



TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

Tesi di Laurea Triennale

**VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI DI
COMPONENTI MECCANICI 'AS BUILT' MEDIANTE
L'USO DI TECNICHE DI MESH MORPHING**

Candidato:

Francesco Scarpitta

Relatore:

Prof. Marco E. Biancolini

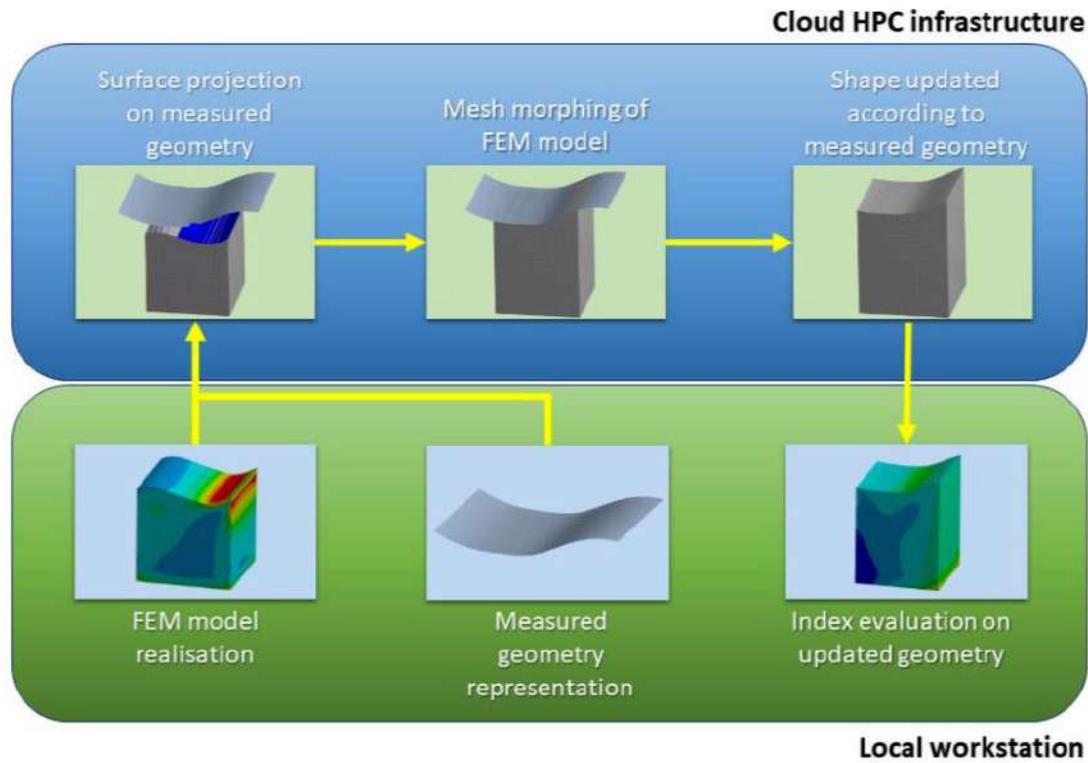
Correlatore:

Ing. Emiliano Costa

Anno Accademico 2018-2019

- Introduzione
- Fondamenti teorici
- Workflow
- Casi di studio

- Generazione di *digital twin* in grado di riprodurre fedelmente le caratteristiche di un componente reale
- Aggiornamento dei modelli CAE sulle geometrie acquisite degli esemplari realizzati che presentano errori di forma
- Valutazione delle prestazioni del componente misurato in relazione al corrispettivo ideale di progetto



ANSYS FRANCE



RBF MORPH S.R.L.



RINA CONSULTING S.P.A.



CMS ITALY



Un generico campo può essere interpolato per mezzo delle radial basis functions:

$$s(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N \gamma_i \varphi(\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_{s_i}\|) + h(\mathbf{x}) \quad (1)$$

\mathbf{x}_{s_i} i-esimo punto sorgente

$\varphi(r)$ funzione radiale

$h(\mathbf{x})$ termine polinomiale;

sotto opportune ipotesi: $h(\mathbf{x}) = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 y + \beta_3 z$

Imponendo il passaggio per i punti di interpolazione: $s(\mathbf{x}_{s_i}) = f(\mathbf{x}_{s_i})$
e le condizioni di ortogonalità $\sum \gamma_i = \sum \gamma_i x_{s_i} = \sum \gamma_i y_{s_i} = \sum \gamma_i z_{s_i} = 0$,
si ottengono coefficienti β e γ dalla soluzione del sistema:

$$\begin{bmatrix} \mathcal{M} & \mathcal{P}_s \\ \mathcal{P}_s^T & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \boldsymbol{\gamma} \\ \boldsymbol{\beta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{g}_s \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} \quad (2)$$

con

$$\mathcal{M}_{ij} = \varphi \left(\left\| \mathbf{x}_{s_i} - \mathbf{x}_{s_j} \right\| \right)$$

$$\mathcal{P}_s = (1 \quad x_{s_i} \quad y_{s_i} \quad z_{s_i})$$

$$\mathbf{g}_s = (f(\mathbf{x}_{s_1}) \quad f(\mathbf{x}_{s_2}) \quad \dots \quad f(\mathbf{x}_{s_N}))^T$$

Una superficie regolare nello spazio \mathbb{R}^3 può essere rappresentata in forma implicita mediante una relazione del tipo

$$\psi(x, y, z) = 0 \quad (3)$$

Se l'espressione analitica non è nota, si può interpolare ψ usando le RBF con $\varphi(r) = r^3$:

$$\psi(\mathbf{x}) \sim s(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N \gamma_i \left(\sqrt{(x - x_{s_i})^2 + (y - y_{s_i})^2 + (z - z_{s_i})^2} \right)^3 + h(\mathbf{x}) \quad (4)$$

Un punto \mathbf{x} appartiene alla superficie interpolante se soddisfa l'equazione

$$s(\mathbf{x}) = 0 \quad (5)$$

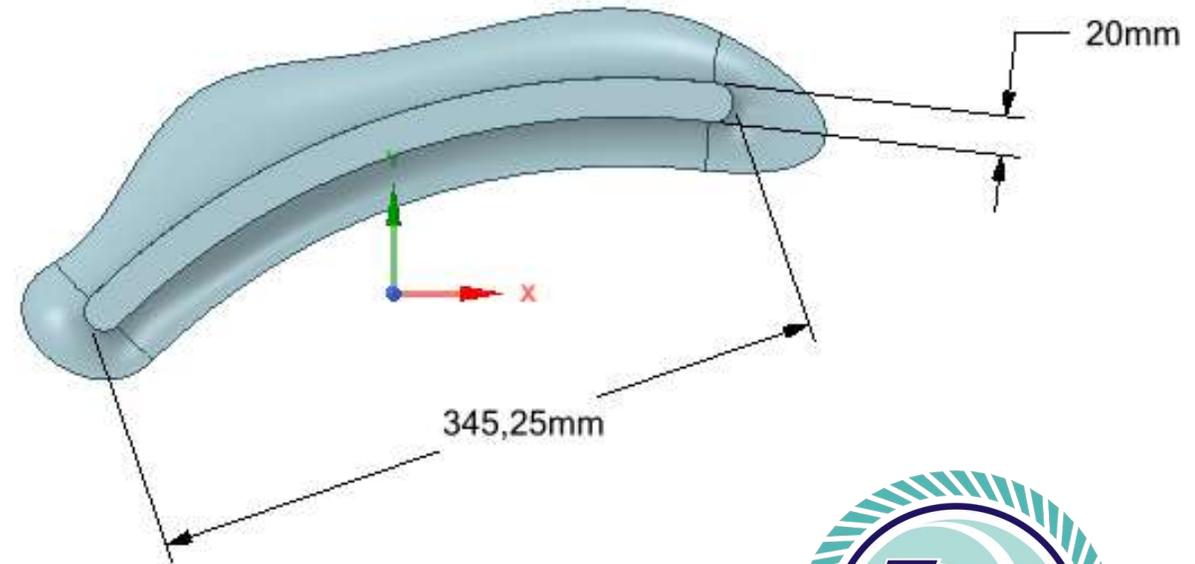
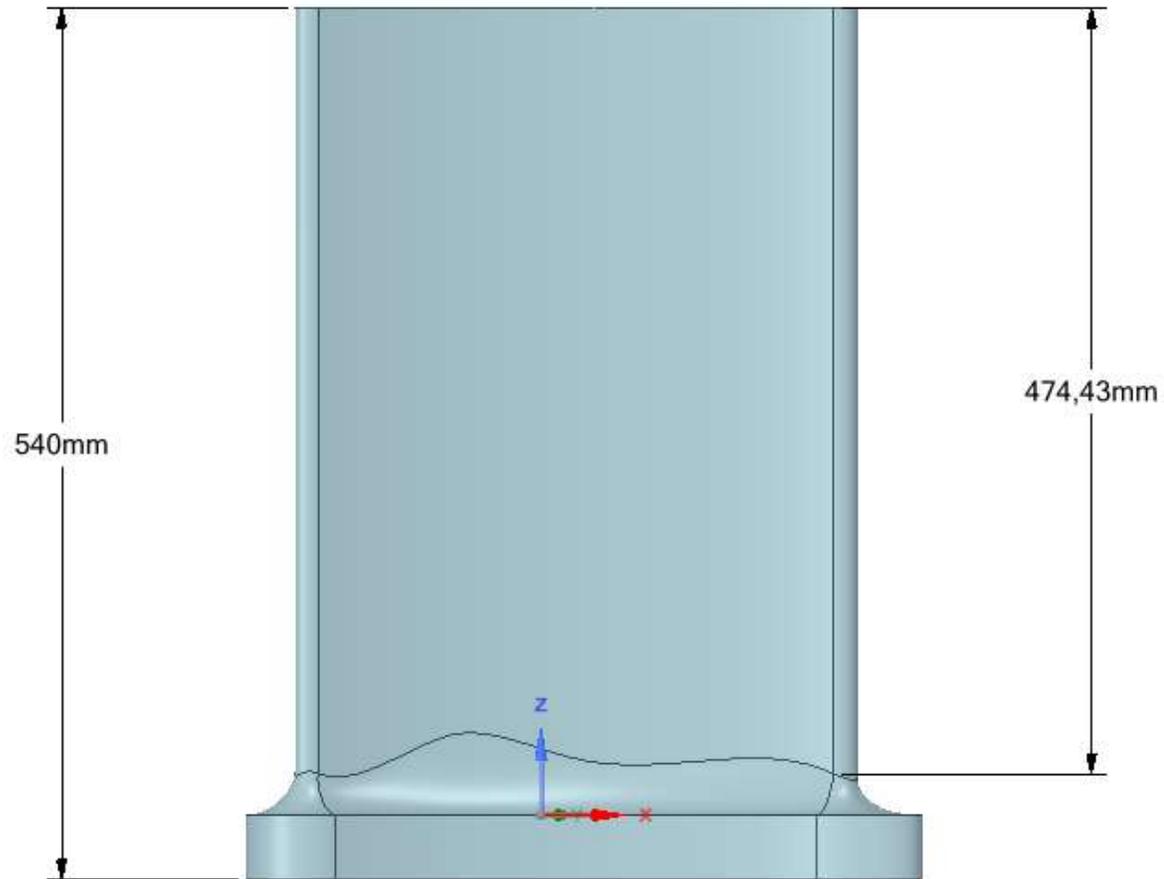
Pertanto, la proiezione di un generico punto \mathbf{x}^* su di essa si determina iterativamente con il metodo di Newton-Raphson:

$$\mathbf{x}_{k+1}^* = \mathbf{x}_k^* - \frac{s(\mathbf{x}_k^*)}{\|\nabla s(\mathbf{x}_k^*)\|^2} \nabla s(\mathbf{x}_k^*) \quad (6)$$

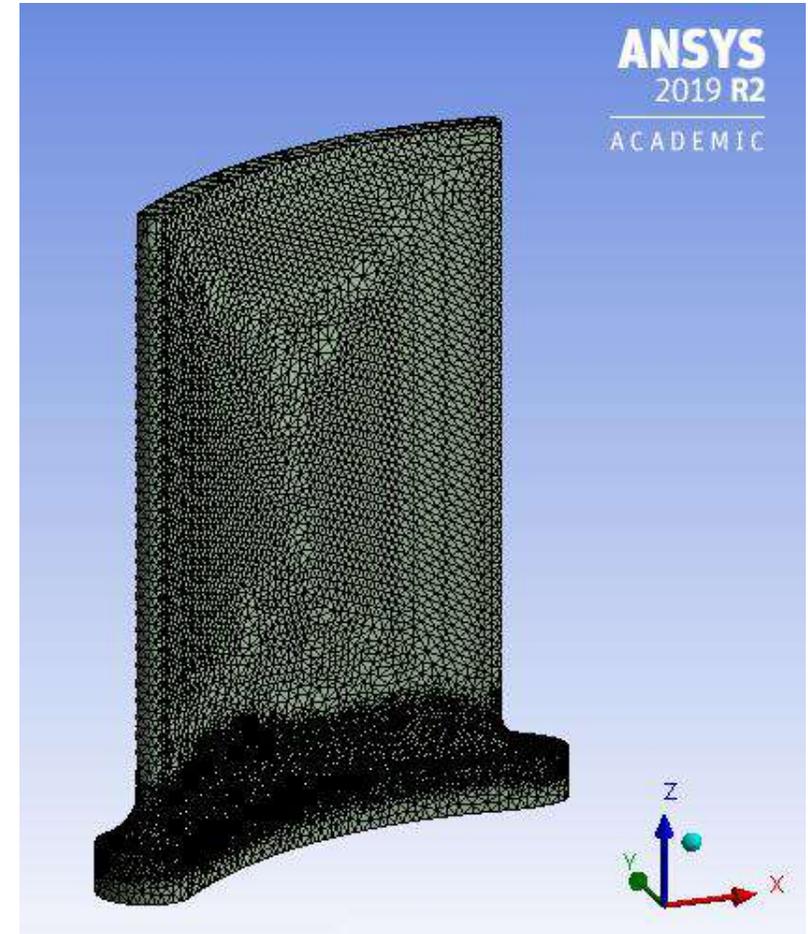
La soluzione è determinata quando $\|\mathbf{x}_{k+1}^* - \mathbf{x}_k^*\| < \epsilon$, dove ϵ è il massimo errore accettabile sulla determinazione della proiezione.

1. Generazione delle geometrie
2. Creazione del modello CAE di base
3. Aggiornamento del modello CAE
4. Esecuzione delle simulazioni
5. Post-processing

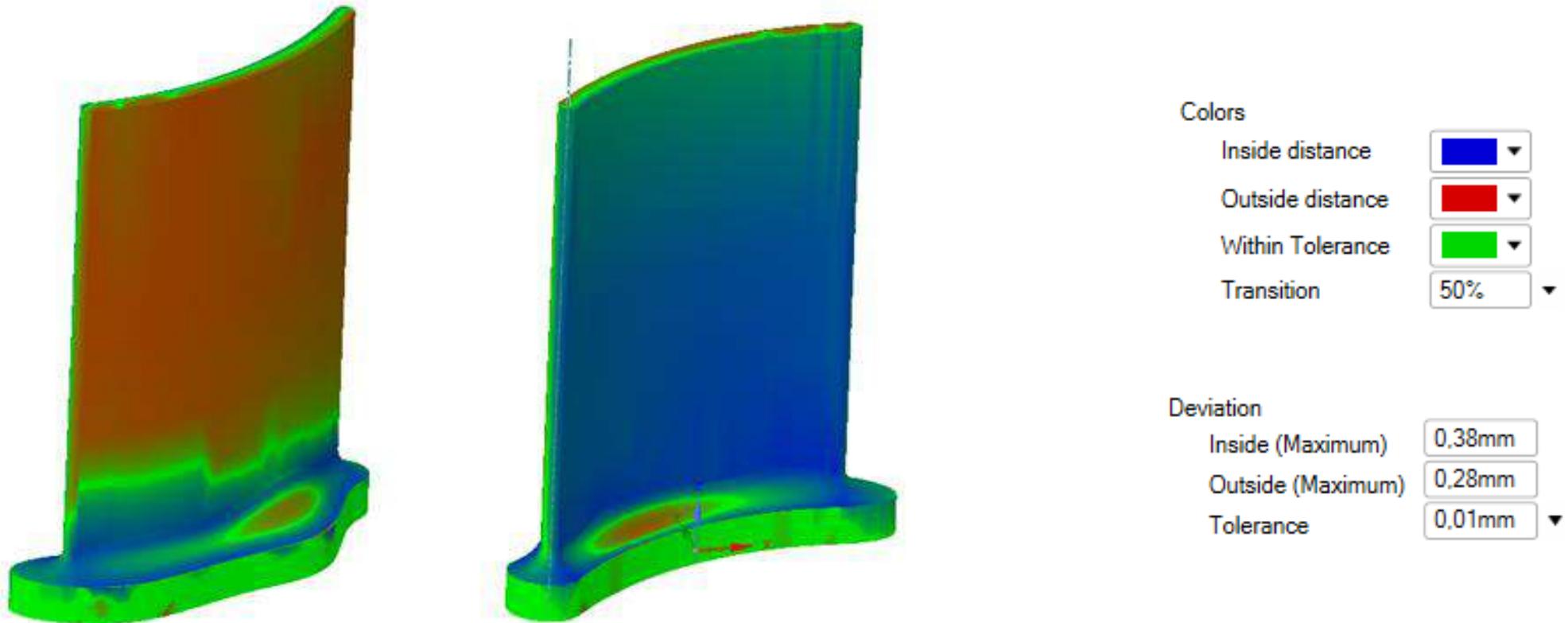
- Analisi strutturale di un albero
- Analisi strutturale di un gancio
- Analisi strutturale di una paletta di turbina
- Morphing della mesh CFD sulla paletta di turbina



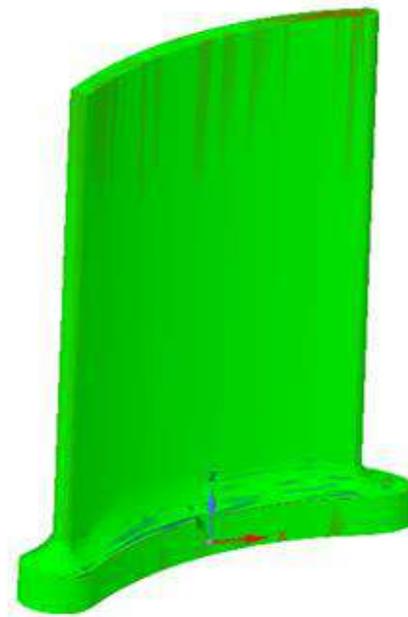
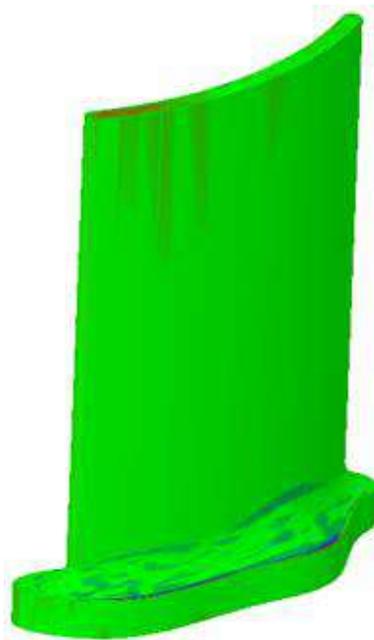
- Mesh tetraedrica
- Dimensione elementi di 7 mm, con affinamento al raccordo
- 228384 nodi e 148900 elementi



Distorsione mediante Biological Growth Method (BGM) nella zona del raccordo, con spostamento nodale massimo imposto pari a 0,4 mm.



	Element Quality		Jacobian Ratio		Aspect Ratio	
	Media	Min	Media	Max	Media	Max
Originale	0,803	0,46	1,01	2,6	1,95	5,61
Aggiornata	0,802	0,44	1,03	3,3	1,95	5,68
Variazione	0,001	0,02	0,02	0,7	0,002	0,07



Colors

Inside distance



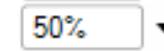
Outside distance



Within Tolerance



Transition



Deviation

Inside (Maximum)

0,14mm

Outside (Maximum)

0,48mm

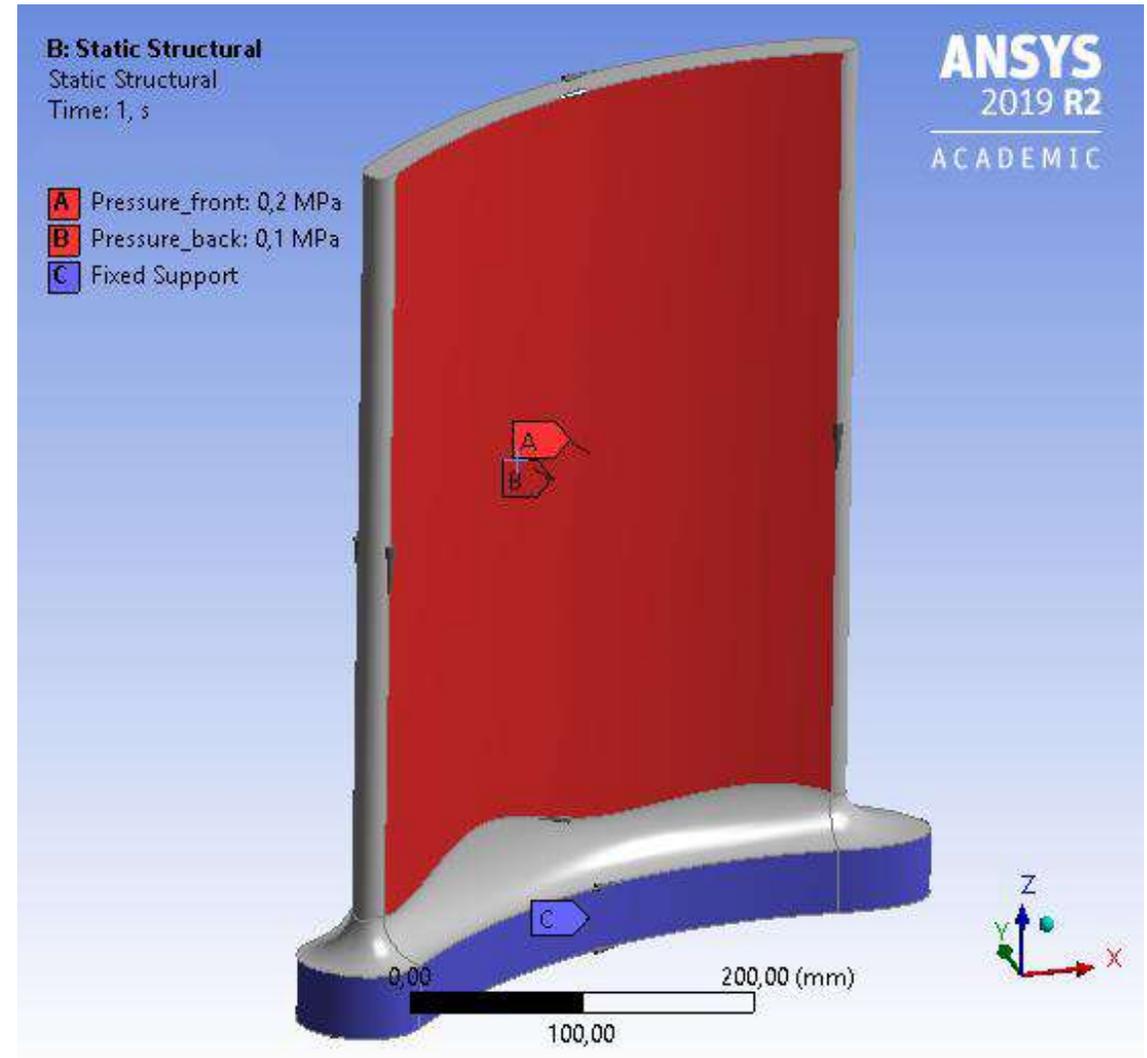
Tolerance

0,01mm

$p_A = 0,2 \text{ MPa}$ al ventre

$p_B = 0,1 \text{ MPa}$ al dorso

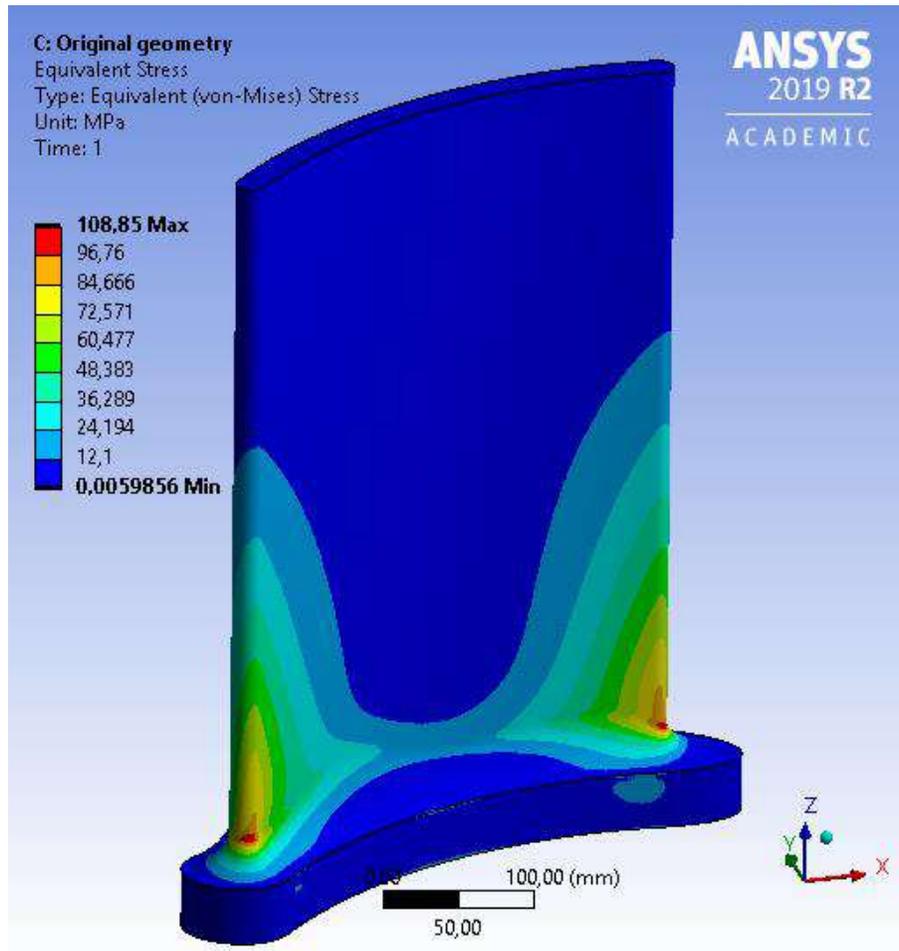
Incastro alla radice



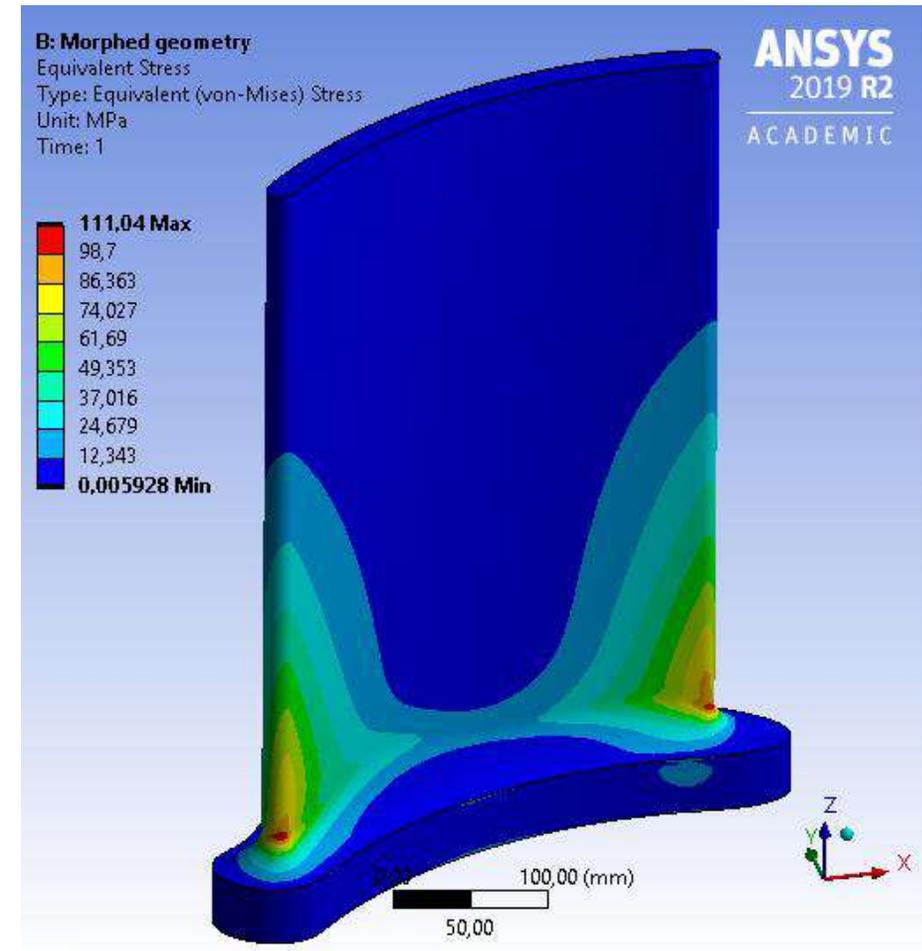
- Materiale omogeneo, isotropo, elastico lineare
- $E = 200 \text{ GPa}$
- $\nu = 0,3$
- $G = 76,9 \text{ GPa}$

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0,3			
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa		
12	Strain-Life Parameters				
20	S-N Curve	Tabular			
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		
28	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ C ⁻¹		
29	Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹		
30	Isotropic Relative Permeability	10000			
31	Isotropic Resistivity	1,7E-07	ohm m		

Originale
Stress max = 108,9 MPa



Aggiornato
Stress max = 111,0 MPa



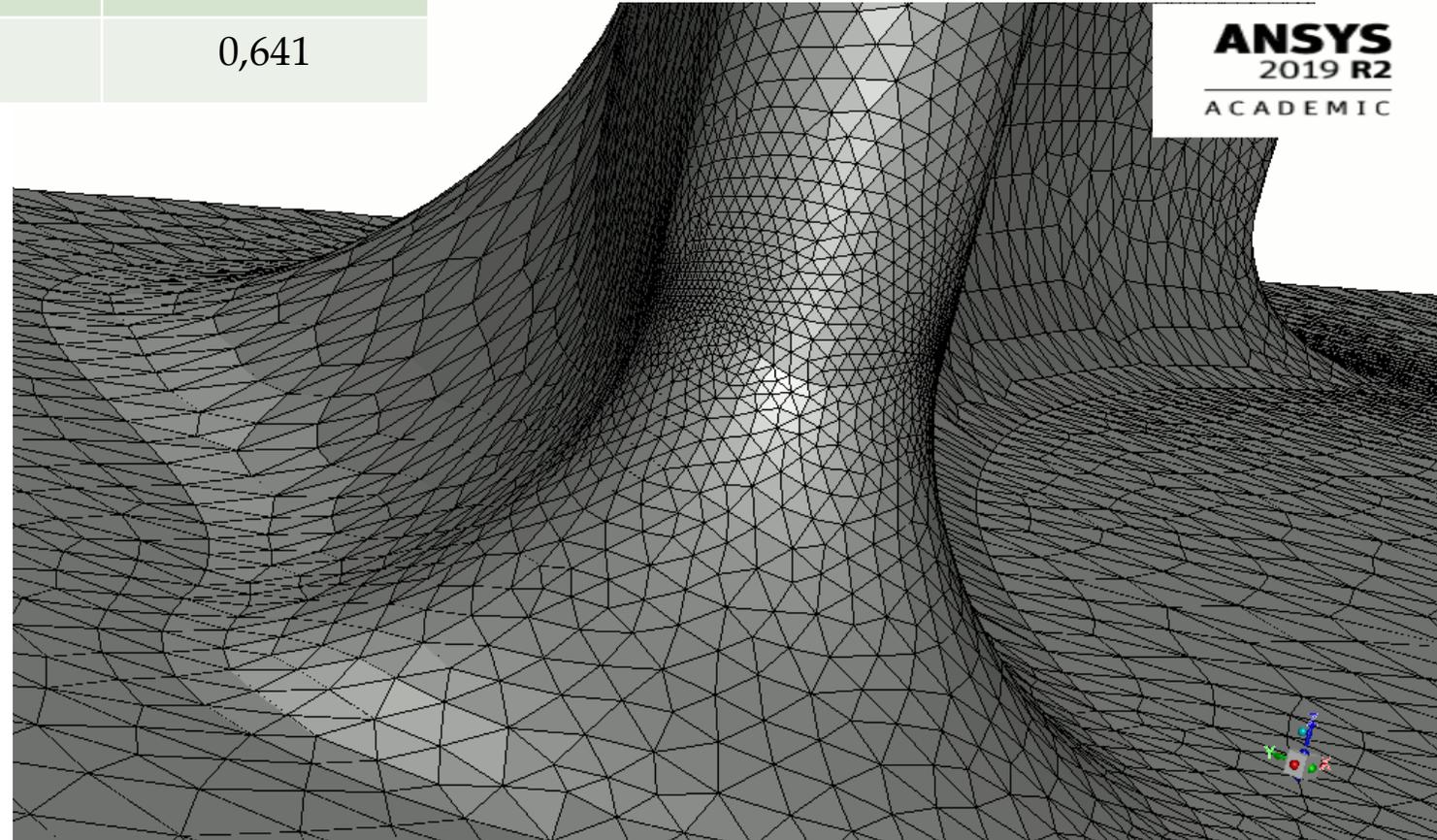
	Min Orthogonal Quality	Max Cell Skewness	Max Face Skewness
Originale	0,159	0,841	0,640
Aggiornata	0,160	0,841	0,641

Mesh tetraedrica

720335 celle

1540153 facce

183401 nodi



- Efficacia del metodo dimostrata dagli indici di qualità della mesh e dalle mappe di scostamento tra CAE aggiornato e Target
- Possibilità di determinare gli effetti degli errori di forma dal confronto dei parametri di prestazione dei modelli
- Sviluppi futuri: completa automazione del metodo e proiezione della mesh direttamente sulle superfici misurate

Grazie per l'attenzione!



TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

Tesi di Laurea Triennale

**VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI DI
COMPONENTI MECCANICI 'AS BUILT' MEDIANTE
L'USO DI TECNICHE DI MESH MORPHING**

Candidato:

Francesco Scarpitta

Relatore:

Prof. Marco E. Biancolini

Correlatore:

Ing. Emiliano Costa

Anno Accademico 2018-2019