

Università degli Studi di Bologna  
FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica  
Disegno Tecnico Industriale

*Disegno e Modellazione Tridimensionale  
delle Superfici esterne del RE 2005*



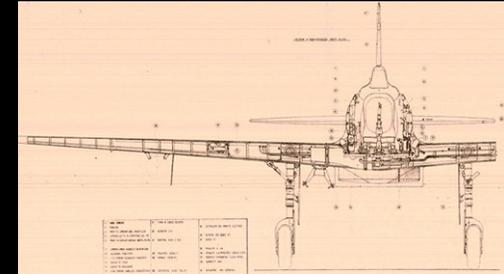
*Tesi di Laurea di:*  
**GIULIANO GAMBERINI**

*Relatore:*  
**Prof. Ing. LUCA PIANCASTELLI**

# *Obiettivi della tesi*

---

Disegni originali del  
RE 2005 Sagittario



Obiettivo 1.:  
Modellazione tridimensionale  
completa delle superfici esterne



Obiettivo 2.:  
Realizzazione di un modello fisico  
in scala 1:20 tramite lavorazione  
al controllo numerico



# Struttura della tesi

---

- *I Parte: CAD*

Modellazione  
basata sui disegni  
originali



Ricostruzione  
delle  
parti mancanti

*Software: Solid Works*



{ *Modellatore solido B-Rep*  
*Modellazione superfici NURBS*



- *II Parte: CAM*

Importazione in  
ambiente NC



Creazione del  
percorso utensili

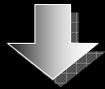


Realizzazione del  
modello solido

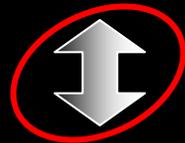
*Software: Cimatron*

# Il disegno delle parti con tavole originali

Definizione dei piani



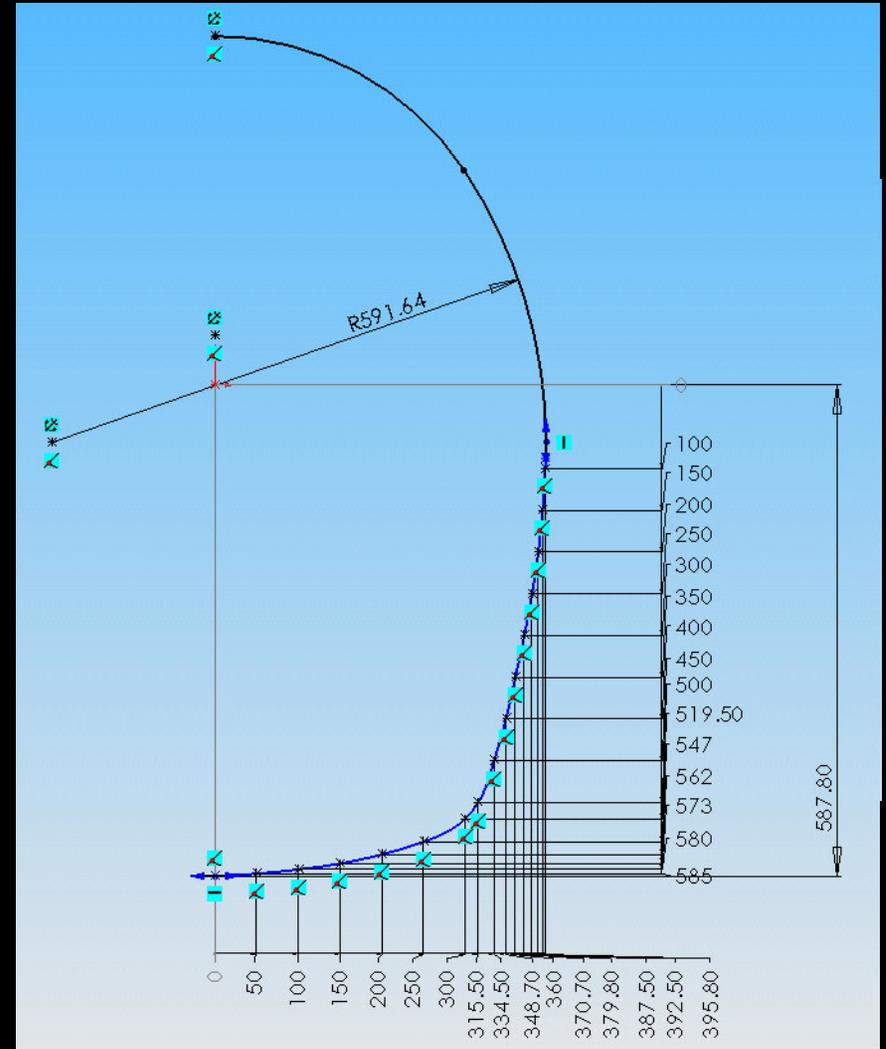
Disegno e quotatura dei profili



Creazione delle linee guida



Modellazione della superficie  
tramite loft



# Ricerca degli errori tramite le curvature dei profili

Errori nascosti nelle quote originali dei profili



Discontinuità o picchi nelle curvature dei profili e delle superfici

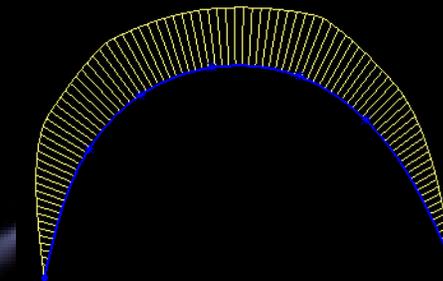
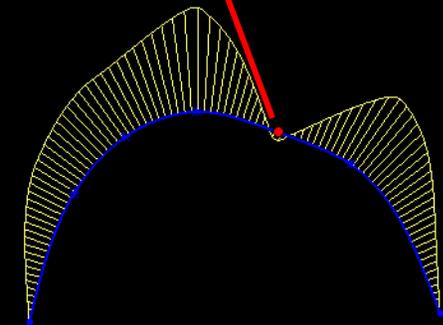


Accurato controllo delle curvature delle *spline* che definiscono i profili



Modifica delle quote che provocano inflessioni fino all'ottenimento di una curvatura con variazione più uniforme

C.	Be.	B.u.	Distanza longher.					Altezza longher.				
			D	E	F	G	P	Q	R	S	T	U
2365 <sup>8</sup>	551. <sup>8</sup>	475. <sup>8</sup>	347. <sup>8</sup>	736	828	484	339 <sup>8</sup>	200. <sup>8</sup>	368	222. <sup>8</sup>	416	362. <sup>8</sup>
2355 <sup>8</sup>	546. <sup>8</sup>	470	341. <sup>8</sup>	736	823 <sup>8</sup>	484	334 <sup>8</sup>	197. <sup>8</sup>	364. <sup>8</sup>	218. <sup>8</sup>	415. <sup>8</sup>	356
2337. <sup>8</sup>	557. <sup>8</sup>	466. <sup>8</sup>	307. <sup>8</sup>	736	816 <sup>8</sup>	484	324. <sup>8</sup>	192. <sup>8</sup>	355. <sup>8</sup>	214. <sup>8</sup>	412. <sup>8</sup>	348. <sup>8</sup>
2320 <sup>8</sup>	529. <sup>8</sup>	443 <sup>8</sup>	295. <sup>8</sup>	56	807. <sup>8</sup>	484	315. <sup>8</sup>	187. <sup>8</sup>	348. <sup>8</sup>	205	409	334. <sup>8</sup>
2302 <sup>8</sup>	520	450. <sup>8</sup>	285. <sup>8</sup>	736	799. <sup>8</sup>	484	302. <sup>8</sup>	181. <sup>8</sup>	337. <sup>8</sup>	198. <sup>8</sup>	405. <sup>8</sup>	325. <sup>8</sup>
2291. <sup>8</sup>	547. <sup>8</sup>	427	284	736	795. <sup>8</sup>	484	292. <sup>8</sup>	180. <sup>8</sup>	335. <sup>8</sup>	195. <sup>8</sup>	404. <sup>8</sup>	320. <sup>8</sup>
2284. <sup>8</sup>	510. <sup>8</sup>	416. <sup>8</sup>	275. <sup>8</sup>	736	790. <sup>8</sup>	484	284	176. <sup>8</sup>	327. <sup>8</sup>	192. <sup>8</sup>	401. <sup>8</sup>	314



# I profili alari

578 Equaz.  
lineari

The image displays a software interface for defining linear equations for a wing profile. On the left, a 2D cross-section diagram shows a series of vertical lines representing the profile's geometry. A red box highlights a section of this diagram, with a white arrow pointing to the corresponding 3D perspective view of the wing on the right. The 3D view shows a grid of lines representing the linear equations used to define the wing's surface.

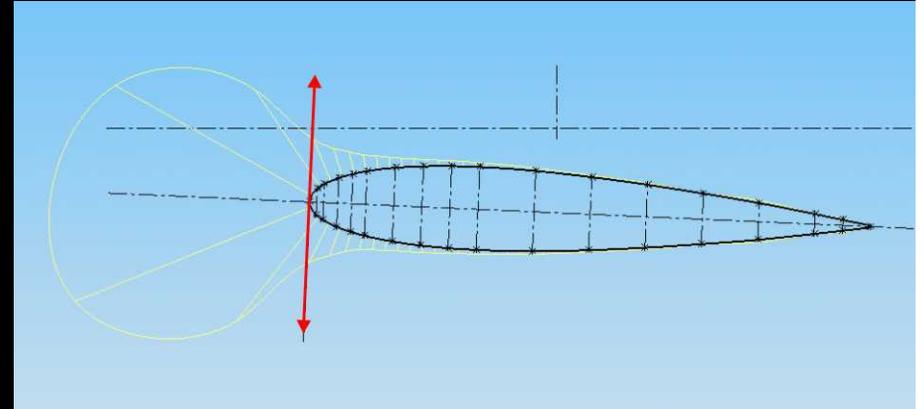
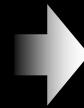
The software interface includes a table of equations and their corresponding values. The table is as follows:

Equation	Valuta	Commento
40 * L@18"	346.815mm	
50 * L@18"	433.518mm	
60 * L@18"	520.222mm	
70 * L@18"	606.926mm	
80 * L@18"	693.63mm	
90 * L@18"	780.333mm	
95 * L@18"	823.685mm	
* L@18"	867.037mm	
125 * L@19"	9.2878mm	
25 * L@19"	18.5756mm	
5 * L@19"	37.1512mm	
75 * L@19"	55.7268mm	
* L@19"	74.3024mm	
5 * L@19"	111.454mm	
0 * L@19"	148.605mm	
5 * L@19"	185.756mm	
30 * L@19"	222.907mm	
0.40 * L@19"	297.21mm	
555 "D12@19" = 0.50 * L@19"	371.512mm	
556 "D13@19" = 0.60 * L@19"	445.815mm	
557 "D14@19" = 0.70 * L@19"	520.117mm	
558 "D15@19" = 0.80 * L@19"	594.419mm	
559 "D16@19" = 0.90 * L@19"	668.722mm	
560 "D17@19" = 0.95 * L@19"	705.873mm	
561 "D18@19" = 1.0 * L@19"	743.024mm	
562 "D2@20" = 0.0125 * L@20"	6.63761mm	
563 "D3@20" = 0.025 * L@20"	13.2752mm	
564 "D4@20" = 0.05 * L@20"	26.5504mm	
565 "D5@20" = 0.075 * L@20"	39.8256mm	
566 "D6@20" = 0.1 * L@20"	53.1008mm	
567 "D7@20" = 0.15 * L@20"	79.6513mm	
568 "D8@20" = 0.20 * L@20"	106.202mm	
569 "D9@20" = 0.25 * L@20"	132.752mm	
570 "D10@20" = 0.30 * L@20"	159.303mm	
571 "D11@20" = 0.40 * L@20"	212.403mm	
572 "D12@20" = 0.50 * L@20"	265.504mm	
573 "D13@20" = 0.60 * L@20"	318.605mm	
574 "D14@20" = 0.70 * L@20"	371.706mm	
575 "D15@20" = 0.80 * L@20"	424.807mm	
576 "D16@20" = 0.90 * L@20"	477.908mm	
577 "D17@20" = 0.95 * L@20"	504.458mm	
578 "D18@20" = 1.0 * L@20"	531.008mm	

At the bottom of the interface, there are controls for 'Unità angolari: Gradi', 'OK', 'Annulla', and a page number '2'.

## *I profili alari: i controlli di curvatura*

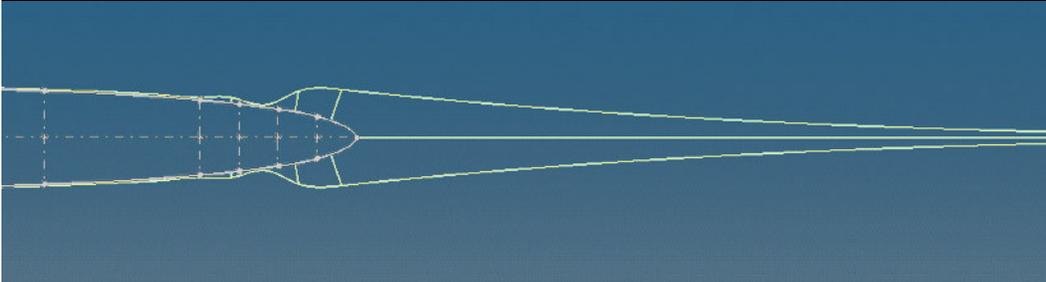
- Vettori tangenti alla spline nei punti di interpolazione la cui lunghezza determina la curvatura della spline in quel punto



Il profilo non è  
univocamente definito  
dai punti di interpolazione



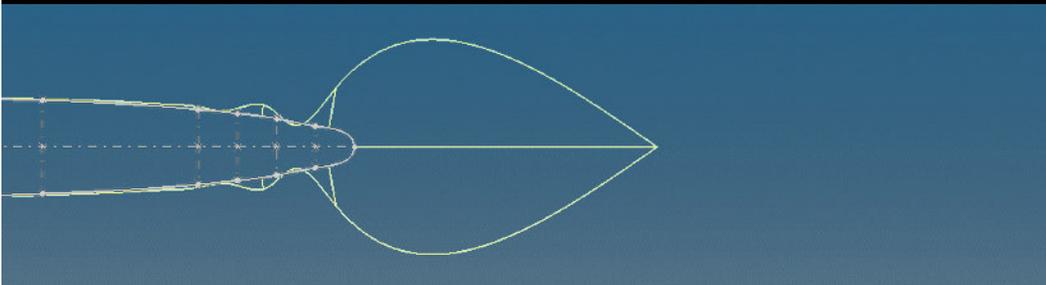
## *I profili alari: i controlli di curvatura*



I Caso: Vettore troppo corto



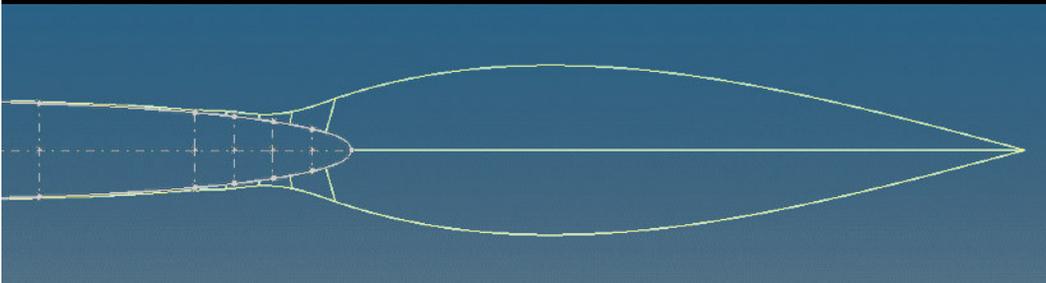
Curvatura eccessiva



II Caso: Vettore troppo lungo



Curvatura scarsa



Curvatura ideale

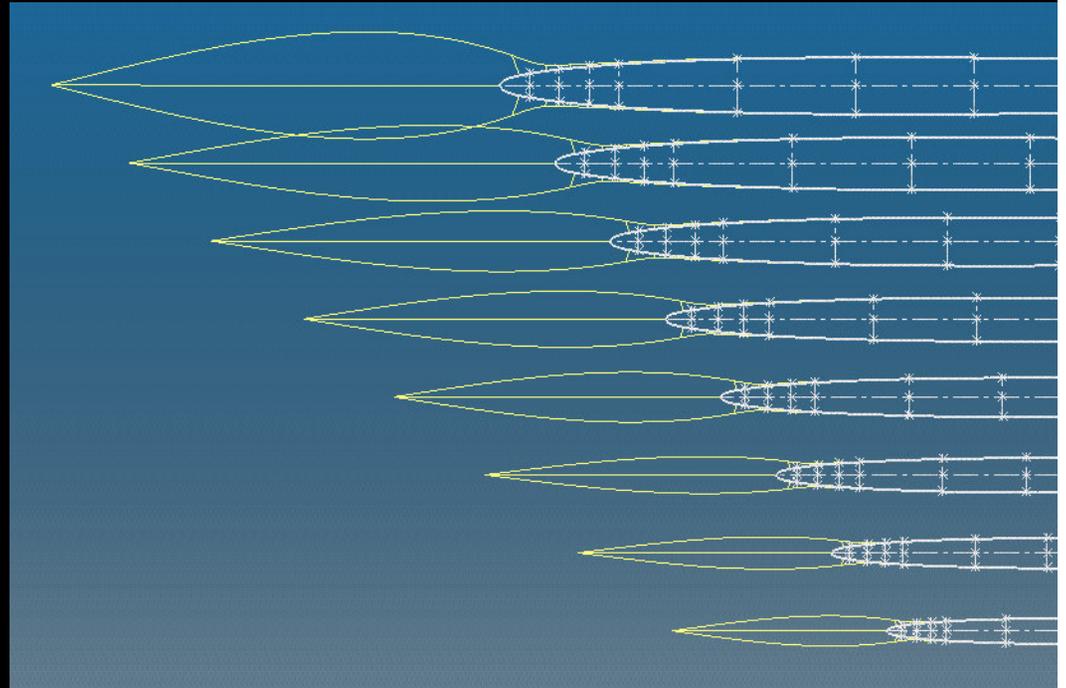
## *I profili alari: i controlli di curvatura*

---

È stato quindi effettuato questo accurato esame dei *controlli di curvatura* per tutti i 93 profili che costruiscono:

- Ali
- Impennaggi orizzontali
- Impennaggio verticale

Ottenendo gli andamenti ideali per ognuno di essi



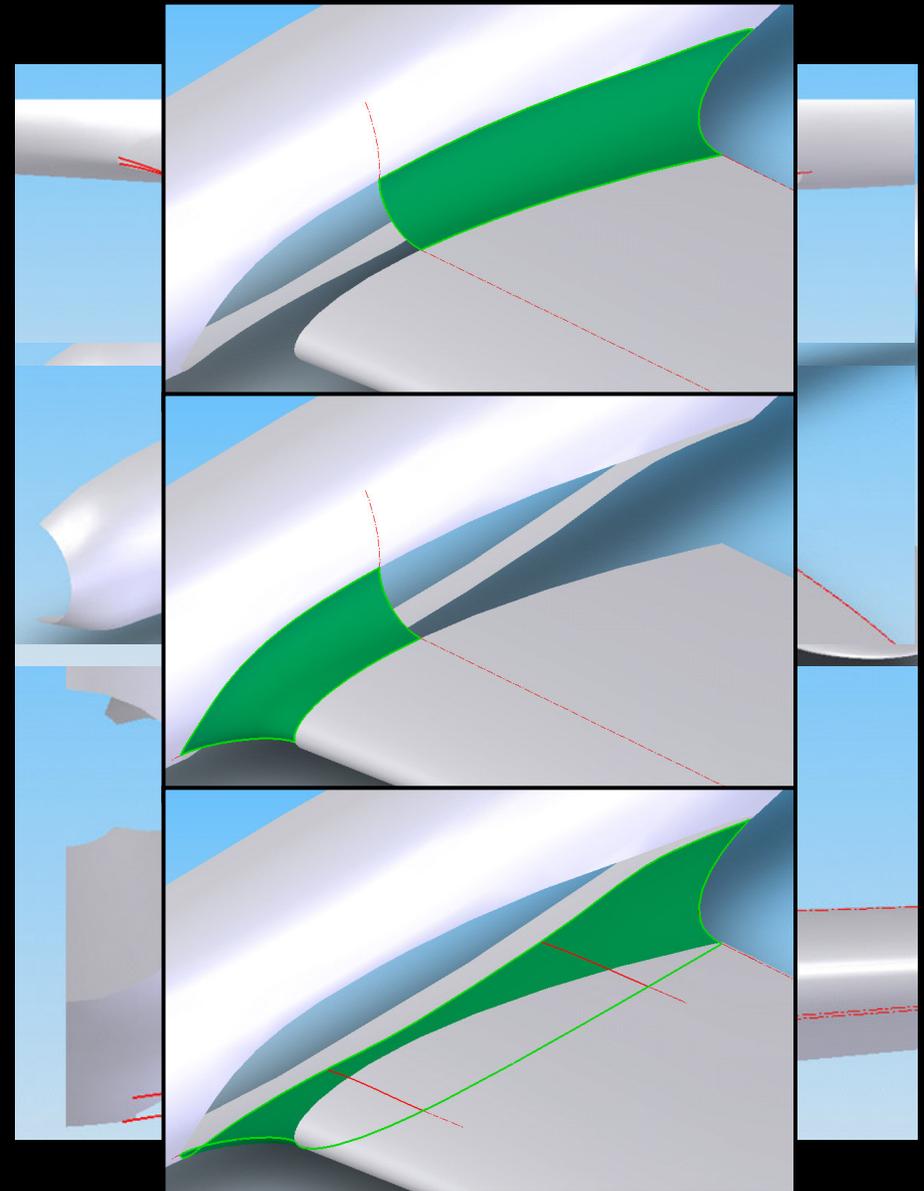
# Ricostruzione del raccordo

1. Rifilatura delle parti da  
raccordare

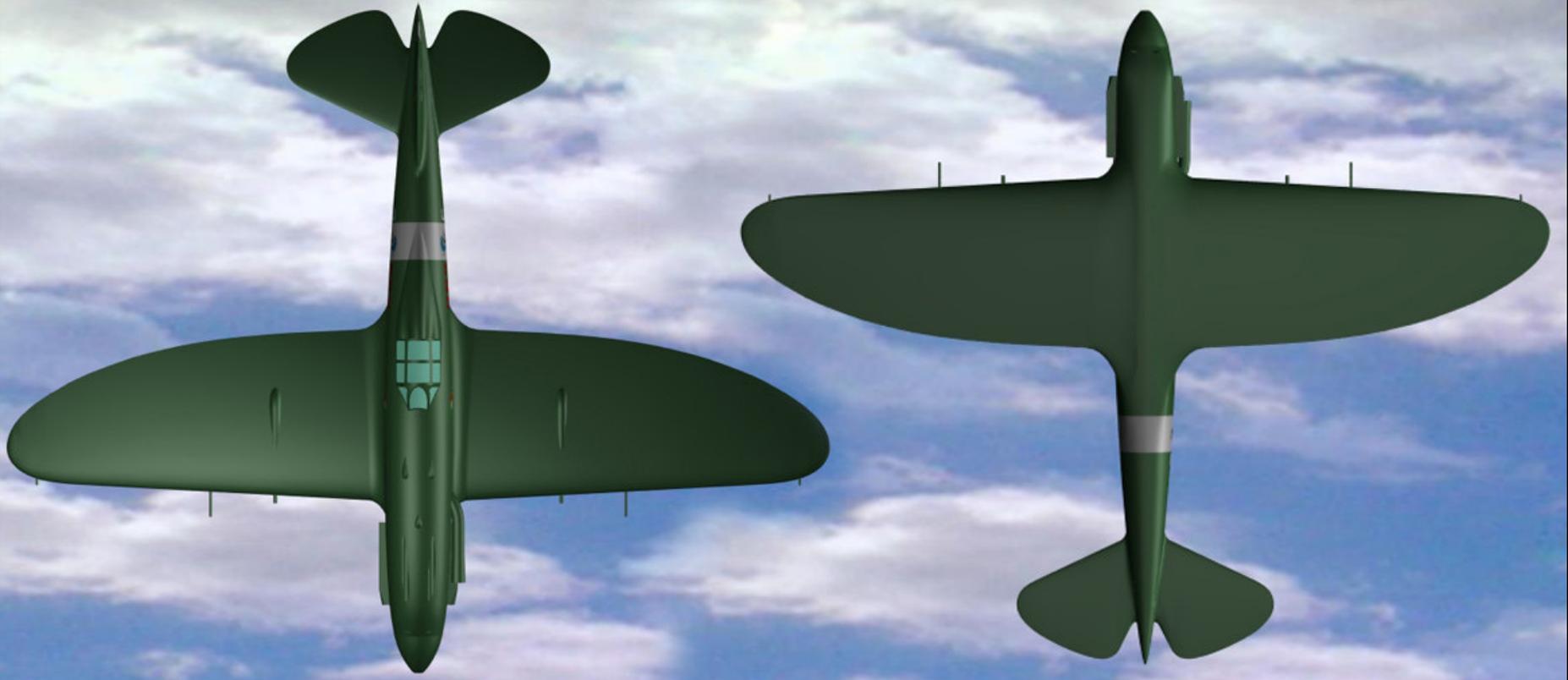
2. Accostamento delle parti da  
raccordare

3. Disegno di *spline 3D*  
tangenti ad entrambe

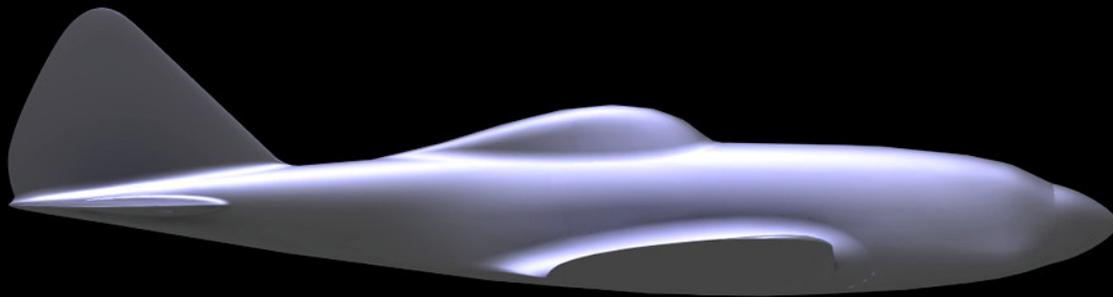
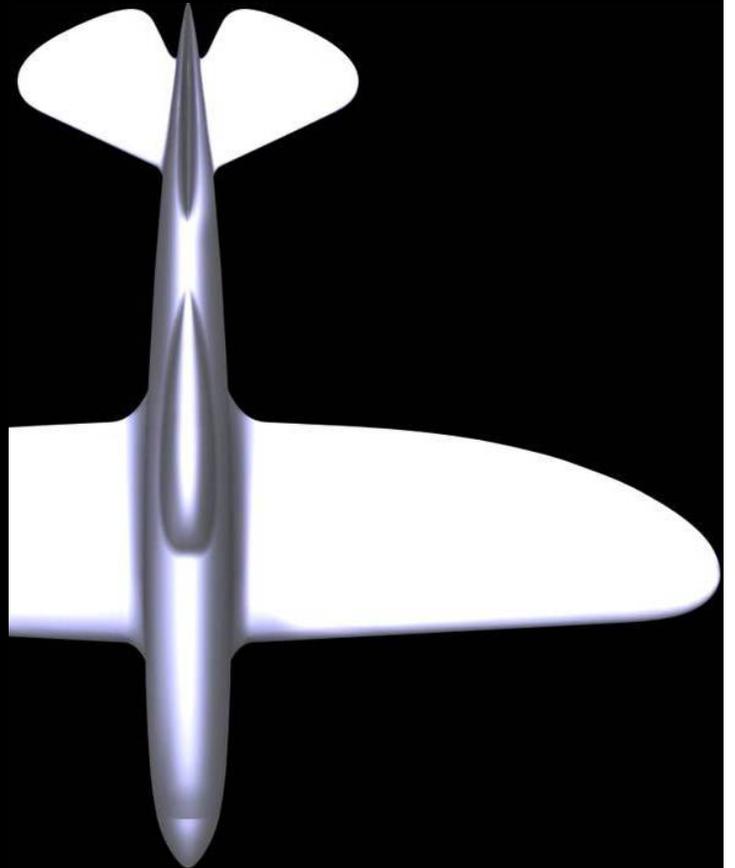
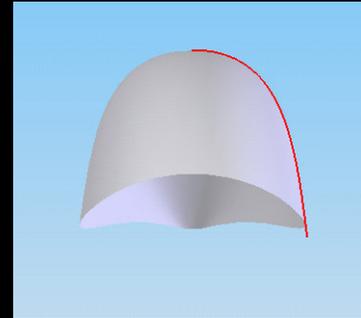
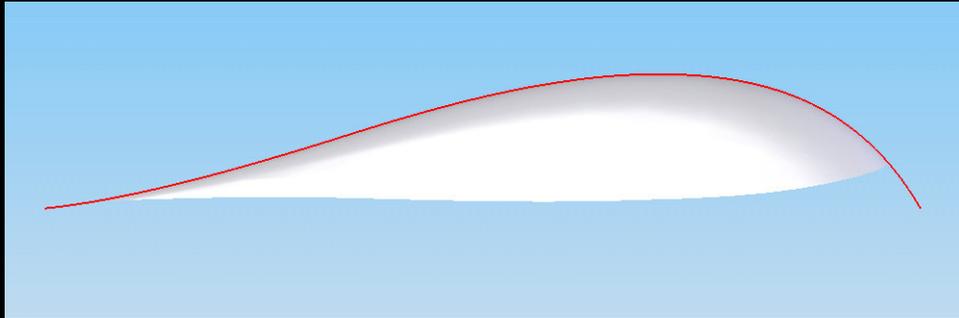
4. Realizzazione del raccordo  
tramite *tre loft* che  
attraversano le spline  
utilizzando i bordi delle  
parti come linee guida



# Assemblaggio completo e rendering

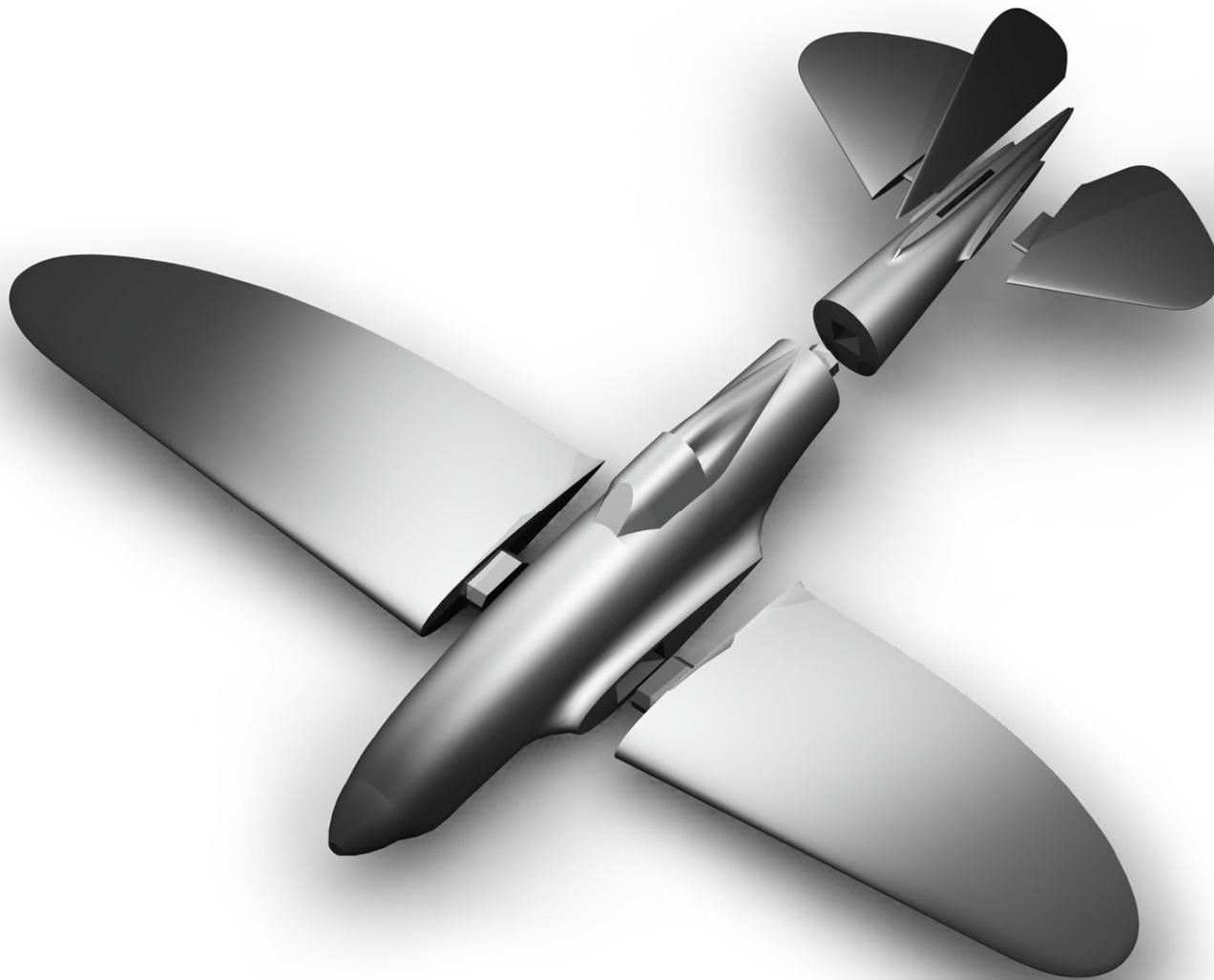


## *Il Bubble -Top*



## *Il Modellino*

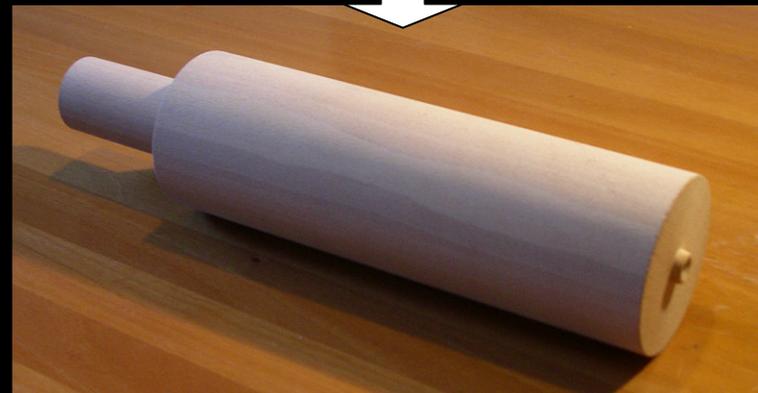
---



# *Il Parte: dal disegno al pezzo finito*

---

Studio e realizzazione del  
grezzo

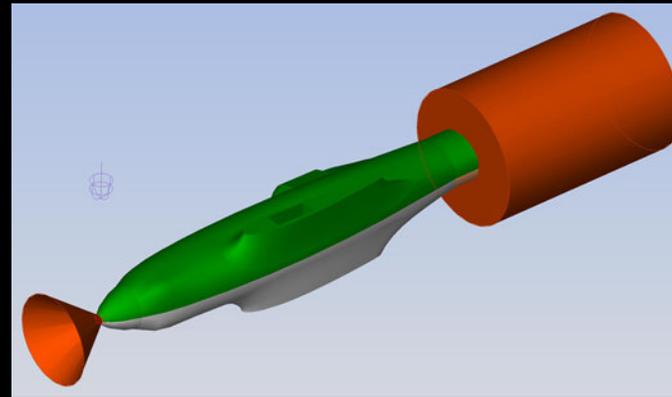


# Il Parte: dal disegno al pezzo finito

Studio e realizzazione del grezzo



Creazione del percorso utensili



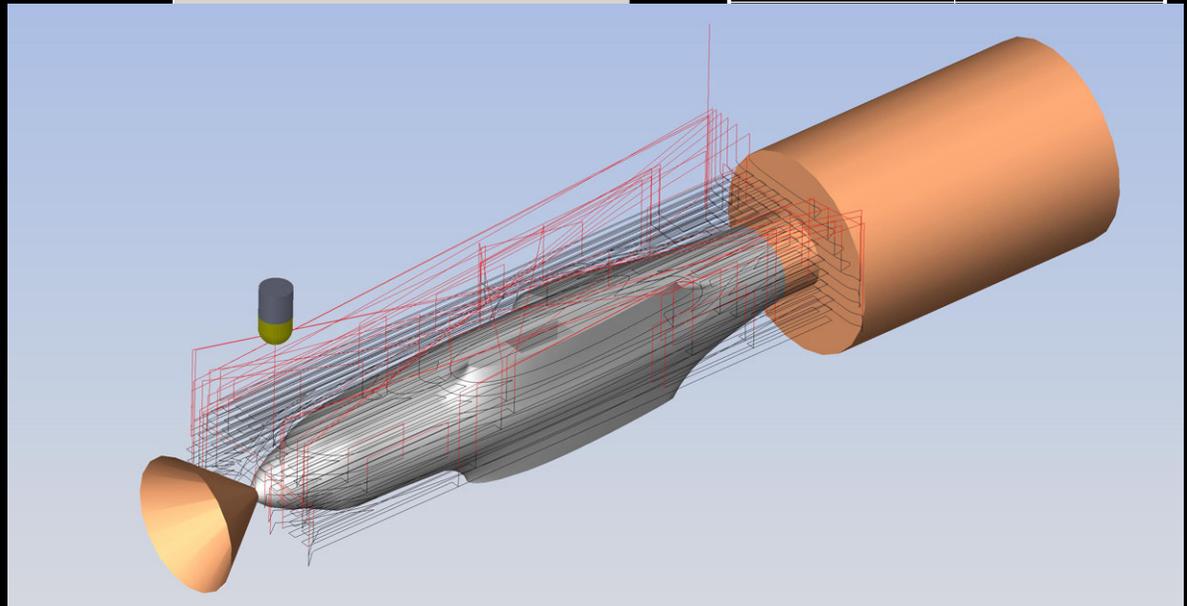
■ Superfici di lavorazione

■ Superfici di controllo

*Finitura-Q Strategia per Angolo Limite*

Sicurezza	Ottimizzato
Modo entrata	Ottimizzato

Utensili e Pinze



# *Il Parte: dal disegno al pezzo finito*

---

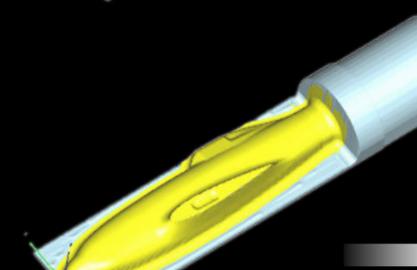
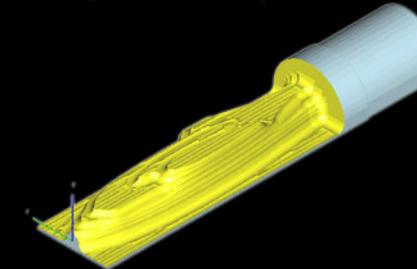
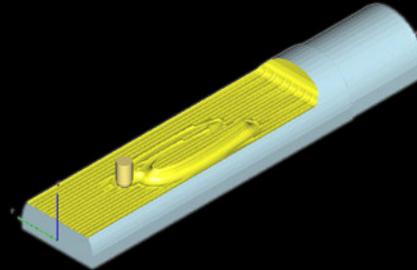
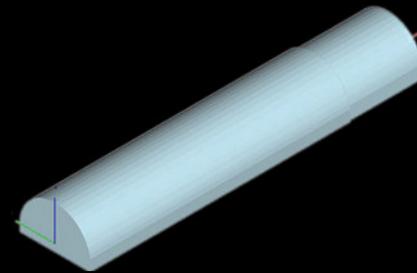
Studio e realizzazione del grezzo



Creazione del percorso utensili



Verifica tramite simulazione



Tempo stimato di lavorazione

# Il Parte: dal disegno al pezzo finito

Studio e realizzazione del grezzo



Creazione del percorso utensili



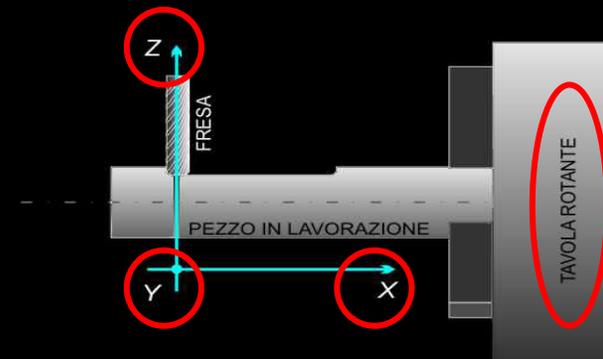
Verifica tramite simulazione



Lavorazione in macchina



Centro di lavoro a 4 assi



# *La Fusoliera*

---

## *Legno:*

- veloce lavorazione alla macchina utensile
  - ottimo aspetto superficiale del lavorato
  - usura dell'utensile quasi nulla
- 



## *Faggio:*

- Basso costo
- Assenza di nodi
- Ottima lavorabilità



# La Fusoliera

**1° Sgrossatura: *offset 2.0 mm***  
**2° Sgrossatura: *offset 0.6 mm***

## ***Sgrossatura Parallela***

Sicurezza	Ottimizzato
Modo entrata	Ottimizzato
Tolleranza Superfici	0.1 mm
Taglio	Misto
Passo in Z	Variabile
Max	$0.4 * t_{di} = 6.4 \text{ mm}$
Min	$0.1 * t_{di} = 1.6 \text{ mm}$
Lavorazione x angolo	0.0 °
Rotazione	6000 n/min
Avanzamento	2000 mm/min



# La Fusoliera

**Finitura: Fresa sferica Ø 16**

## **Finitura-Q Strategia per Angolo Limite**

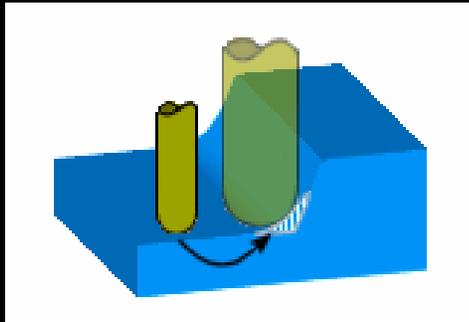
Sicurezza	Ottimizzato
Modo entrata	Ottimizzato
Tolleranza Superfici	0.05 mm
Metodo Aree Orizz	Spirale
Taglio Aree Orizz	Concordanza
Direzione Spirale	Esterno-Interno
Passo Orizz	$0.04 * t_{di} = 0.64$ mm
Metodo Aree Vert	Livello Z
Taglio Aree Vert	Concordanza
Passo in Z	$0.04 * t_{di} = 0.64$ mm
Angolo Limite	40.0 °
Rotazione	6000 n/min
Avanzamento	2000 mm/min



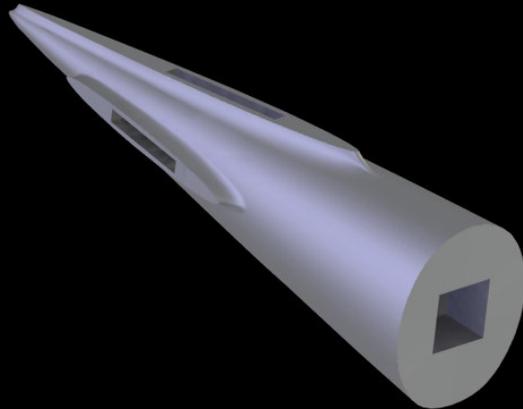
# *La Fusoliera*

---

**Ripresa: *Fresa sferica Ø 3***



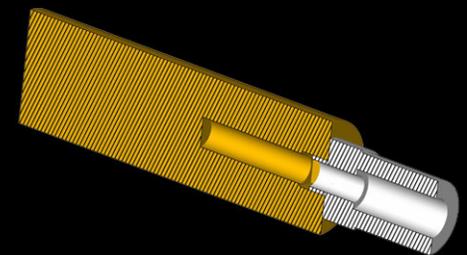
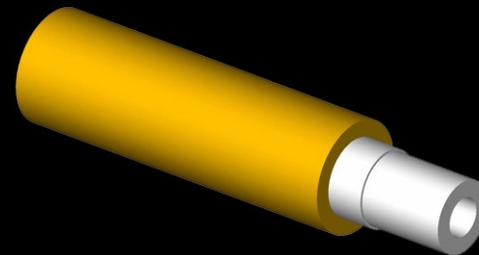
## Il supporto della coda



Nessun punto di afferraggio



Realizzazione di un corpo di supporto in alluminio appositamente concepito per l'afferraggio del grezzo:



## *La fusoliera completa*

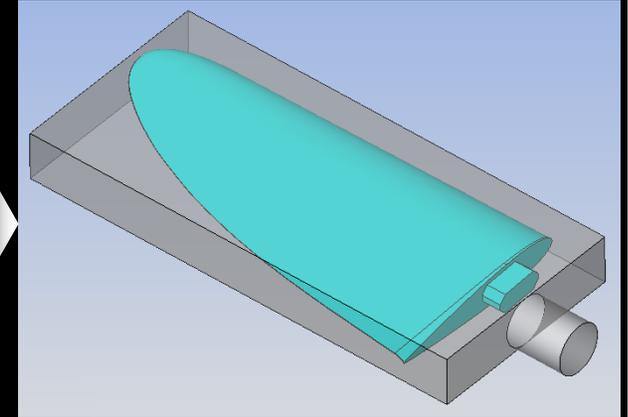
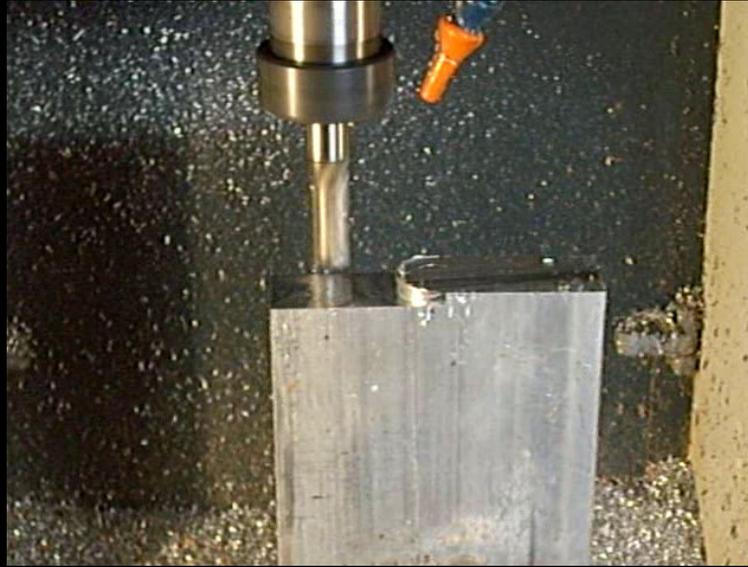
---

### Totale:

- 23 lavorazioni sul centro di lavoro
- 14 ore macchina



# L'ala

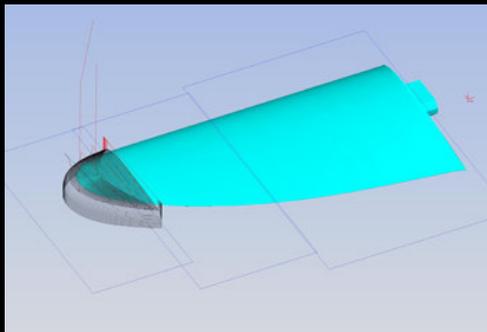


*Il problema delle vibrazioni*

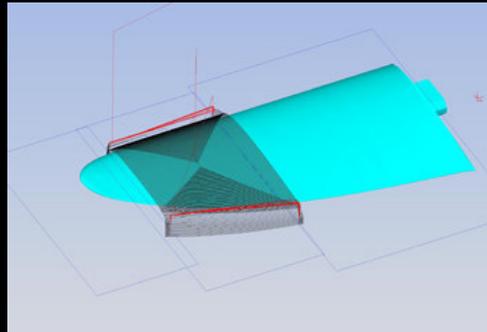


*Lavorazione a zone:*

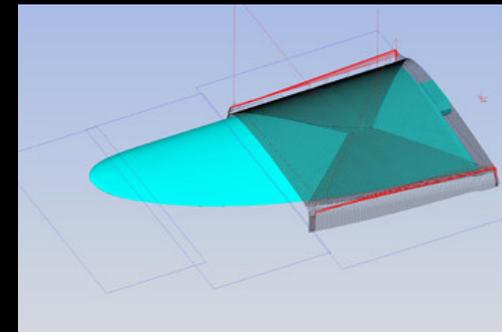
1°: Estremità



2°: Centrale



3°: Interna



L'ala



# L'ala

## Totale:

- 32 lavorazioni sul centro di lavoro
- 30 ore macchina



*Il modello completo*



# Conclusioni

---

- ✓ I disegni originali presentano errori saltuari, ma sono sufficientemente accurati per ottenere un'affidabile ricostruzione.
- ✓ Si può quindi affermare di aver ottenuto un'affidabile modellazione tridimensionale anche dal punto di vista aerodinamico.
- ✓ Le parti ricostruite danno un'ottima resa, confermata dalla linea del modello realizzato.
- ✓ Le lavorazioni elaborate in CAM hanno dimostrato di realizzare tutti i pezzi del modello senza creare alcun problema, e potranno essere direttamente riutilizzate in seguito per realizzare altri modelli.
- Da sviluppare il percorso utensili per la realizzazione dei piani di coda in NC.
- Automazione completa del processo.



*Giulio Camberti*