalmente, porta un netto miglioramento delle prestazioni alle basse velocità ma sviluppa più resistenza a quelle alte, conseguenza della transizione anticipata. Normalmente un dispositivo di questo tipo non va bene quando l'obiettivo da raggiungere è una elevata velocità massima, ma la funzione del turbolatore, oltre a quella appena vista, può essere anche quella di ritardare leggermente lo stallo di estremità, andando a posticipare leggermente il distacco del flusso dalla superficie dorsale del profilo. Il dispositivo in questione non è niente di trascendentale: è costituito da una striscia di nastro adesivo che rispetti, ad es., le misure indicative di Selig (0,17% della corda per lo spessore, 1%, per la larghezza), da attaccare nella prima parte dell'ala, ad una percentuale della corda che generalmente è del 20%. I turbolatori hanno varia forme e dimensioni ma quello più comune è il "3D", costituito da un nastro tagliato a zigzag con particolari forbici usate in sartoria. La zona del turbolatore non sempre è facile da stabilire: disporlo troppo avanti nel bordo d'entrata, come vedremo, ha un'efficacia maggiore, ma è anche il modo migliore per far aumentare sensibilmente il C_r . Con qualche prova, è possibile assodare che l'efficacia del dispositivo rimanga ugualmente elevata, spostandolo, ad es., dal 20% al 40% della corda, mantenendo la resistenza a livelli più bassi. Altre volte la sua posizione migliore è inevitabilmente molto avanzata.

FIG. 2



Polare dell'SD7003 normale e con turbolatore a partire dal 40% della corda verso il bordo d'entrata

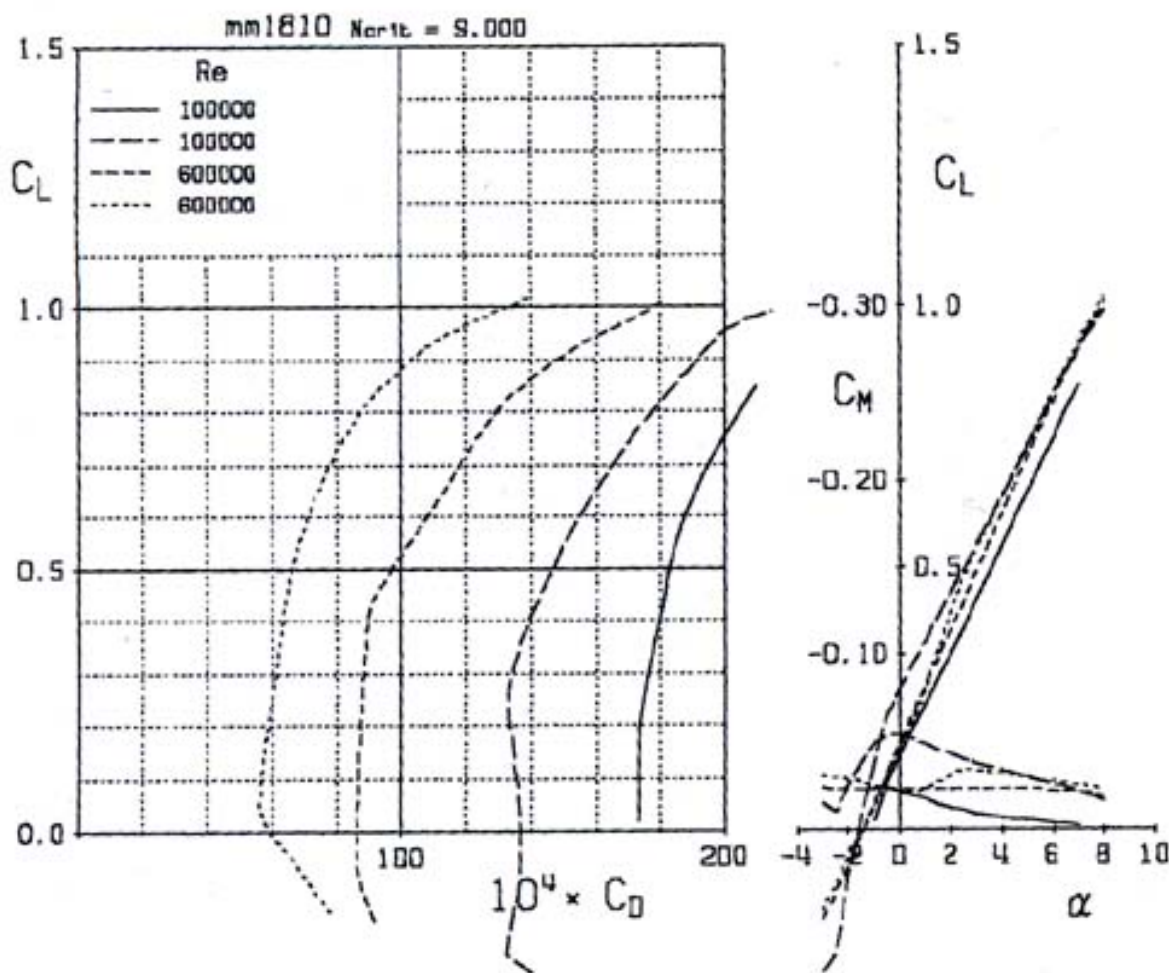
Un modo preciso e rapido per stabilirne la posizione, è attraverso l'osservazione del punto di transizione sulla corda, seguendo l'andamento della curva relativa alla superficie superiore e inferiore del profilo, con i diagrammi forniti da Xfoil. Non sempre un turbolatore è il toccasana dello stallo: nel caso si verifichi una situazione di stallo abbastanza violento, e il profilo sia fra quelli considerati buoni, è opportuno verificare che non ci siano grossolani difetti di riproduzione dello stesso (gobbette, appiattimenti o avvallamenti), o che una delle estremità alari abbia un'incidenza geometrica diversa dall'altra. Talvolta alcuni piloti, che si lamentano dello stallo, utilizzano tanto comando d'alettoni e di "cabra" da poter sopperire a due modelli acrobatici, pertanto, prima di ricorrere al turbolatore, è sacrosanto controllare le cose più ovvie, partendo proprio dalle escursioni. Venendo finalmente al nostro SD7003, i cinque test effettuati a 70KNR sono rappresentati nella figura 2. La prima curva senza la dicitura "xtr" (riconoscibile per la linea continua), mostra il risultato del test del profilo vergine: l'andamento della curva, in considerazione del basso NR, è piuttosto regolare. Le altre curve indicano come il generatore di vortici, posto prima al 40% della corda, e portato, di 10% in 10%, verso il bordo d'entrata, abbia un effetto benefico, sia sulla piccola bolla, che sull'andamento della curva, verso il C_p max. In pratica il test ci rivela che la presenza del turbolatore consente un miglior rapporto C_p/C_r a parità di incidenza. Ma se il turbolatore ha degli effetti benefici nella zona del C_p max, è altresì evidente che le curve si spostano, tanto più a destra, quanto più avanzata è la posizione del marchingegno.

CARENATURE

Una delle soluzioni adottate comunemente dagli aeromodellisti per la protezione dei servi alari sono le borchie rotondeggianti più o meno lenticolari. Talvolta queste sporgono dal ventre del profilo per 10 e più mm. Alcune, includono dei prolungamenti che servono a proteggere le aste di comando verso le parti mobili. Considerando un maggior spessore locale di circa 10 mm e una posizione di tale protuberanza, intorno al 50/60% della corda alare, il test concernente la borchia, eseguito ad incidenza zero, mostra un notevole incremento della resistenza locale, corrispondente ad un calo dell'efficienza di circa 11 punti. I risultati dell'esame completo sono visibili nella polare tre. Il doppio test effettuato a

100KNR e a 600KNR riguarda il profilo MM1810, con e senza borchia. Comprensibilmente, le curve, che a parità di NR risultano spostate a più destra, sono quelle riguardanti lo stesso profilo con carenatura. E' sottinteso che questi dati interessano la sola sezione alare dov'è presente la protezione del servo e che l'elevato sviluppo di resistenza è tale, solo nel punto di massimo spessore della carenatura. Uno studio di Martin Hepperle sui leveraggi dei servi alari, quantifica l'aumento di resistenza locale dovuta a questi accessori, intorno al 30%. Il professore tedesco, consiglia l'installazione dei servi alari, carenatura e leveraggi sulla superficie dorsale dell'ala, dove gli effetti negativi sulla resistenza sono minori. Considerando che il flusso ventrale rimanga laminare più a lungo, rispetto a quello dorsale, la scelta di montare i servi alari e relativi comandi, sul dorso, deriva dal fatto che questi, in parte, vanno a cadere all'interno della inevitabile bolla di separazione dorsale. Al contrario, sul ventre, creerebbero una zona pur limitata di distacco laminare. Con lo spostamento della carenatura dal ventre al dorso del profilo, Xfoil ha ribadito pienamente la validità delle sperimentazioni portate avanti da MH: la perdita di efficienza, a zero gradi, è risultata di un solo punto, mentre a sette gradi, i punti di efficienza perduti risultano soltanto tre. Per la stessa ragione, quando gli errori di riproduzione del profilo riguardano il dorso (come per l'RG15), talvolta, gli effetti negativi si riducono o addirittura, i piccoli errori anticipano la transizione. Normalmente, e anche in questo caso, la transizione anticipata viene pagata con un leggero aumento di resistenza agli alti NR. Se invece, il difetto cade all'interno della bolla, l'incremento di resistenza è spesso trascurabile, o nullo, ma bisogna ricordare che la bolla non è stabile in un punto del profilo, ma si sposta verso il bordo d'entrata, aumentando l'angolo di attacco.

FIG. 3



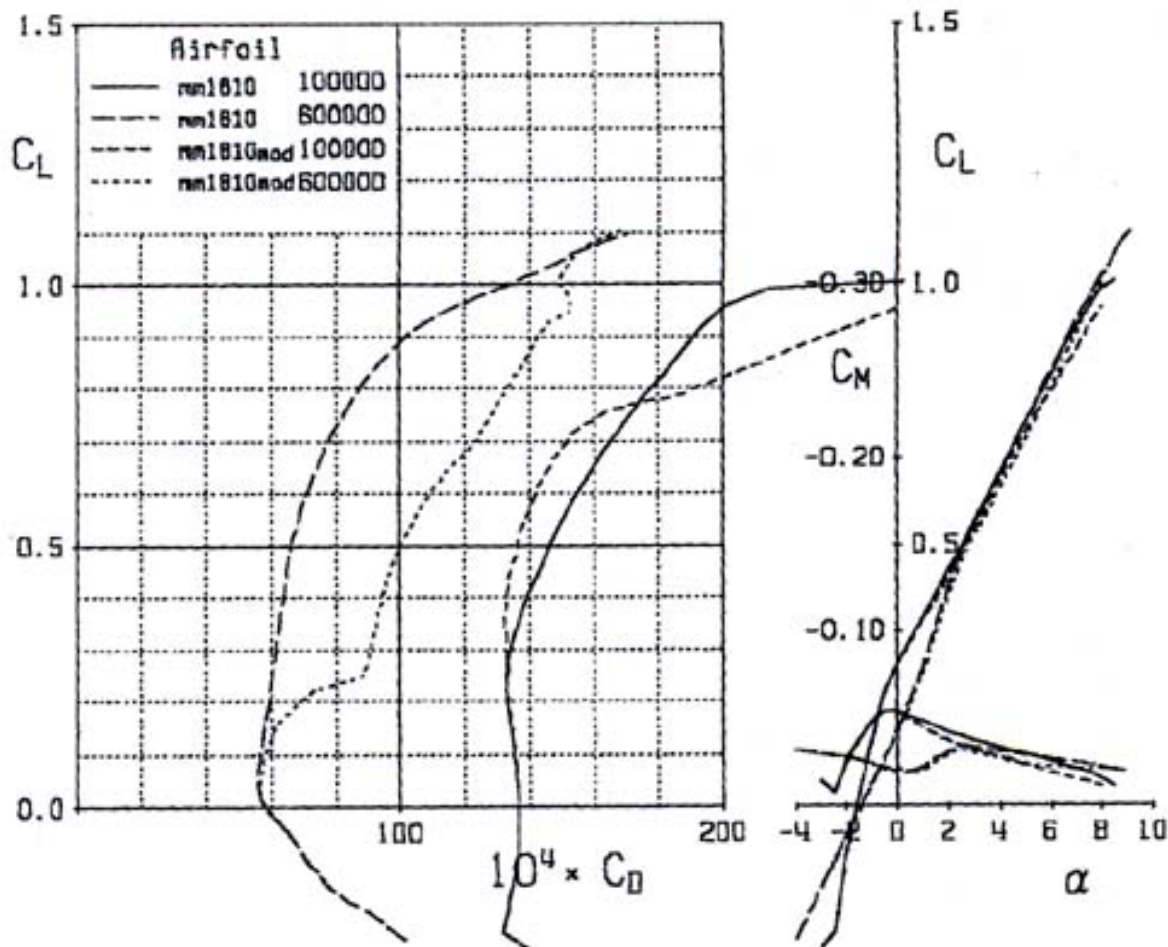
Risultati dell'MM1810 normale e con una carenatura ventrale porteggi servo.
A parità di NR le curve più spostate a destra riguardano la carenatura

BORDI

Circa il bordo d'entrata, già in precedenza abbiamo accennato come un errore in questa zona possa cambiare le prestazioni dei profili, influenzando sensibilmente sulla resistenza e sul coefficiente di portanza massimo: un piccolo difetto, e il valore del C_p cala sensibilmente, mentre il C_r , ai bassi NR, può anche migliorare. Tutto ciò ci suggerisce l'importanza di una buona riproduzione del "naso", ma la precisione necessaria in questa zona è veramente molto elevata e difficile da raggiungere. Attraverso una modifica geometrica peggiorativa apportata al profilo MM1810, l'analisi della polare mette in luce come la

presenza di una piccola gobba, nella zona nasale (primo 5% della corda), produca effetti rilevanti (fig.4). Il test a 100KNR indica un miglioramento del C_r fra $C_{p0,3}$ e $C_{p0,78}$, dopodiché l'incremento è consistente. A 600KNR le conseguenze negative sono evidenti: poco sopra C_{p0} la resistenza sale sensibilmente e si mantiene alta fino alla zona del C_p max. Il confronto con le due curve, riguardanti il profilo regolare, è decisamente negativo. Da considerare il fatto che la gobbetta è un difetto esemplificativo abbastanza grossolano e che gli errori di riproduzione generalmente riguardano il raggio del naso. Un ulteriore prova riguardante un aumento irregolare del raggio del naso (5%), ha dato risultati migliori dal punto di vista della resistenza, ma il C_{pmax} è sceso di circa il 20%.

FIG. 4

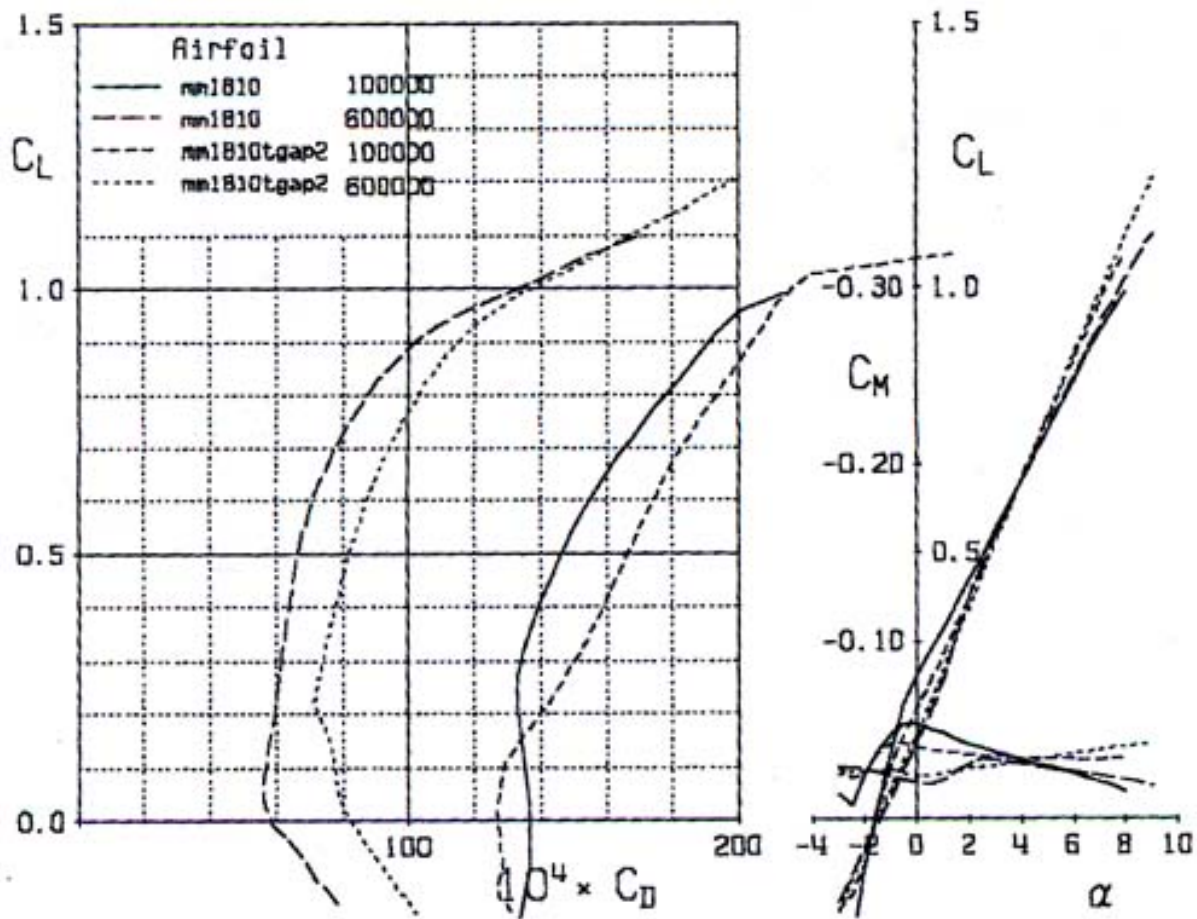


Polare mm1810 normale e con difetto al 5% del bordo d'entrata

Dalla parte opposta, ecco il bordo d'uscita. Alcuni aeromodellisti non hanno gran considerazione di questa zona del profilo, addirittura ci sono strane ataviche credenze dove s'ipotizza che il profilo, in questa zona, produca ben poco (allora tagliamolo). E' vero che il bordo d'uscita non è così importante come il bordo d'entrata, tuttavia, considerando che è difficile riprodurre bene il b.e., vediamo almeno di recuperare qualcosa lavorando con attenzione sul b.u.. Ebbene, un b.u. sottile, non è difficile da realizzare e avvicina le prestazioni pratiche a quelle teoriche, infatti, quasi tutti i profili testati con i vari codici hanno il b.u. che termina a zero. Nel caso che l'incremento di spessore del b.u. non sia distribuito regolarmente, ma sia posto nell'ultimo 10/15% della corda, il profilo assume quella forma finale a "coda di rondine" dove gli effetti sulla resistenza divengono ancor più importanti anche ai bassi NR. Fra le sue numerose opzioni, Xfoil prevede anche la variazione dello spessore del b.u. con scelta della distribuzione di spessore, lungo la corda, per raccordare la modifica al resto del profilo. I test condotti su diversi profili hanno confermato che lo spessore del bordo d'uscita provoca un aumento di resistenza considerevole soprattutto alle alte velocità. Un b.u. di 0.5 mm è quello che ha dato risultati accettabili; oltre i 2 mm gli effetti sulla resistenza sono pesanti. Nella prova riguardante l'MM1810 a 100KNR, con bordo d'uscita di due mm, raccordato al profilo nei soli ultimi 10 mm della corda, si nota un miglioramento della piccola bolla di bordo d'uscita corrispondente alle incidenze vicine a C_{p0} (fig.5). Al di sopra di queste incidenze il maggior spessore produce un considerevole incremento del coeff. di resistenza con perdite d'efficienza intorno ai 5 punti. A 600KNR, per una incidenza di due gradi, la perdita d'efficienza arriva addirittura a toccare i 14 punti. Ovviamente a questi NR le incidenze da considerare sono quelle basse. Un altro interessante aspetto è dato dalle variazioni rilevabili nella curva del Coefficiente di momento. Il profilo con bordo d'uscita più spesso mostra un C_m più contenuto, probabile conseguenza della forma a coda di rondine

che agisce come parte limitatamente autostabile. Questo conferma che lo spessore del b.u. influisce sensibilmente sui tre coefficienti della polare (C_p ; C_r ; C_m), nonostante le credenze popolari.

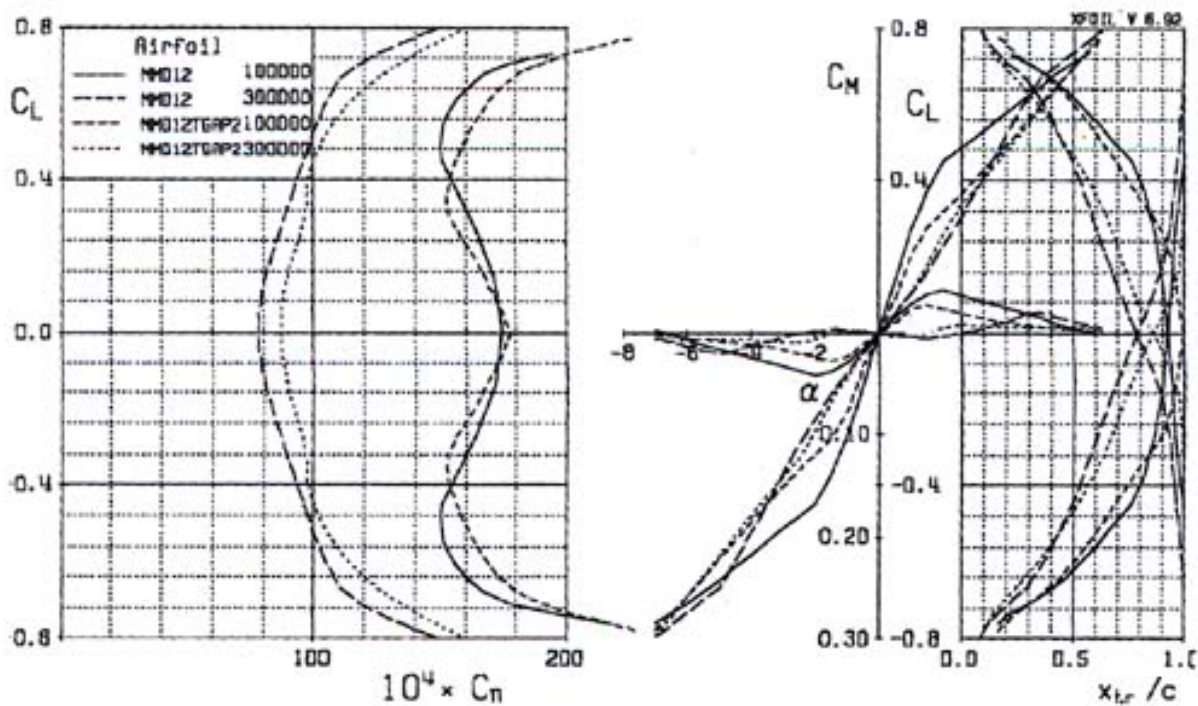
FIG. 5



Confronto fra la MM1810 con bordo d'uscita tagliente e con bordo d'uscita di 2 mm di spessore

Continuando su questa falsa riga vediamo che i test relativi dell'MM012 (simmetrico x piani di quota) evidenziano gli effetti di un b.u. di 2mm, su C_r e C_m . Le due prove (100KNR - 600KNR) indicano risultati diversi rispetto a quelli effettuati con profilo con bordo tagliente. A 100KNR l'aumento di spessore si traduce in un miglioramento nel campo delle basse incidenze, mentre salendo verso il C_{pmax} la resistenza aumenta. Nella polare dell'MM012, osserviamo uno di quei casi in cui i benefici sono dovuti al fatto che l'aumento di spessore del b.u., distribuito gradualmente dal programma lungo le due superfici, migliora la distribuzione delle velocità creando una rampa della bolla più dolce. La cosa si traduce in minor ampiezza della bolla di b.u. e un minor sviluppo di resistenza, ma anche in una leggera diminuzione del C_m . Nella seconda curva a 300KNR, i risultati negativi divengono più importanti andando ad interessare, come al solito, la resistenza.

FIG. 6

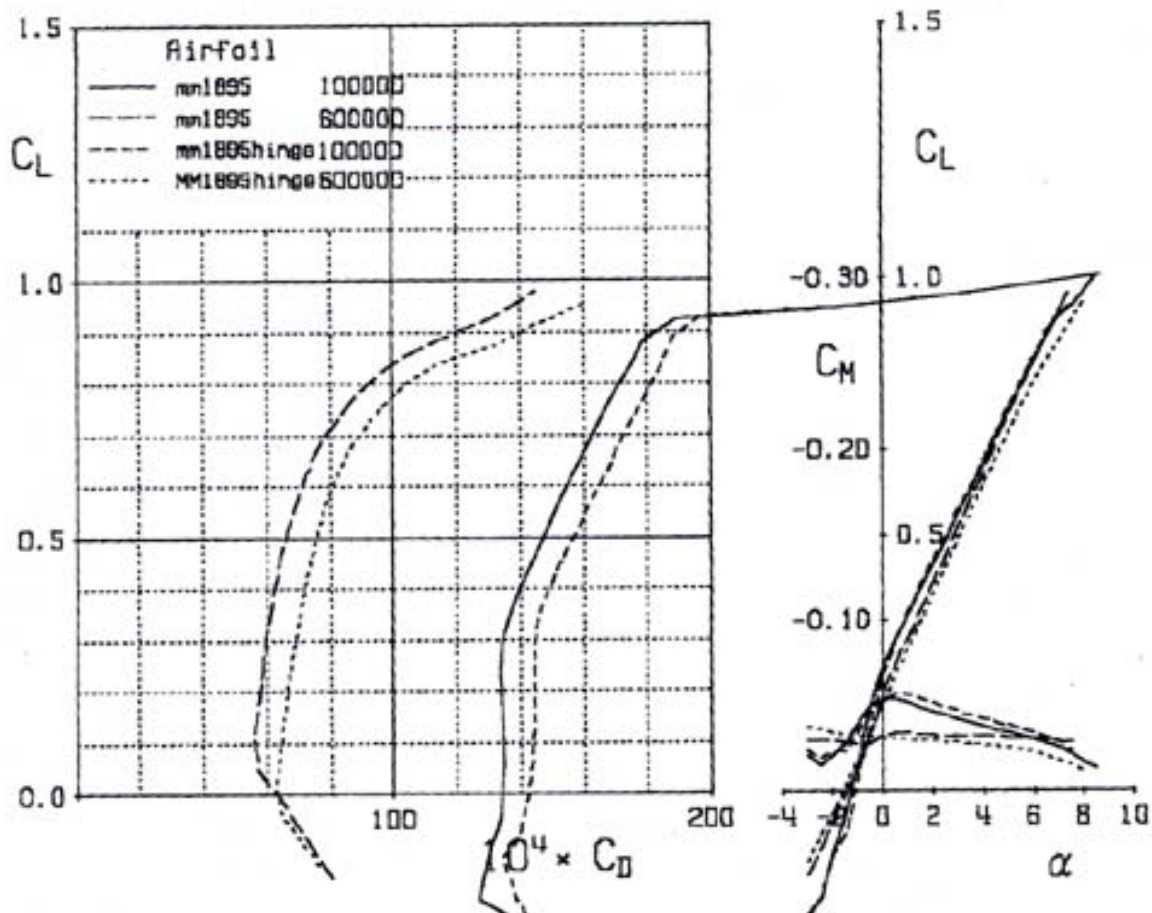


Differenze fra l'MM012 con bordo d'uscita tagliente e con bordo di 2 mm

FESSURE

Un'altra prova molto indicativa, riguarda la fessura delle parti mobili. Da dire che la fessura a "V" rovesciata, creata nel profilo, con le possibilità offerte da Xfoil, non è così profonda come nei modelli: il programma non prevede variazioni così improvvise, sul contorno del profilo, in ogni caso, la fessura simulata è sufficiente per permetterci di analizzare il comportamento dell'MM1895, che possiamo ritenere generalizzato per altri profili. Analizzando la polare relativa, le coppie di curve riguardano i risultati ottenuti per 100 e 600KNR per lo stesso profilo, con e senza fessura, posta a circa il 75% della corda come nel caso degli alettoni o flap. Le conseguenze sono visibili con le due curve che a parità di NR sono più spostate a destra. Anche forzando la transizione con un turbolatore, portato gradualmente in posizione avanzata, le due curve rimangono dove sono. La cura per questo problema è ben conosciuta e andrebbe eseguita in fase di costruzione dell'ala mantenendo le fessure al minimo. Nella peggiore delle ipotesi, la chiusura delle fessure a "V" è facilmente realizzabile attraverso dei piccoli schermi adesivi, reperibili in commercio.

FIG. 7

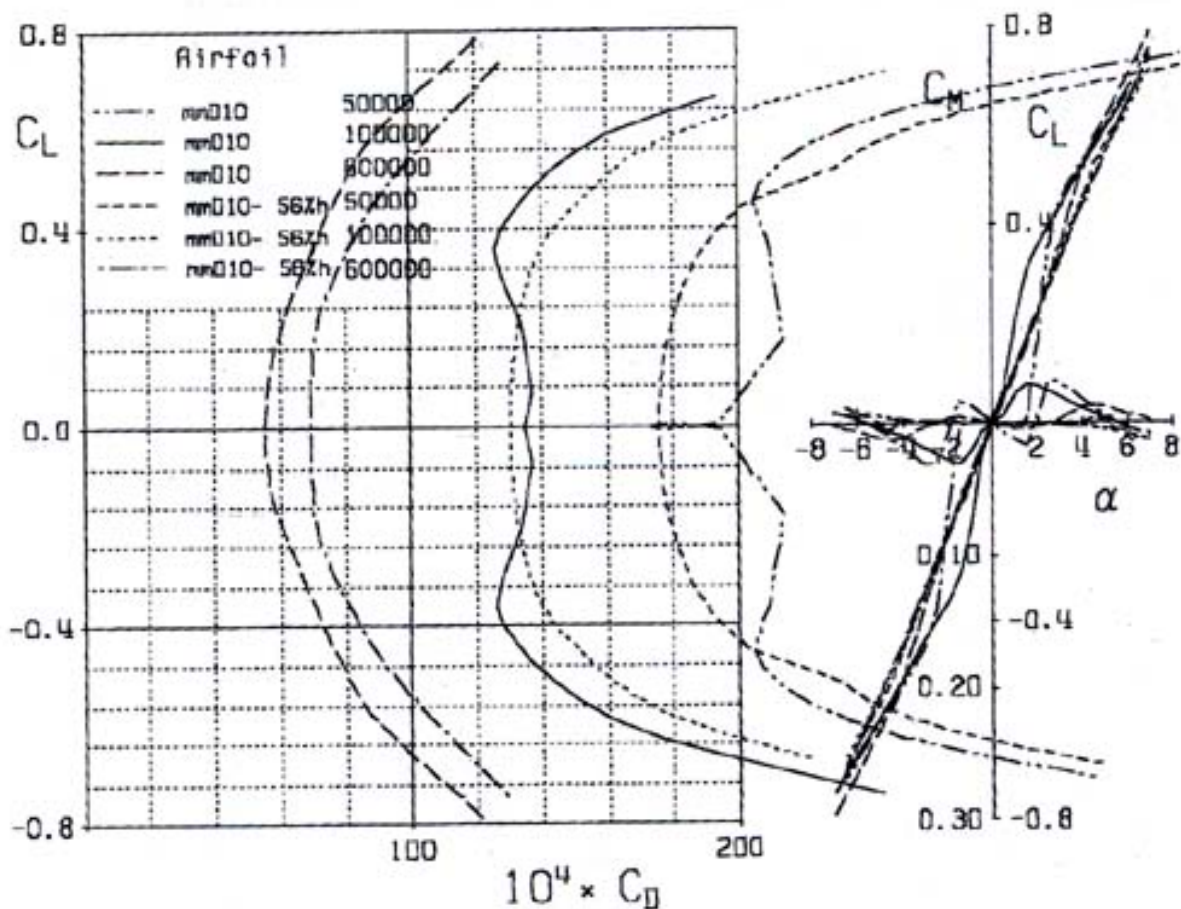


Risultati del test MM1895 normale e con fessura a "V" ventrale per alettoni

La polare dell'MM010 è il risultato di un test particolare dove il profilo simmetrico per piani orizzontali è stato prima testato a 50,100 e 600KNR senza la presenza di fessure, poi riproducendo una fessura molto limitata. A 50KNR vediamo che la curva presenta una strana forma simile ad una parentesi graffa e che ad incidenza di portanza nulla, mostra una punta pronunciata, dove la resistenza è molto più bassa.

La strana forma è tipica di molti profili simmetrici e la ritroviamo, più accentuata, nei vecchi Naca. Michael Selig, definisce questa sagoma appuntita: "banda morta". Nella pratica, la banda morta si traduce in instabilità: la bolla viene e va secondo la posizione del trim o del comando correttivo e in questo frangente il pilota non riesce a trovare la giusta posizione del trim.

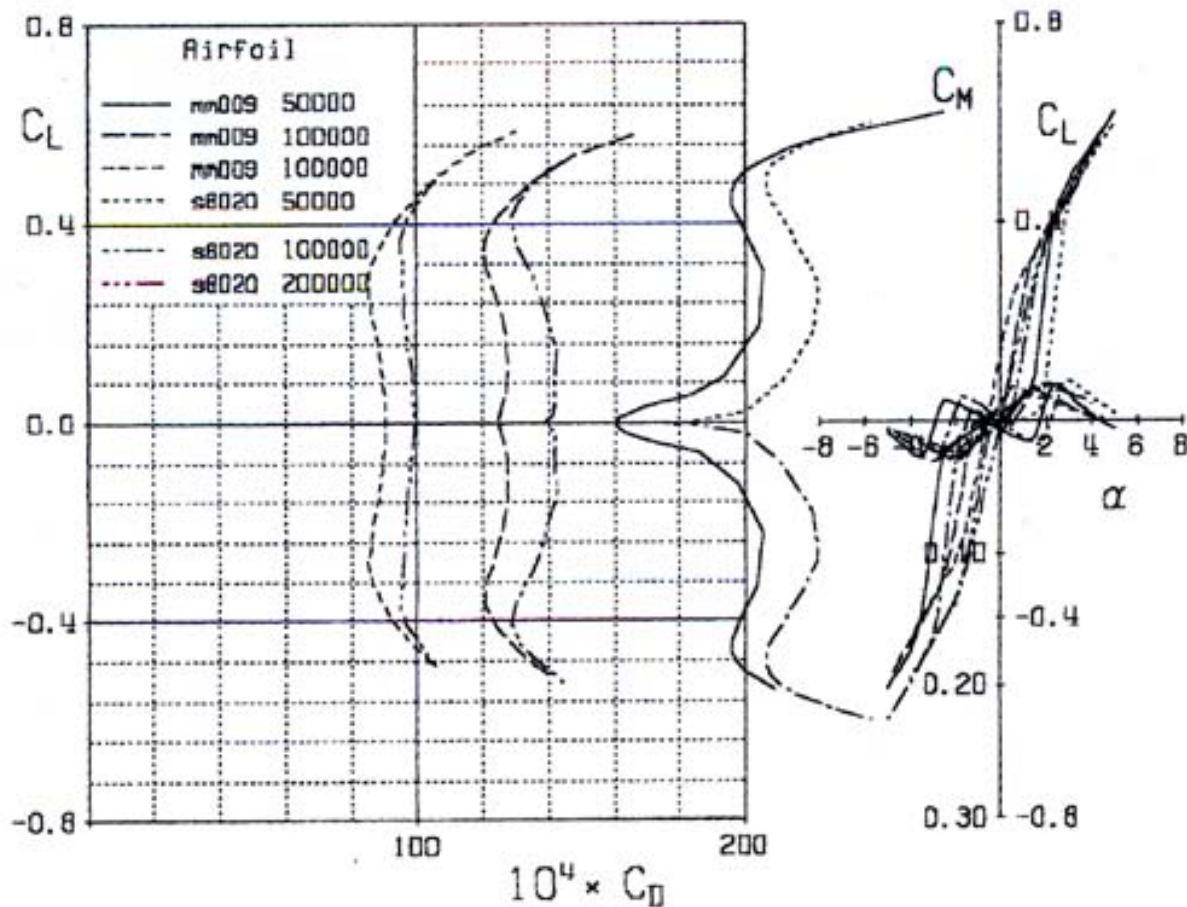
FIG. 8



Differenze fra l'MM010 senza fessure e l'MM010 con fessure ridotte poste al 56% della corda

Il contenuto NR cui questa situazione si riferisce è stato scelto appositamente in conseguenza delle piccole corde che di solito caratterizzano uno stabilizzatore. Nell'ultimo modello costruito (Swift 3.30m) la costruzione dello stabilizzatore tutto fibra prevede l' MM010 con parte mobile pari al 44% della corda, scelta fatta valutando la posizione della bolla relativa alla banda morta. Il movimento è realizzato con soluzione a compasso, fessura molto ridotta e uno scalino di dimensioni contenute, sia lato dorsale, che ventrale. Nel test in questione, la piccola fessura necessaria per il movimento è posta al 56% della corda su entrambe le superfici del profilo in esame. I risultati, come visibile, indicano la scomparsa della banda morta e un netto miglioramento del C_r alle basse incidenze sia a 50, che a 100KNR. Per contro, la resistenza alle incidenze elevate, come prevedibile, è maggiore, e si nota una flessione del C_{pmax} . In questo caso, la fessura si comporta esattamente come un turbolatore, infatti, il test condotto con tale dispositivo (non riportato), fornisce gli stessi risultati. La polare successiva mette a confronto l'SD8020 con l'MM009. Entrambi i profili mostrano la caratteristica banda morta per 50KNR, ma la curva dell'MM009 indica una resistenza sensibilmente più bassa pur essendo più spesso dell'SD (8%). Per entrambi è consigliabile un turbolatore che elimini, o mitighi, gli effetti della banda morta, o come abbiamo appena visto, di una fessura posta prima della bolla di b.u. Nelle curve a NR più elevati, la banda morta scompare; la differenza di resistenza fra i due profili diminuisce e si annulla per le alte incidenze.

FIG. 9



Confronto MM09/S8020

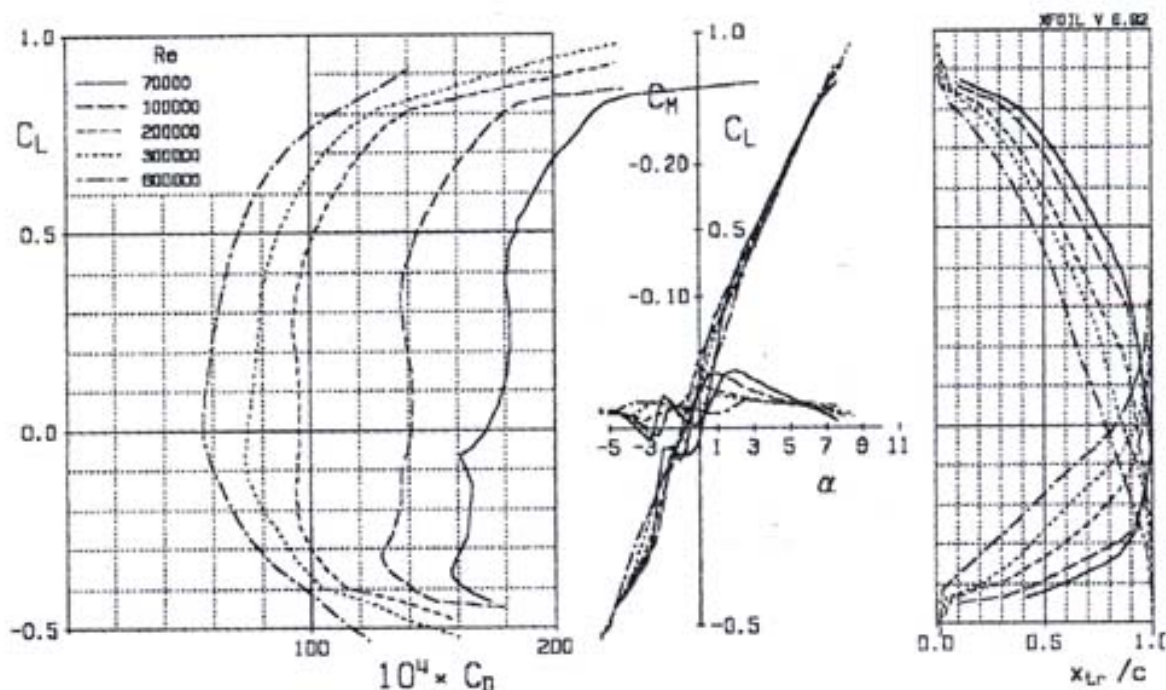
Mario Marzocchi
(Continua)

Ripubblicato per gentile concessione dell'autore Mario Marzocchi e dell'editore della rivista Modellistica Int

Eccomi finalmente in fondo alle mie fatiche: ore e ore di lavoro per riprogettare e ottimizzare una serie di profili personali nati molti anni fa e che oggi impiego su tutti i miei modelli. Quella dei profili è sempre stata una mia passione, scaturita molto tempo addietro, quando, fin dagli inizi, osservando il volo degli allora pochissimi aeromodellisti che frequentavano i pendii, mi accorsi immediatamente delle notevoli differenze di prestazioni fra un modello e l'altro. Cominciai così ad informarmi circa i profili utilizzati sui vari alianti e, amando la velocità, detti inizio alla costruzione di un modello di un paio di metri, che impiegava il famoso E180. L'aliante, non aveva grosse pretese di "termicatore", ma accontentava la mia voglia di velocità, anche se il carico alare, rispetto a quelli attuali, era roba da ridere. In seguito, per mezzo di un semplicissimo computer per ragazzi (Commodore 64), sfruttai la formula inclusa nello stesso computer per tracciare la spirale logaritmica (utilizzata anche per il Ritz), con la quale "materializzai" il mio primo profilo. Era un profilo veloce che ai tempi si rivelò un vero purosangue, molto utile nelle garette di pylon in pendio, svolte durante il Meeting Monte Subasio. Da allora ne ho sempre studiati e provati molti altri, arrivando a testarne una settantina su modelli da pendio autocostruiti; altri ne feci per

modelli a motore: profili di derivazione "Ritz" e "Eppler", resi simmetrici, ottenendo risultati molto soddisfacenti. Attraverso i vari programmi "pescati" su Internet, ho continuato a lavorare su quella curva logaritmica iniziale, poi, grazie alla "liberalizzazione" di Xfoil, ho trasformato il mio lavoro dilettantistico in qualcosa di più serio, e ora, dopo mesi di studio, convalidato dall'impiego pratico, è arrivato il momento in cui mi sono sentito pronto per parlarne su Modellistica. Non ho ancora avuto il tempo di provare in pratica tutta la serie di profili MM, ma c'è chi mi da una mano: una parte di questi "girano" per l'Italia su modelli di mia progettazione e non, e, a parere dei modellisti che li utilizzano, offrono prestazioni molto soddisfacenti; per di più, i miei ultimi 4 modelli (Swift 3,30m, 7kg; Fox 3,58m, 8kg; Apache3,05-5,5kg e Neon Speed 3,05m- 5,5kg), oltre a dare una precisa risposta in acrobazia, si comportano ottimamente in termica pur con un carico alare fra 85 e 100gdm².

FIG. 1



Polare MM1010: a sinistra le curve 100/200/300/600KNR;
 Al centro il diagramma Cp/Incidenza e del coeff. di momento;
 A destra il diagramma del punto di transizione;

POLARI XFOIL

Prima di passare a vedere le polari, vediamo la loro composizione grafica, secondo Xfoil.

Per ogni profilo, il programma fornisce tre diversi diagrammi, facilmente interpretabili.

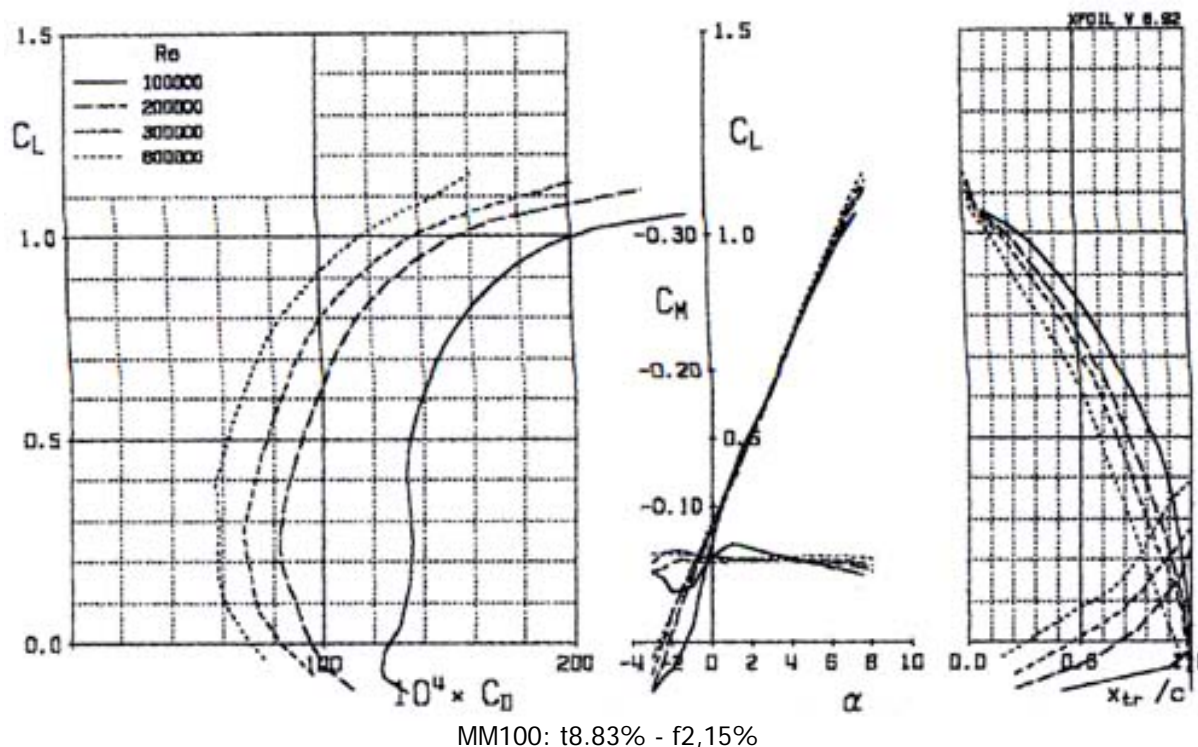
Quello di sinistra, ben noto, è comunemente detto: "Polare" e nel caso dell'MM1010, evidenzia 5 diverse curve, ottenute

per 70/100/200/300/600KNR (fig1). In ordinata i valori del Cp (coeff. di portanza - Cl in inglese), e in ascissa quelli del Cr (coeff. di resistenza - Cd in inglese). Per conoscere i valori della Cr è sufficiente riportare una linea verticale sull'asse dell'ascisse, partendo dal punto scelto sulla curva, mentre per il Cp, si fa la stessa operazione con una linea orizzontale, verso l'asse delle ordinate.

Il diagramma centrale, mostra l'andamento del Cp con curve che generalmente si "copiano" in relazione all'incidenza. In ordinata (a destra, con divisione 0,5), i valori di Cp. Riportando, verticalmente sull'asse delle ascisse, un punto trovato sulla curva del Cp, si "scopre" l'incidenza relativa. Riportando il punto coincidente con il Cpmax, vediamo l'incidenza massima. Sempre in ordinata, ma sulla sinistra, i valori di Cm (coeff. di momento, CM in inglese) con divisione negativa x 0,10; quando invece le curve passano al di sotto dell'asse delle ascisse il valore del Cm, diviene positivo. Circa le curve del Cm, vediamo che poco sopra l'asse delle ascisse, ne sono presenti una serie, parzialmente sovrapposte: le variazioni in altezza parlano dei mutamenti del coefficiente di momento in base all'incidenza. Attraverso queste curve, Xfoil mostra il comportamento del Cm, che non sempre corrisponde a quanto teorizzato dai vecchi programmi, meno accurati. Il terzo diagramma (a destra), per qualche lettore, sarà forse poco significativo o del tutto nuovo. Difficilmente questo viene mostrato nelle riviste, ma anche nella maggior parte delle pubblicazioni riguardanti profili non è molto frequente. Si tratta di un diagramma che serve soprattutto al progettista per verificare il comportamento dello strato limite attraverso lo spostamento del punto di transizione (sul dorso e sul ventre del profilo), in base all'aumento del Cp e dell'incidenza, per i diversi NR. Il punto di transizione segna la trasformazione del flusso laminare che, dopo la bolla di separazione, si riattacca alla superficie del profilo in forma turbolenta. Nella distribuzione delle pressioni, la bolla è riconoscibile per un aumento della pressione che va a formare uno scalino nella curva, con successiva diminuzione

(transizione) e riattacco. Il traguardo da raggiungere (dato che ai NR modellistici ottenere sempre un flusso completamente laminare e privo di bolle è utopico), è l'avanzamento graduale di tal punto, a partire dal bu, con l'aumentare dell'incidenza. In ordinata non è riportato alcun valore, ma la suddivisione della griglia corrisponde esattamente a quella del C_p del primo diagramma, pertanto, attraverso le semplici operazioni prima descritte, è facile correlare ogni punto delle curve, all'incidenza e al C_p . L'asse delle ascisse è invece suddivisa in dieci parti, la cui somma rappresenta la corda del profilo, quindi, riportando il punto prescelto sulla curva su quest'asse, si stabilisce a che punto della corda avviene la transizione relativa. La cosa risulta utile quando, a causa di una bolla di dimensioni eccessive, si vuole posizionare un turbolatore che forzi la transizione, limitando al massimo gli effetti sulla resistenza: più il turbolatore sarà arretrato minore sarà la resistenza generata dallo stesso dispositivo agli alti NR, ma il suo effetto verrà limitato ad un campo ridotto di incidenze. Se leggiamo il comportamento della curva a tratto continuo (relativa al dorso) che inizia all'estrema destra, sotto l'asse delle ascisse (100KNR), vediamo che per incidenze negative il punto di transizione si trova vicinissimo o in corrispondenza del bordo d'uscita: questo ci dice che il flusso che si sviluppa lungo la superficie dorsale rimane laminare per la maggior parte del percorso.

FIG. 2



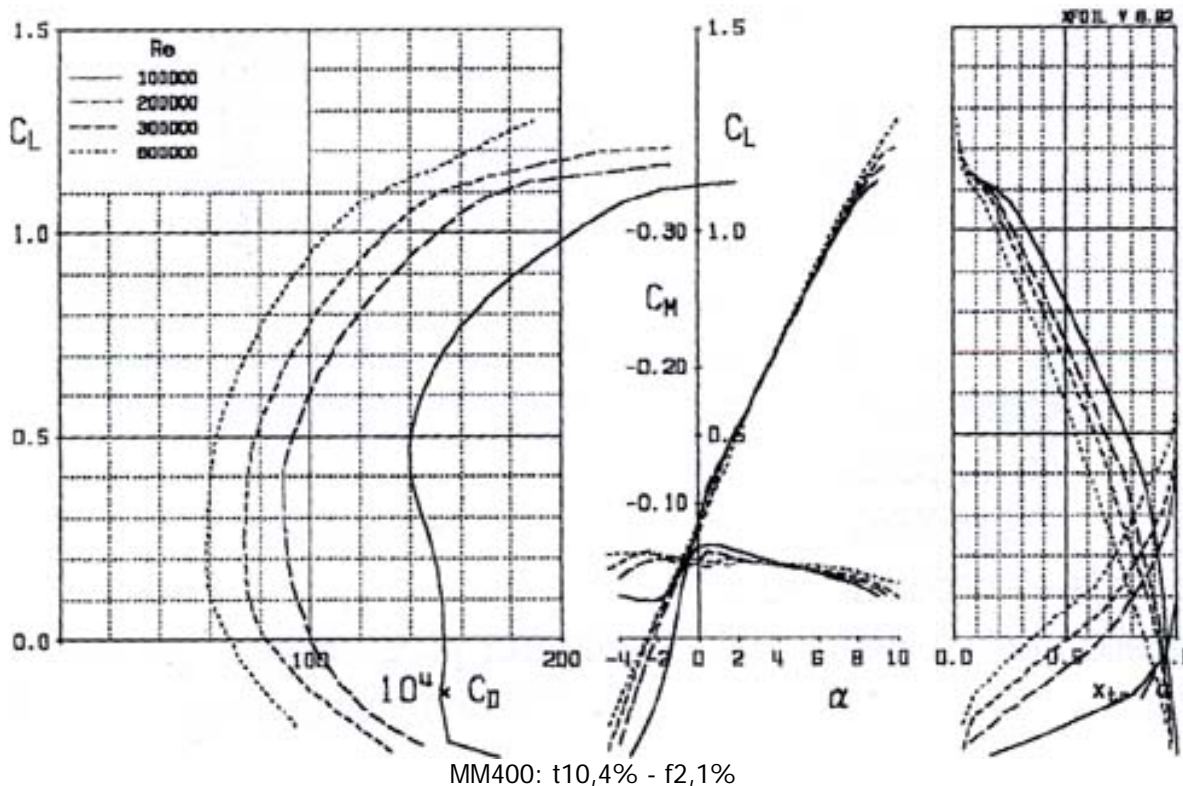
Man mano che il C_p di funzionamento aumenta, il punto di transizione si sposta in avanti verso il bordo d'entrata, fin quasi a "raggiungerlo" in prossimità dell'incidenza di stallo dove non c'è alcun riattacco. Per quanto riguarda il ventre, succede il contrario: alle incidenze negative il punto di transizione è vicino al bordo d'entrata e si sposta verso il bordo d'uscita man mano che l'incidenza diminuisce e diviene positiva. Il diagramma indica che poco sopra l'angolo di portanza nulla il punto di transizione è sul bu: il flusso è laminare e, normalmente, rimane tale per la maggior parte delle incidenze positive

NUOVO PROGRAMMA PROFILI 2

Qualche tempo fa vedemmo le caratteristiche del programma freeware "Profili 1", di Stefano Duranti, del gruppo feltrino Enrico Dalla Corte. Dopo un lunghissimo lavoro di programmazione, la seconda versione di Profili è ora disponibile nel sito: www.profil2.com dov'è scaricabile in versione light. La versione "pesante", invece, ha una dimensione di 15 M e, a richiesta, viene spedita a domicilio su CD per pochi Euro (rimborso spese). "Profili2", oltre ad un nutritissimo archivio (oltre 2200 sezioni, MM compresi), prevede molte novità fra cui: polari preelaborate per ogni profilo, con la possibilità di 20 diversi NR; gestione della pianta alare ellittica oltre alla trapezoidale; stampa delle dime di taglio del polistirolo; stampa di bordi d'entrata, d'uscita, longheroni e alleggerimenti; calcolo automatico per le polari di nuovi profili o con nuovi NR, tramite Xfoil, pilotato da Profili in modo facile e trasparente. Fra le molte novità: quella di un nuovo profilo estrapolato come mix di 2 esistenti, attraverso una percentuale di miscelazione a scelta. E' inoltre consentita la gestione di librerie di profili per nuovi aggiornamenti dell'archivio e l'esportazione-importazione su file ".dat" e ".txt". In seguito ad una

proposta personale fatta nella lista di "Profili" (software_profili-subscribe@yahoo.com), riguardante la costruzione di un tastatore digitale al fine di rilevare le coords, Stefano Duranti ha arricchito ulteriormente il programma, consentendo l'apertura di file "raster" (scannerizzazione di un profilo reale impiegato sulle ali dei nostri modelli), per trasformarlo in un file di coordinate con estensione "dat". Questa nuova soluzione, permette di rilevare facilmente le coordinate effettive dei nostri profili alari in due diversi modi: sezionamento di un'ala vecchia e scannerizzazione della sezione; oppure, estrapolazione del profilo alare tramite una stampata negativa, in vetroresina con successiva scannerizzazione del negativo. Attraverso il nuovo file di coords, Profili2.01 (tramite Xfoil), calcola rapidamente le polari della effettiva sezione, mostrando gli effetti (positivi e negativi) dei possibili errori di riproduzione. Un'altra novità interessante è rappresentata dalla possibilità di richiamare una lista di tutti quei profili che per caratteristiche geometriche si assomigliano. Il programma è comunque in continua evoluzione: le ultime modifiche del programma permettono di modificare il profilo, introducendo i flap, oppure con variazioni geometriche peggiorative, al fine di verificare la risposta ad eventuali difetti. Una ulteriore opzione, riguarda il fissaggio del punto di transizione in una zona determinata del profilo, corrispondente ad un turbolatore.

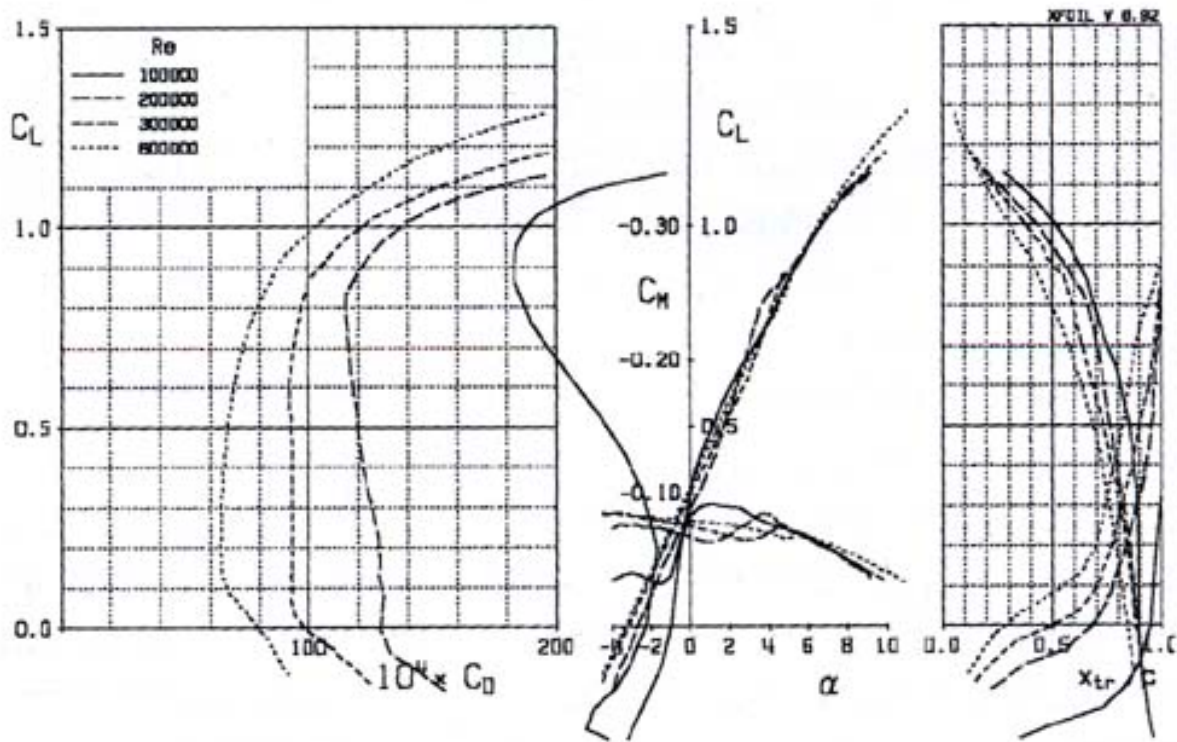
FIG. 3



PROFILI MM

Nella puntata precedente abbiamo visto alcuni esempi riguardanti alcuni profili MM, simmetrici per piani di coda. La serie completa parte dall'MM006 fino ad arrivare all'MM012, quest'ultimo progettato per modelli acrobatici F3A. Le tre serie di profili a seguire, sono invece dedicate al volo in pendio, al volo in pianura e a modelli di grosse dimensioni, da pendio e da traino. Tutte le coordinate aggiornate sono scaricabili nel sito: <http://spazioinwind.libero.it/voloinpendio/> dove le polari sono visibili con grafica Xfoil. Vediamo ora le tre serie.

FIG. 4

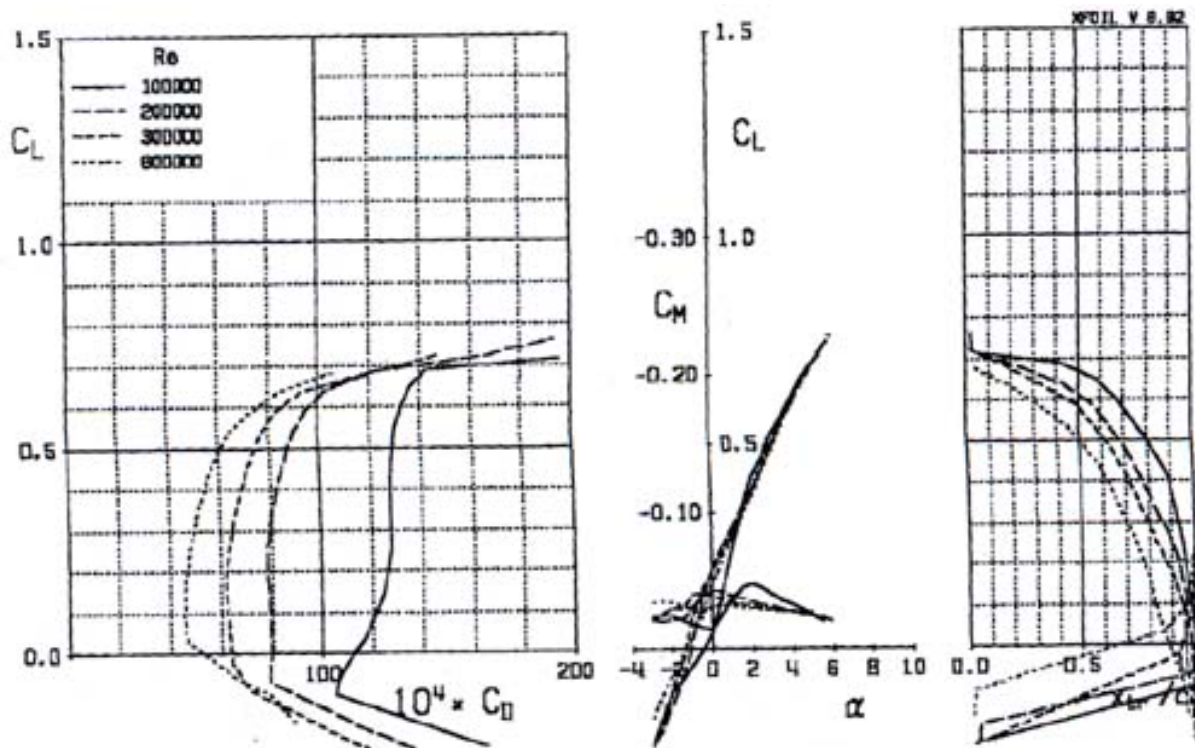


MM2510: t13% - f2,5%

La prima è composta da 4 profili la cui sigla è solo un numero di serie e non ha relazione con la curvatura e lo spessore: l'MM100 (fig2) è il più sottile di 4 profili (t8,83%), consigliabili soprattutto per modelli da pianura, ma anche da pendio, dove siano richieste buone caratteristiche di velocità, necessarie per effettuare rapidi traversoni alla ricerca di termiche nascoste nelle varie zone del "campo di volo". L'efficienza teorica è buona: $E=52$, il C_{mo} vale $-0,039$ e la curvatura è del 2,15%, posta al 28,8% della corda. La polare mostra curve molto arrotondate, proprie dei profili mirati per il volo in termica: a 100KNR, la tipica curva ad "S", segnala la presenza di una bolla che si sviluppa nella zona del bordo d'uscita, alle basse incidenze. 1.16 è il valore max del C_p , mentre quello del C_{rmin} scende a 0,0058.

L'MM200 ha caratteristiche molto simili al precedente da cui deriva. Dispone di uno spessore leggermente superiore ($t=9\%$), che si nota soprattutto nella curva a 100KNR, leggermente spostata a destra. Sia il C_{mo} ($-0,037$), che l'efficienza (50,91), sono di poco inferiori a quella dell'MM100. L'angolo (di portanza nulla), ∂_0 è: $-1,15^\circ$; il C_{pmax} arriva a 1,11.

FIG. 5

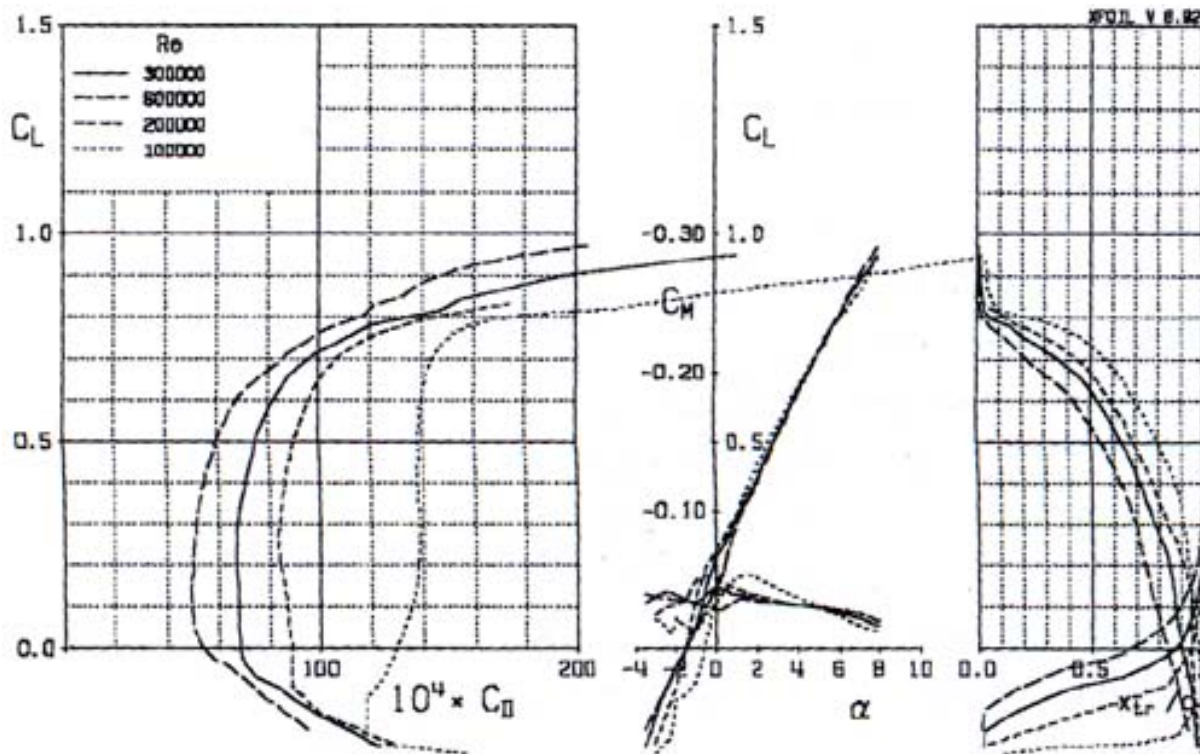


MM1407: t7% - f1,4%

L'MM300 (t9,80%), rispetto ai due profili già visitati, è contraddistinto da un camber più contenuto ($f=1.7$), che agisce positivamente limitando il coeff. di momento ($C_{mo}=-0.028$), e sull'angolo di portanza nulla (-0.89°). Attraverso un maggior spessore e un posizionamento più arretrato del camber ($x_f=30\%$); il C_{pmax} è sfiora quello dei due precedenti: $C_{pmax}=1.07$, mentre ad ∂_0 , per alti NR, mostra una resistenza sensibilmente più bassa. Ai bassi NR, invece, la "S" formata dalla curva a 100KNR, è più ampia e più profonda ($-1,8^\circ / \partial 2^\circ$), a testimonianza di una bolla più spessa, soprattutto nel campo delle basse incidenze.

L'MM400, appartiene alla stessa famiglia dei tre precedenti e in pendio si è dimostrato un ottimo profilo per modelli veloci "all Around", con buone risposte in acrobazia. Le sue particolarità geometriche/aerodinamiche sono: spessore del 10,4%; camber 2.21%; $C_{mo} -0.04$ ed efficienza teorica 49.53. Agli alti NR, le curve presentano un andamento simile a quelle appena viste, ma il C_p max è più alto e in questa zona sono contraddistinte da una pendenza inferiore. Quest'ultimo è stato impiegato con successo su alcuni Fox 2.80m, caricati intorno a 90gdm^2 , con profilo variabile, utilizzato soprattutto per il volo in termica.

FIG. 6

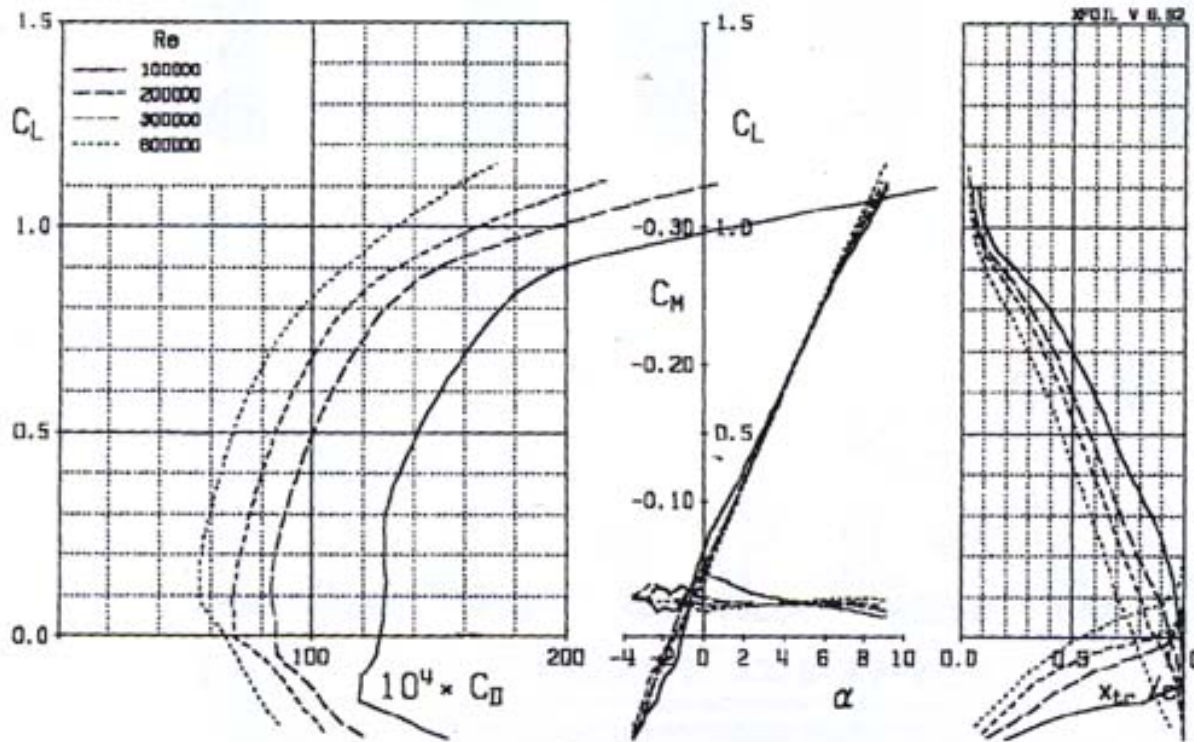


MM1608: t8% - f1,6%

La serie 2000, comprendente l'MM2011, MM2012 e MM2513, è progettata per modelli di grande apertura alare, sia da pianura, che da pendio, per i quali è necessario uno spessore d'attacco maggiore. Questi tre profili hanno una distribuzione delle velocità molto simile a quella dell'MM400; possono trarre benefici significativi se usati variabili, con un occhio di riguardo alle fessure delle parti mobili, che dovrebbero essere sigillate. Le curve ottenute per 100KNR, evidenziano la stessa forma ad "S" dei profili già visti, presente anche nella polare del famoso RG15, mentre per NR superiori sono caratterizzate da un tratto verticale che mostra resistenza costante nel campo d'incidenze fra ∂_0 e ∂_5° . L'MM2011 e l'MM2012 sono contraddistinti da una curvatura del 2% posta al 43% della corda; geometricamente, si diversificano solo per spessore. Le differenze riguardanti coeff. di momento e angolo di portanza nulla sono minime e anche l'efficienza varia di poco: 53,70 per il primo e 52,40 per il secondo.

L'MM2513 è invece caratterizzato da un camber del 2,5%, da uno spessore del 13% e da efficienza 53,40, mentre angolo di portanza nulla e coeff. di momento, sono praticamente uguali ai due precedenti: C_{m0} -0.038; ∂_0 -1.02.

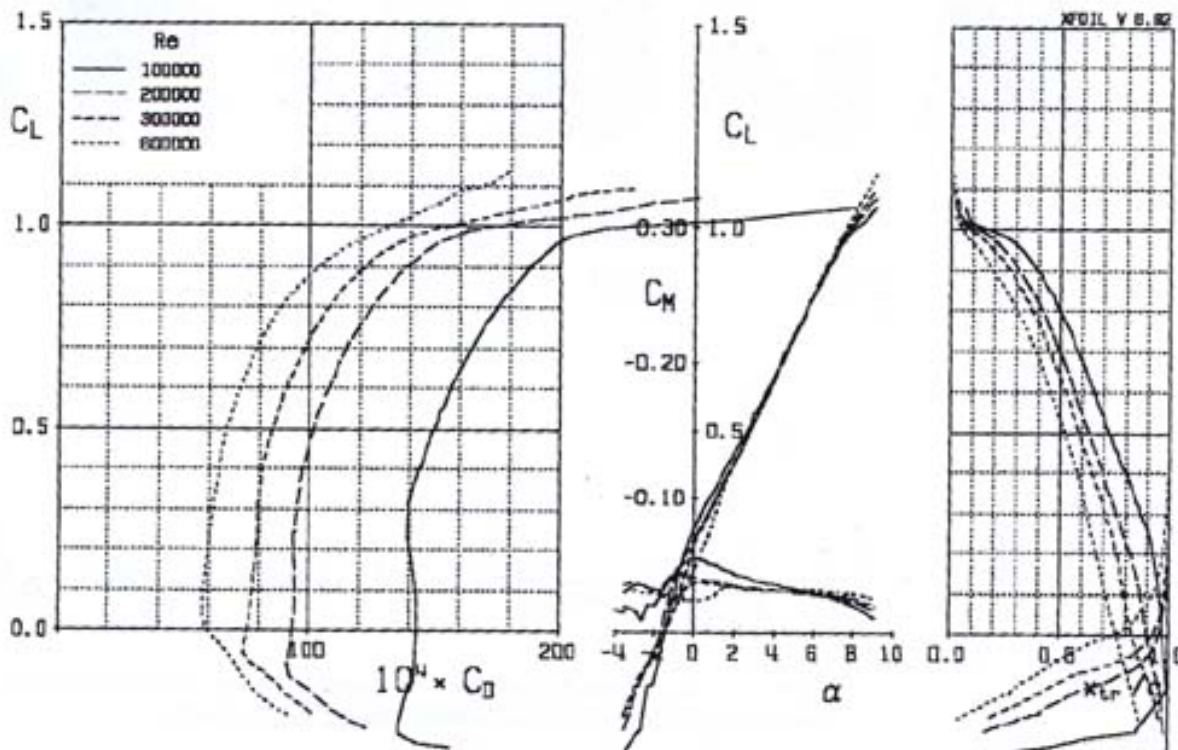
FIG. 7



MM1709: t9% - f1,7%

Passando a profili più spinti puramente da pendio (serie 1000), eccone un paio con caratteristiche estreme. Si tratta dell'MM1407 e dell'MM1608 che rispetto ai "fratelli", più spessi, sono caratterizzati da un sensibile avanzamento dello spessore e del camber max. Il primo è contraddistinto da uno spessore del 7% posto al 26,5% della corda e da un camber dell'1.45% ($x_t=29,5\%$). Si tratta di un biconvesso asimmetrico con spiccate doti di velocità: $C_{rmin} 0,0045$, ed efficienza 45,5. L'angolo di portanza nulla ammonta a $-0,65^\circ$ e il C_{mo} a $-0,013$. L'altro profilo, ha camber 1,61% ($x_f=29,7\%$) e spessore massimo 8% ($x_t=26,5\%$; $C_{rmin} 0,0049$). Le loro caratteristiche sono buone ed entrambi possono essere impiegati come profilo unico, soprattutto per modelli di dimensioni contenute (per evitare problemi di torsione alare), o su modelli di media apertura, in estremità, miscelati con altri della serie 1000. Le curve delle polari indicano un coefficiente di portanza massimo sufficientemente elevato per spessori di questo tipo, e ottimi valori di resistenza: i diagrammi presentano tratti verticali che stanno ad indicare le proprietà semilaminari di queste due sezioni.

FIG. 8



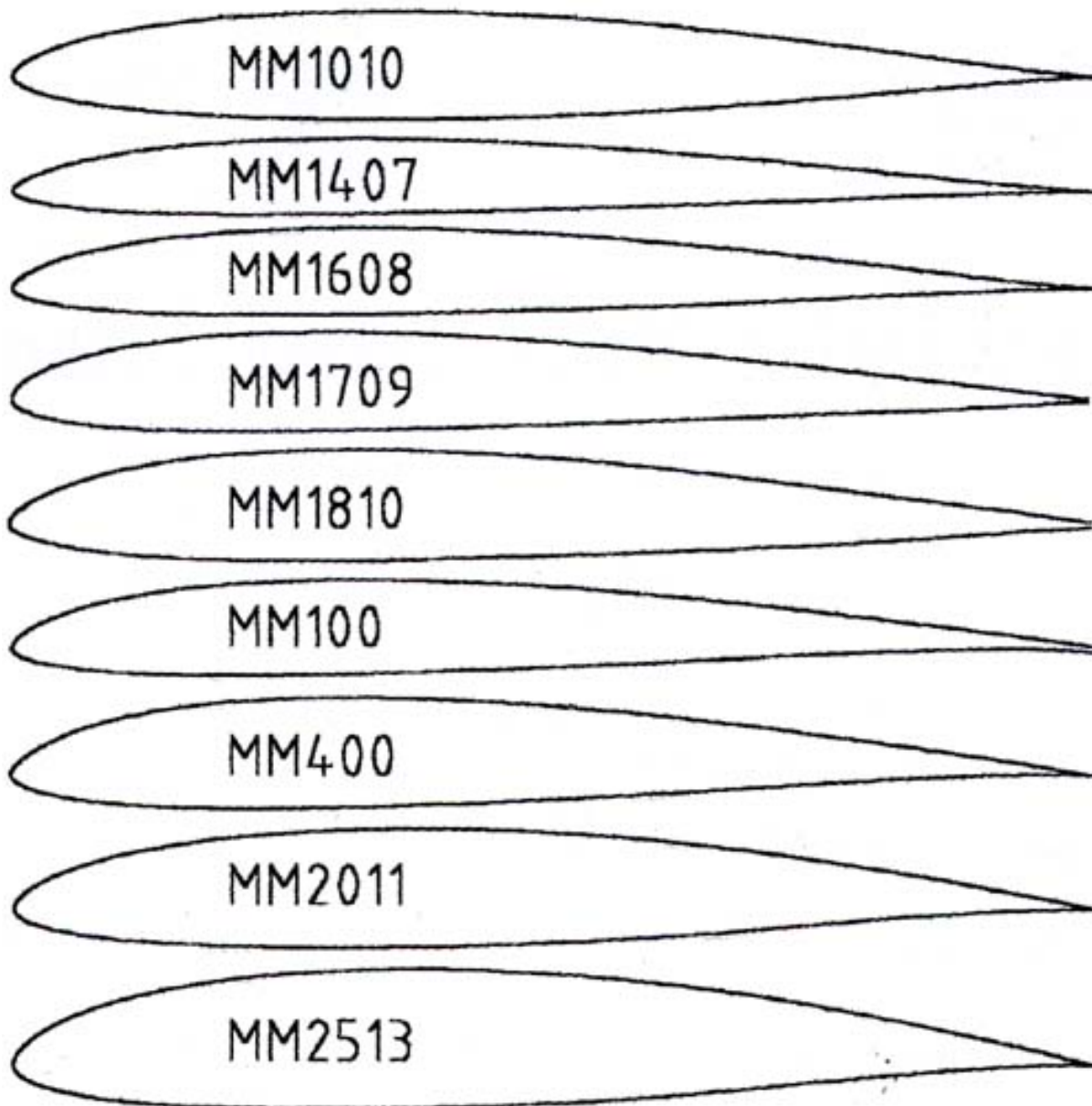
MM1810: t10% - f1,8%

L'MM1609 è un profilo simile ai precedenti, per applicazione. E' caratterizzato da spessore 9% e si presta per modelli veloci di piccola e media apertura alare. Anche questo può essere impiegato "solitario", oppure all'attacco, in combinazione con i due precedenti, e come profilo di estremità accoppiato ad altri della serie 1000, più spessi. Il minor spessore in estremità, oltre a generare una resistenza indotta minore, e quindi un miglior comportamento nel volo in termica, serve anche ad ritardare lo stallo che, tuttavia diviene più tagliente.

L'MM1010 (fig1), rientra in quei profili definibili estremi, anche se il suo spessore non consente velocità elevatissime. E' adatto per modelli puramente acrobatici dove si voglia privilegiare soprattutto il volo rovescio; infatti il camber vale solo l'1% , il coefficiente di momento è -0.013 e l'incidenza di portanza nulla, ovviamente, è piuttosto contenuta: $\partial_0 -0.46^\circ$. Il C_{pmax} , per un profilo di questo tipo, tocca un buon valore: 0.91, mentre il C_{rmin} scende a 0.00557. In volo, dritto ha efficienza teorica 44,25; quella negativa raggiunge il valore di -27. Le curve per 100KNR mostra i segni di inizio della banda morta che a 70KNR diviene più visibile con una protuberanza poco sotto C_{po} . Le curve relative alle incidenze negative sono molto arrotondate e ovviamente migliorano con l'incremento della velocità. Da sottolineare l'andamento del coeff. di momento, mediamente contenuto, che raggiunge il suo massimo in corrispondenza di 2° . Questo profilo si è dimostrato abbastanza sensibile alle variazioni del be: aumentando il raggio del naso (a 70-100KNR), il C_r aumenta sensibilmente, mentre la curva del C_p migliora alle alti valori d'incidenza, positivi e negativi. Il test relativo ad una flappatura di circa 3° ha evidenziato uno spostamento verso l'alto delle curve che tuttavia hanno perso in regolarità, divenendo più spigolose intorno al C_{pmax} .

La serie 1000 continua con i profili: MM1709, MM1710 e MM1711. Per la serie 1000 e 2000, le prime due cifre indicano il valore del camber e le ultime, lo spessore.

FIG. 9



L'MM1709 (fig7), ha uno spessore del 9% e un camber 1,72%, posto al 35,1% della corda. Il t_{max} è posto al 26,8% e il coeff. di momento, piuttosto contenuto: -0.026, mentre l'efficienza arriva a 46. Per questi profili sono state favorite le prestazioni di velocità: alle basse incidenze, la polare mostra buone caratteristiche di resistenza a tutti i NR (C_{rmin} 0,0055), ma le curve, rispetto a quelle già viste, hanno una pendenza più accentuata. Ai bassi NR una piccola bolla di bordo d'uscita affligge la curva fra α -2.5° e α 2° mentre, a NR più alti, l'andamento è molto regolare: la bolla è piccola e lo spostamento del punto di transizione (diagramma 3), è graduale: volava ottimamente sull'Apache ancor prima di essere ottimizzato con Xfoil. L'MM1710 e 1711, essendo contraddistinti da spessore 10% e 11%, hanno caratteristiche di portanza leggermente migliori, mentre quelle di resistenza sono, di poco, meno vantaggiose.

I 4 profili con camber 1,8 sono differenziati per spessore e per la posizione sulla corda della massima curvatura: L'MM1809 ($t=9\%$, $x_t=26,8\%$) favorisce le prestazioni di velocità (Neon 2002), mentre l'MM1810 ($t=10\%$, $x_t=30\%$), anche se leggermente più lento manifesta curve più regolari e si presta ottimamente per modelli acrobatici dove si ricercano caratteristiche di eleganza e plasticità: l'ho scelto per il mio ultimo Fox 3.58m. L'MM1895, è caratterizzato da uno spessore max del 9,5% posto al 28,4%; dei quattro è quello che ha efficienza più alta, anche se di poco: 48,55. Sul mio Swift (330m-7kg) ha dimostrato una versatilità e una maneggevolezza molto elevata. L'MM1811 è invece adatto come profilo d'attacco per modelli acrobatici di grande apertura, o per modelli non troppo veloci. Il suo C_{pmax} e C_{rmin} , è leggermente superiore a quello degli altri tre profili già visti.

Ripubblicato per gentile concessione dell'autore Mario Marzocchi e dell'editore della rivista Modellistica Int

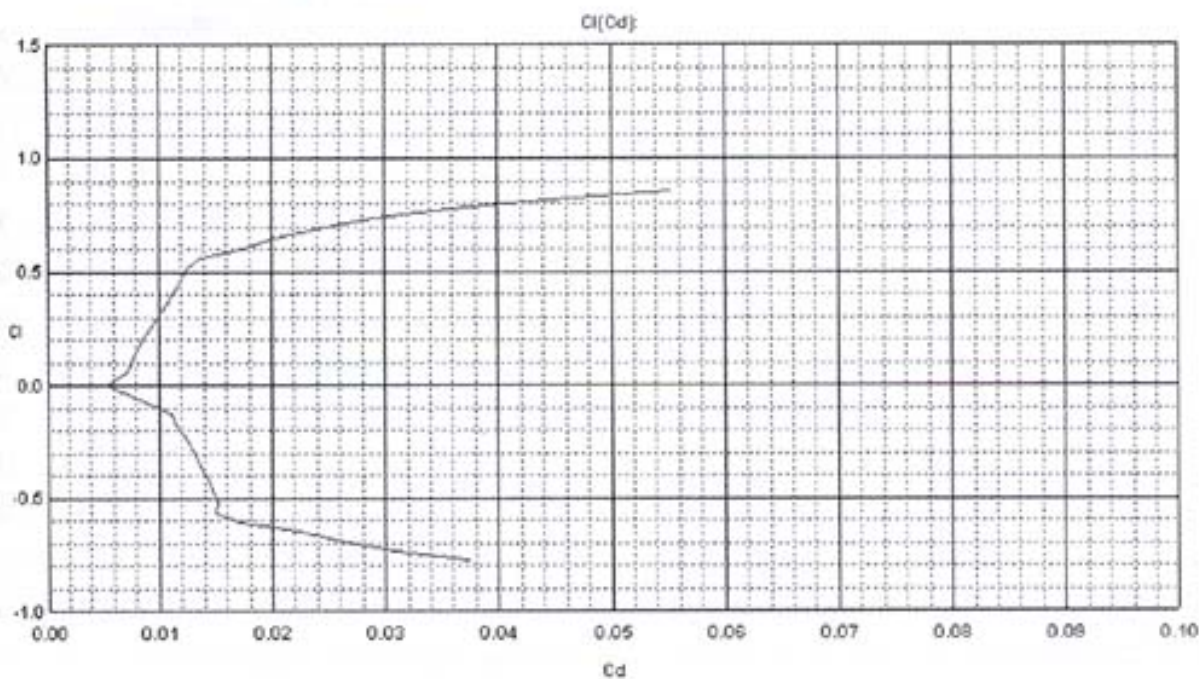
MM EXTREME (profili per acrobazia e velocità)

In una delle puntate precedenti abbiamo visto i profili MM in generale. Nel numero attuale, l'argomento è invece concentrato su alcune sezioni studiate appositamente per un tipo di volo definibile estremo. Partendo dall'analisi di un profilo francese progettato per il volo acrobatico a 4 assi (MG05 di Marcel Guwang), ho deciso di sperimentare questo "nuovo" modo di volare, introdotto tempo addietro dal noto prof. Helmut Quabeck per il volo in termica. Il tedesco, utilizza il comando flap sulla leva normalmente destinata ai "freni", dove la molla di richiamo ne consente il ritorno al centro come nel caso degli altri comandi. In pratica i flap sono manovrabili proprio come il "cabra", tenendo conto che generalmente il comando va dato in senso opposto. Questo sistema di guida ha certamente i suoi

MG05 (polare dinamica)
Spessore max 9.00% al 26.7% della corda
Camber max 0.00% al 0.0% della corda



FIG. 1



Disegnato da Profili 2.01 su dati elaborati da XFOIL - Copyright (C) 2002 - Tutti i diritti sono riservati.

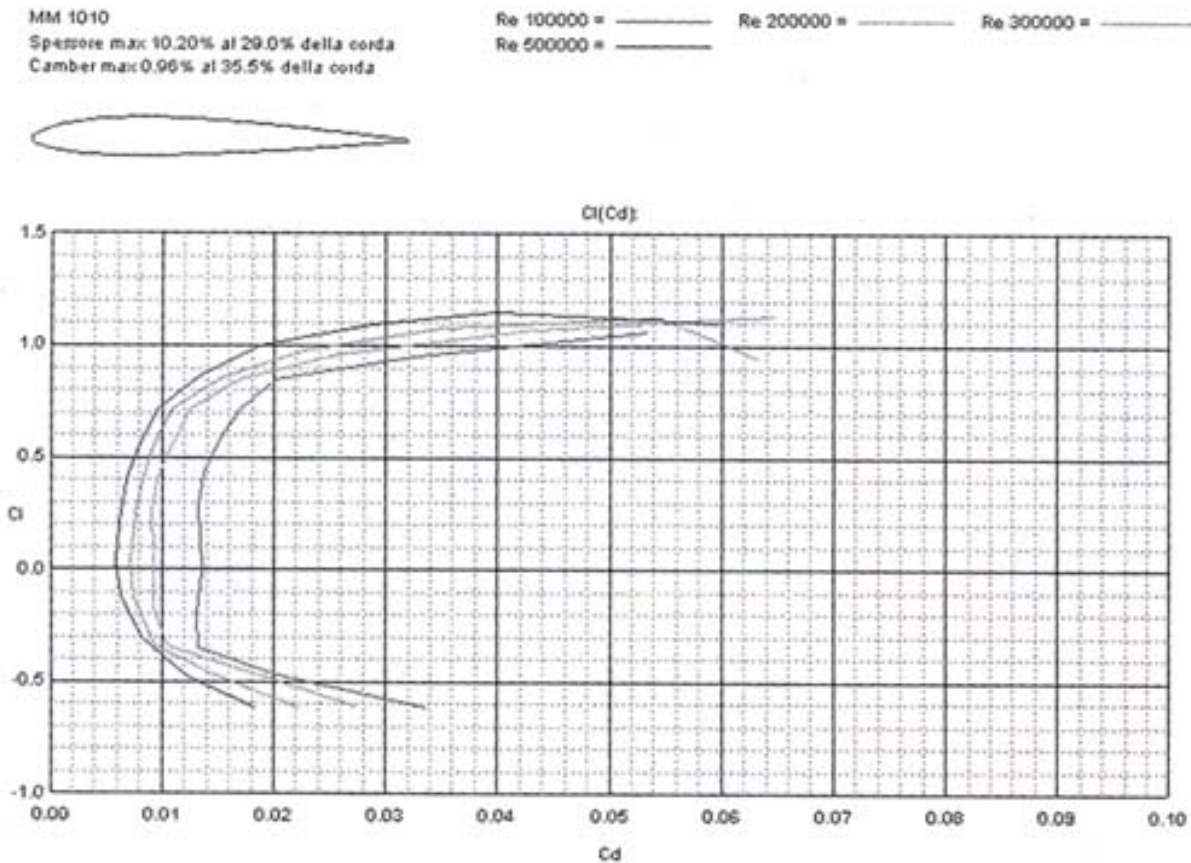
Polare dinamica MG05

vantaggi: dosare
la quantità di flap
secondo l'intensità
della termica aiuta
notevolmente a
salire, ma gli
effetti di un
controllo misto
flap/alettoni,
cabra/direzionale
si ripercuotono
sulla eleganza e
pulizia di volo.

In seguito a questo nuovo "stile" di guida, alcuni modellisti francesi hanno adottato questa tecnica modificandone totalmente la filosofia: invece di utilizzare i flap o flapperoni, solo per migliorare le prestazioni del volo in termica, hanno per prima cosa aumentato le dimensioni delle parti mobili al 30% della corda locale e, partendo da un profilo totalmente simmetrico, li hanno destinati al volo acrobatico su modelli d'apertura contenuta.

E' scontato che un profilo simmetrico sia sicuramente migliore per quanto riguarda l'acrobazia: passare dal volo dritto a quello rovescio non richiede più la compensazione di coda che deve essere dosata con precisione dal pilota; altrettanto ovvio che queste manovre debbano essere eseguite con una certa velocità, mentre i flapperoni, in teoria, dovrebbero aiutare nell'esecuzione di certe figure anche ad una velocità inferiore. Nei looping, e nelle virate, un profilo biconvesso simmetrico perde notevolmente velocità per mancanza di curvatura e anche in questo caso, potendo variare la freccia del profilo, la perdita di velocità nelle parti inferiori della figura è minore. L'utilizzo dei flap nelle virate è ben conosciuto ed è suggerito anche da Martin Hepperle per modelli da pylon con profili di basso camberaggio che hanno appunto la tendenza a sedersi di più in fase di virata. Nondimeno le mie prove effettuate con il 4 assi non hanno dato per niente risposte convincenti: normale che in termica i flap/flapperoni aiutino, ma poi in acrobazia i benefici sono limitatissimi al looping e alla virata veloce, mentre in rovescio, variandoli, si va anche ad agire sul coefficiente di momento che finisce per invertirne gli effetti, tanto che per avere un rovescio pulito è preferibile che il comando sia negativo con compensazione a picchiare del piano di coda. Tutti questi comandi simultanei vanno spesso ad insudiciare l'esecuzione delle figure, ma anche del normale volo, senza contare la facilità d'entrata in stallo dovuta ad un uso eccessivo del flapperone in virata, quando a causa di condizioni deboli, viene naturale insistere sul comando. Forse non ho provato a sufficienza, o forse i francesi hanno un altro concetto di volo acrobatico pulito, comunque, al momento, ho scartato il controllo a 4 assi, ma ho saputo prendere spunto da quel profilo simmetrico, ($t_{9\%}-x_t=25,8\%$) che si distingue soprattutto per una resistenza contenuta a 100KNR. Tuttavia, alle basse velocità, soprattutto in termica, penso che la cosa più importante non sia tanto la resistenza alle incidenze prossime allo zero (anche se lo è per ali con corde molto piccole) ma il C_p utile. Infatti, a queste velocità, difficilmente voleremo con un'incidenza aerodinamica vicino a 0° . In questo caso è più conveniente osservare la polare dinamica in modalità 2 (Profili2), giacché la curva si avvicina maggiormente al comportamento del modello in volo e pertanto non è calcolata con NR fisso, ma tenendo conto delle variazioni del NR. Nel diagramma, il C_p e il C_r aumentano con l'incidenza, mentre, al suo diminuire, la curva scende velocemente e si sposta a sinistra, come in realtà avviene quando il modello, aumenta la propria velocità a causa di un comando di "picchia". Nella polare, le curve rappresentate, non sono più tre o quattro, relative a NR differenti, ma una sola. In una polare statica, una curva molto simile si ottiene, grosso modo, unendo, con una diagonale, il C_{pmax} a 100KNR, al punto rappresentante il C_{p0} o il C_{rmin} per elevati NR. Tornando all'uso dei flap e dei flapperoni, vediamo che certi benefici possono essere mantenuti attraverso miscele e programmi del trasmettitore senza dover ricorrere al "4 assi". Per l'esecuzione dei looping e per non perdere eccessiva velocità nelle virate, abbinando il comando flap a quello del cabra (disinseribile con un interruttore), si mantiene il vantaggio offerto dalla guida a 4 assi, senza peraltro influire minimamente sulla pulizia, mentre, per il volo in termica, il vecchio sistema con interruttore a tre posizioni è certamente la miglior soluzione, considerando che si possono programmare tre diversi gradi di flappatura, ricorrendo anche alla compensazione automatica dello stabilizzatore per contrastare le variazioni del C_m . Un'altra soluzione ben nota è quella dello slider, centrale, dove l'inclinazione dei flap/flapperoni ha un movimento proporzionale.

FIG. 2



Disegnato da Profili 2.01 su dati elaborati da Xfoil - Copyright (C) 2002 - Tutti i diritti sono riservati.

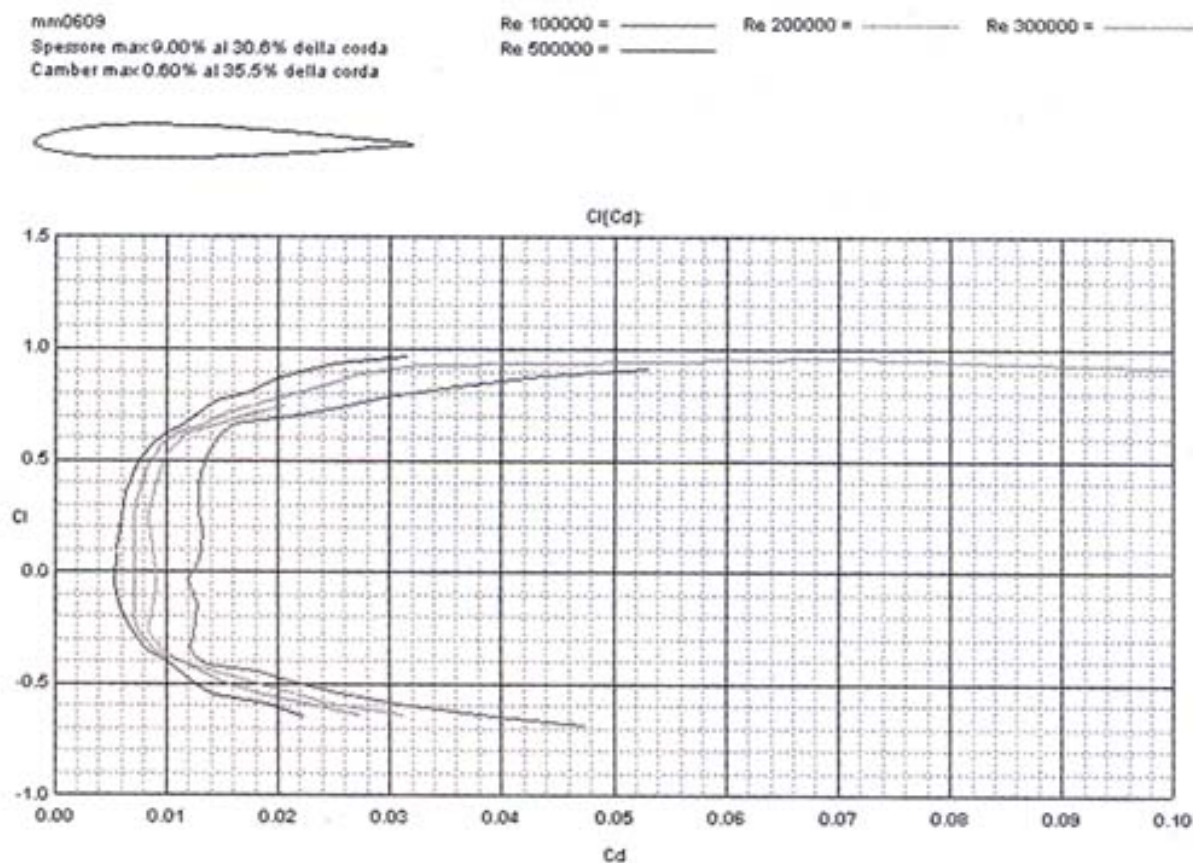
Polare MM1010

Nella guida a 4 assi, la compensazione delle variazioni di momento, attraverso il piano di quota, deve essere fatta manualmente e non sempre i risultati sono così limpidi, specialmente in fase d'atterraggio quando si utilizzino i flapperoni negativi, a meno di programmarli su un interruttore separato; ma questa soluzione obbliga il pilota a togliere il pollice dallo stick e, in caso di vento a raffiche, la cosa non è per niente consigliabile. A questo punto, viste le caratteristiche limitate di C_p dei profili simmetrici, ho pensato di realizzare una sezione di camber ridotto con l'obiettivo di ottenere buone caratteristiche di resistenza e un C_{pmax} più alto. Già in passato avevo fatto largo uso del Ritz1/30/10 che ancora oggi si dimostra un buon profilo acrobatico, ma le polari estrapolate con Xfoil assicurano che le prestazioni potrebbero essere migliorate perciò mi sono messo al lavoro per progettare un nuovo profilo di camber 1, posto

intorno al 40%
della corda.

L'obiettivo era ottenere un profilo con caratteristiche di portanza sensibilmente migliori di un simmetrico, mantenendo, per quanto possibile, le proprietà acrobatiche spinte di una sezione di questo tipo. Allo stesso tempo, per il volo in termica e per certe figure acro è comunque possibile fare uso dei flap, preferibilmente non alla maniera del "4 assi", ma con i vecchi sistemi appena descritti. L'MM1010, presentato nel numero precedente, soddisfa queste richieste: offre buone caratteristiche di resistenza e le sue curve sono sufficientemente arrotondate, alle incidenze negative, da assicurare un volo acrobatico, rovescio di buona qualità. Le ultime modifiche apportate alla distribuzione delle velocità, hanno migliorato ulteriormente la risposta del profilo a queste incidenze dove, a 600KNR, la curva mostrava una piccola bolla., mentre a 70 e 100KNR i segni della banda morta sono scomparsi dopo aver alleggerito la curva dorsale in prossimità del bordo d'uscita, per aver avanzato lo spessore max al 29% e il camber al 35,5%. Una delle caratteristiche mirate, oltre alla rotondità delle curve, è un buon C_p , questo per non dover alleggerire eccessivamente il modello rendendolo poco filante, nel vento, in considerazione dello spessore (10,2%) anche se è sempre possibile impiegare i flapperoni. Un buon C_{pmax} , consente inoltre di rallentare maggiormente il modello in atterraggio senza rischiare uno stallo molto pericoloso. Con una inclinazione positiva di 3 gradi il profilo passa da camber 1 a camber 1,6 e la polare relativa mostra un guadagno nel C_p (le curve sono spostate in alto di 0.1 cp), senza che la resistenza ne soffra troppo. Nel diagramma del punto di transizione mostrato da Xfoil agli NR si nota una buona gradualità di spostamento, fino alla zona di C_{pmax} e a 70/100KNR la curva si fa meno pendente. L'efficienza massima teorica arriva a 44, mentre alle incidenze negative (volo rovescio), tocca -28.

FIG. 3

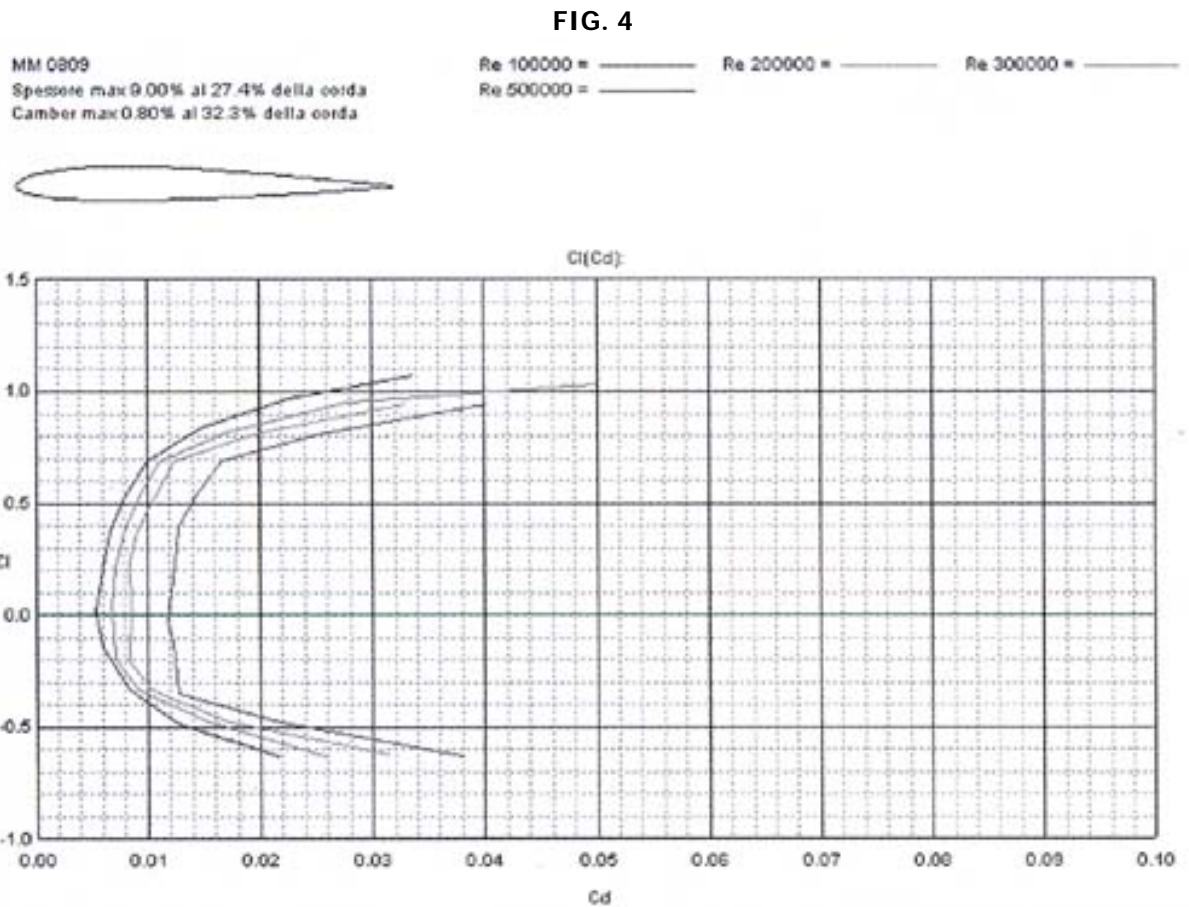


Disegnato da Profili 2.01 su dati elaborati da Xfoil - Copyright (C) 2002 - Tutti i diritti sono riservati.

Polare MM0609

PROFILI2

Fino ad ora le polari sono state tutte calcolate e rappresentate con la grafica di Xfoil. Dopo un breve descrizione di "Profili2", fatta nella puntata precedente, le polari dei profili MM, in questo numero, assumono la grafica di questo nuovo programma. "Profili2" costituisce un valido aiuto per i modellisti meno esperti e che non si vogliono torturare imparando il linguaggio di Xfoil la cui conoscenza spesso non basta a far girar bene questo codice, piuttosto ostico. Nel frattempo l'indi web dove il programma è scaricabile nella versione light è cambiato: www.profilo2.com. Esiste anche una mailing list dove si possono richiedere informazioni, chiarimenti per il suo corretto utilizzo o argomenti inerenti. "Profili2" funge ottimamente da interfaccia con Xfoil, infatti ne incamera l'ultima versione che utilizza per tutti i calcoli aerodinamici, tuttavia la possibilità d'intervento sui parametri di Xfoil



Disegnato da Profili 2.01 su dati elaborati da Xfoil - Copyright (C) 2002 - Tutti i diritti sono riservati.

Polare MM0809

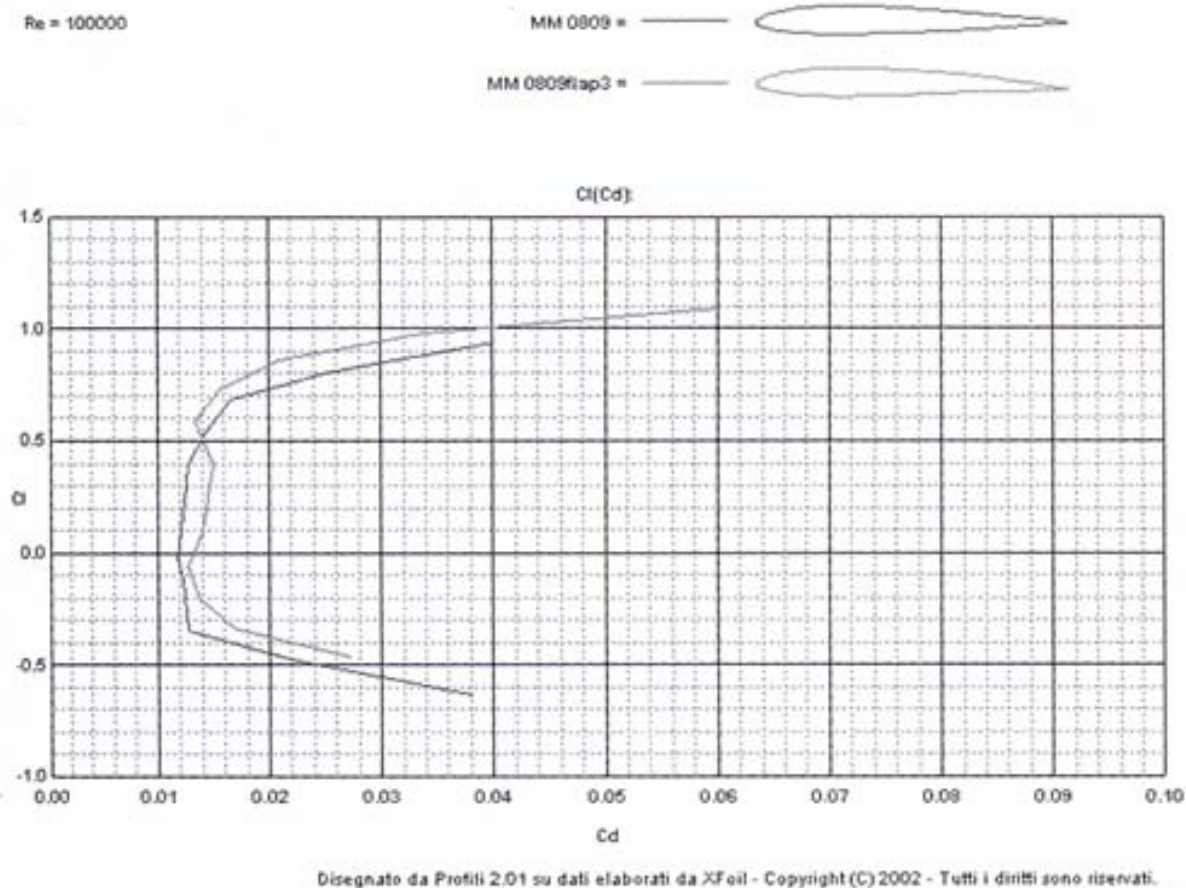
è al momento
piuttosto limitata,
ma sarà ben
presto ampliata.

Nella ultima versione l'aeromodellista (programmatore) Stefano, nonché dr. Duranti ha apportato qualche modifica che lo rende maggiormente malleabile: è consentito l'intervento diretto dell'operatore su una serie di comandi che pilotano Xfoil e, in questo modo, anche in caso di problemi (caduta di convergenza, ecc.), è possibile "correggere" opportunamente il programma fino a farlo girare perfettamente. Ci sono profili le cui coordinate sono piuttosto "ondulate", particolarità poco gradita a Xfoil, e che possono essere lisciate prima dell'analisi attraverso un comando di filtro.

Alcuni grafici memorizzati in "Profili2", mostrano delle interruzioni, generalmente dovute a caduta di convergenza; per es., aumentando il numero delle iterazioni (10 di default) a 36 o anche più, spesso il "ricalcolo" viene completato senza problemi. Nella barra degli strumenti del programma sono inclusi una serie di pulsanti che riguardano i grafici aerodinamici e altre opzioni. Stefano Duranti ha incluso la possibilità di osservare i diagrammi separati dell'efficienza (C_p/C_r), della incidenza (C_p/α) e del momento (C_m/α). Le polari già calcolate e memorizzate sono ben 45000 mentre circa 250 rimangono da calcolare, ma è possibile continuare all'infinito variando modo e NR. Tutte, possono essere visualizzate nel modo tradizionale o ricalcolate in modalità 2 e 3, accennato sopra, dove in NR non è fisso ma segue l'andamento del C_p . Un altro pulsante permette l'apertura di una finestra riguardante il calcolo del NR che tiene conto dell'altitudine: è interessante vedere come varia il risultato a seconda che il livello sia quello del mare, sia quello di una montagna di 2000m. Se nel primo caso il NR corrisponde a 205K, nel secondo, scende a 174K. Conoscendo questi dati sono immaginabili le differenze di prestazioni, la maggior sensibilità allo stallo e centraggio che si possono verificare a certe quote quando il NR riguardante le estremità alari si aggira (slm) intorno 100K o anche meno.

FIG. 5

Ma non dimentichiamo che se da una parte la densità dell'aria interessa in modo negativo il C_p e il NR, dall'altra influisce positivamente sul C_{rmin} e conseguentemente sulla velocità. Ricordo l'onorevole parere di alcuni modellisti esperti che sostengono che le differenze fra volo in pianura e in pendio sono nulle e che i risultati sono gli stessi. Evidentemente la presenza costante del vento, con forte componente verticale, che talvolta raggiunge gli 80 kmh, e la differenza d'altitudine, non sono sufficienti a dimostrare che questi due tipi di



volò sono totalmente diversi, fatta eccezione per le giornate di "scarsa" e alle elevate altitudini dove per la minor densità d'aria, le condizioni sono ancor più difficili. Proseguendo con la nostra visita a "Profili2" vediamo che fra le possibilità grafiche di questo bel programma c'è quella di stampare le dime di taglio per ali a pianta ellittica con diversi profili miscelati: è anche possibile conoscere il risultato dell'analisi di due diversi profili miscelati con rapporto di mix a scelta.

Polare MM0809 flap3

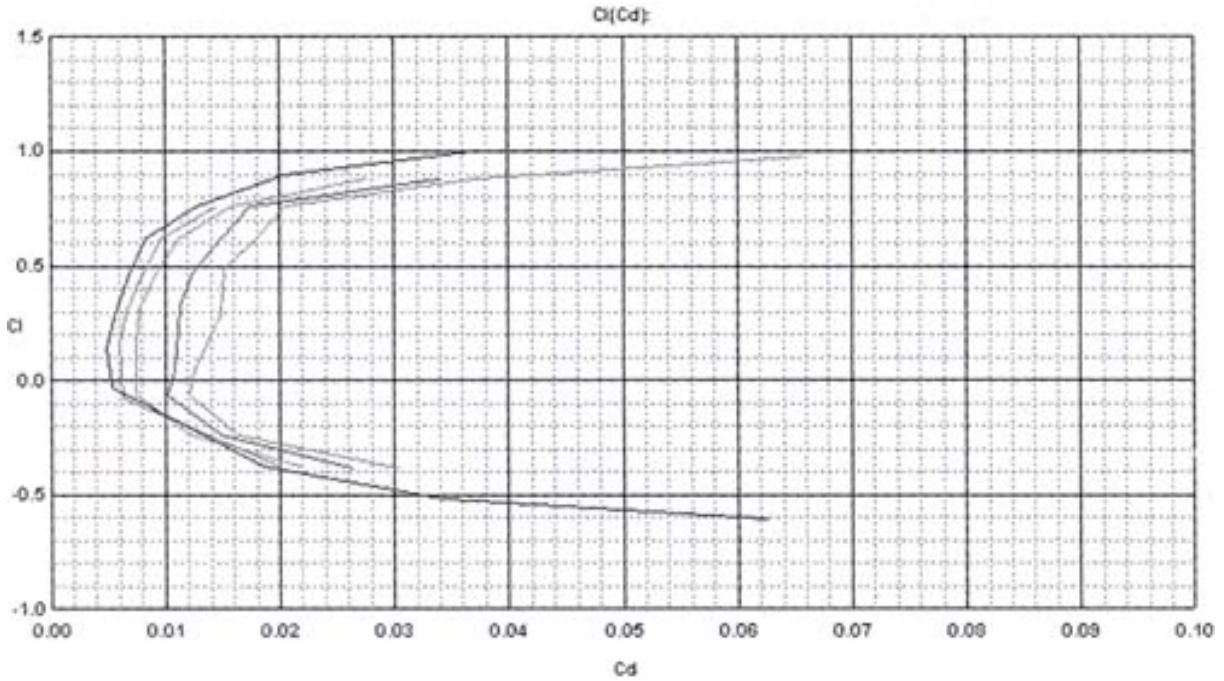
Sfruttando questa opportunità, ho miscelato l'MM1809 con l'MM1608 al 50% ottenendo un nuovo profilo: MM1785. La nuova sezione è caratterizzata da un camber 1,7 e da uno spessore 8,5%. E ancora, "Profili2" permette di stampare tutte quelle centine che richiedono d'alleggerimenti o scasse per l'alloggiamento di longheroni, listelli, bordi d'entrata ecc. C'è da dire che un programma di questo tipo, vale certamente molto di più di pochi Euro (10) richiesti come rimborso spese per l'invio del CD e successivi aggiornamenti in linea.

Basti pensare che Compufoil viene venduto ad un prezzo decisamente alto e che non include le possibilità di calcolo offerte da Profili2. Per finire vediamo che il programma consente l'importazione/esportazione di nuove coordinate in formato ".dat". Per eseguire questa operazione è sufficiente avere un set di coordinate in un file di testo salvato in precedenza in "block notes" modificando il formato con l'aggiunta di ".dat": MM1875.dat.

FIG. 6

MM 1307
 Spessore max 6.99% al 25.4% della corda
 Camber max 1.30% al 30.1% della corda

Re 70000 = _____ Re 100000 = _____ Re 200000 = _____
 Re 300000 = _____ Re 500000 = _____



Disegnato da Profili 2.01 su dati elaborati da Xfoil - Copyright (C) 2002 - Tutti i diritti sono riservati.

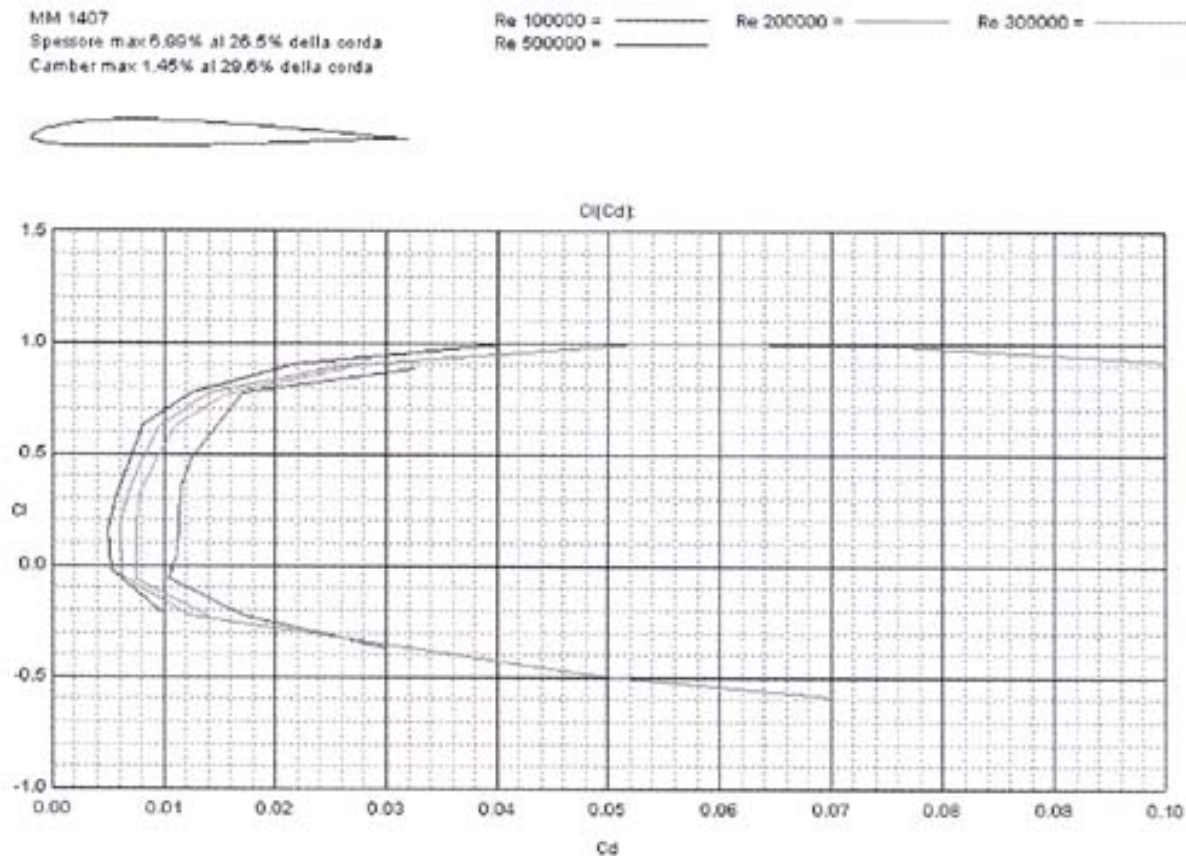
Polare MM1307

NUOVI ESTREMI RIMEDI

Dopo l'MM1010 non mi sono certo fermato sugli "allori" e in previsione di una prossima entusiasmante stagione di volo estremo, con numerose e lunghe escursioni pedestri in alta quota, ho cominciato a pensare a nuovi modelli dalle caratteristiche particolari. I nostri pendii toscani in zona Passo Croce Arcana, Libro Aperto e gli ultimi scoperti: Alpe Tre Potenze, Passo di Annibale e monte Gennaio, distano

FIG. 7

qualche ora di cammino dalle strade asfaltate e questo fattore influisce fortemente sulle dimensioni e peso del modello. Per di più i pendii non sempre presentano atterraggi comodi come le ampie pagine del Libro Aperto: crinali DS con inclinazioni di 50° e con zone piane molto ristrette, che richiedono molta attenzione anche se nessuno vieta di fare decine di giri fino a trovare quello giusto per l'atterraggio. Inoltre, il modello deve essere veloce e acrobatico, anche perchè se dobbiamo fare tanta strada per volare lentamente e solo in termica, tanto vale rimanere su pendii più facili e vicini.



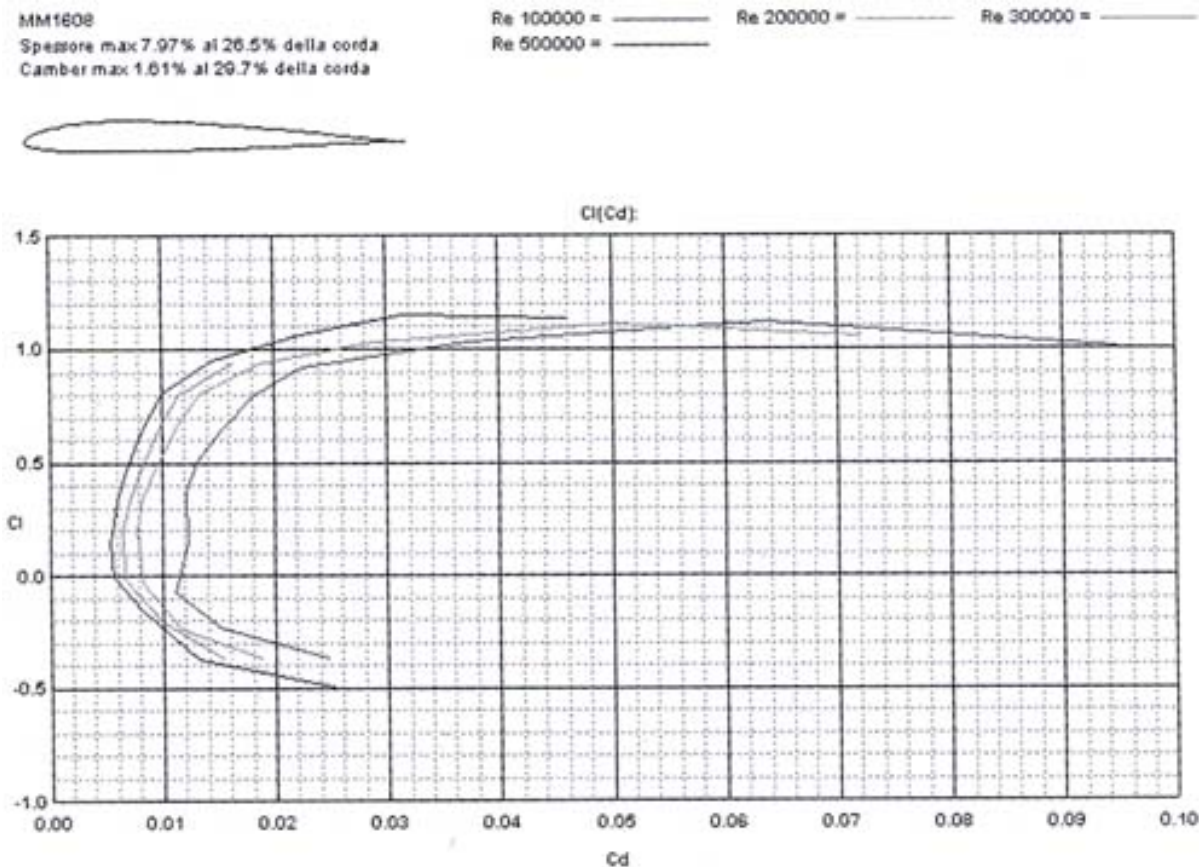
Disegnato da Profili 2.01 su dati elaborati da XFOIL - Copyright (C) 2002 - Tutti i diritti sono riservati.

Polare MM147

Ma il nostro spirito di avventura, voglia di ampi spazi e natura, ci impone cose sempre più difficili e rischiose (per il modello, eh), e la prossima stagione, non mancheranno nuove escursioni di due giorni con bivacco in tenda intorno a quota 2000m. Il modello, attualmente in costruzione, per questo tipo di volo, non è nuovo nella linea: si tratta di un piccolo kobuz da 2.65 con fusoliera di provenienza Rowi Model che ha richiesto una buona cura ricostituente a base di nastri di vetro e ordinate, ma non troppo. Infatti, l'intento è di ottenere un aliante di peso "contenuto" che faciliti il trasporto lungo i ripidi sentieri e, allo stesso tempo, veloce e acrobatico in modo da sfruttare appieno le ottime caratteristiche di luoghi "vulcanici" come il Libro Aperto e il Cimoncino situati sull'appennino toscoemiliano. Il carico alare non dovrebbe superare i 70 gdm^2 , meglio se riuscirà a contenerlo maggiormente. Per le ali ho intenzione di usare fibra di carbonio da 80 gdm^2 in modo da raggiungere la rigidità necessaria per un sicuro volo in DS. Il peso totale dovrebbe cadere intorno a 3.2 kg. L'aliante che uso normalmente per i voli d'alta quota è il Flash, un vecchio modello del peso di circa 3 kg per un apertura di 2,80m con profilo E387 all'attacco e E180 in estremità; tuttavia il Flash, non ha, né caratteristiche acrobatiche, né la struttura necessaria a sopportare le spaventose sollecitazioni del dynamic soaring. Proseguendo su questa falsa riga, oltre all'MM1010, ho studiato due nuovi profili biconvessi asimmetrici di bassa curvatura: MM0609 e l'MM0809. Il primo dei due offre certamente qualcosa di più in acrobazia, anche se le differenze sono veramente minime, il secondo, è preferibile per un C_{pmax} più elevato, mentre la resistenza minima e il volo rovescio non soffrono di un esiguo 0,2% di camber in più. Il 9% di spessore lo rende più veloce rispetto all'MM1010, ma per l'estremità ho ulteriormente diminuito lo spessore portandolo all'8,5%. Il diagramma dell'MM0809 mostra curve regolari, resistenza contenuta e buone caratteristiche alle incidenze negative che sono quelle inerenti al volo rovescio. La polare n° 5 riguarda l'MM0809 con flap inclinato di 3° . Nel grafico si rileva che l'inclinazione flap di questo profilo incrementa il C_p max di un buon 14%: le curve non mostrano eccessive "perturbazioni" ma sono spostate verticalmente di $C_p 0,1$.

Vediamo ora un profilo nato un poco per caso mentre testavo le nuove possibilità di Profili2. La funzione mix di Profili 2 si presenta con una finestra nella quale appaiono due i profili scelti e la percentuale di mixaggio da regolare tramite un cursore. Ovviamente il risultato dipende dalle caratteristiche delle due sezioni e non può superarle. Il prodotto geometrico è immediatamente visibile nella finestra ed è riconoscibile per la colorazione diversa dai due che lo originano. L'ottimo lavoro eseguito da Stefano Duranti non si limita a questo, ma permette la memorizzazione immediata delle coordinate del nuovo profilo e di calcolare immediatamente la polare. In questo semplicissimo modo tutti potranno divenire progettisti dei propri profili, anche se utilizzando progetti esistenti. Per verificare questa funzione ho eseguito un mix al 50% fra l'MM1809 e l'MM1608.

FIG. 8

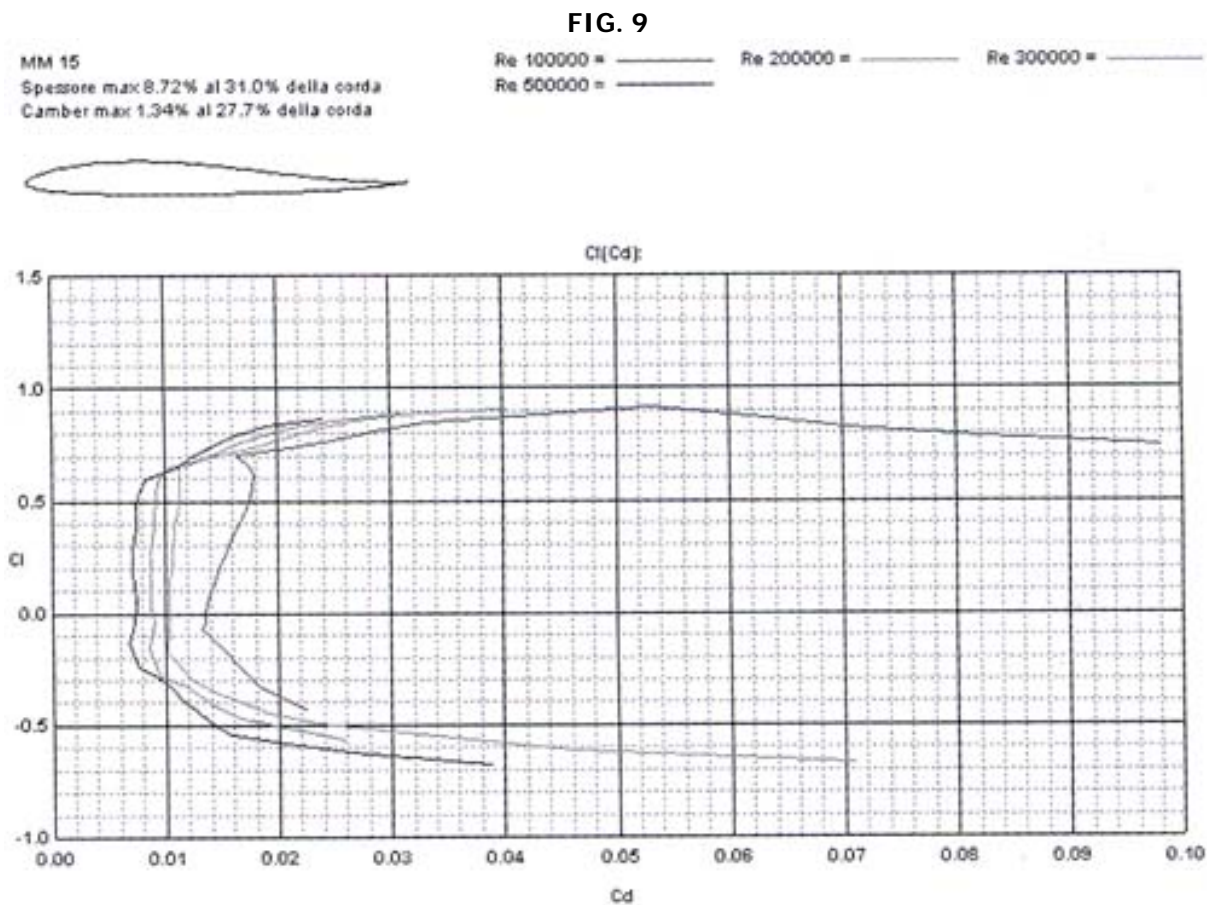


Disegnato da Profili 2.01 su dati elaborati da XFOil - Copyright (C) 2002 - Tutti i diritti sono riservati.

Polare MM1608

Profili2 al momento non permette l'accesso alla distribuzione delle velocità per la modifica delle due curve per cui ho caricato il nuovo MM1785 direttamente su Xfoil x lavorare sulla distribuzione delle velocità ventrale al fine di migliorare le prestazioni in volo rovescio. Per non stravolgere la geometria del profilo ho eseguito una leggera modifica e la successiva polare ha indicato una resistenza minima molto vicina a quella dei due profili MM decamberizzati visti in precedenza, ma un C_{pmax} sensibilmente superiore all'MM1608.

Ovvio che le migliori prestazioni nel volo lento vengano penalizzate nel volo acrobatico, dove le curve ad incidenze negative sono più inclinate e meno arrotondate, ma con l'uso dei flapperoni negativi per -2° la curva in questa zona migliora sensibilmente e il gap si annulla. Con flap positivi di 3° il C_{pmax} aumenta ulteriormente; ma non mi sono fermato qui: ho diminuito lo spessore all'8% e confrontando il nuovo profilo con l'MM1608 ho rilevato un miglioramento sensibile sia nella resistenza minima, sia nel C_{pmax} . Nel precedente articolo l'MM1407 rappresentava il profilo più sottile e estremo della serie, ma nel frattempo ho proseguito il mio lavoro anche su questo migliorandolo ulteriormente. La nuova versione di questo profilo si arricchisce di migliori prestazioni dove anche il C_{pmax} aumenta sensibilmente.



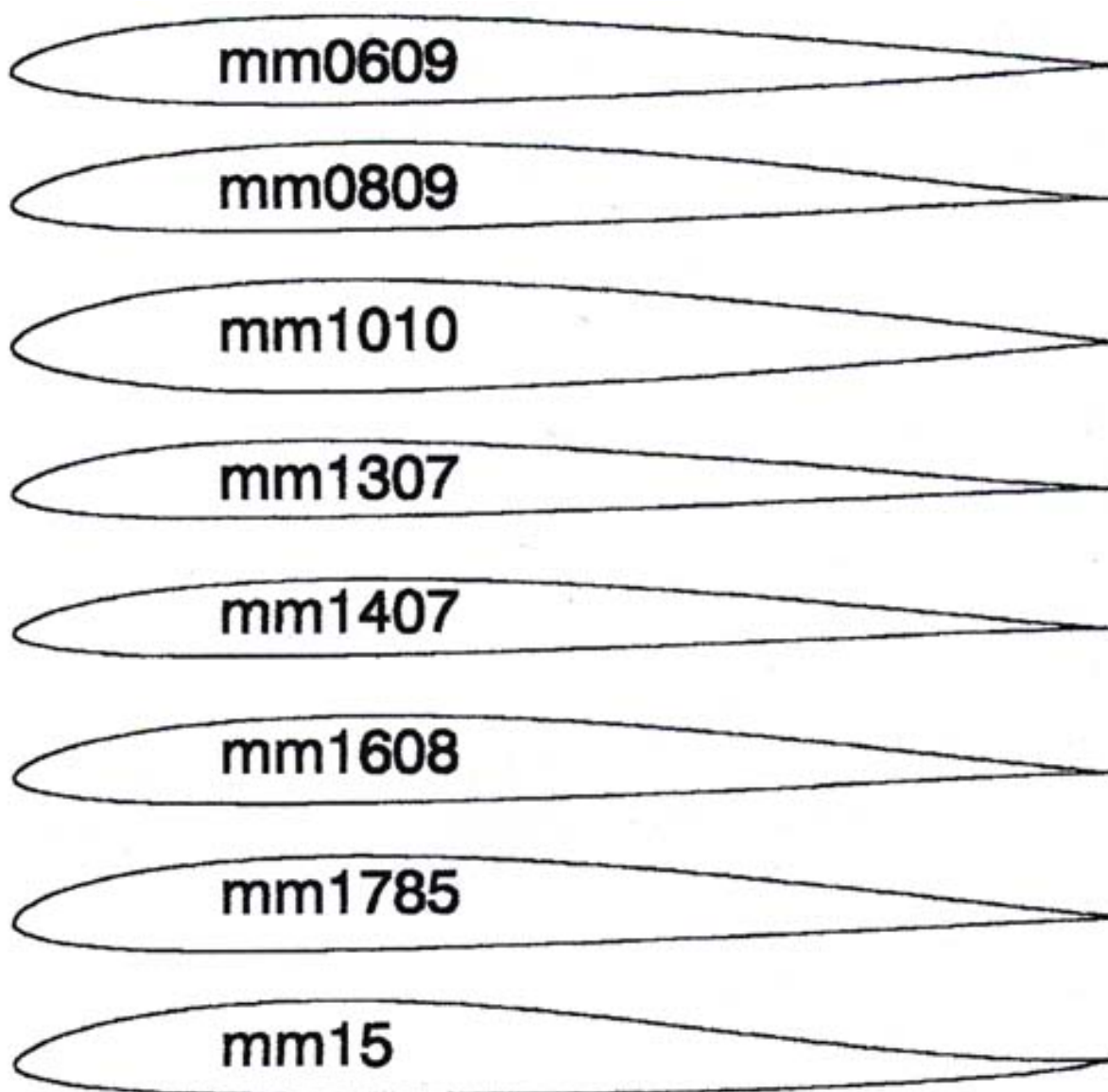
Disegnato da Profili 2.10 su dati elaborati da Xfoil - Copyright (C) 1995-2003 - Tutti i diritti sono riservati.

Polare MM15

L'MM1307 rappresenta invece il profilo più veloce di tutta la serie, il camber vale l'1,3% e lo spessore il 7%. Questa sezione nasce per modelli di piccole dimensioni quando la velocità è il parametro più importante, dove anche a bassi NR le curve sono regolari. La curva a 70KNR mostra buone caratteristiche anche alle basse velocità allargando il campo di applicazione di questo profilo anche a modelli lenti e come profilo di estremità.

Sempre pensando al peso che ci dobbiamo trascinare dietro durante le nostre escursioni, si è fatta strada l'idea di realizzare un primo tuttala, compatto e veloce per volo in Dynamic Soaring. In breve tempo ho progettato alcuni nuovi profili MM 13-14-15 -16-17-18 da impiegare su tailles e tuttala a freccia senza svergolamento. Il tailess è già operativo e ha accumulato oltre dieci ore di volo. Si tratta di un'ala a linea focale dritta con profilo autostabile MM15 costruita in carbonio da 200gdm^2 e vetro incrociato da 110g . Il modello ha una apertura alare di 150 cm con corde 31-16cm e pesa 1650g per un carico alare di 47g dm^2 . Al momento ho potuto testare lo "Tsunami", con dinamica forte (60/70kmh) e dato il suo comportamento si direbbe nato per il volo estremo. Il comportamento in termica diffusa è altrettanto buono e il modello si muove molto velocemente. Per il DS, viste le condizioni atmosferiche attuali che non permettono di raggiungere i pendii più alti a meno di fare uso di ramponi, ci vorrà ancora del tempo, ma i primi test sembrano promettere molto bene.

FIG. 10



Geometria profili

Il tuttala a freccia, invece, è ancora in fase di progettazione; avrà caratteristiche per il volo veloce di cresta con profilo MM14 assottigliato all'08%, e MM 16 in estremità; freccia della linea focale intorno a 18/20°, svergolamento 0 e costruzione in vetro incrociato da 200gdm² con doppio longherone in carbonio ottenuto con sovrapposizione di nastro unidirezionale da 80 fino a raggiungere 1,5mm di spessore. I profili suddetti hanno uno spessore compreso fra l'8 e il 9% in modo da non mettere troppo in crisi le strutture che notoriamente in un tuttala a freccia sono sottoposte a forti torsioni. Il coefficiente di momento di questi profili è generalmente molto basso o addirittura positivo come nel caso dell'MM15. Tutti i profili e polari sono scaricabili sul sito: <http://spazioinwind.libero.it/voloinpendio>

Mario Marzocchi
(fine)