

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale  
Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

# ***Influenza della rugosità superficiale sulle proprietà aerodinamiche dell'ala***

Tutor universitario: Prof. Francesco Picano

Laureando: *Andrea Brunello*

*Matricola: 1217283*

Padova, 15/03/2023

# IL PROGETTO: LIFTUP

- OBIETTIVO
- LA COMPETIZIONE: AIR CARGO CHALLENGE
- LA RELAZIONE NEL PROGETTO

**Drone ACC 2022 detto «Kowalsky»**

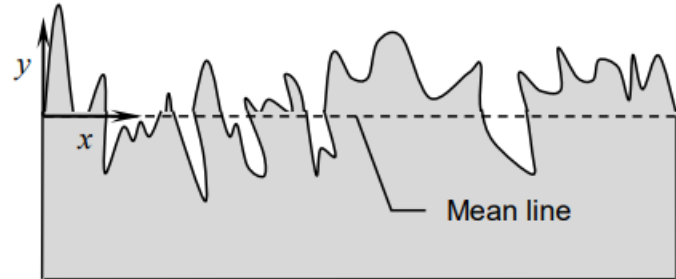


## DEFINIZIONE:

La rugosità è l'insieme delle irregolarità superficiali con passo relativamente piccolo, dovute al processo di lavorazione di un dispositivo meccanico o alla disomogeneità del materiale

## PARAMETRI DESCRITTIVI:

Media aritmetica dei valori assoluti  $R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$



Radice quadratica media

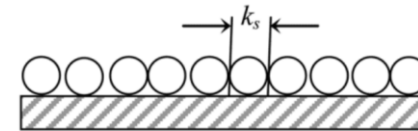
$$R_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

Valore picco-valle

$$R_{zd} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (R_{pi} - R_{vi})$$

## MODELLO SAND- GRAIN:

l'uso di un foglio rivestito di granelli di sabbia con diametro medio  $K_s$ , modello usato da Moody nel suo famoso diagramma.



## IMPLEMENTAZIONE SU FLUENT:

i modelli CFD, in particolare fluent, utilizzano il modello sand-grain. Per passare da parametri di rugosità visti in precedenza a valore  $K_s$  si usa algoritmo che porta ai seguenti valori

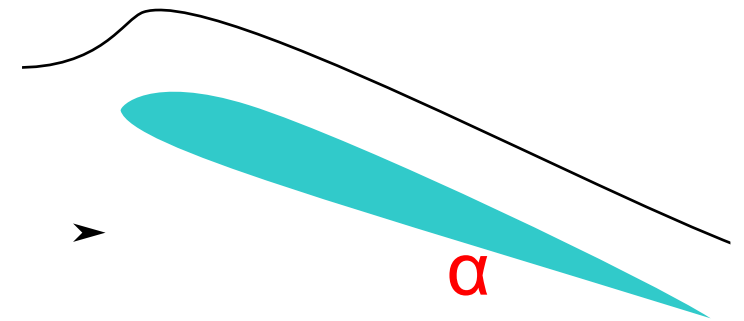
$$K_s = 5,863R_a \quad K_s = 3,100R_{RMS} \quad K_s = 0,978R_{zd}$$

I COEFFICIENTI  $C_L$  E  $C_D$ :

$$C_L = \frac{L}{0,5\rho V_\infty^2 S} \quad C_D = \frac{D}{0,5\rho V_\infty^2 S}$$

IL COEFFICIENTE  $C_D$ :

$$C_D = C_{Dp} + C_{Di} = C_{Dp} + \frac{C_L^2}{\pi A Re}$$

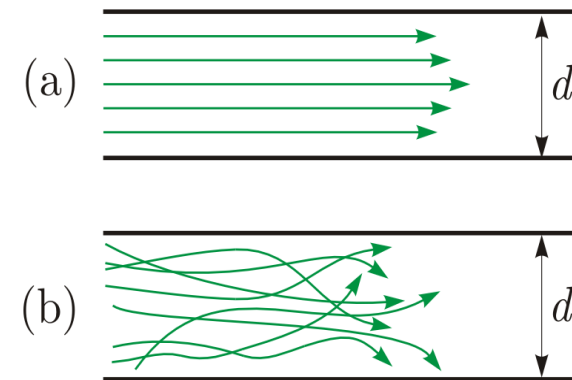


ANGOLO DI STALLO: angolo di attacco a cui il profilo sviluppa maggiore portanza

NUMERO DI REYNOLDS: parametro adimensionale proporzionale al rapporto tra le forze di inerzia e viscosità

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

La conoscenza di questo parametro permette di valutare se il flusso si trova in regime laminare (a) o turbolento (b).



**STRATO LIMITE:** la zona ideale di un flusso dove gli effetti causati dalla prossimità di una parete sono molto più marcati rispetto ad una zona esterna.

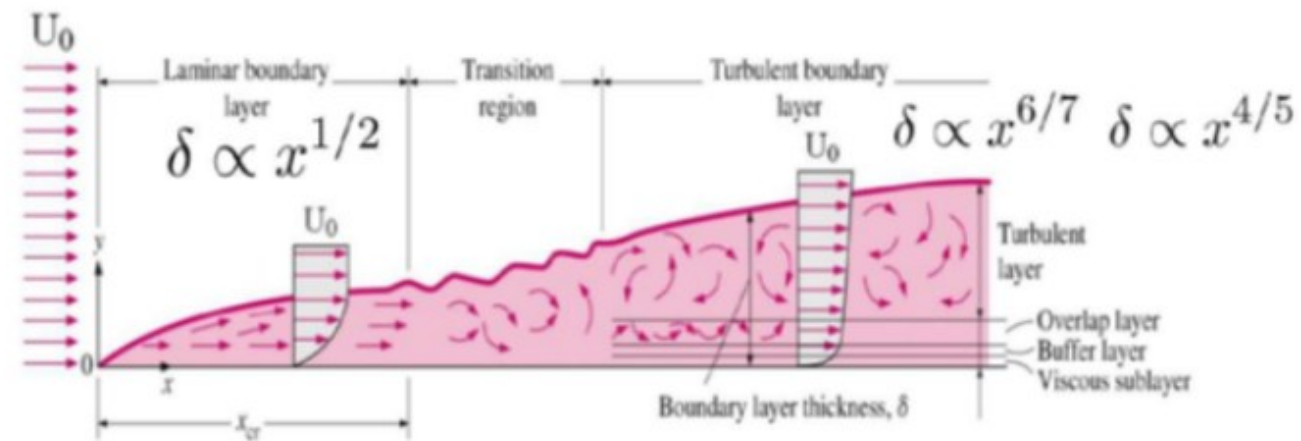
Sono possibili tre condizioni dello strato limite: **laminare**, **turbolento** o **separato**, definite dal numero di Reynolds locale. La causa della separazione del flusso è un gradiente di pressione avverso, ossia che si oppone al moto del flusso.

Caratteristiche dei tre regimi

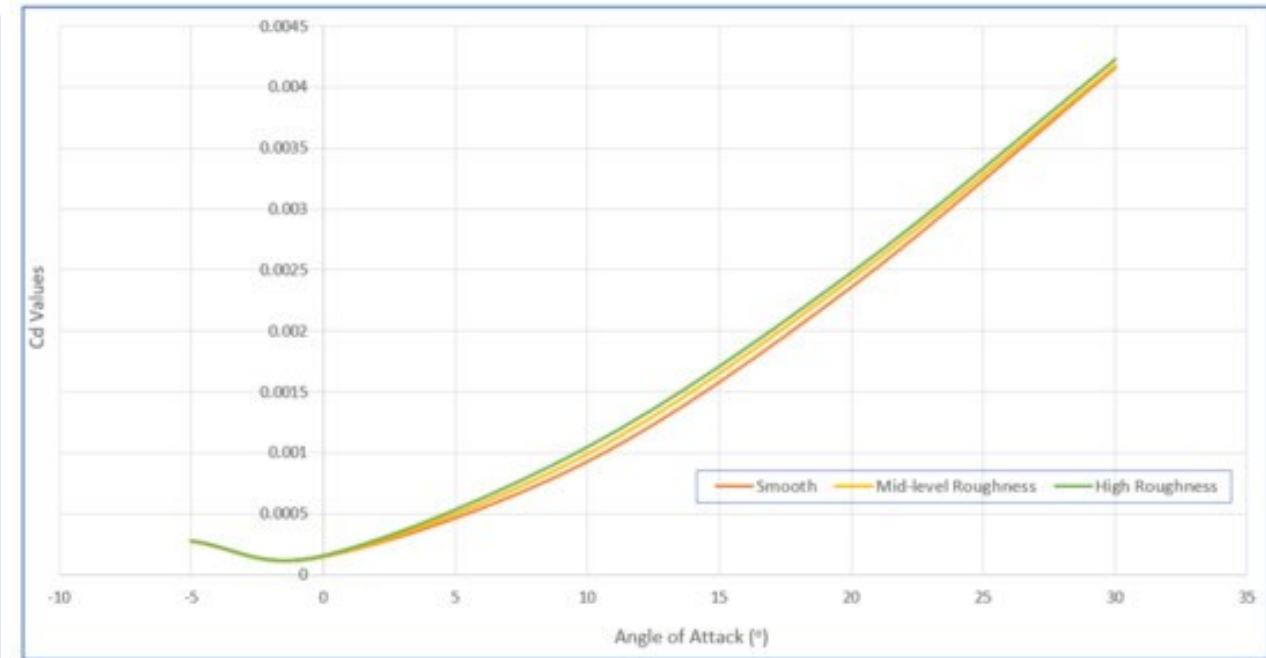
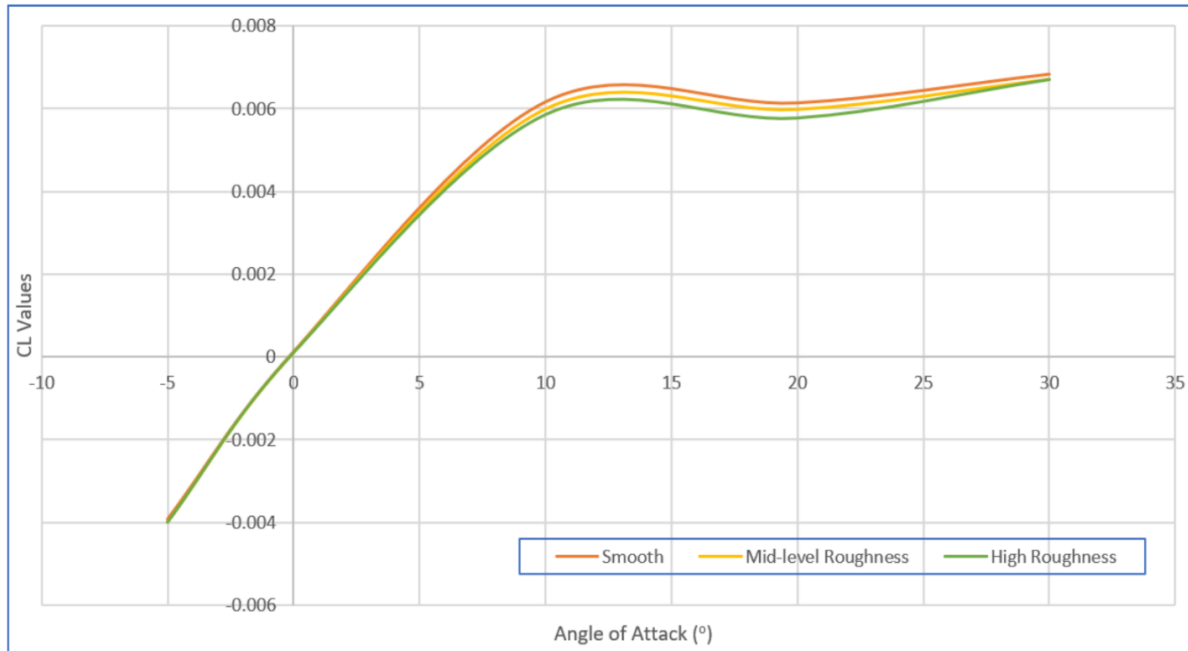
**Laminare:** basso  $C_D$  e bassi scambi di energia

**Turbolento:**  $C_D$  maggiore del laminare  
elevati scambi di energia

**Separato:** elevato coefficiente di resistenza



Evoluzione strato limite lungo una lastra piana



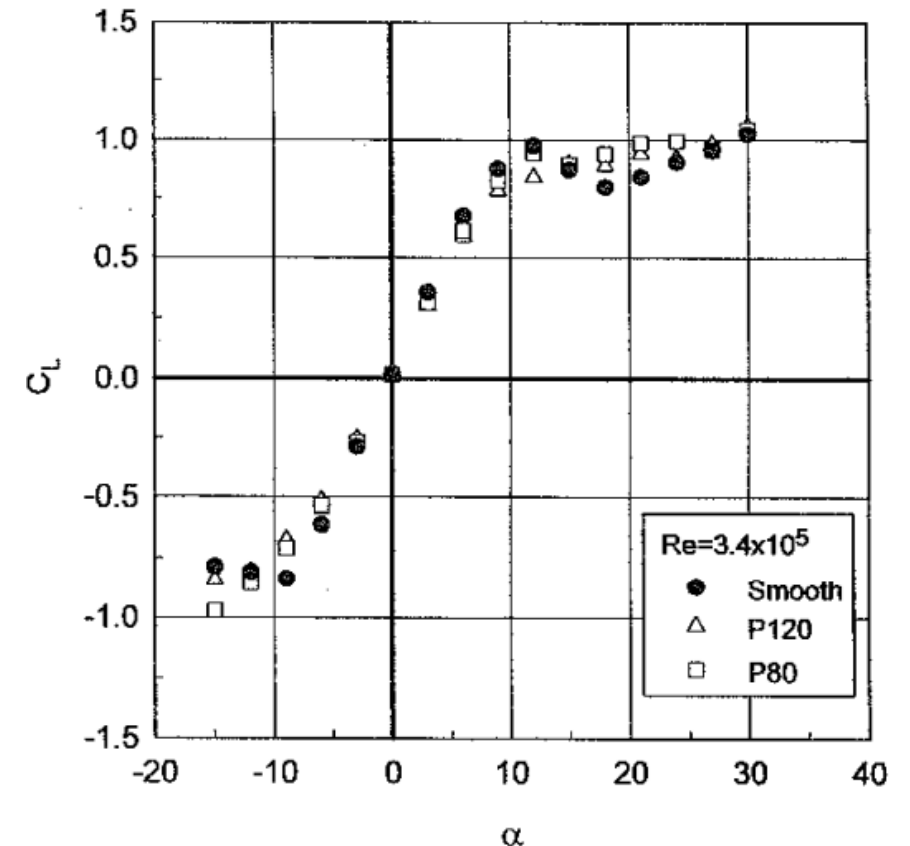
Profilo simmetrico (NACA 0008) a velocità di 90 km/h ( $Re=6,09 \times 10^4$ ). Rugosità media ( $Ra=88,20 \mu\text{inch}$ ) ed elevata ( $Ra=265,08 \mu\text{inch}$ ) oltre che liscia il software utilizzato per l'analisi è Fluent.

La rugosità superficiale influisce fino al 7,5% e -20%, rispettivamente sul  $C_D$  e  $C_L$  rispetto alla superficie liscia.

Fonte dati: Investigation on Surface Roughness of PolyJet-Printed Airfoil Geometries for Small UAV Applications. *Aerospace* 2022

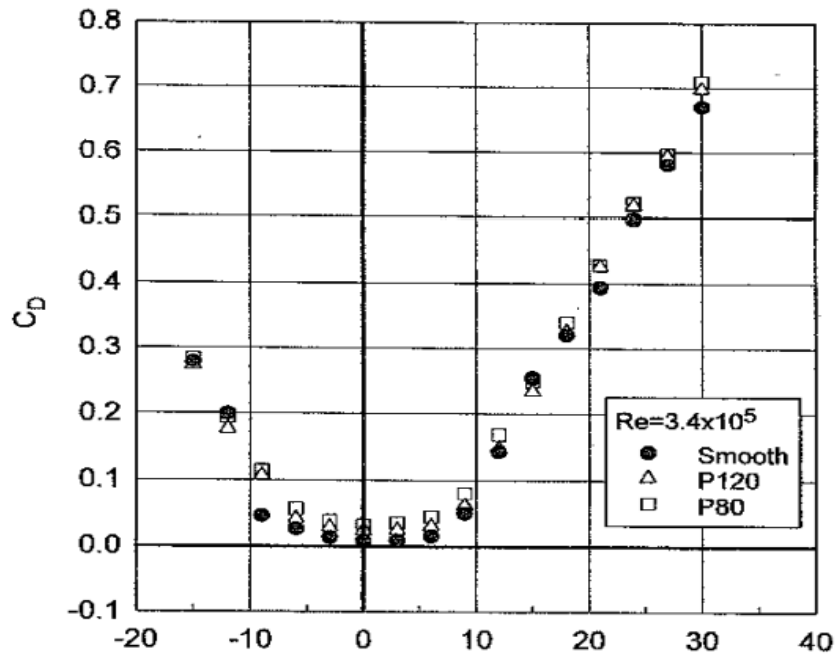
Profilo analizzato: NACA 0012 Corda=152mm Apertura alare=455mm AoA=[-15°;30°] passo di 3°  
Rugosità:  $K_s = 0,5\text{mm}$  (P80);  $K_s = 0,4\text{mm}$  (P120)

- $C_L$  a  $\alpha=0$  rimane nullo ad ogni livello di rugosità
- $C_{Lmax} \approx 1$  per superficie liscia e brusco calo dovuto a stallo
- $C_{Lmax}$  diminuisce all'aumentare rugosità ma stallo più controllato
- Nella zona di stallo  $C_L$  maggiore per rugosità non nulle



$C_L$  al variare dell'angolo di attacco per  $Re=340.000$

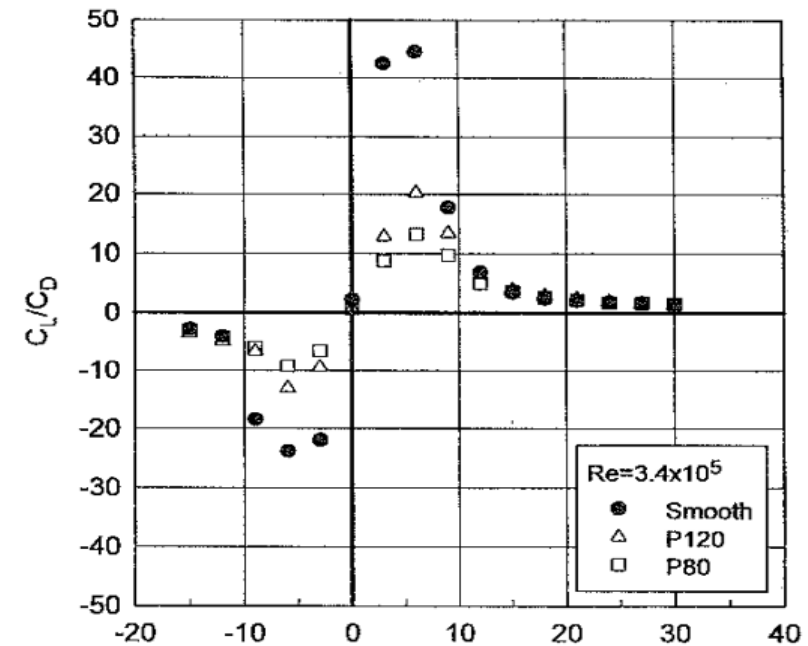
Fonte dati: Surface roughness effects on flow over aerofoils. Wind Eng.



$C_D$  al variare dell'angolo di attacco per  $Re=340.000$

- I valori del minimo drag sono circa 0.001, 0.025 e 0.03 rispettivamente per la superficie liscia, P120 e P80, tutti a  $\alpha=0$
- L'aumento di rugosità aumenta sempre il coefficiente di resistenza

Fonte dati: Surface roughness effects on flow over aerofoils. Wind Eng



$C_L$  al variare dell'angolo di attacco per  $Re=340.000$

- Valore massimo a 6° per ogni rugosità ma il valore cambia di molto (45,5 20 e 13)
- La rugosità diminuisce efficienza fino a 12°, oltre questo valore non sono visibili differenze
- Andamento simile per angoli di attacco negativi



- La rugosità peggiora sempre il coefficiente di drag
- Il coefficiente di portanza viene diminuito per angoli di attacco minori dell'angolo di stallo ma aumenta successivamente

La rugosità favorisce il passaggio del flusso da laminare a turbolento, aumentandone il drag ma ritardando la separazione con benefici ad alti angoli di attacco.



Velivoli per l'ACC del  
2022 e 2019



***GRAZIE PER L'ATTENZIONE***