

# PIAGGIO AEROSPACE

*AERODINAMICA TEORICA*  
*STRUMENTI PER ANALISI E PER PROGETTO*  
*APPLICAZIONI*

# PIAGGIO AEROSPACE - 0

Giorgio Travostino – Tecnologie del volo – Aerodinamica e CFD.

[gtravostino@piaggioaerospace.it](mailto:gtravostino@piaggioaerospace.it)

Sommario:

- Presentazione della ditta
- Metodi e codici in uso
- Analisi aerodinamica trans-subsonica – confronto con dati sperimentali
- Confronto CFD - galleria del vento .... Chi è più affidabile?
- Progetto aerodinamico
- Ghiaccio e degradazione delle prestazioni
- Aeroacustica
- Open items

# PIAGGIO AEROSPACE -1

## Anno di fondazione

1989. Anno in cui sono stati rilevati i siti, le attrezzature e le attività della I.A.M. Rinaldo Piaggio S.p.A., fondata nel 1884.

## Principali aree di business

Velivoli executive – P180

Multi-utility aircraft – P166 DP1

Velivoli un-manned

Categoria MALE – P1HH

– P2HH

Multirole Patrol – MPA

Motori

## Addetti

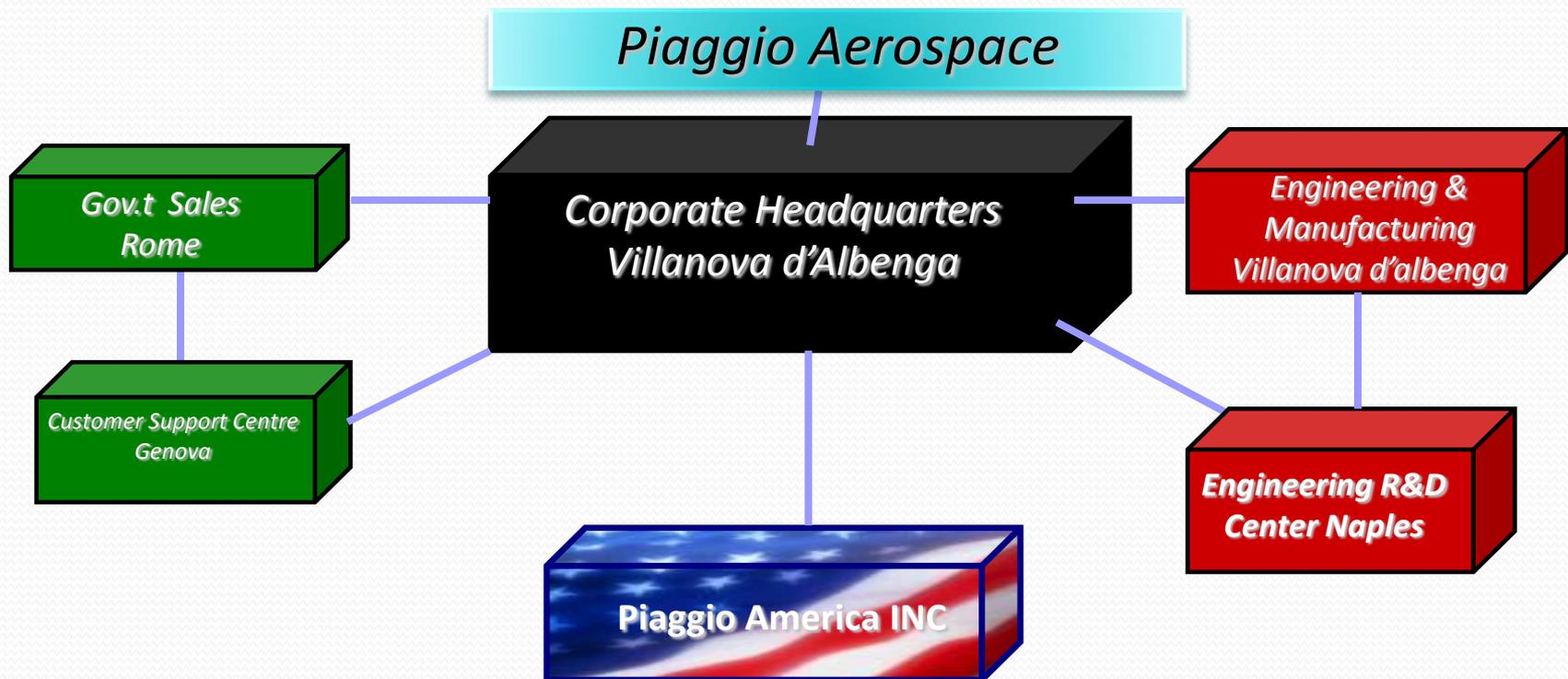
1000



# PIAGGIO AEROSPACE - 2

Distribuzione azionariato

100% MUBADALA – fondo di investimento governativo Emirati Arabi



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE -3

- F1 GP RB TEAM:

Addetti : 200 ca. su 600

Codice utilizzato: FLUENT

Processori calcolo parallelo: 1000 ca.

- Piaggio Aero Industries:

Addetti : 2 ca. su 1000

Codice utilizzato: CFD++

Processori calcolo parallelo: 144

## Cause della discrepanza:

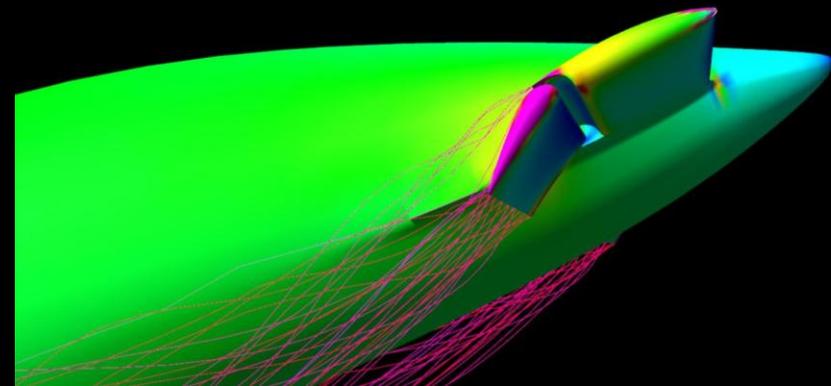
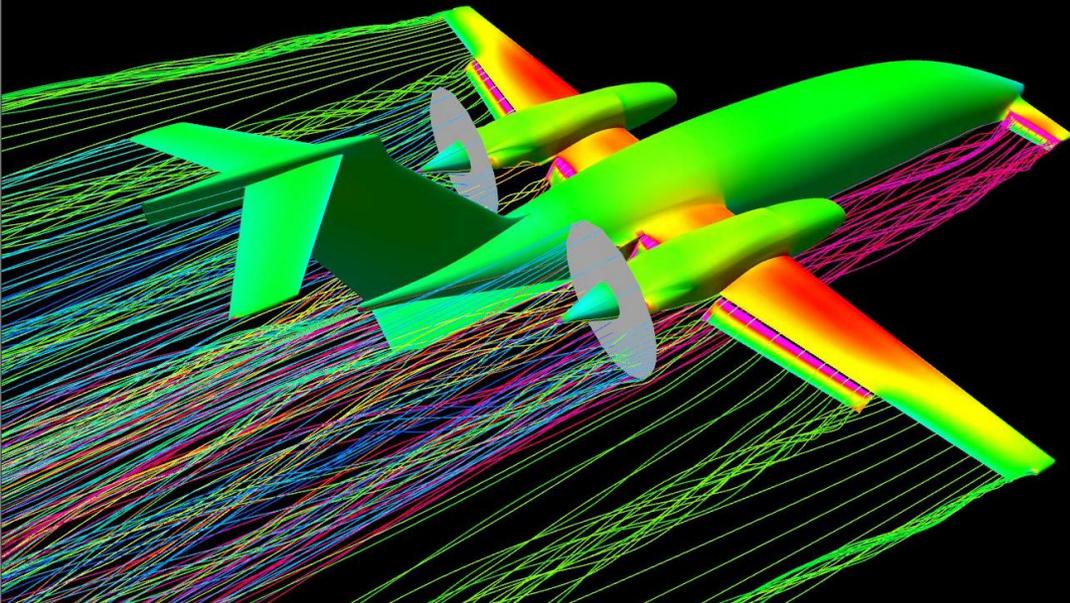
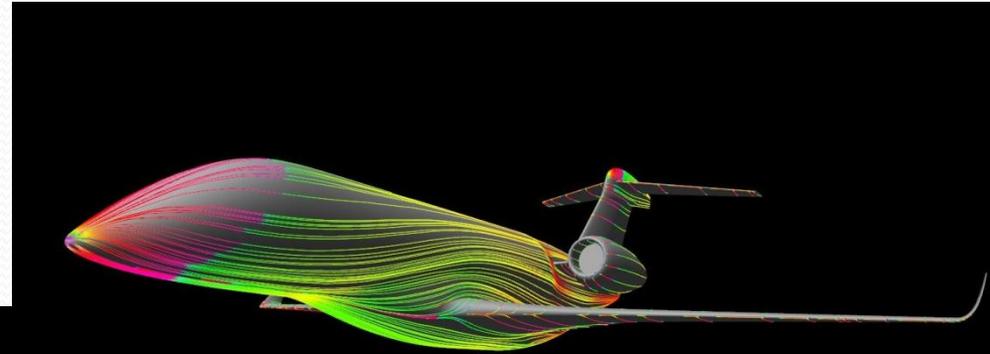
- 1) I prodotti consolidati sono soggetti a minimi e rari aggiornamenti di carattere aerodinamico
- 2) Nelle prime fasi di progetto preliminare si utilizzano strumenti consolidati (database e/o codici dedicati) basati sull'esperienza pregressa. Uso intensivo solo nella seconda fase, quella di definizione delle geometrie alari (profili) e della versione iniziale del database aerodinamico su cui viene generato il database per la meccanica del volo e carichi.
- 3) Rimangono ambiti di difficile, se non impossibile applicazione della CFD
- 4) Il dato sperimentale (galleria del vento) è ritenuto, a torto o ragione, giudizio ultimo del progetto pre-disegno di dettaglio.

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 4

- 1) Generazione griglie di calcolo (ANSYS ICEMCFD – Pointwise Gridgen)
- 2) Analisi aerodinamica (AMI VSAERO – Metacomp CFD++)
- 3) Disegno aerodinamico (AMI VSAERO – Metacomp CFD++)
- 4) Analisi di aeroelasticità statica e flutter (Zona Technologies ZEUS)
- 5) Calcolo carichi aerodinamici (AMI VSAERO – Metacomp CFD++)
- 6) Calcolo di water impingement (Metacomp CFD++)
- 7) Accrescimento del ghiaccio (CIRA - MULTIICE)

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 5

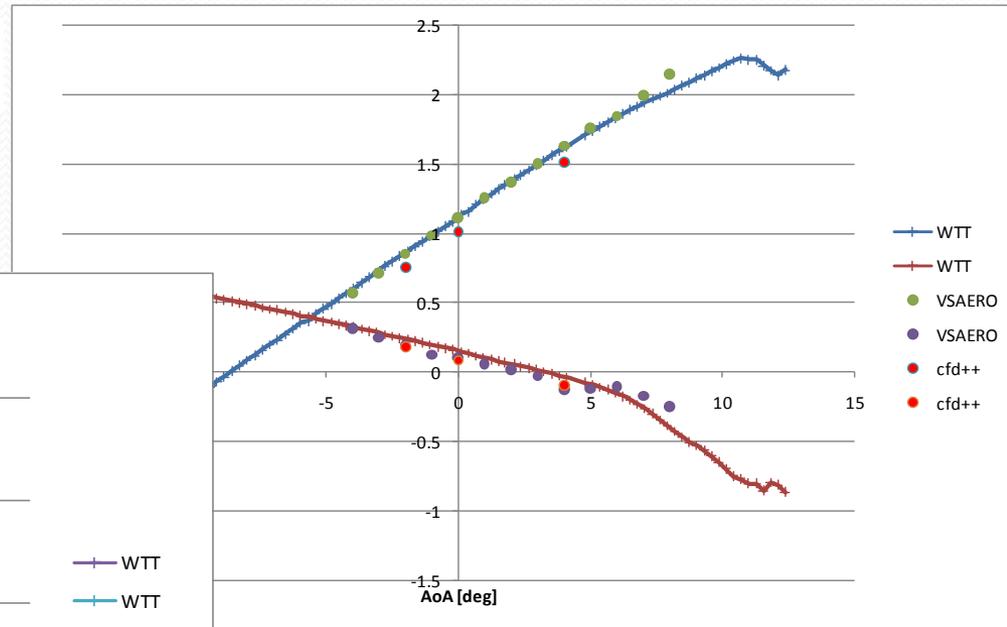
## Analisi aerodinamica codice a pannelli



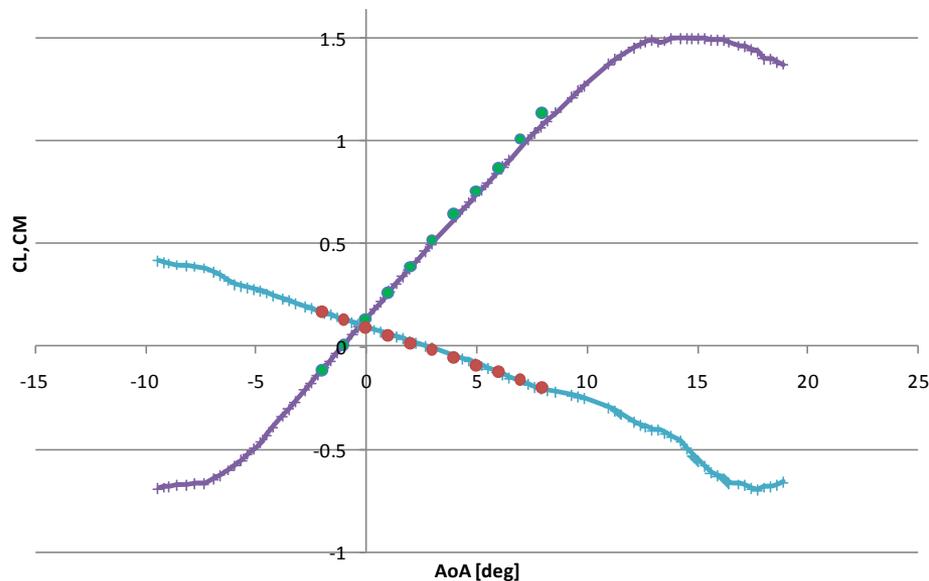
# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 5

## Analisi aerodinamica codice a pannelli

### *P180 LANDING*



### *P180 CLEAN CONFIGURATION*

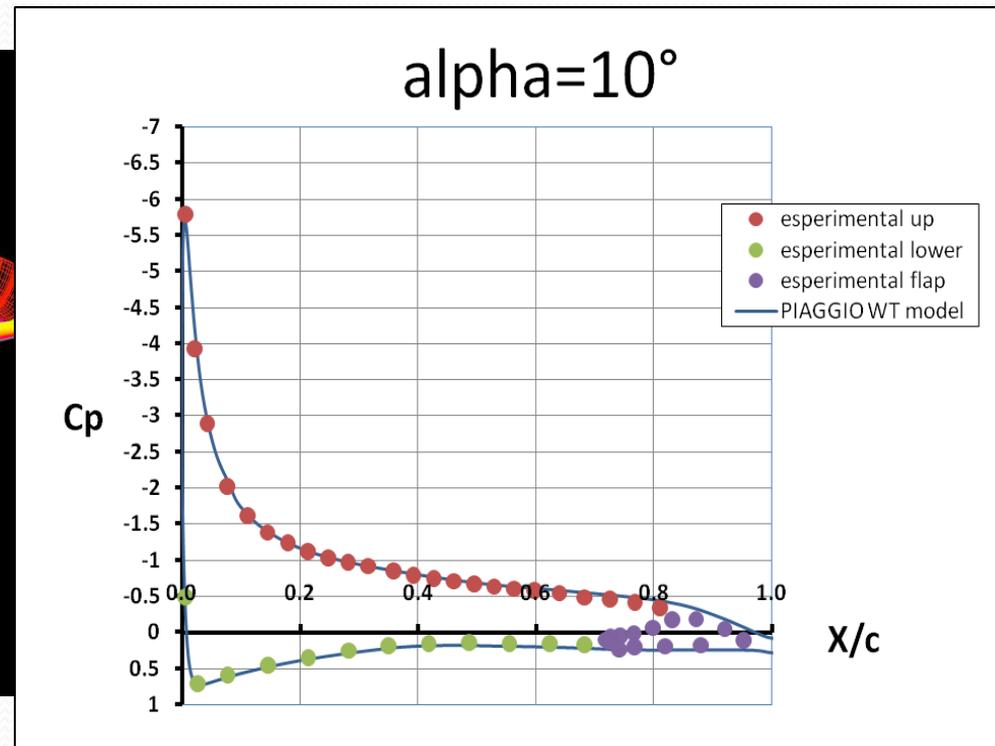
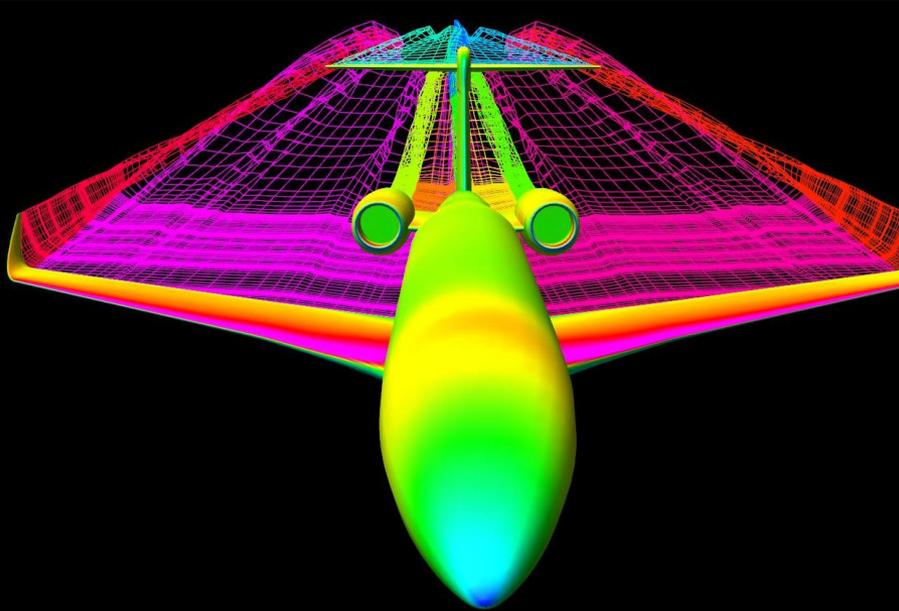


- WTT
- WTT
- VSAERO
- VSAERO

- WTT
- WTT
- VSAERO
- VSAERO
- cfd++
- cfd++

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE- 6

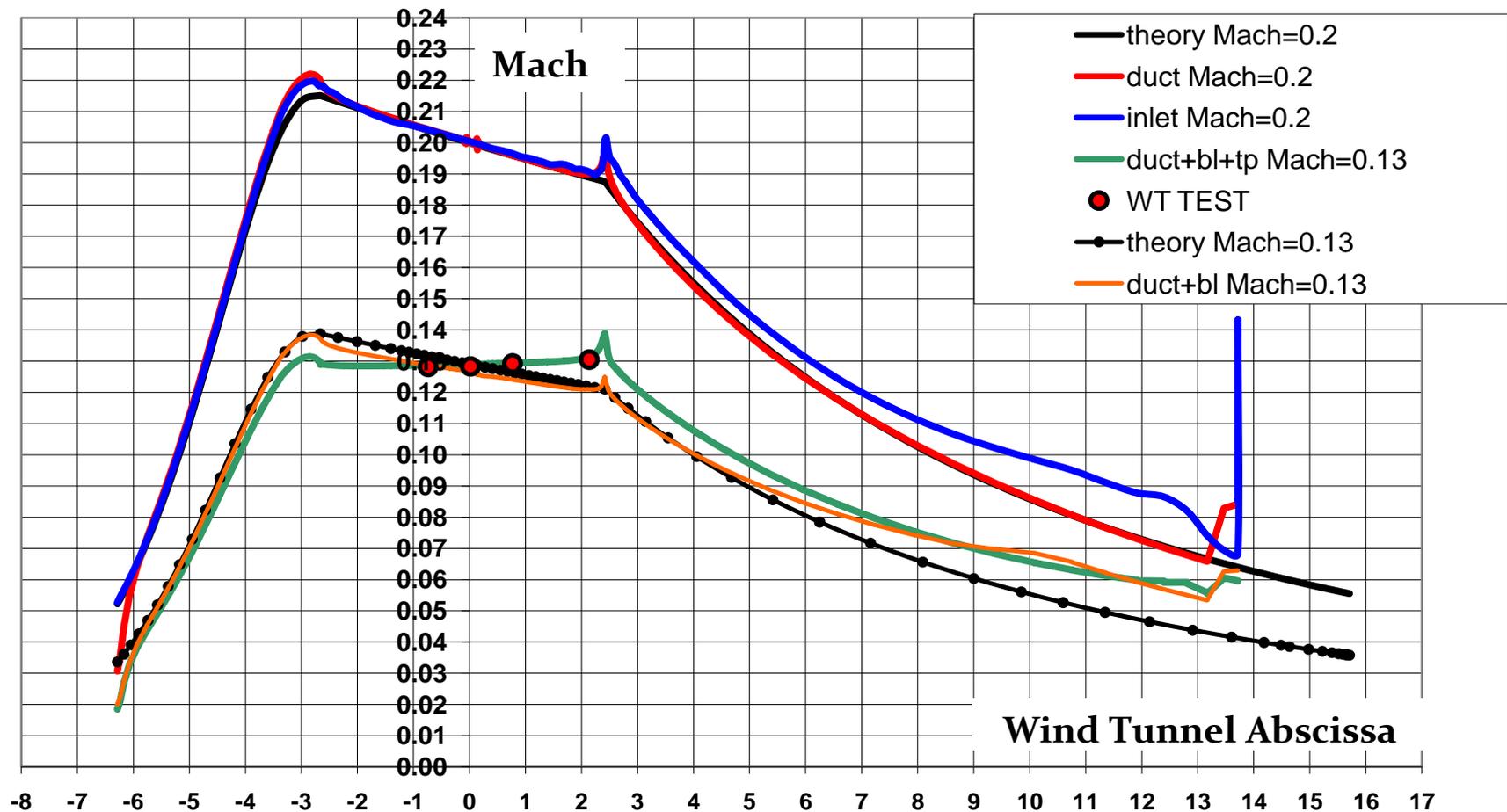
## Analisi aerodinamica codice a pannelli



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE- 7

## Analisi aerodinamica codice a pannelli

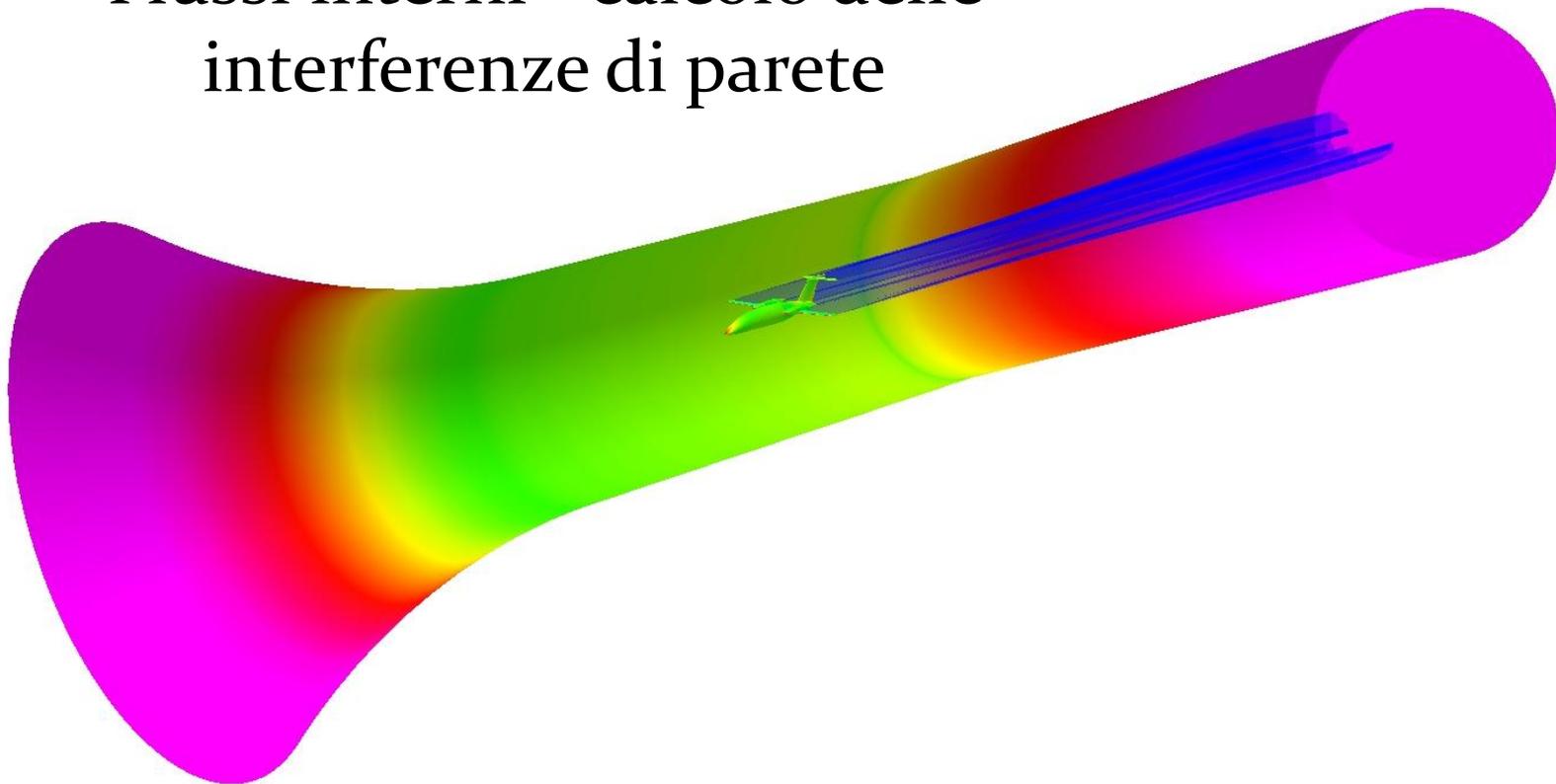
Flussi interni correzioni di parete- galleria del vento Piaggio



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE- 8

## Analisi aerodinamica codice a pannelli

Flussi interni - calcolo delle interferenze di parete



MACH  
0.130

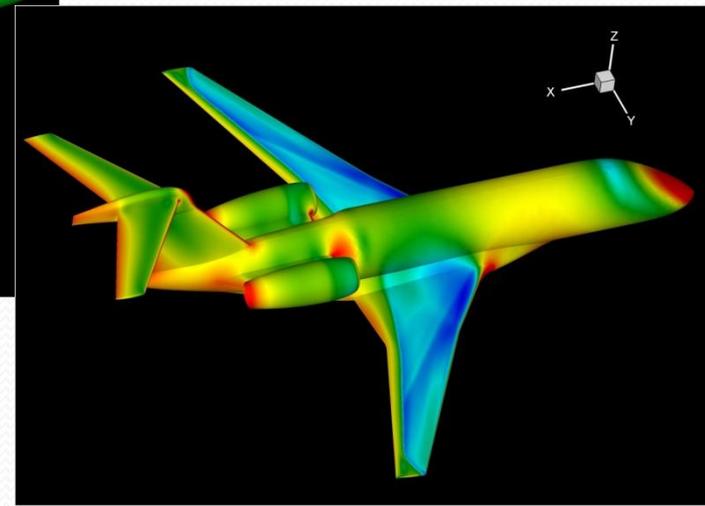
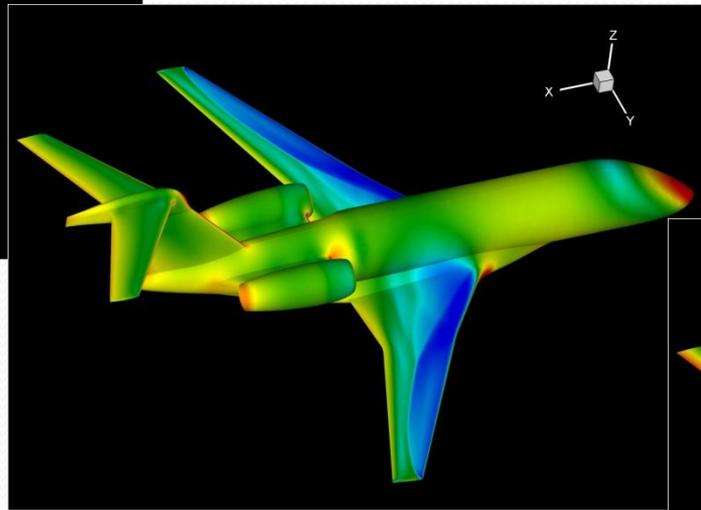
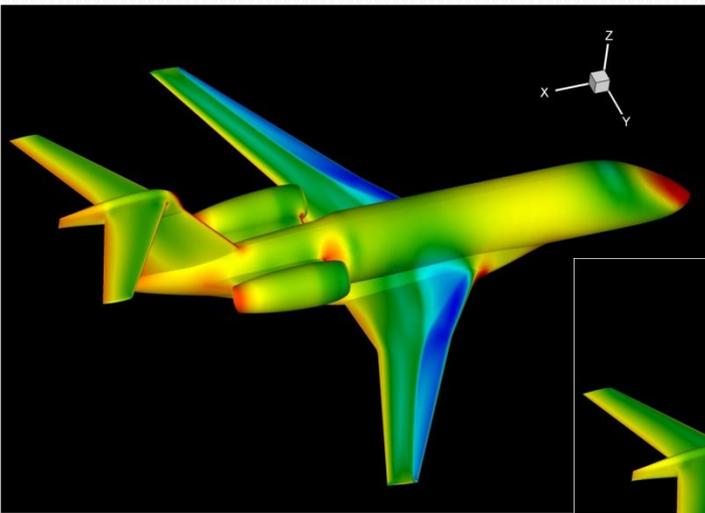


0.036

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE -9

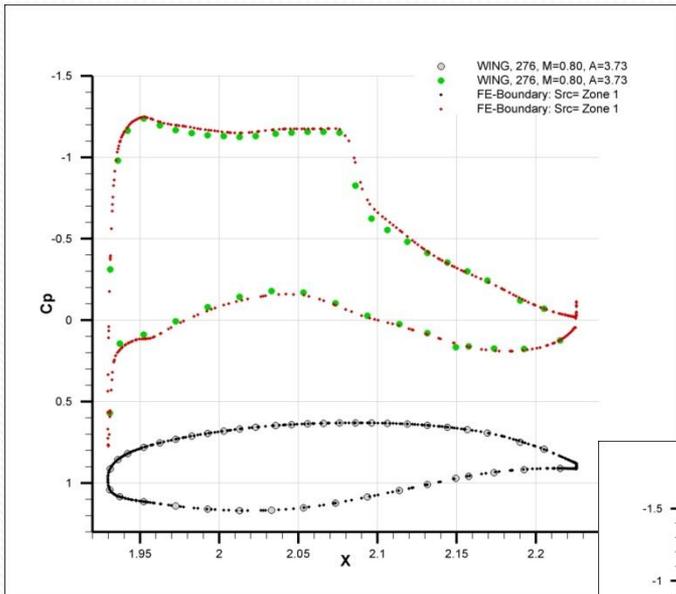
## Analisi aerodinamica RANS

CFD++  
Applicazione  
transonica



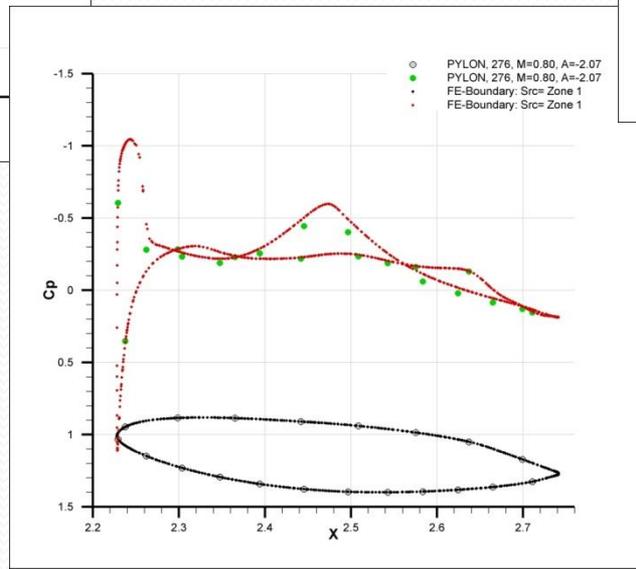
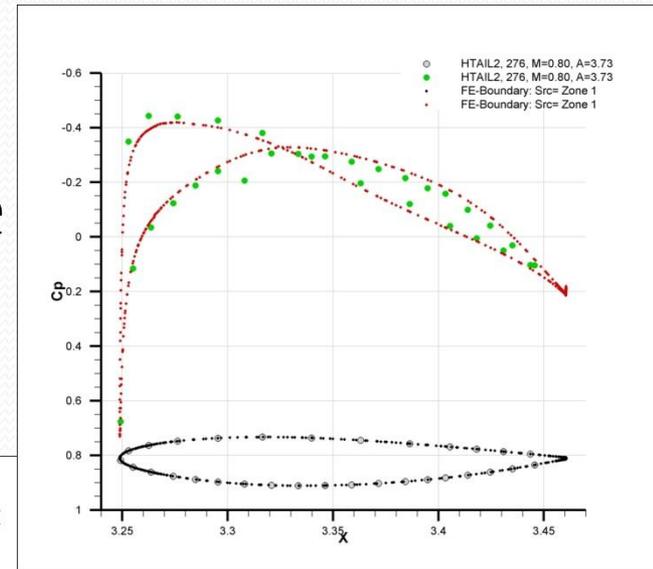
# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 10

## Analisi aerodinamica RANS



# CFD++

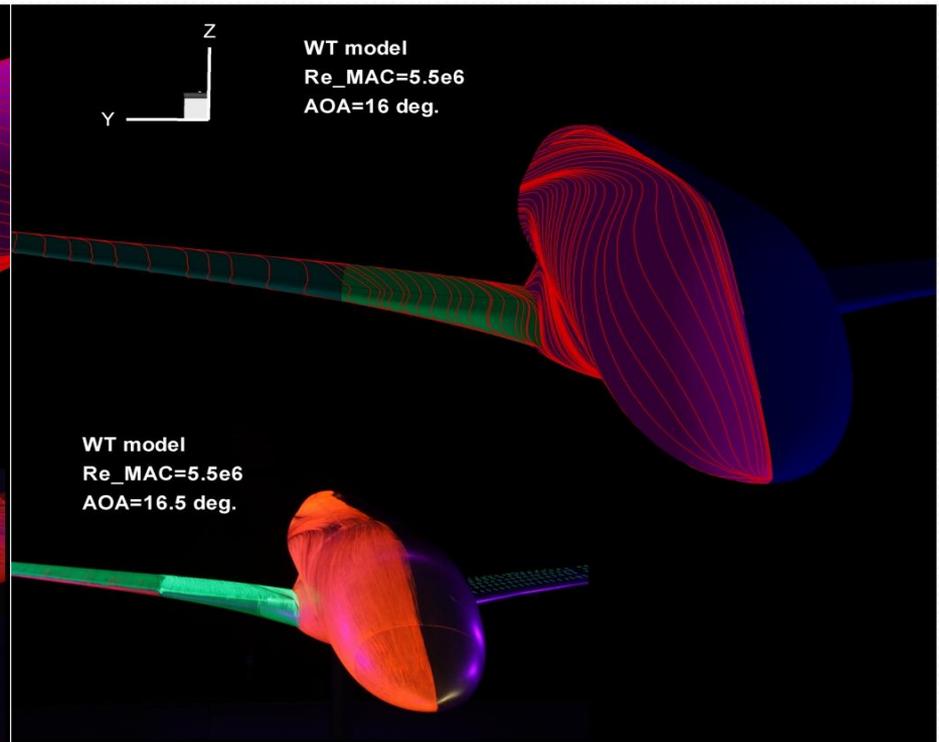
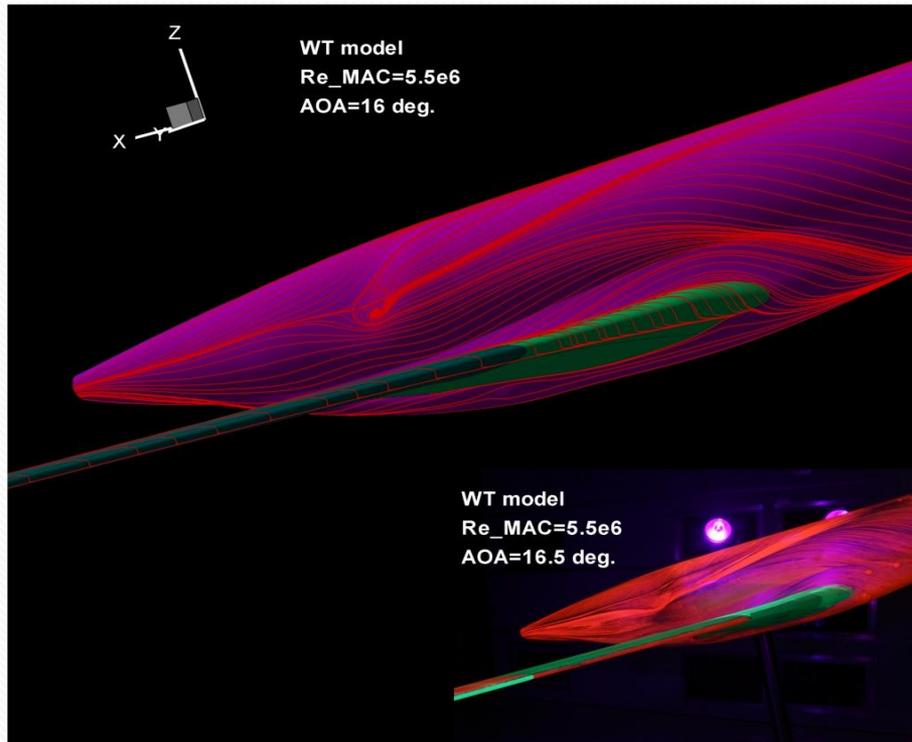
## Applicazione transonica



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 11

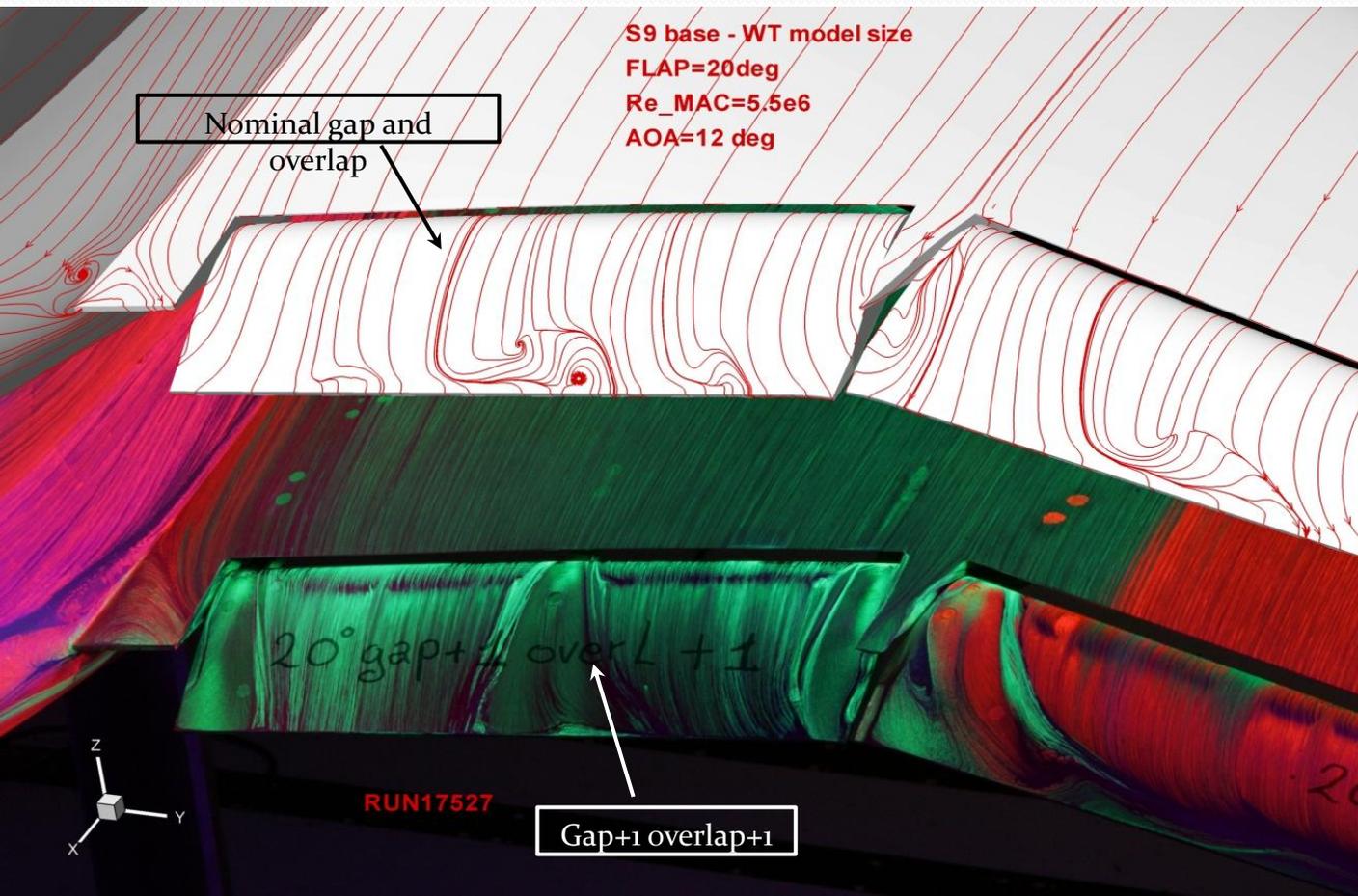
## Analisi aerodinamica RANS

### CFD++ Applicazione subsonica



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 12

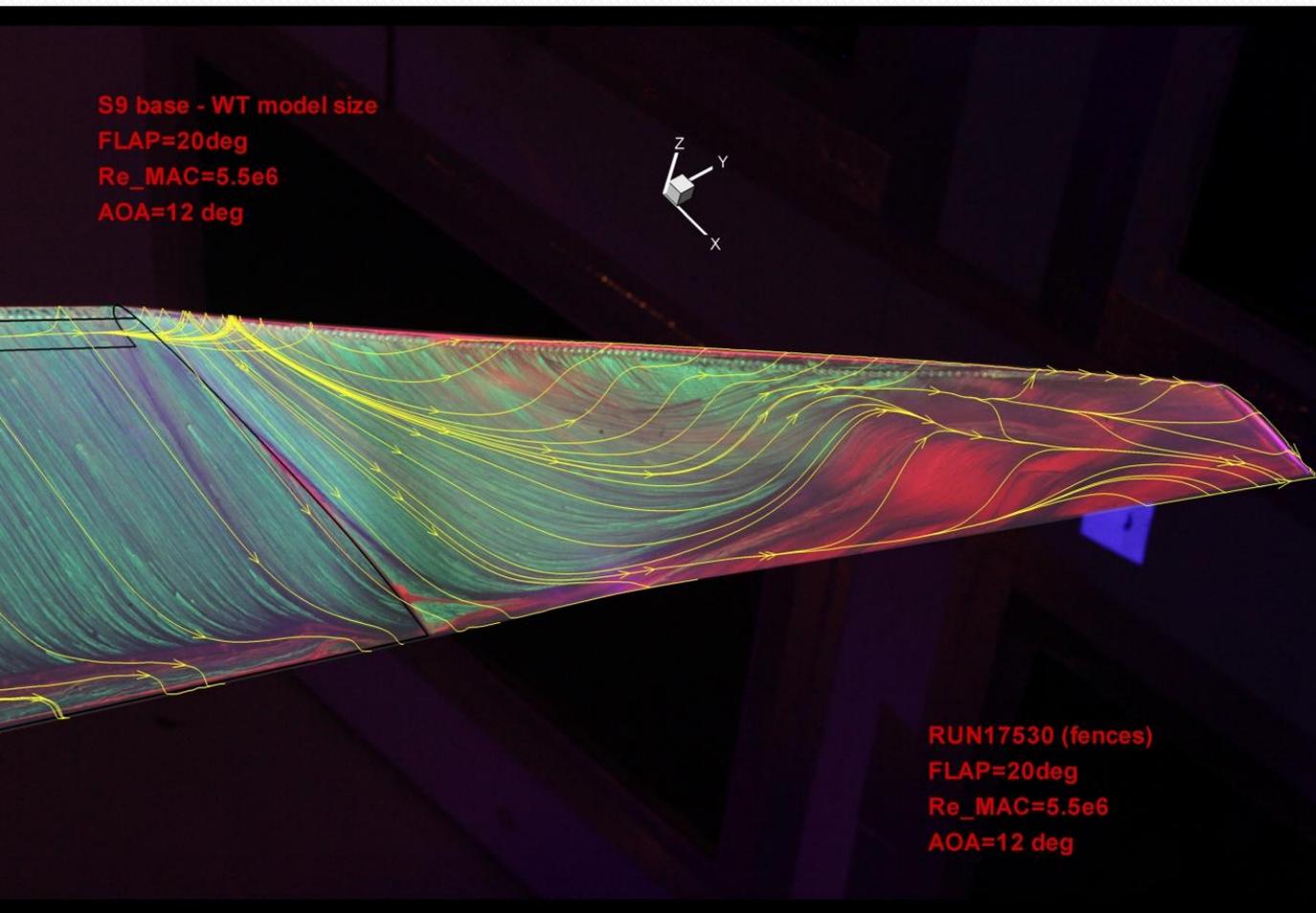
## Analisi aerodinamica RANS



CFD++  
Applicazione  
subsonica

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 13

## Analisi aerodinamica RANS



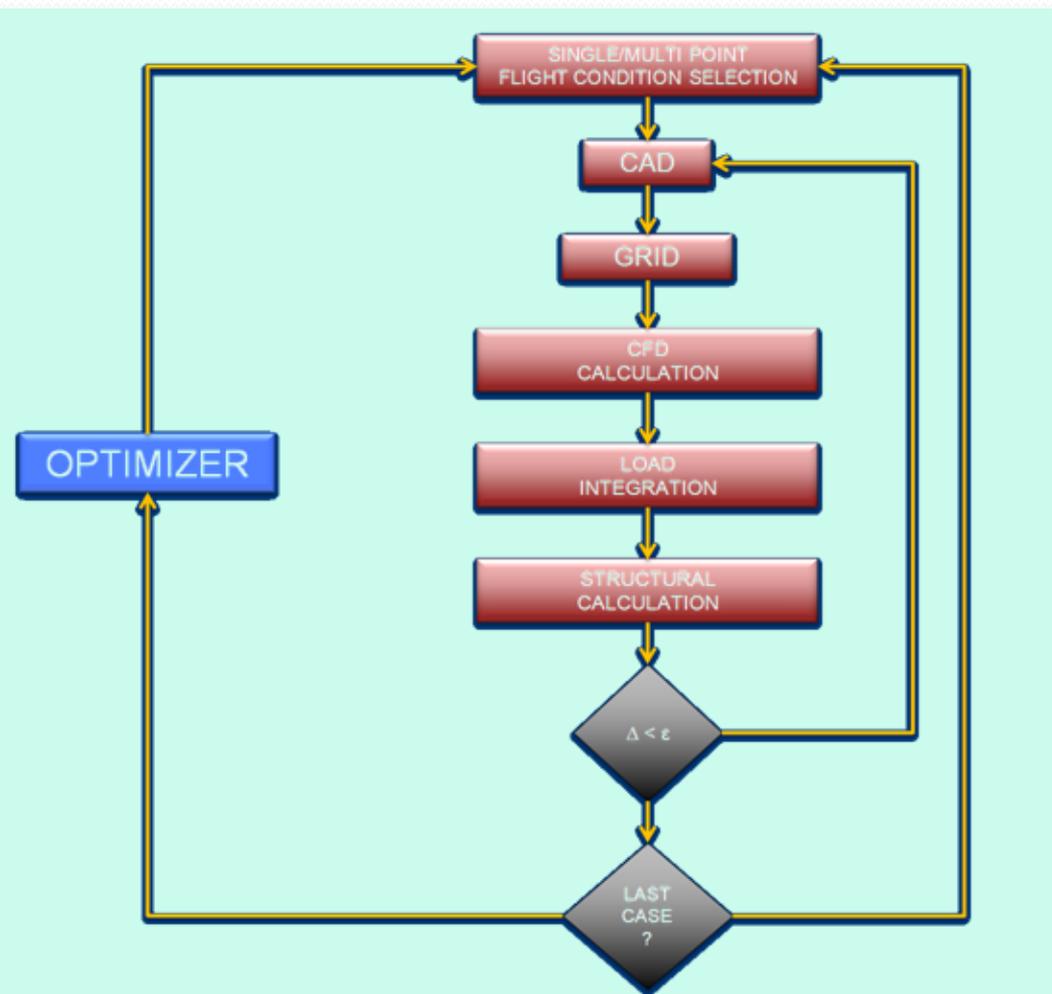
CFD++  
Applicazione  
subsonica

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 14

## Disegno aerodinamico

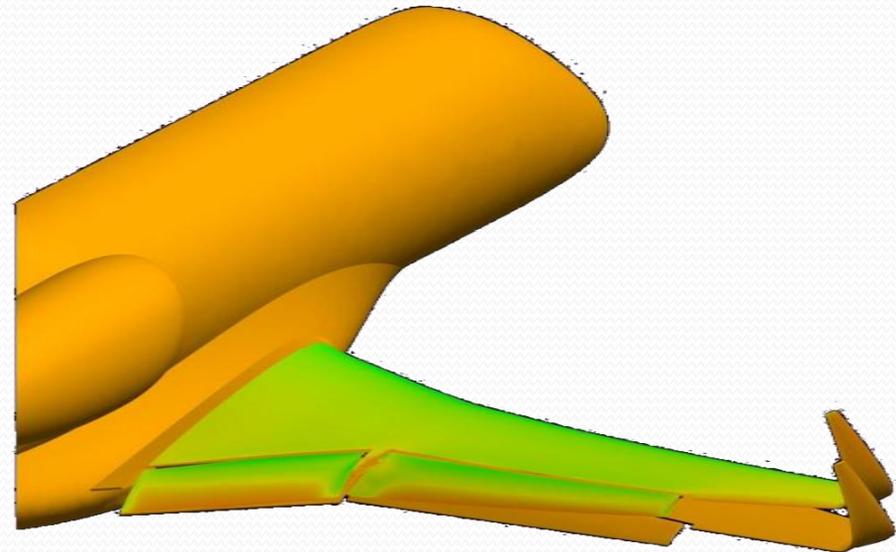
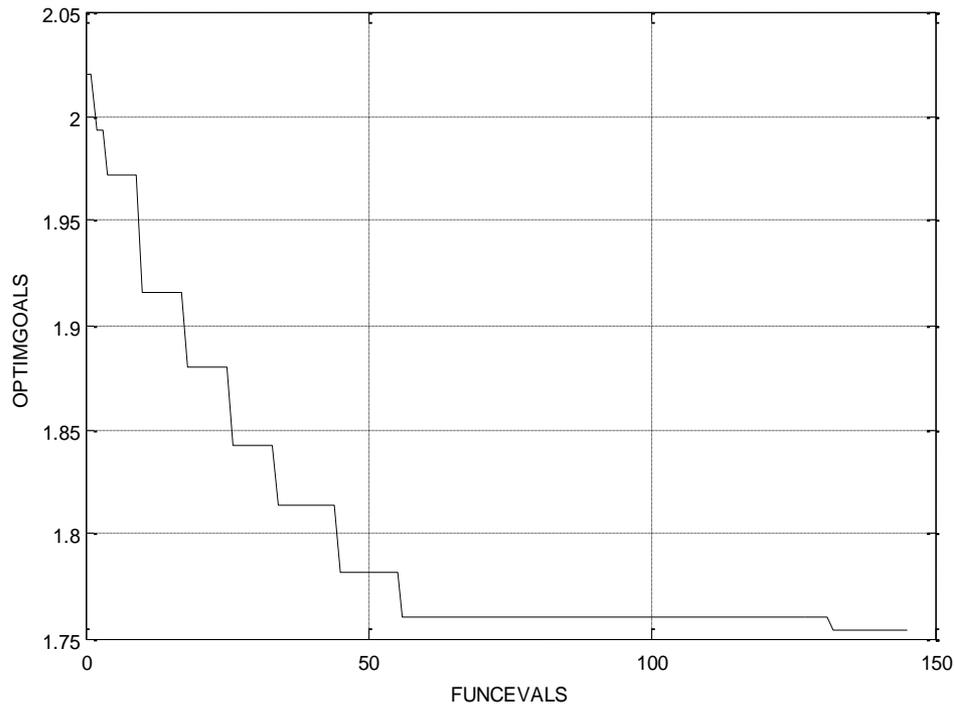
Progetto aerodinamico in considerazione della deformabilità dell'ala

- MULTI-OBBIETTIVO
- METODO DEI SIMPLESSI
- PROGETTO IN CDZ DI EQUILIBRIO
- INTERAZIONE CON LA STRUTTURA ALARE (WINGBOX)
- GEOMETRIA OTTIMIZZATA IN FORMATO CATIA V5
- JIG SHAPE



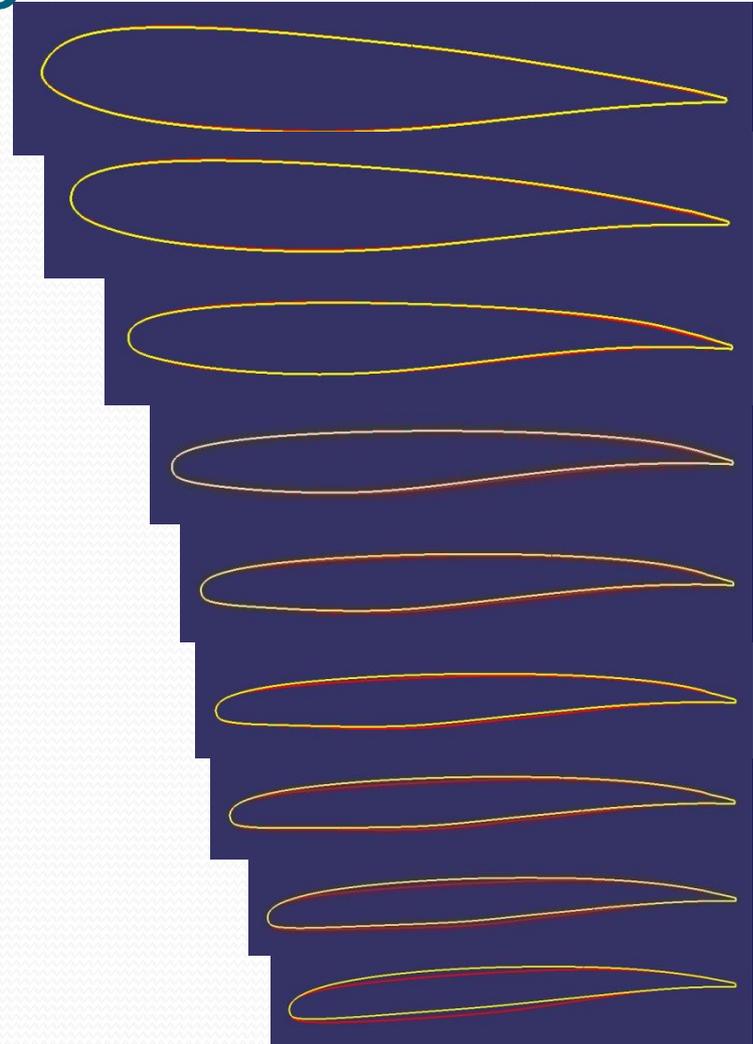
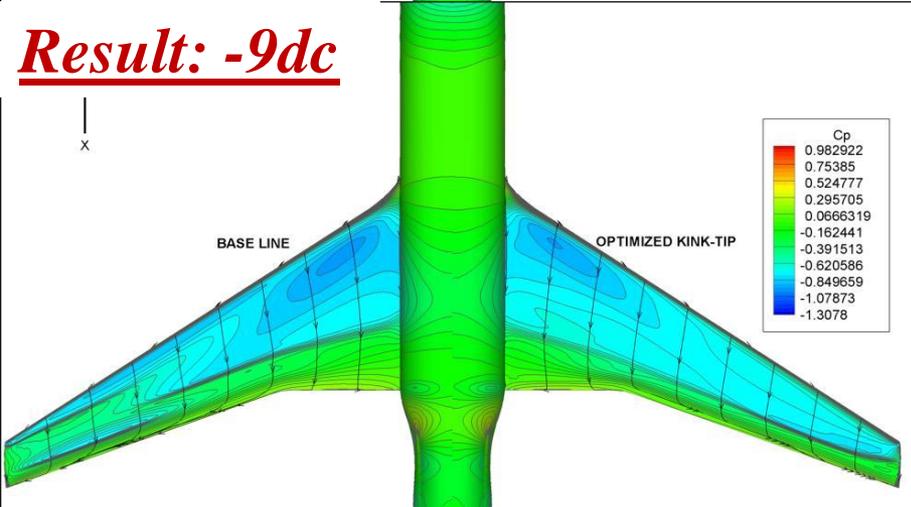
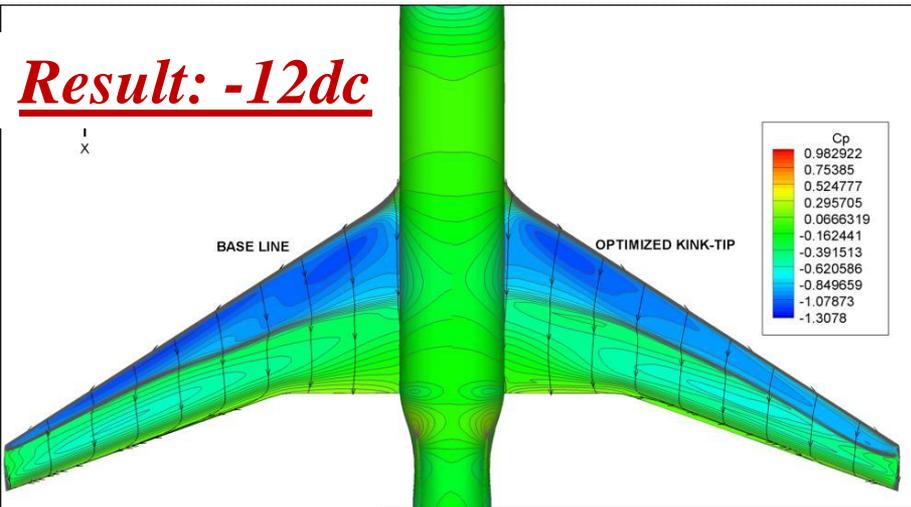
# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 15

## Disegno aerodinamico



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 16

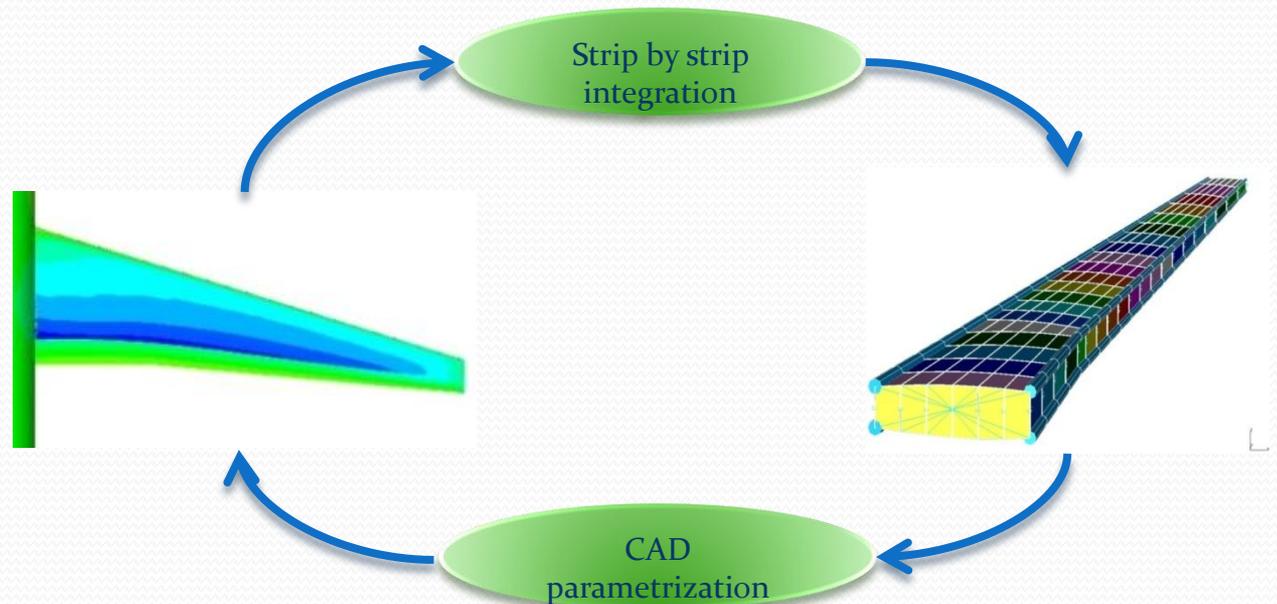
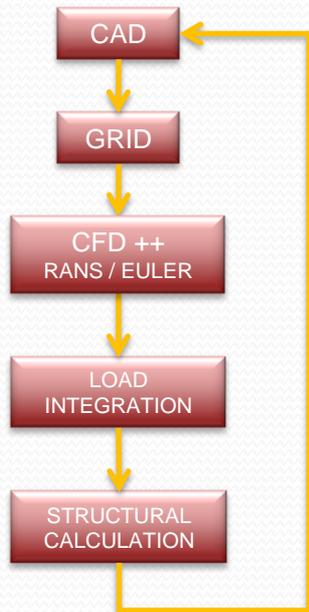
## Disegno aerodinamico



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 17

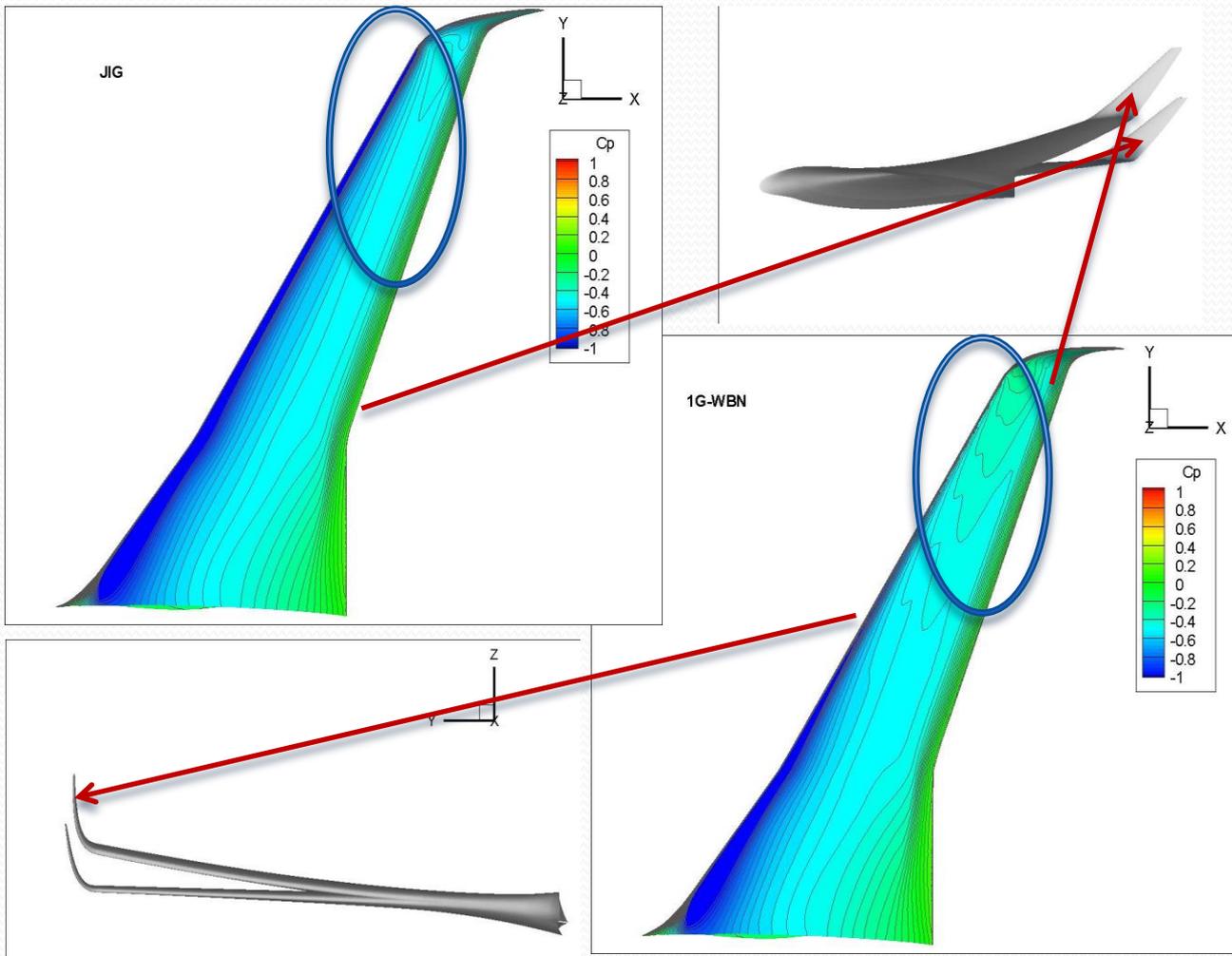
## Aeroelasticità statica

Gli spostamenti ottenuti dal calcolo strutturale vengono trasferiti al CAD parametrico, ricostruendo l'ala spostata.



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 18

## Aeroelasticità statica



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 19

CFD++ : calcolo dei carichi aerodinamici

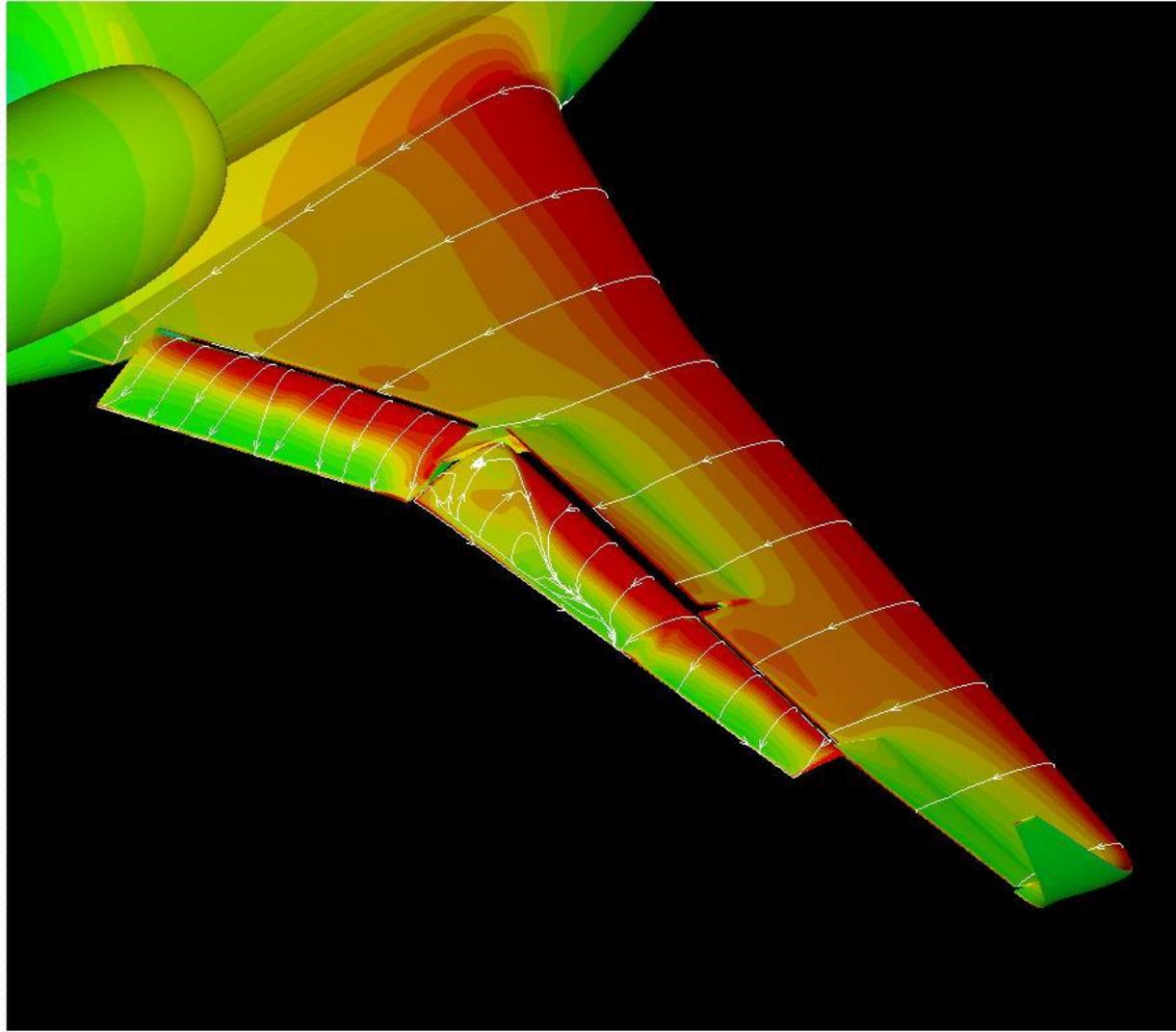
Serie di cdz di calcolo -  
foglio excel

Script di preparazione  
degli input e delle  
runstream

Calcolo CFD

Script di elaborazione  
automatica dei risultati

File excel  
template grafici



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 20

## Water impingement & Ice accretion

### Obiettivi

- Progetto e verifica dell'impianto antighiaccio
- Previsione della degradazione delle prestazioni

#### PROGETTO SISTEMA ANTI-GHIACCIO

- Individuazione rigorosa del punto di ristagno e distribuzione di pressione nella zona bagnata
- dimensioni della zona bagnata e distribuzione dell'acqua

#### ICE ACCRETION

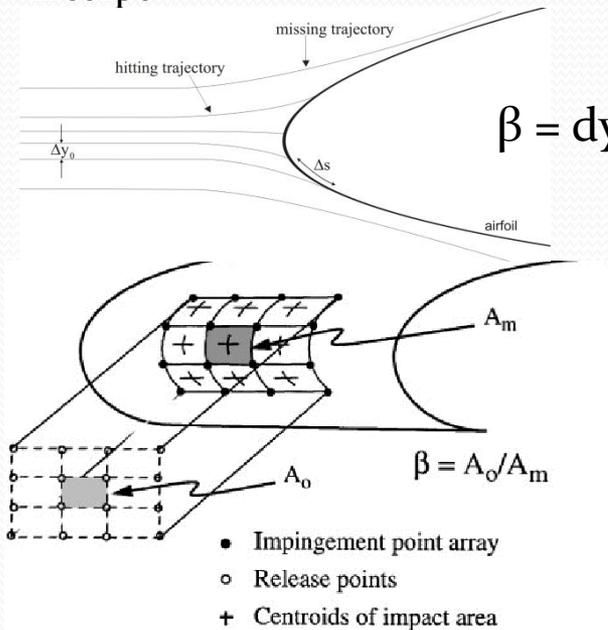
- Definizione delle forme di ghiaccio
- Calcolo delle prestazioni in presenza di forme di ghiaccio:
  - a) degradazione dello stallo
  - b) incremento della resistenza
  - c) Variazione delle caratteristiche di stabilità longitudinale

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 21

## Water impingement

### Approccio Lagrangiano:

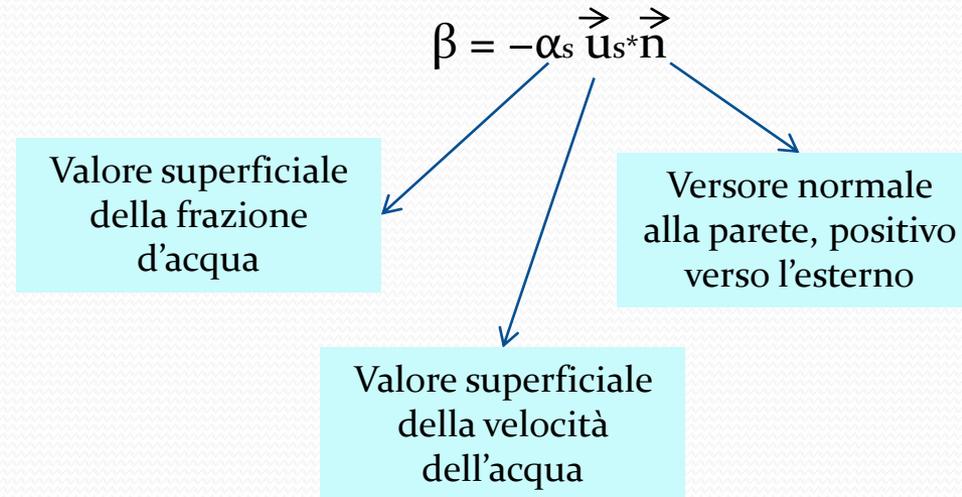
Calcolo della traiettoria della goccia fisicamente caratterizzata e rilasciata ad una distanza per cui il corpo non ne influenzi il campo di moto. Il calcolo si interrompe quando la traiettoria impatta il corpo



### Approccio Euleriano:

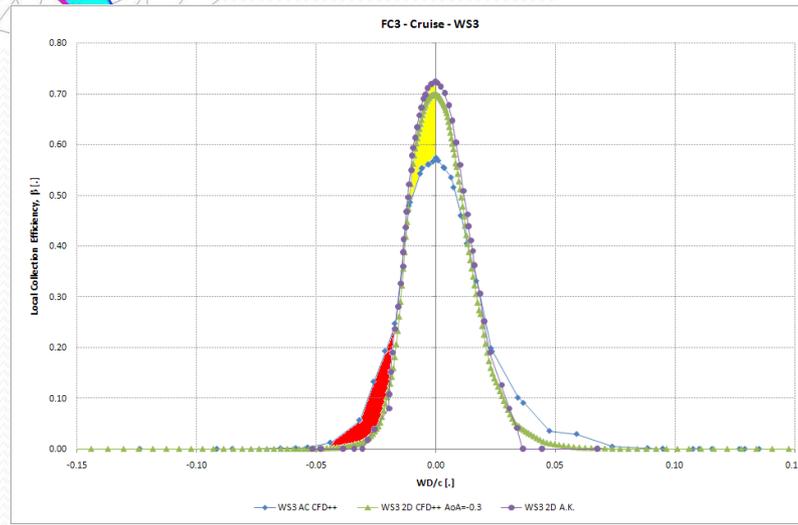
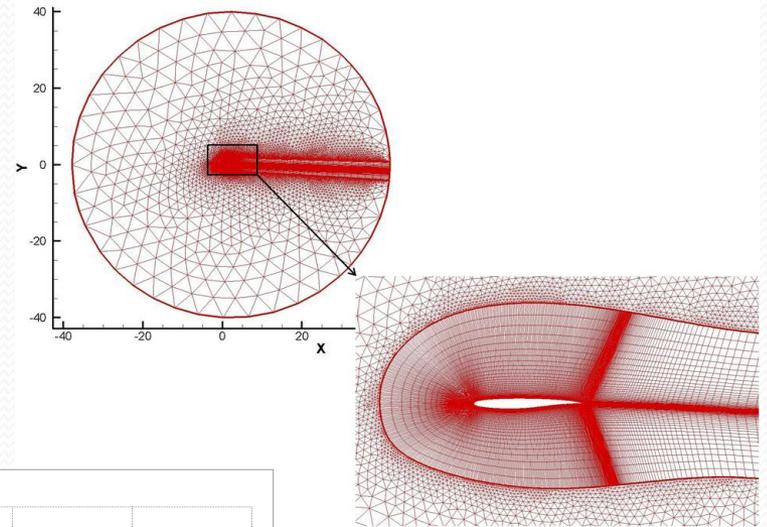
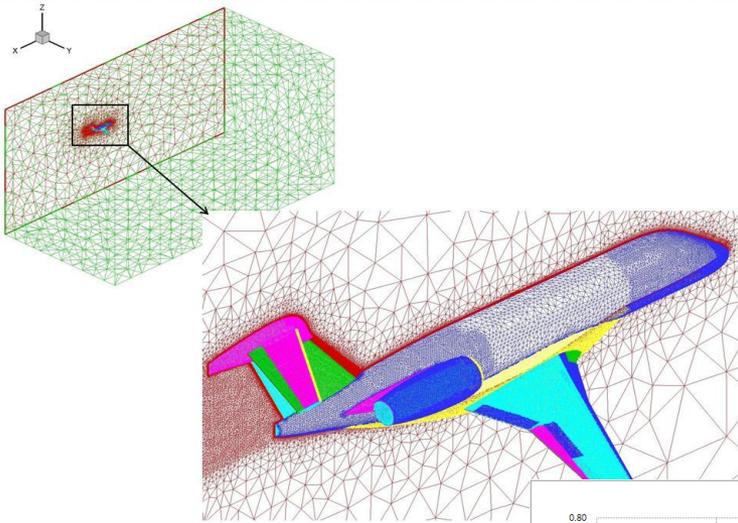
Soluzione di due equazioni per la frazione d'acqua:

- 1) di conservazione
- 2) del momento per ciascuna componente di velocità



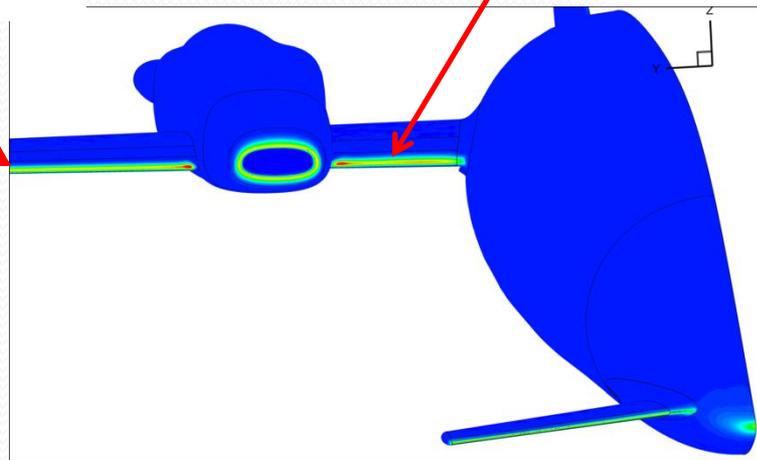
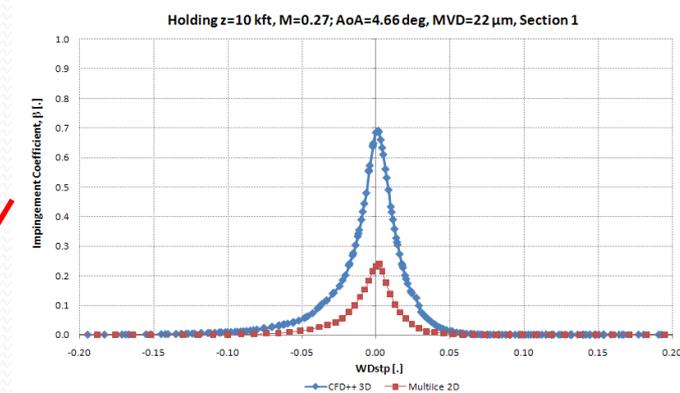
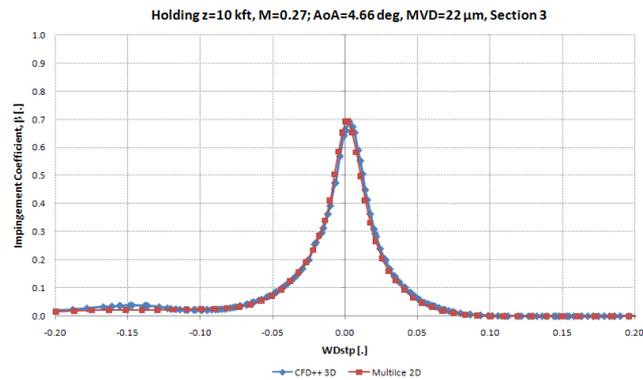
# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 22

## Water Impingement – CFD++ 2D vs 3D



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 23

## Water Impingement – CFD++



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 24

## ICE ACCRETION – PROCESSO DI CALCOLO

Calcolo del campo di moto

Calcolo water impingement

Calcolo termodinamico: dalla soluzione dell'equazioni di conservazione della massa e dell'energia in volumi di controllo ,si determina la frazione di acqua che congela in ciascuno dei volumi di controllo (pannelli o celle) e si ottiene la forma del ghiaccio.

L'equazione del bilancio di energia è basata sul modello di scambio energetico di Messinger , risolta iterativamente per la frazione  $F$  di acqua solidificata mediante l'impiego di valori di temperatura di tentativo

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 25

## ICE ACCRETION – PROCESSO DI CALCOLO – MESSINGER

### Equazione della conservazione dell'energia

Energia di sublimazione e evaporazione contiene F

Solidificazione - riscaldamento  
raffreddamento del runback.  
Contiene F

Raffreddamento  
per convezione

$$\dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5 + \dot{Q}_6 = 0$$

Solidificazione - riscaldamento  
o raffreddamento della acqua  
che impatta la superficie.  
Contiene F

Energia cinetica  
dell'acqua che entra

Flusso di calore del  
sistema antighiaccio

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 26

## ICE ACCRETION – PROCESSO DI CALCOLO – MESSINGER

### Equazione della conservazione della massa

Runback  
proveniente  
dal pannello  
precedente

Water  
impingment

Quantità che passa al  
volume di controllo  
successivo

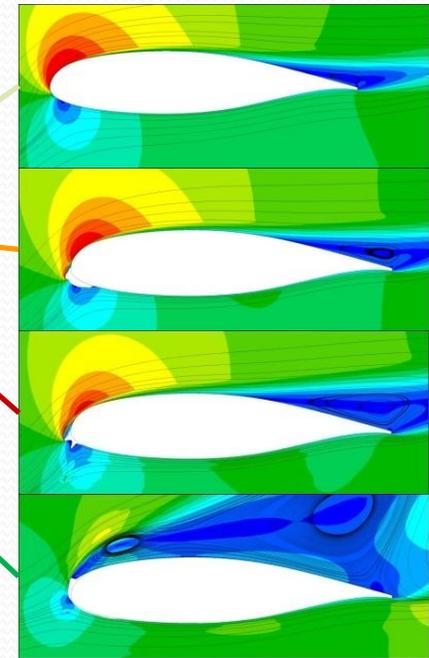
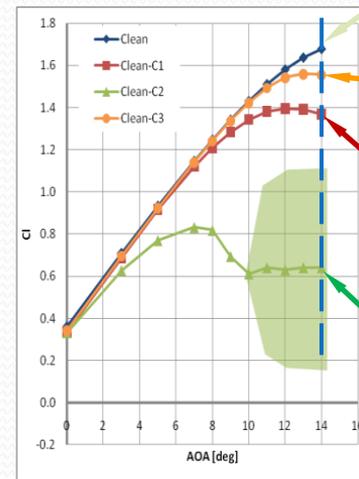
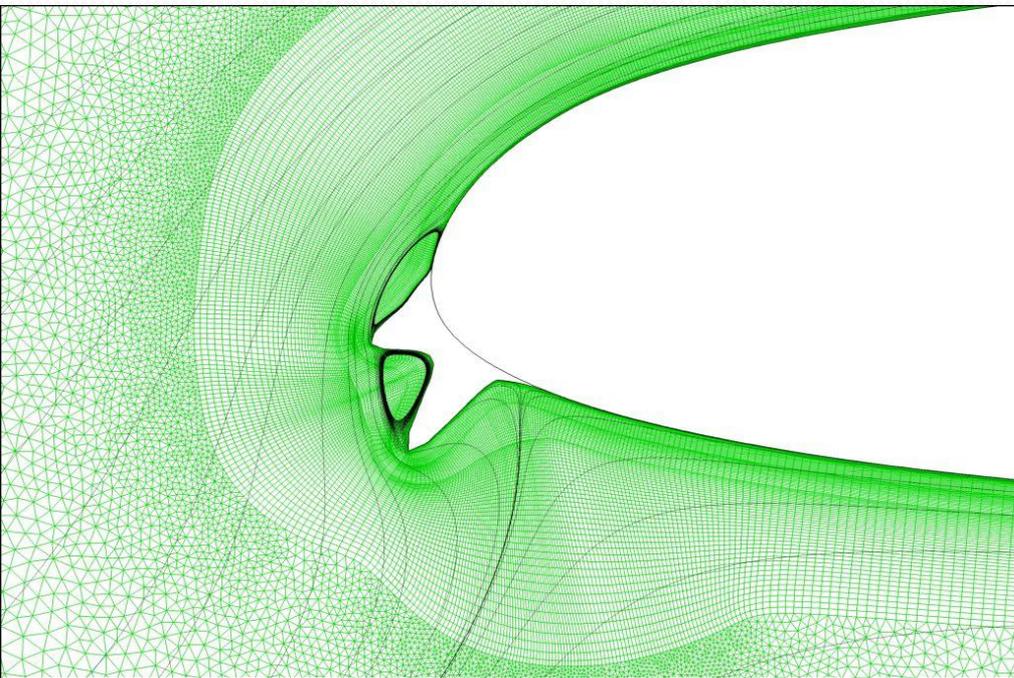
$$\dot{m}_{rbi} + \dot{m}_{imp} - \dot{m}_{ice} - \dot{m}_{es} = \dot{m}_{rbo}$$

Quota solidificata la sua espressione  
contiene come incognita la frazione F  
di acqua solidificata determinata con  
metodo iterativo dalla eq dell'energia

Evaporazione  
sublimazione

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 27

## ICE ACCRETION PERFORMANCE DEGRADATION – CFD++



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 28

## AEROACUSTICA – CFD++

### Descrizione fisica

Il suono è caratterizzato da:

- un livello di energia di diversi ordini di grandezza inferiore a quello di un fluido in moto.
- una piccola fluttuazione della pressione del fluido in rapporto al valor medio della sua pressione

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 29

## AEROACUSTICA – CFD++

### Requisiti per la simulazione diretta

- a) solutore delle equazioni della fluidodinamica accurato, robusto e preciso che possa condurre a soluzioni di più che discreta convergenza dei residui del calcolo (robustezza ed accuratezza sono obiettivi divergenti nella simulazione numerica)
- b) domini di calcolo densi ed accurati fino alla posizione dei ricevitori, ovvero dei punti di controllo dell'emissione sonora
- c) simulazione di flussi non stazionari

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 30

## AEROACUSTICA – CFD++

### Soluzione del problema aeroacustico – Analogia Acustica - metodi Integrali

Conservazione  
della massa

Conservazione del momento  
della quantità di moto

#### **IPOTESI**

- 1) Divisione tra componenti di perturbazione stazionarie e non stazionarie (indipendenti tra loro) di pressione, velocità, densità, entropia.
- 2) Le componenti stazionarie hanno variazioni minime rispetto alle coordinate spaziali
- 3) Nessuna presenza di sorgenti di massa, calore, forza e momento

EQUAZIONE DEL  
SUONO

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 31

## AEROACUSTICA – CFD++

### Soluzione del problema aeroacustico – Analogia Acustica - metodi Integrali

equazione differenziale a derivate parziali iperbolica che descrive un'onda che si propaga nel fluido in quiete a velocità del suono  $a_0$  su cui sono applicate forze esterne che fluttuano nella forma descritta dal membro a destra dell'equazione medesima.

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - a_0^2 \nabla^2 \rho = \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} T_{ij}$$

$$T_{ij} = \rho u_i u_j + p_{ij} - a_0^2 \rho \delta_{ij}$$

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 32

## AEROACUSTICA – CFD++

### Soluzione del problema aeroacustico – Analogia Acustica - metodi Integrali

#### *Riordinando*

$$\begin{aligned}
 T_{ij} &= \rho u_i u_j + p_{ij} - a_0^2 \rho \delta_{ij} \\
 &= \rho u_i u_j + \sigma_{ij} + (\rho - a_0^2 \rho) \delta_{ij} \\
 &= \rho u_i u_j + \sigma_{ij} + (\rho a_0^2 \beta T / C_p) s
 \end{aligned}$$

Cosa fluttua:

- Sforzi di Reynolds ( $\rho u_i u_j$ )
- Variazioni di entropia nel campo acustico ( $\rho a_0^2 \beta T / C_p$ )  $s$
- Forze di taglio causate dai gradienti di velocità delle particelle acustiche

$p$  = pressione statica del campo di moto

$\delta_{ij}$  = delta di Kronecker

$\sigma_{ij}$  = tensore degli sforzi viscosi

$s$  = parte di perturbazione dell'entropia

$T$  = temperatura

$C_p$  = calore specifico a pressione costante

$\beta$  = coefficiente di espansione termica

$$\sigma_{ij} = \mu \left\{ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \delta_{ij} \right\}$$

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 33

## AEROACUSTICA – CFD++

### Soluzione del problema aeroacustico – Analogia Acustica - metodi Integrali

#### Soluzione di Lighthill

$$\begin{aligned} \rho'(\mathbf{x}, t) &= \rho(\mathbf{x}, t) - \rho_0 \\ &= \frac{1}{4\pi a_0^2} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} \int_V \frac{T_{ij}(\mathbf{y}, t - \frac{R}{a_0})}{R} dV(\mathbf{y}) + \frac{1}{4\pi a_0^2} \frac{\partial}{\partial x_i} \int_S \frac{l_j p_{ij}(\mathbf{y}, t - \frac{R}{a_0})}{R} dS(\mathbf{y}) \end{aligned}$$

Questa equazione pone in relazione le sorgenti di suono nel campo di moto con la oscillazione acustica della densità con cui può essere calcolata la conversione della energia cinetica del moto fluttuante nel flusso in energia acustica di un'onda longitudinale oscillante.

**Per le ipotesi sotto cui è stata ottenuta, questa soluzione non può essere ottenuta per un'emissione sonora la cui caratteristica cambia per l'intervento di una discontinuità fluidodinamica**

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 34

## AEROACUSTICA – CFD++

### Soluzione del problema aeroacustico – Analogia Acustica - metodi Integrali

Equazione di Ffowcs Williams-Hawking :

$$\frac{\partial^2 \rho'}{\partial t^2} - c_0^2 \frac{\partial^2 \rho'}{\partial x_j^2} = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left[ \rho V_i (V_n - V_{sn}) - \sigma_{ij} n_j \right] \delta(f) \right\} + \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \left[ \rho (V_n - V_{sn}) + \rho_0 V_{sn} \right] \delta(f) \right\}$$

$\rho$  = densità  
 $\rho'$  = perturbazione della densità  
 $\rho_0$  = densità statica  
 $c_0$  = velocità del suono  
 $T_{ij}$  = tensore di Lighthill

Si distinguono quindi tre sorgenti di rumore:

Turbolenza  $\frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$

interazione tra flusso e corpo  $\rho V_i (V_n - V_{sn}) - \sigma_{ij} n_j$

cinematica del corpo  $\rho (V_n - V_{sn}) + \rho_0 V_{sn}$

$V_i$  = componente della velocità del fluido in direzione  $x_i$   
 $V_n$  = componente normale alla parete della velocità del fluido

$V_{sn}$  = componente normale alla parete della velocità della superficie

$n_j$  = componente j versore normale alla superficie verso il volume esterno  $V_{ext}$

$\sigma_{ij}$  = tensore degli sforzi viscosi

$\delta(f)$  = funzione delta di Dirac, pari a 1 per  $f=0$  (cioè sulla superficie) e pari a 0 per  $f \neq 0$

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE – 35

## AEROACUSTICA – CFD++

I passi principali e settaggi sono:

1. Generazione della mesh. La mesh appropriata per ottenere una soluzione che possa adeguatamente fornire i dati necessari per condurre un calcolo aeroacustico sfruttando l'analogia FW-H, deve essere regolare ed esaedrica al fine di ridurre il più possibile la comparsa residuale di dissipazione numerica che potrebbe produrre un rumore spurio. Le dimensioni degli elementi che costituiscono la griglia di calcolo, devono essere controllate adeguatamente, in modo da ottenere una buona risoluzione spaziale delle onde sonore: i lati delle celle devono essere più piccoli della minima lunghezza d'onda. Le celle devono inoltre essere sufficientemente piccole da catturare le turbolenze di scala importanti per il calcolo acustico. Nel caso si inneschino fenomeni di distacco del flusso con conseguente formazioni di strutture vorticose è bene che la mesh sia estremamente raffinata in prossimità delle pareti per meglio catturare il punto di separazione e le dimensioni delle strutture vorticose.
2. Modello di turbolenza. Il modello di turbolenza LES è particolarmente indicato per le simulazioni aeroacustiche poiché risolve tutte le strutture turbolente con scale maggiori della scala della mesh.
3. Il codice CFD deve essere in grado di simulare in regime comprimibile il mezzo in cui il suono si propaga.
4. Il codice di fluidodinamica deve essere settato con il minimo di dissipazione numerica possibile e le boundary conditions non devono essere riflettenti
5. Il calcolo fluidodinamico deve essere condotto ad uno stato quasi-stazionario. Il controllo del raggiungimento di questo stato deve essere fatto attraverso la verifica degli andamenti dei residui delle variabili del calcolo o degli andamenti di opportune grandezze fluidodinamiche che caratterizzano il fenomeno generatore dell'acustica che si vuole analizzare.
6. Il calcolo deve essere non stazionario. Il valore del passo per la discretizzazione temporale deve essere scelto in modo da poter campionare correttamente i fenomeni non stazionari presenti: in generale il suo valore deve essere tale da ottenere una frequenza di campionamento superiore al doppio della frequenza massima caratteristica del problema in esame (teorema del campionamento). Nella pratica tecnica, la frequenza di campionamento da utilizzarsi, può essere assunta pari a dieci volte quella caratteristica del problema, per ottenere una migliore ricostruzione della grandezza esaminata. Il valore del time step  $\Delta t$  deve essere nella scala dei tempi del più piccolo fenomeno aerodinamico che si vuole analizzare tenendo conto che la massima frequenza analizzabile è  $f=1/(2\Delta t)$

# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE – 36

## AEROACUSTICA – CFD++

I passi principali e settaggi sono:

7. Il calcolo deve essere continuato sino al raggiungimento di uno stato quasi-stazionario in cui la grandezza monitorata assuma un andamento oscillatorio ed è necessario che nel campo di moto di interesse il CFL sia prossimo ad 1. A questo punto il campo di moto è pronto per il calcolo aeroacustico.
8. Una volta raggiunto lo stato quasi-stazionario, si eseguono ulteriori iterazioni non stazionarie per calcolare il campo di moto da cui estrarre al termine di ciascuna iterazione i dati relativi alle sorgenti acustiche dal campo di moto (sulla superficie del corpo). Questi dati vengono salvati su files in forma di time histories. Poiché l'integrale (soluzione della equazione di FW-H), viene calcolato nell'istante in cui la sorgente invia il segnale, per poter tenere conto con la dovuta accuratezza del ritardo di tempo con il quale tale segnale arriva al ricevitore, sono richieste estese registrazioni delle time histories (cioè un numero elevato di iterazioni del solutore CFD).
9. Terminato il calcolo CFD, devono essere settati i ricevitori e le zone di sorgente e quindi si procede al calcolo ed alla analisi aeroacustica ed al postprocessing che consiste in una analisi spettrale verificando il livello di pressione sonora in funzione della frequenza per ogni ricevitore.

### Considerazioni:

La metodologia qui applicata, per quanto praticabile con i moderni strumenti di calcolo, risulta di difficile utilizzo per la creazione di un database costituito di un numero elevato di configurazioni per due motivi principali:

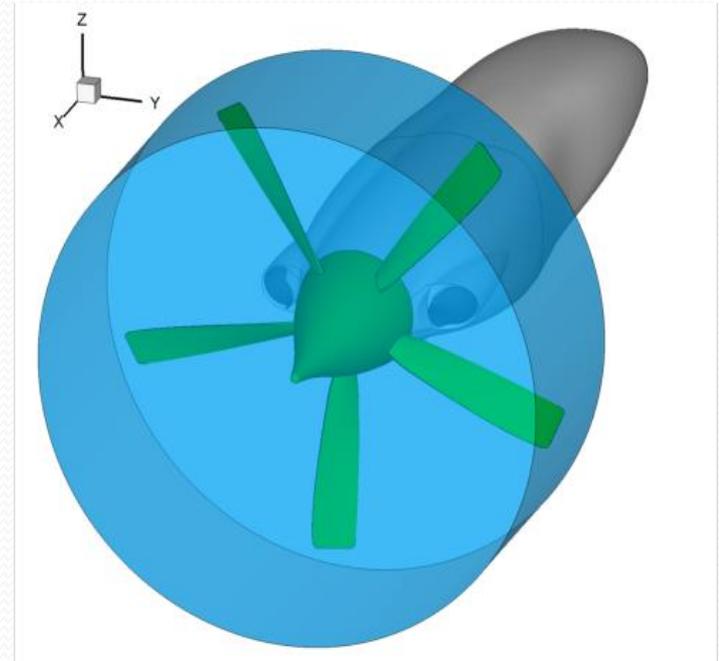
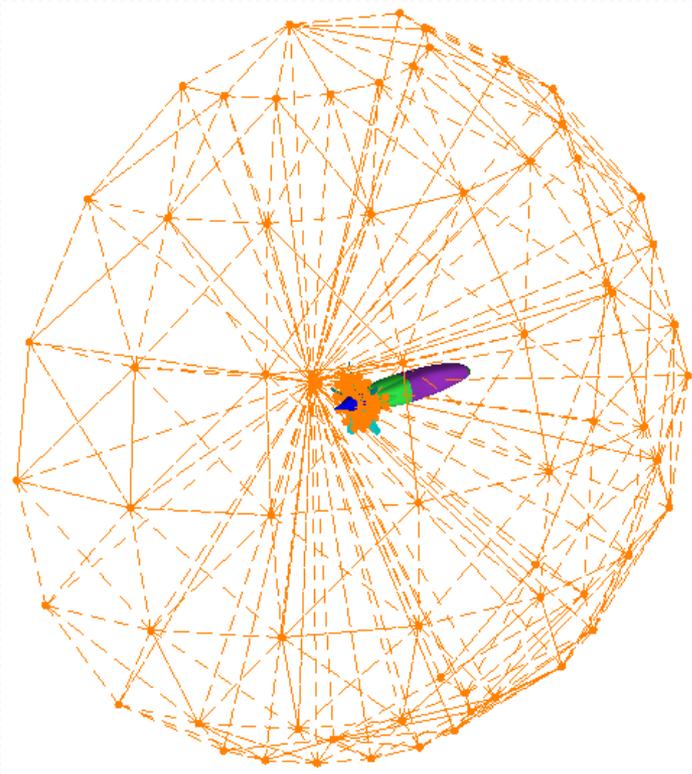
necessità di procedere ad un accurato calcolo non stazionario con conseguente necessità di mesh di grandi dimensioni e di un numero rilevante di iterazioni del solutore

necessità di una memoria di massa considerevole per conservare la mole di dati prodotta

Non da ultimo deve essere sempre tenuto in considerazione che è necessario assicurare che le sorgenti acustiche del campo di moto siano solo quelle fisicamente presenti, cioè a dire che il calcolo ed il codice di calcolo assicurino la assenza di altre sorgenti "numeriche" non fisiche.

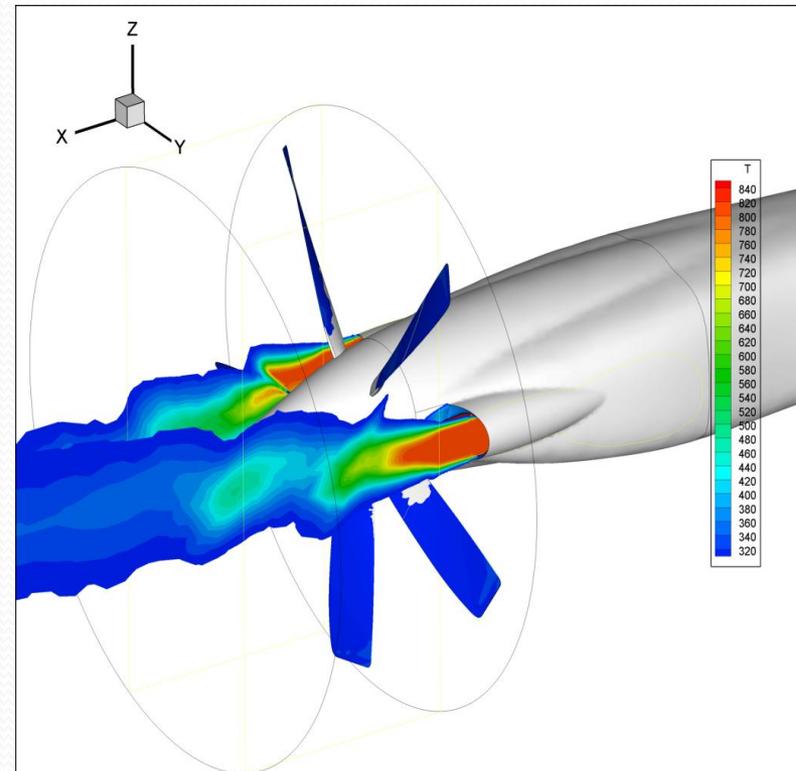
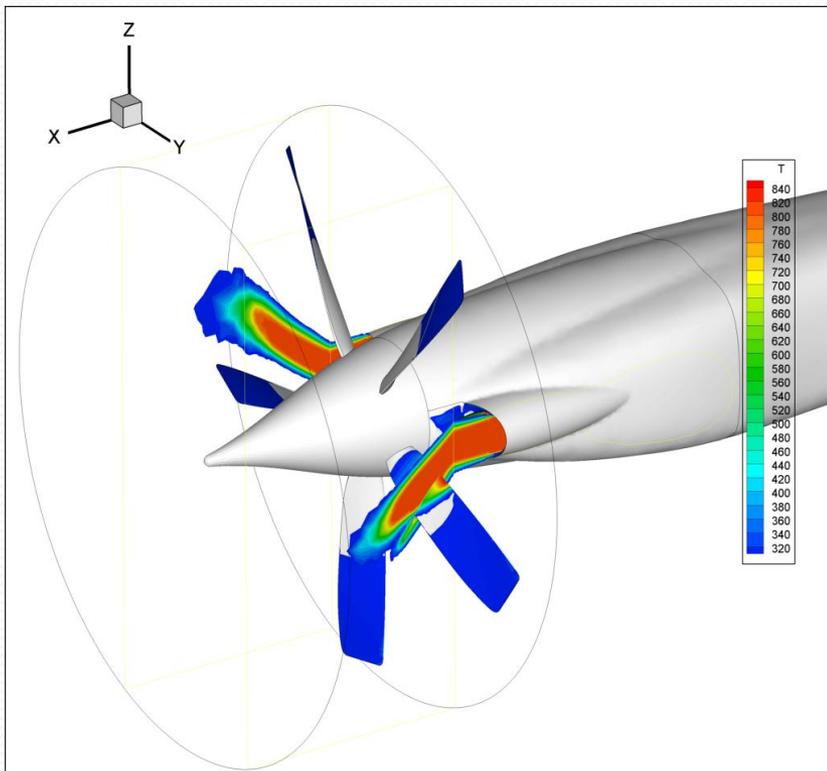
# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE – 37

## AEROACUSTICA – CFD++



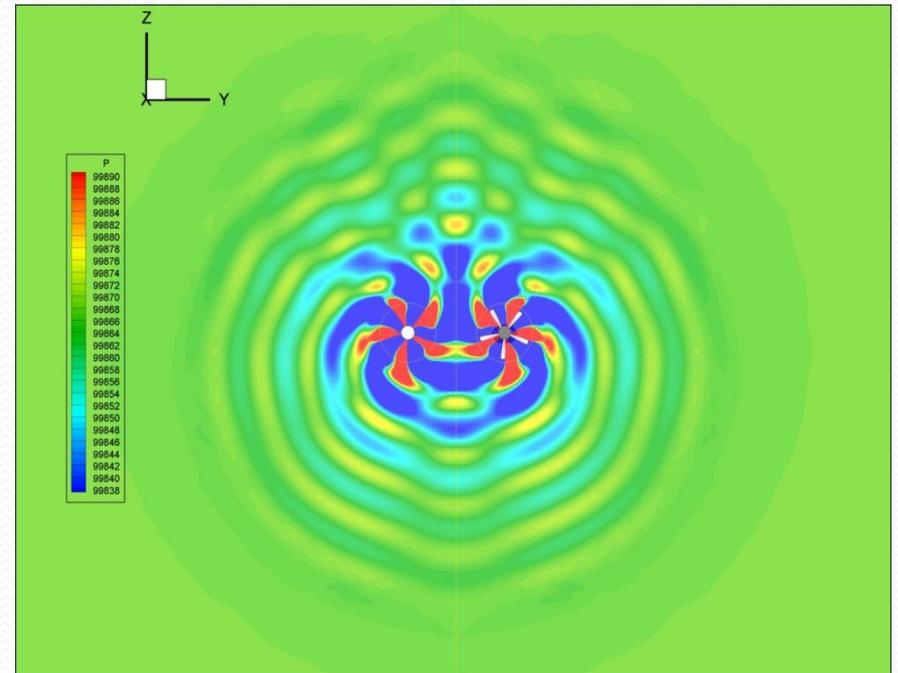
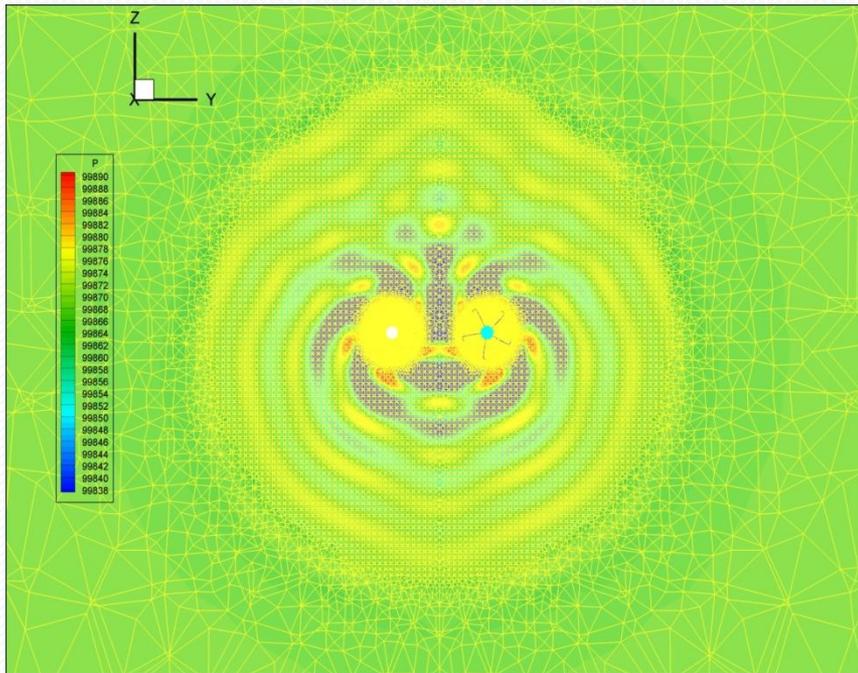
# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 38

## AEROACUSTICA – CFD++



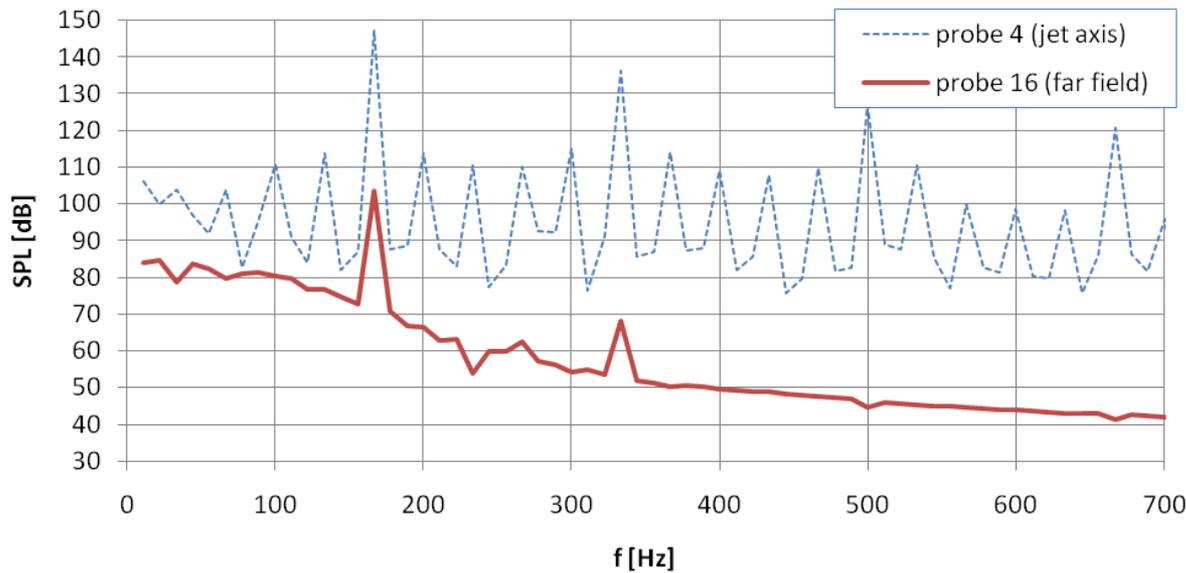
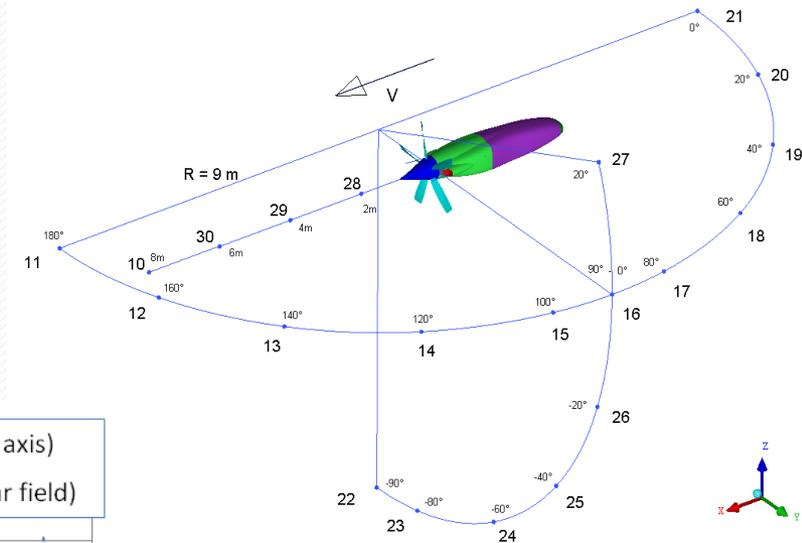
# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 39

## AEROACUSTICA – CFD++



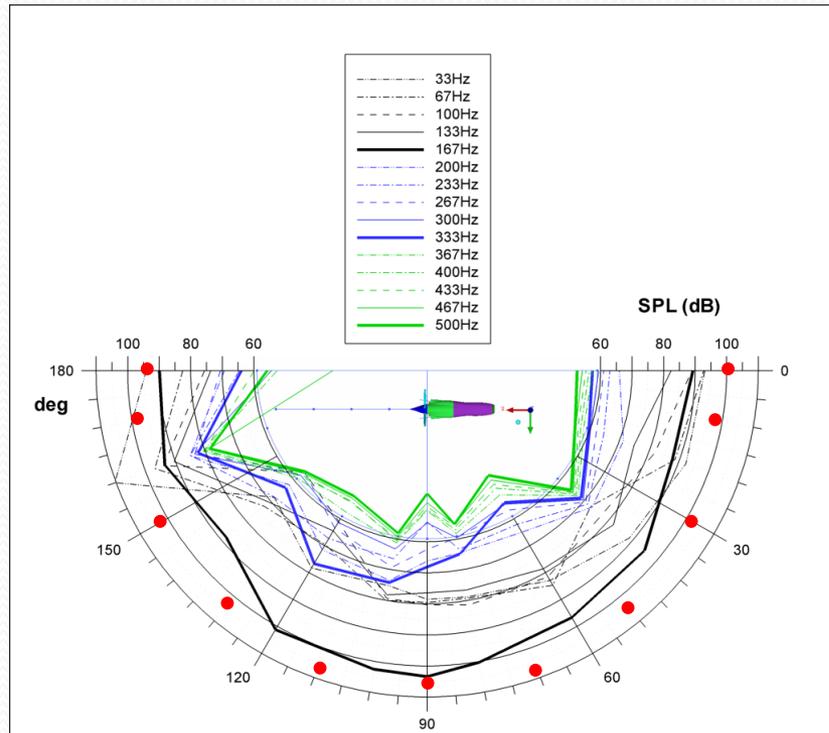
# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 40

## AEROACUSTICA – CFD++



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 41

## AEROACUSTICA – CFD++



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 42

## OPEN ITEMS

### ANALISI

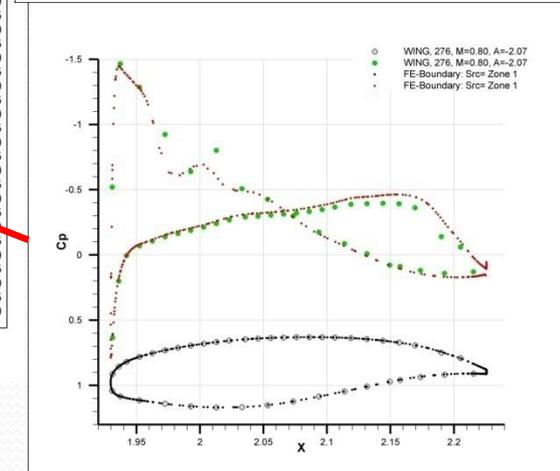
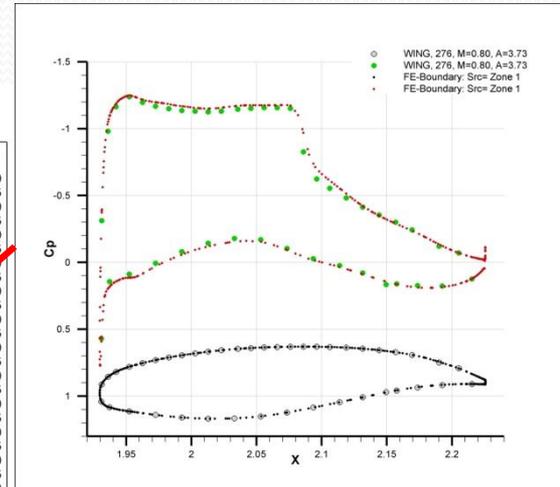
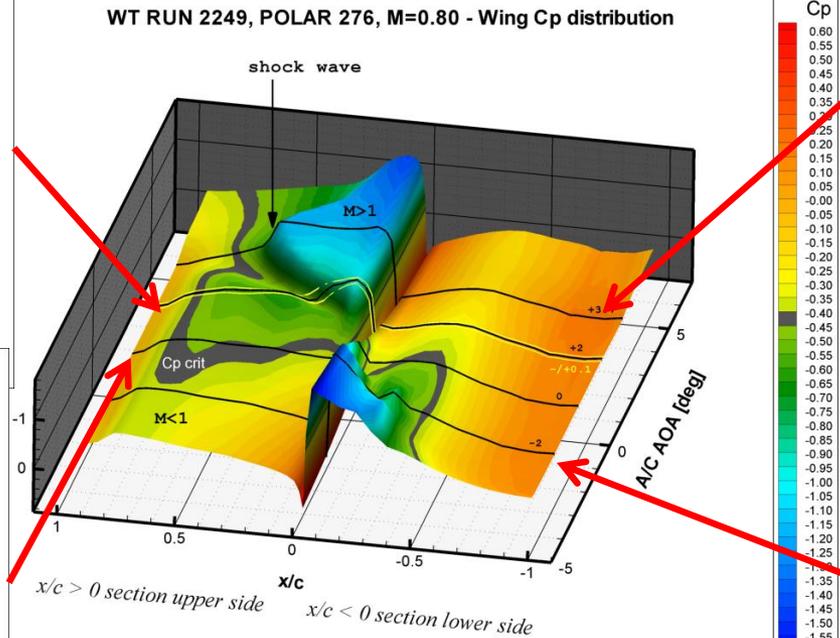
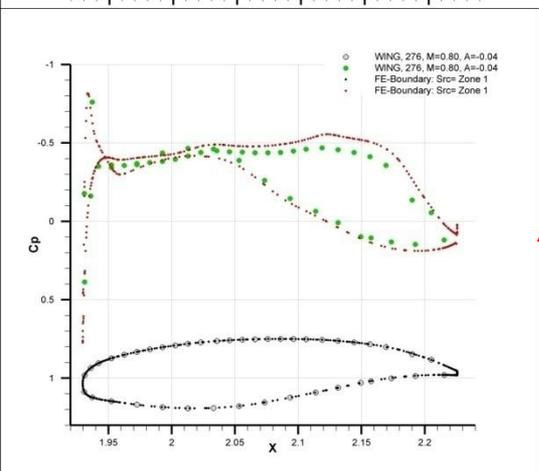
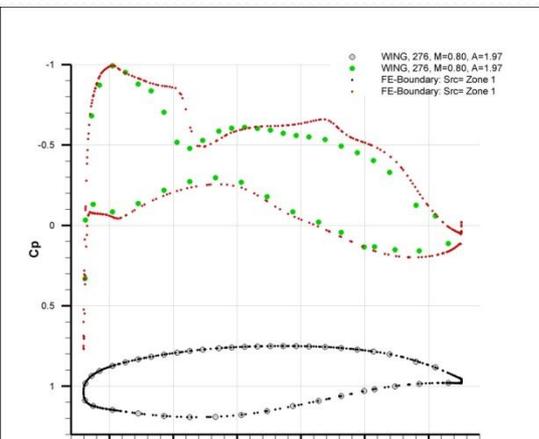
- VALIDAZIONE CALCOLO TRANSONICO/GALLERIA DEL VENTO
- CL MASSIMO
- MODELLI DI TRANSIZIONE
- MODELLI DI TURBOLENZA

### PROGETTO AUTOMATICO

- GRID MORPHING
- DOE
- ADJOINT METHODS

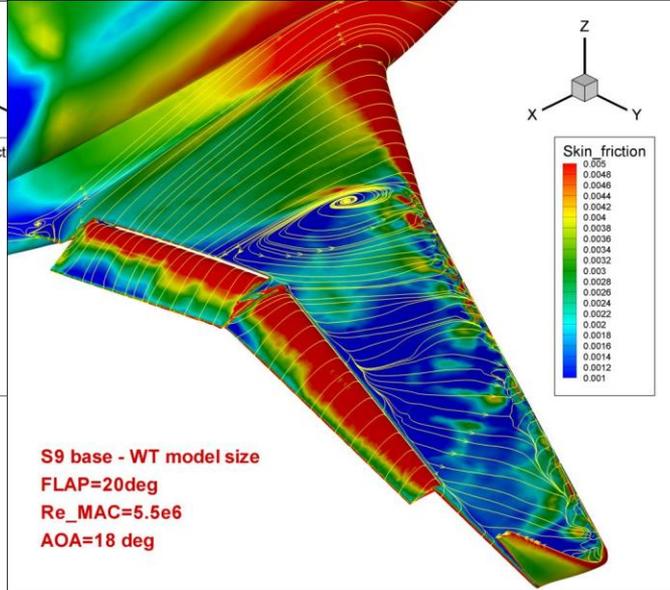
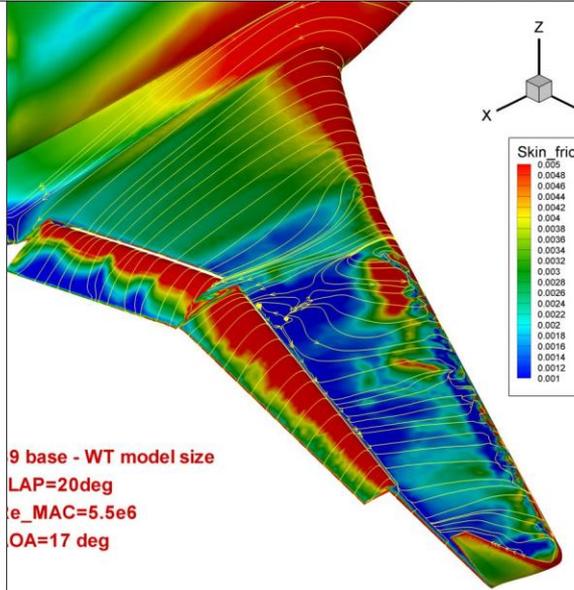
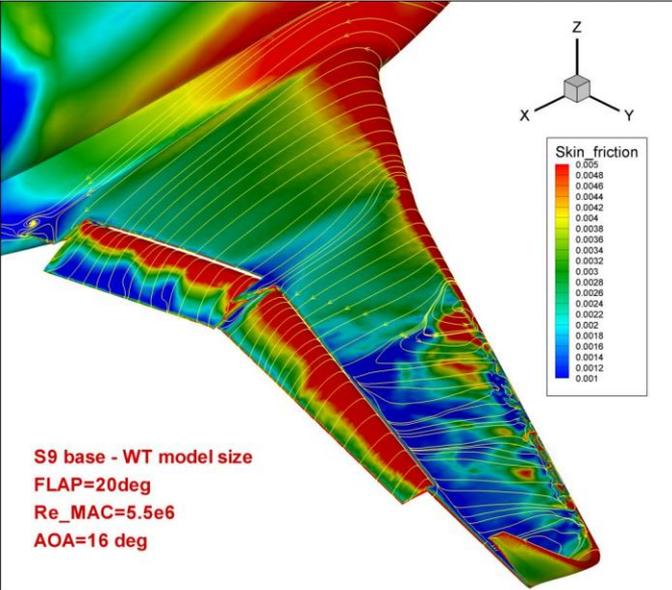
# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE -43

## OPEN ITEMS CFD vs WT – vedi pres. dedicata



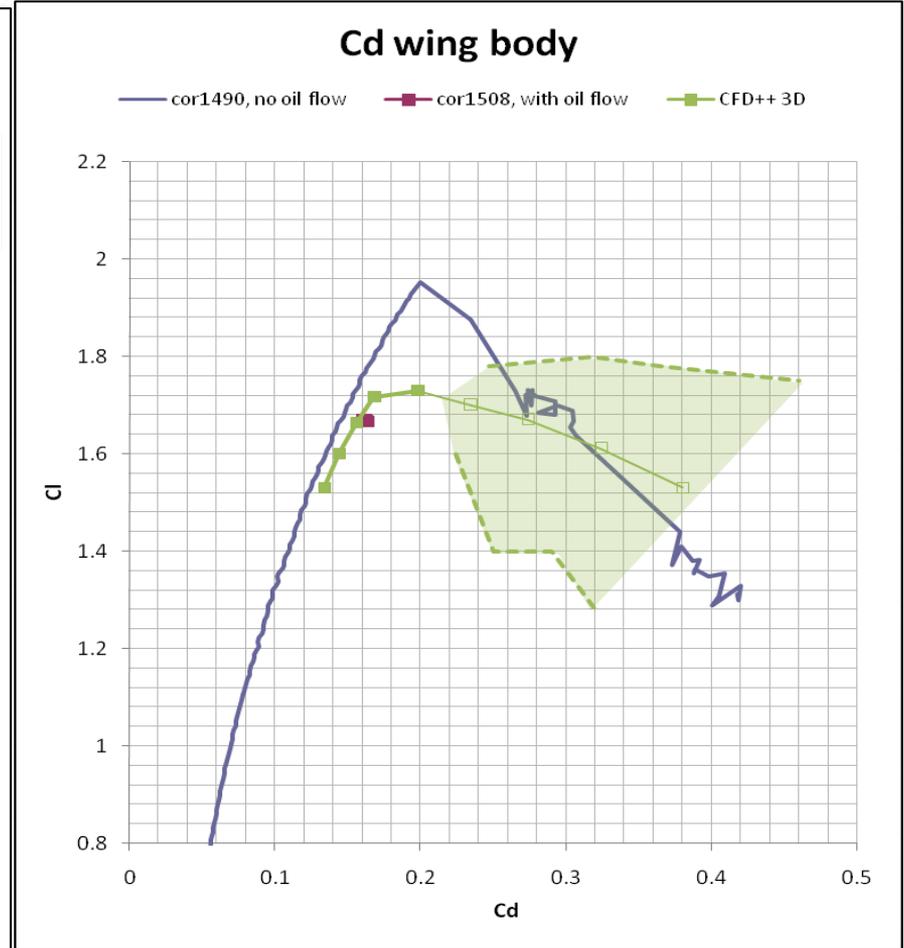
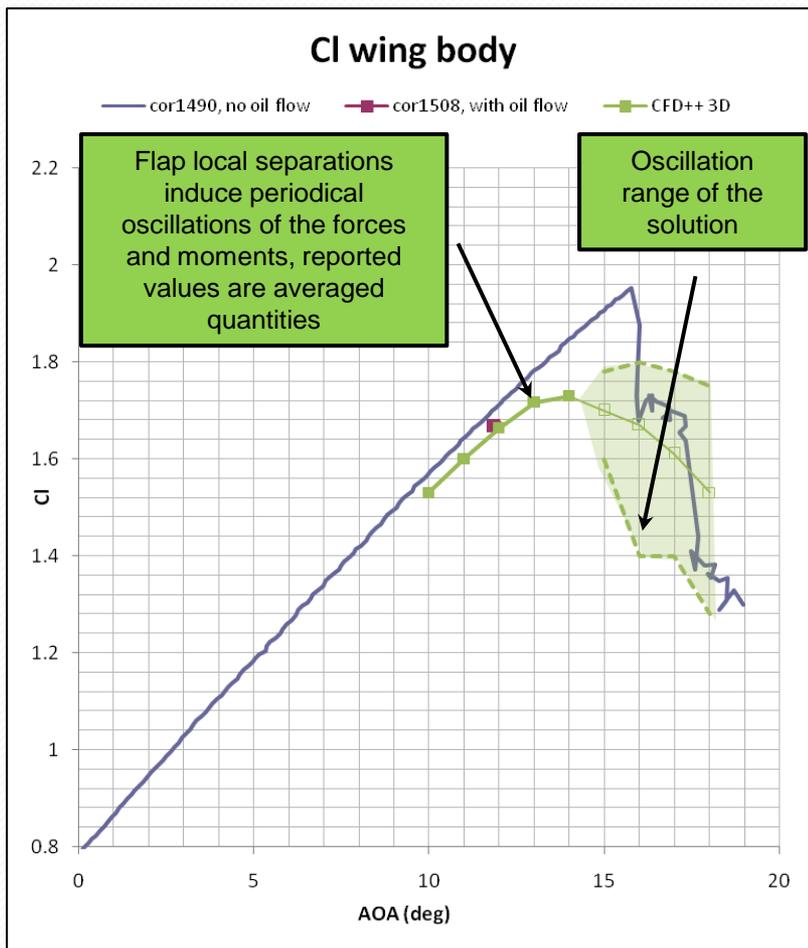
# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 44

## OPEN ITEMS – CL-MASSIMO



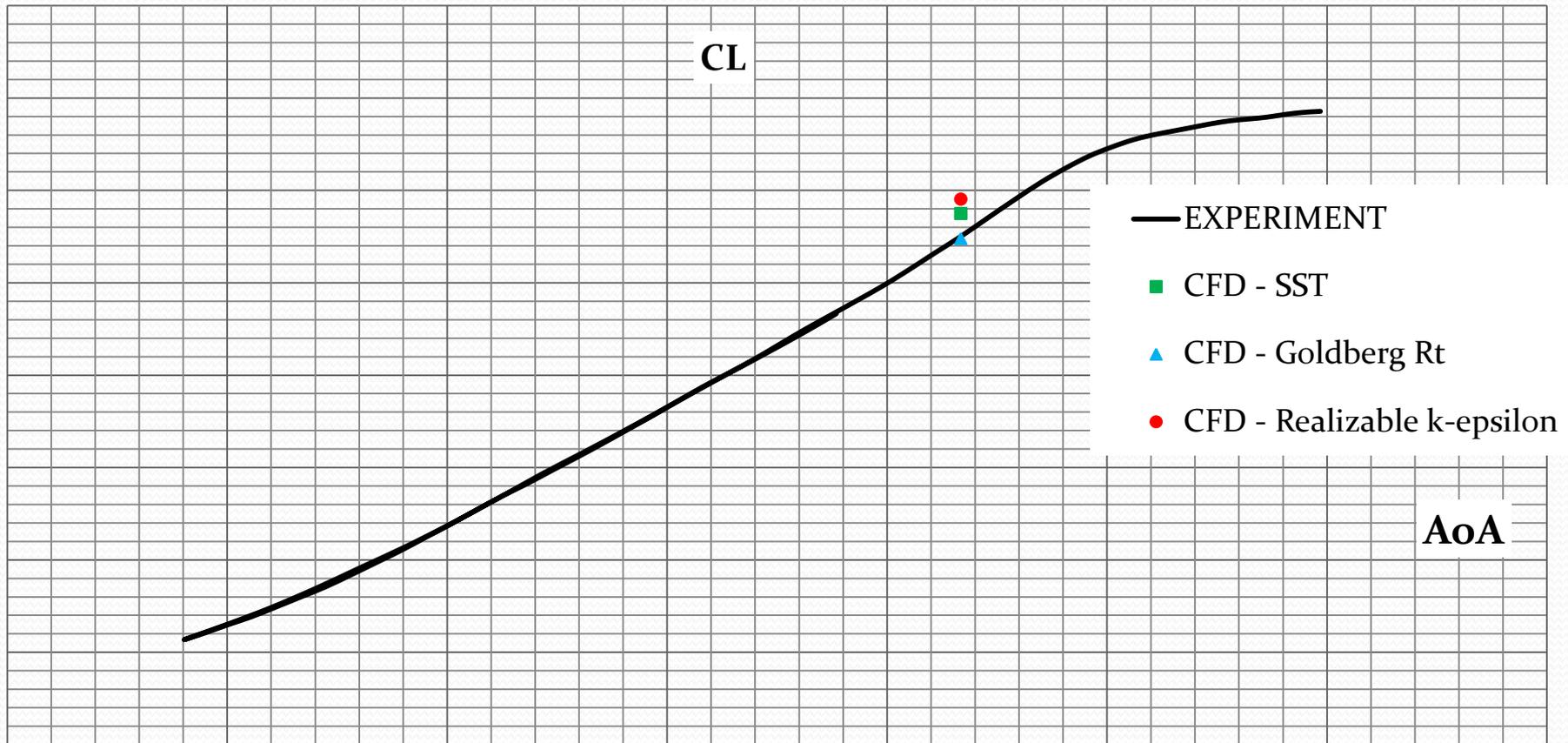
# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 45

## OPEN ITEMS – CL-MASSIMO



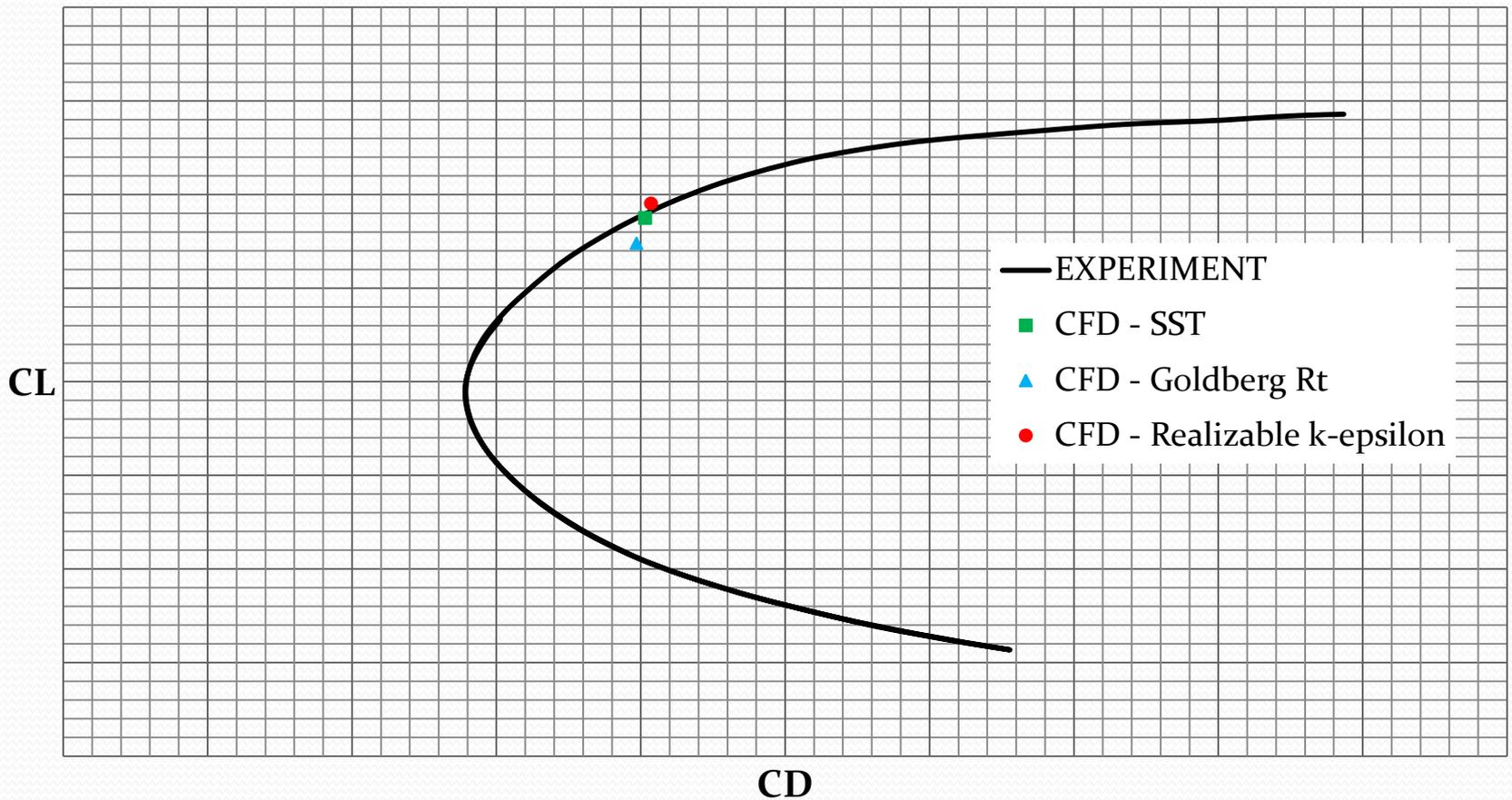
# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 46

## OPEN ITEMS – MODELLI DI TURBOLENZA



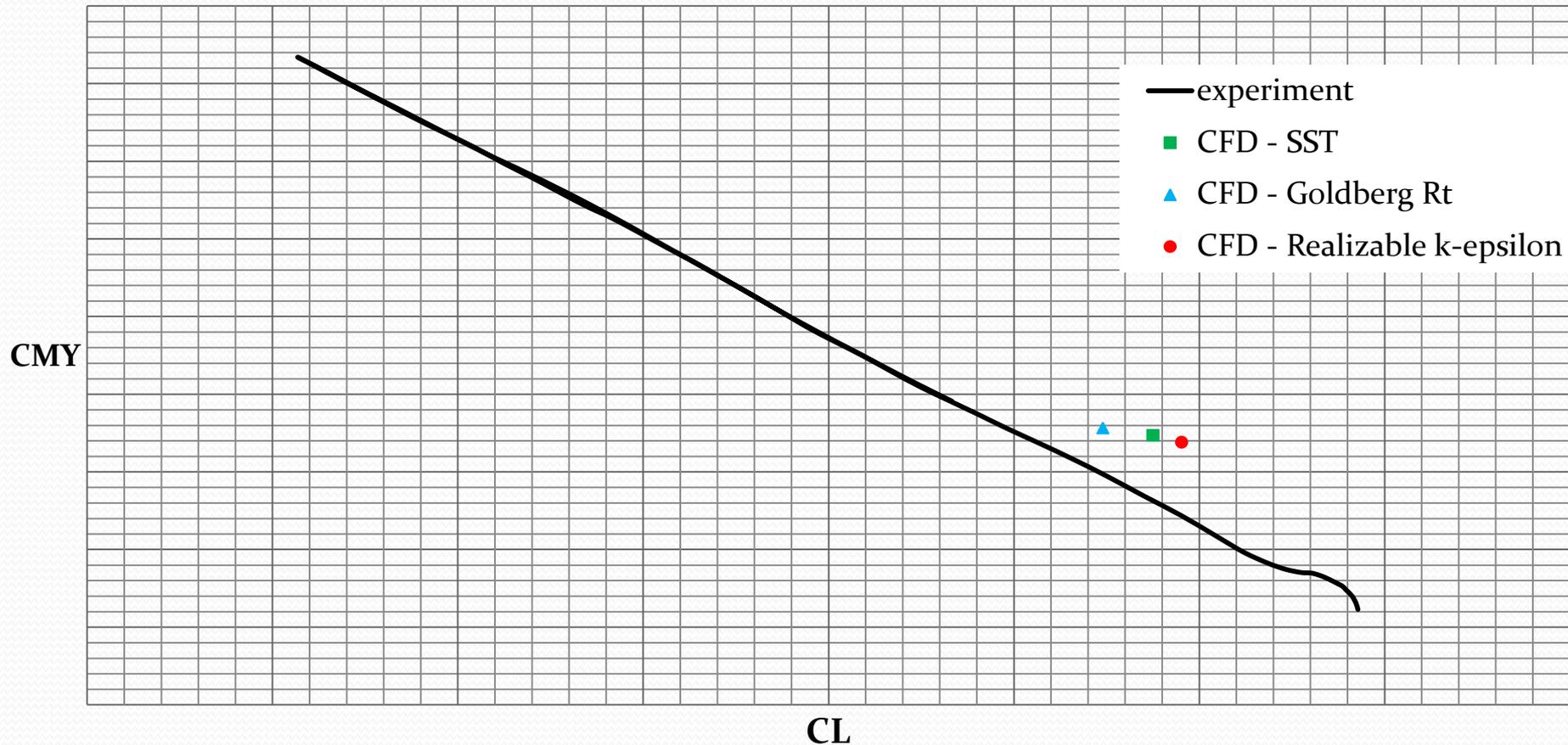
# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 47

## OPEN ITEMS – MODELLI DI TURBOLENZA



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 48

## OPEN ITEMS – MODELLI DI TURBOLENZA



# CFD IN PIAGGIO AEROSPACE - 49

## OPEN ITEMS – SVILUPPO OTTIMIZZATORE

### MORPHING

Modifica della geometria senza la rigenerazione della mesh di calcolo



Riduzione dei tempi di set-up dell'ottimizzazione

### DOE

Individuazione di parametri maggiormente influenzanti il progetto



Riduzione dei tempi di calcolo

### ADJOINT

Definizione dei valori ottimi delle variabili di progetto mediante il calcolo delle loro derivate



Riduzione dei tempi di calcolo