



CONFERENZA CDT, 14 ottobre 2019  
Advanced Engineering Conference

# LA MODELLAZIONE STRUTTURALE



CLUB DIRIGENTI TECNICI

# FEM: Definizione

---

## Finite Element Method

Il metodo degli elementi finiti (FEM, dall'inglese Finite Element Method) è una tecnica numerica.

Il metodo degli elementi finiti trova origini nelle necessità di risoluzione di problemi complessi di analisi elastica e strutturale nel campo dell'ingegneria civile ed aeronautica.

# FEM: Cenni storici

**1930:** necessità di risoluzione di problemi complessi nel campo della aeroelasticità

**1940:** nasce l'idea di suddividere il dominio del problema in sottodomini di forma semplice (gli elementi finiti)

**1950:** la Boeing pubblica il «Direct Stiffness Method», il primo e basilare approccio al FEM. L'interesse travalica l'aeronautica e arriva nell'ingegneria civile (Università di Stoccarda, Berkeley).

**1970:** nascono i codici FEM (Nastran, Ansys, Abaqus ecc.) che si sono evoluti fino ad oggi.

# Simulazione vs. Sperimentazione

## **Simulazione strutturale:**

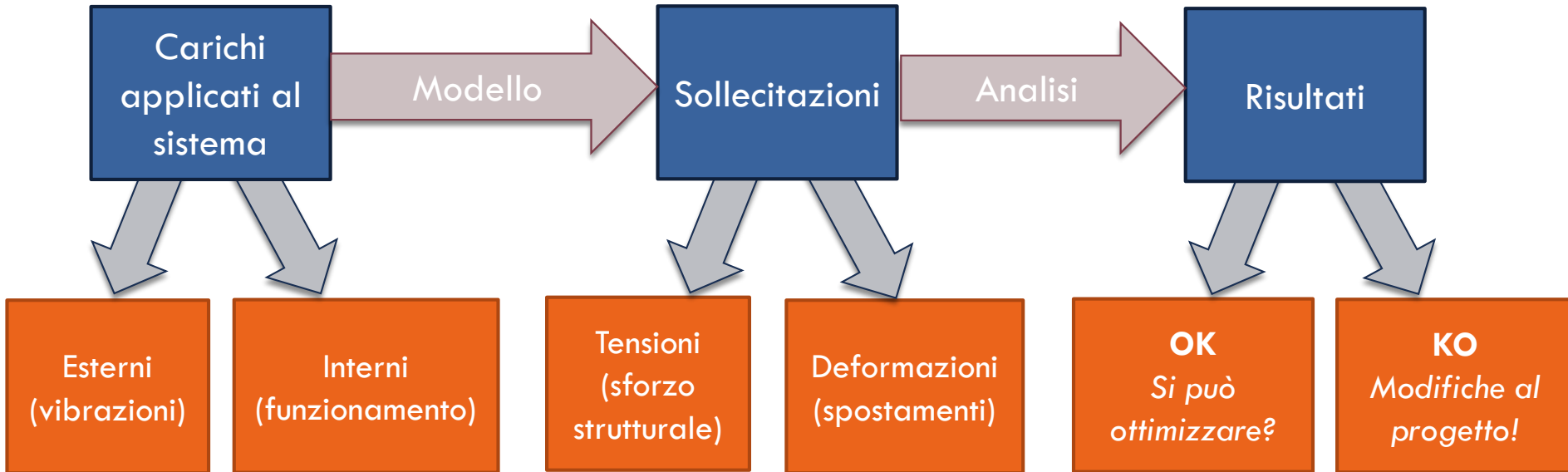
1. Conoscenza del comportamento del sistema PRIMA della produzione
2. Zero costi di prototipazione
3. Possibilità di valutare diversi scenari
4. Zero costi di allestimento prove
5. Investigazione di diverse soluzioni progettuali

## **Sperimentazione:**

1. Conoscenza del comportamento del sistema DOPO la produzione
2. Costi di prototipazione
3. Tipicamente, ad un test corrisponde un solo scenario di carico
4. Allestire un test è costoso (test bench, spazi ecc.)

La sperimentazione è comunque importante, scopo della simulazione è minimizzare i costi di test, non azzerarli. Esempio: test solo nello scenario di carico più gravoso, individuato per analisi.

# Modellazione strutturale: il processo



La simulazione strutturale serve a determinare la risposta di un *SISTEMA* ai *CARICHI* a cui è sottoposto.

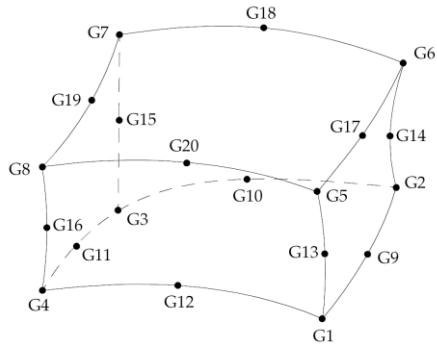
# La simulazione è «la verità»?

## La simulazione è un'approssimazione della realtà:

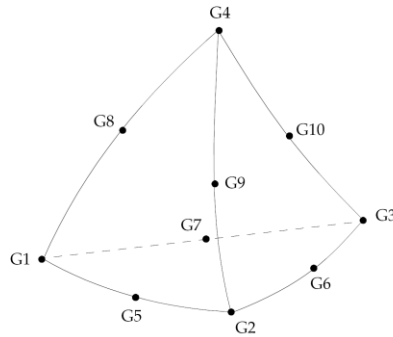
- La progettazione di oggi avviene in 3D, ma il modello CAD è una idealizzazione della realtà, NON è la realtà
- Il modello CAD viene suddiviso in «mattoncini» elementari (MESH o MAGLIA)
- Si usano caratteristiche minime di resistenza dei materiali → il pezzo reale potrebbe comportarsi meglio
- Deve essere ipotizzato a priori come i componenti di una macchina interagiscono tra loro.

# I «mattoncini» del modello

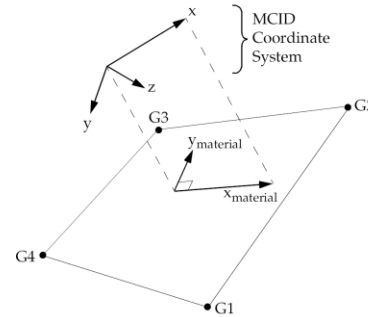
Esaedro a 20 nodi



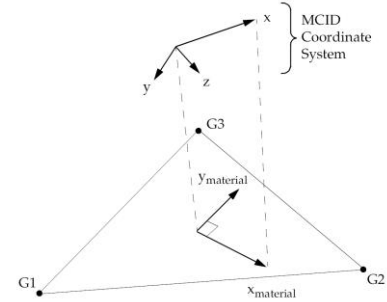
Tetraedro a 10 nodi



Elemento piano a 4 nodi



Elemento piano a 3 nodi

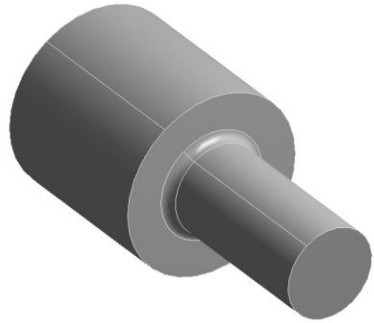


Ma anche: elementi trave (1D), massa (0D) ecc.

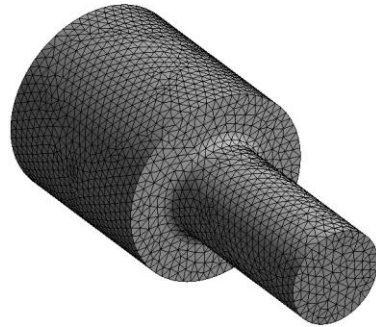


# La costruzione del modello

Geometry



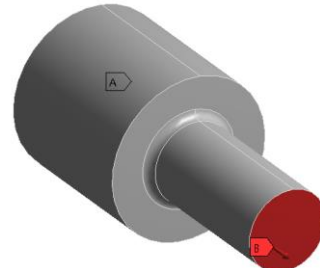
Importazione CAD



Mesh

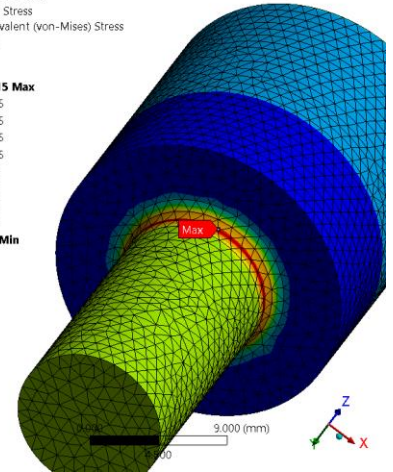
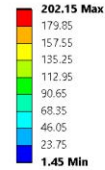
A: Static structural  
Static Structural  
Time: 1. s

- A Fixed Support
- B Force: 10000 N



Carichi / vincoli

A: Static structural  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1



Risultati

# Accuratezza del modello

L'accuratezza del modello e quindi della soluzione è determinata da molti fattori:

*Densità degli elementi (elementi + piccoli = + accuratezza)*

*Condizioni al contorno (vincoli interni, esterni e carichi)*

*Accuratezza del CAD*

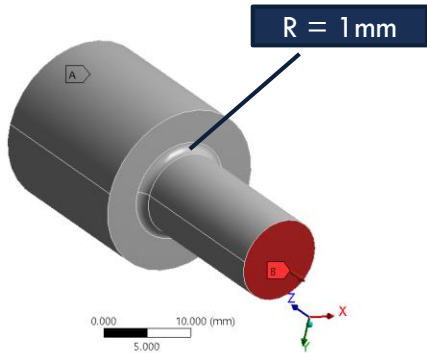
*Come si «istruisce» il solutore (software che risolve le equazioni)*

*In una parola: ESPERIENZA*

# Esempio: accuratezza mesh

A: Static structural  
Static Structural  
Time: 1 s

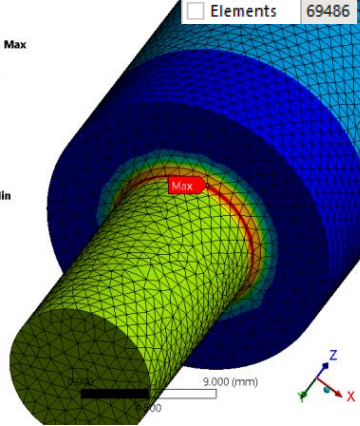
A Fixed Support  
B Force: 10000 N



A: Static structural  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1

202.15 Max  
179.85  
157.55  
135.25  
112.95  
90.65  
68.35  
46.05  
23.75  
1.45 Min

Statistics  
 Nodes 98700  
 Elements 69486

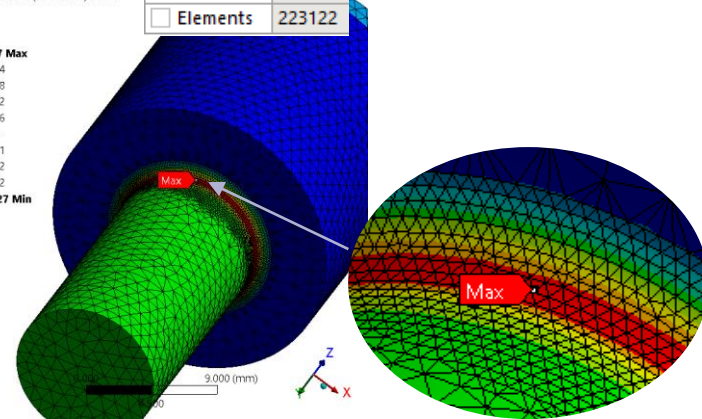


Taglia mesh: 1 mm

A: Static structural  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1

255.7 Max  
227.44  
199.18  
170.92  
142.66  
114.4  
86.141  
57.882  
29.622  
1.3627 Min

Statistics  
 Nodes 309195  
 Elements 223122



Taglia mesh: 1 mm  
Infittimento su raggio: 0.2 mm  
+213% numero nodi  
+26% stress

# Esempio: accuratezza mesh

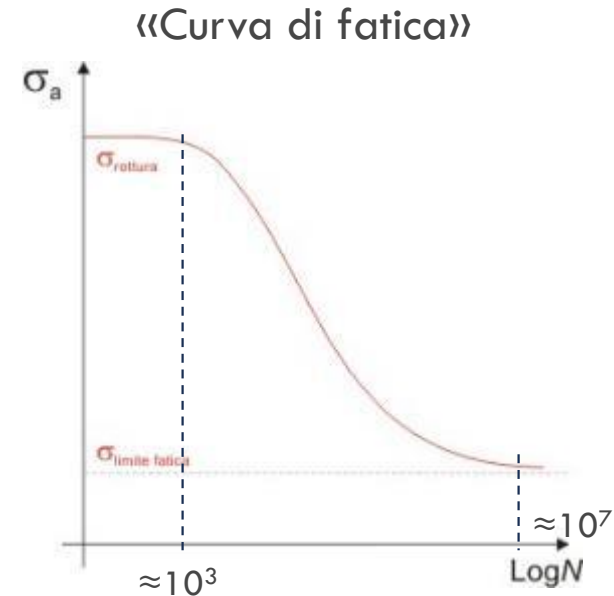
Un grande errore sulla sollecitazione massima può essere catastrofico in caso di fatica meccanica.

La FATICA MECCANICA è il fenomeno di degradazione del materiale (fino alla rottura) dovuto all'applicazione di carichi ripetuti, anche inferiori al limite di resistenza statica.

Secondo testi in letteratura per gli acciai è circa:

$$\frac{\sigma_{\text{limite fatica}}}{\sigma_{\text{rottura}}} = 0.5$$

Essendo l'ascissa in scala log, un piccolo errore sullo stress determina un grande errore sulla stima della vita utile



# Esempio: accuratezza mesh

B20

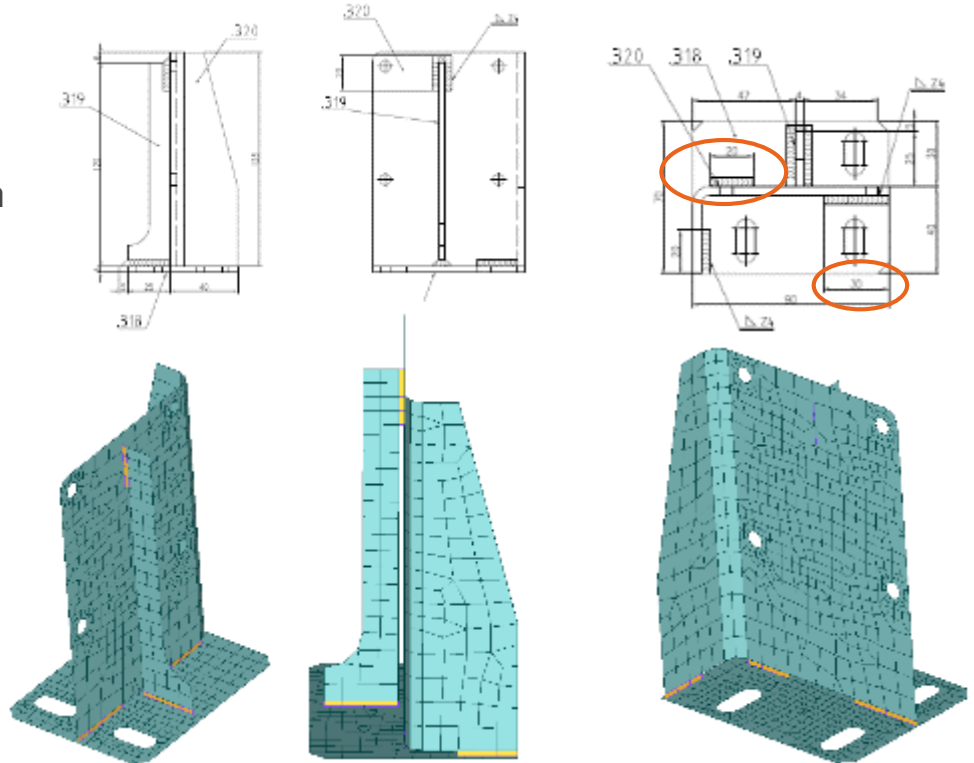
50% Rp0,2 , R=0,2

n= 427 000 - 429 400

# Esempio: accuratezza del CAD

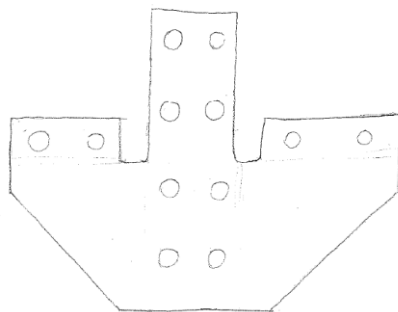
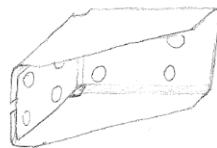
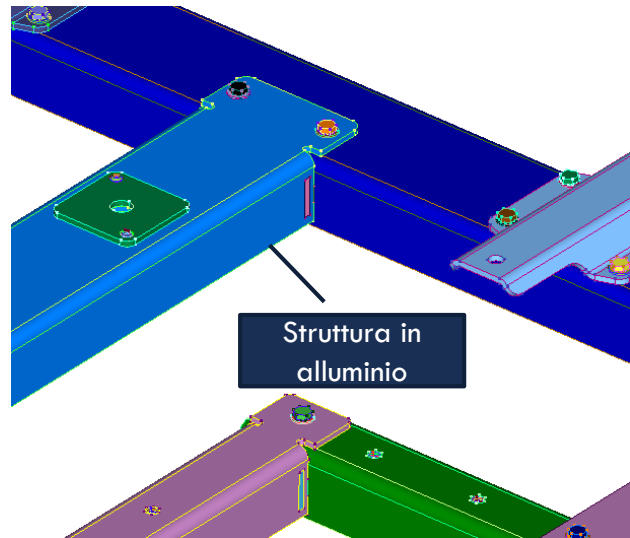
Il modello CAD deve rispecchiare l'esatta forma costruttiva.

Esempio: la lunghezza della saldatura non può essere lasciata al caso.

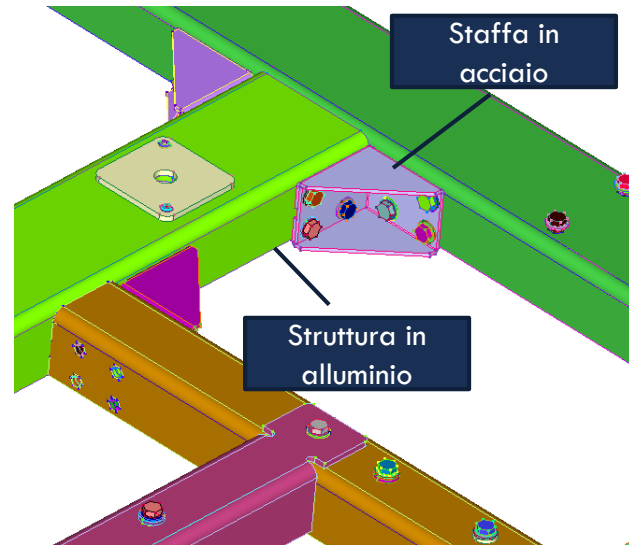


# Esempio: l'esperienza

Progetto originale



Progetto finale



# L'ottimizzazione

L'ultima grande innovazione in ambito simulazione strutturale è la possibilità di ottimizzare (quasi) automaticamente una struttura meccanica.

All'analista è lasciato il compito di gestire i vincoli progettuali e tecnologici, ma i software stanno facendo passi da gigante.

Grande applicazione nel campo dell'ADDITIVE MANUFACTURING.

