



Università degli Studi di Roma Tor Vergata

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

‘Ottimizzazione Di Forma Strutturale BGM Alla Radice Di Pale Di Turbine Termiche’

Relatore:

M. E. Biancolini

Correlatore:

S. Porziani

(rbf-morph)™



Candidato:
Simone Putzu

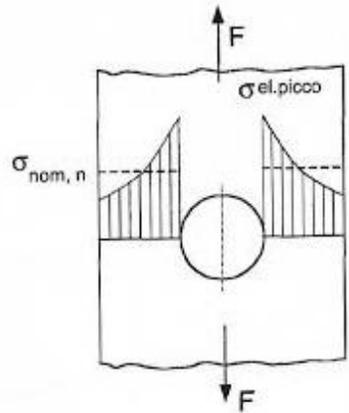
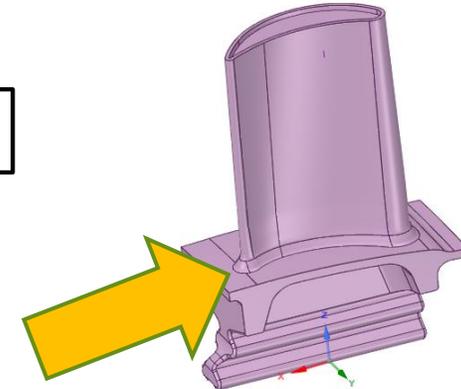
Anno Accademico 2017-2018

INDICE

- ▶ Problema della fatica nelle turbomacchine
- ▶ Obbiettivi del lavoro
- ▶ Background: caso studio con mesh morphing
- ▶ Metodo proposto
- ▶ Dettagli FEM - RBF - Submodeling
- ▶ Risultati
- ▶ Conclusioni

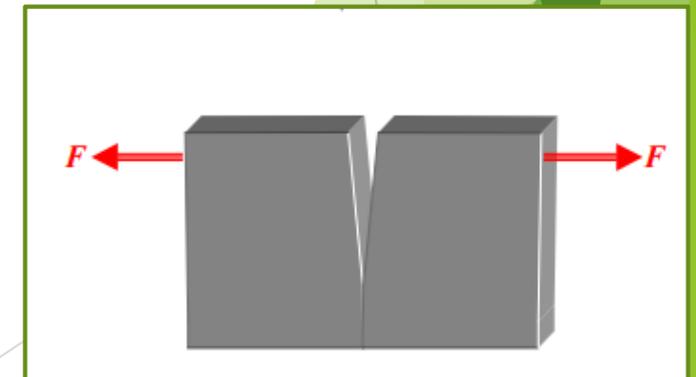
FATICA NELLE TURBOMACCHINE

Ambiente in temperatura corrosivo → cricche di superficie

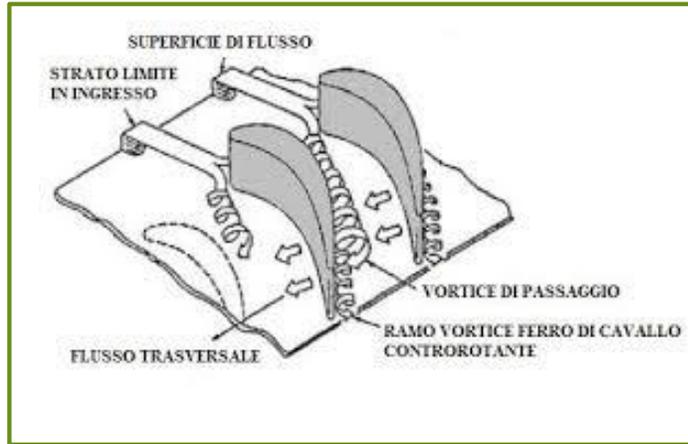


Intensificazione degli sforzi sulle cricche ← carichi affaticanti

Superamento limite elastico → apertura e propagazione delle cricche



MODELLO: condizioni di carico e analisi tensione



CONDIZIONI DI CARICO REALI:

- Vibrazioni flessionali;
- Sollecitazione centrifuga;
- Carico flessionale dovuto al flusso vorticità;
- Urti.

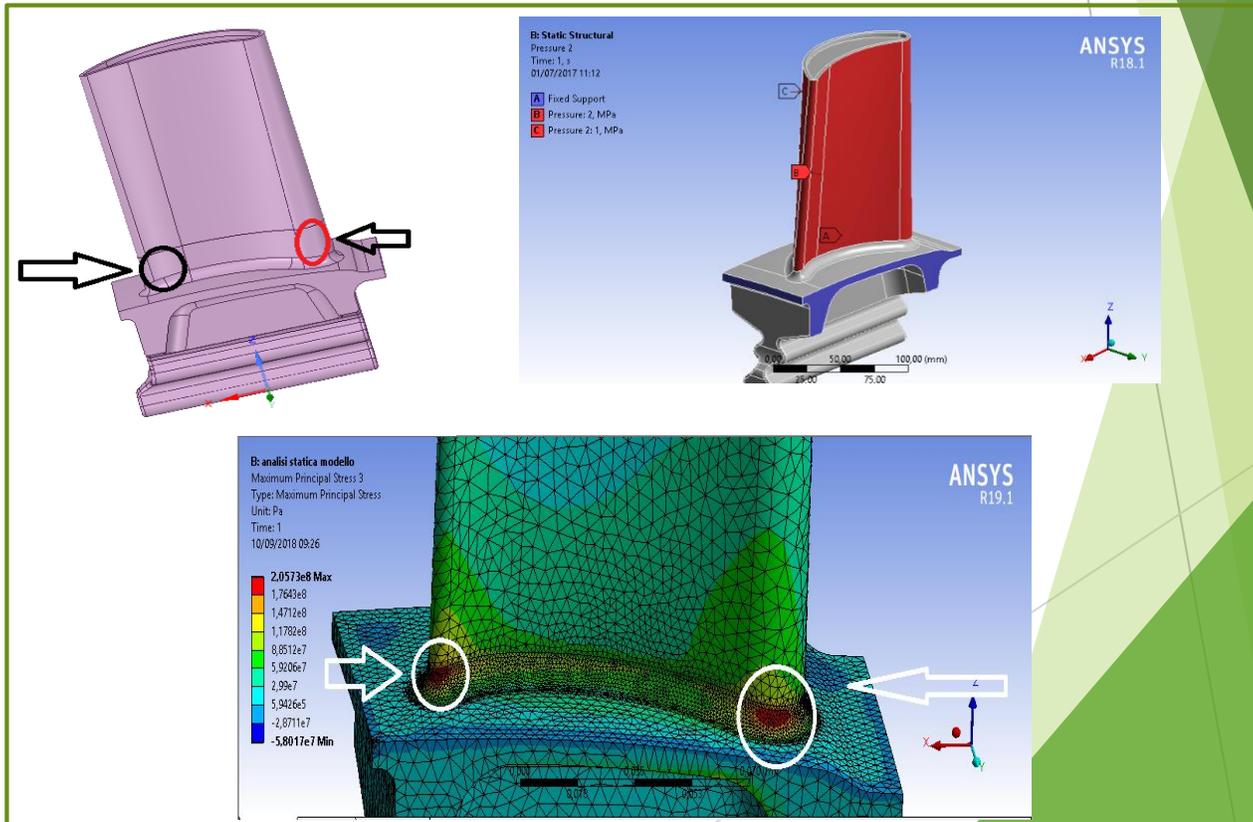
CONDIZIONI DI CARICO EQUIVALENTE:

- 1MPa nel Bordo in depressione;
- 2MPa nel Bordo in pressione;
- Base bloccata;

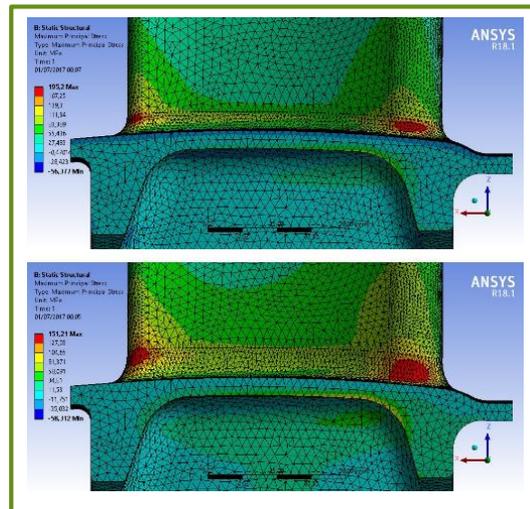
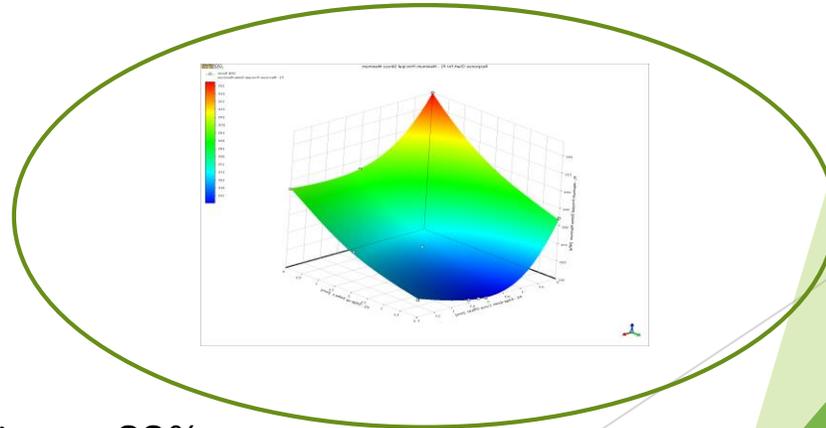
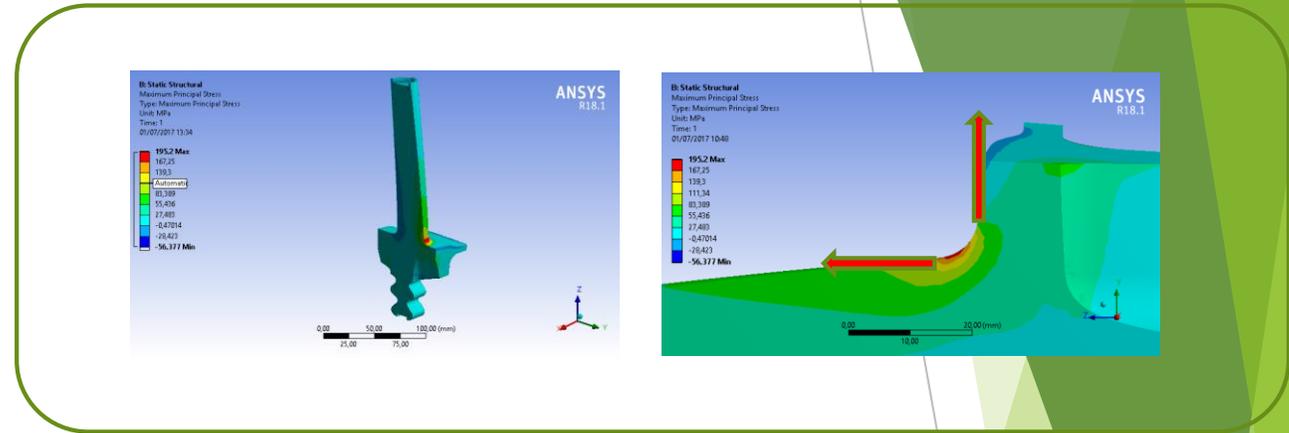
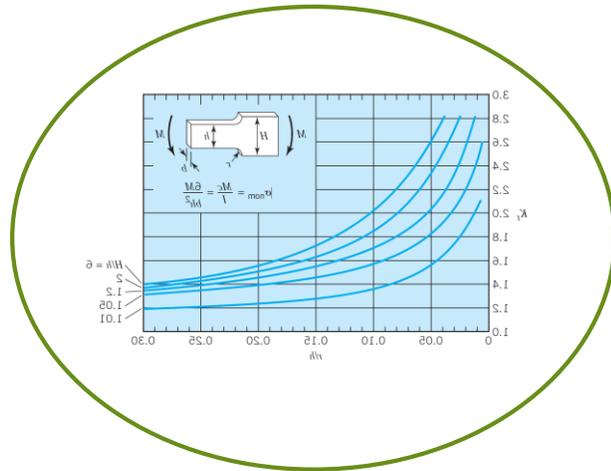


197.26 MPa (hotspot sinistro)

205.73 Mpa (hotspot destro)



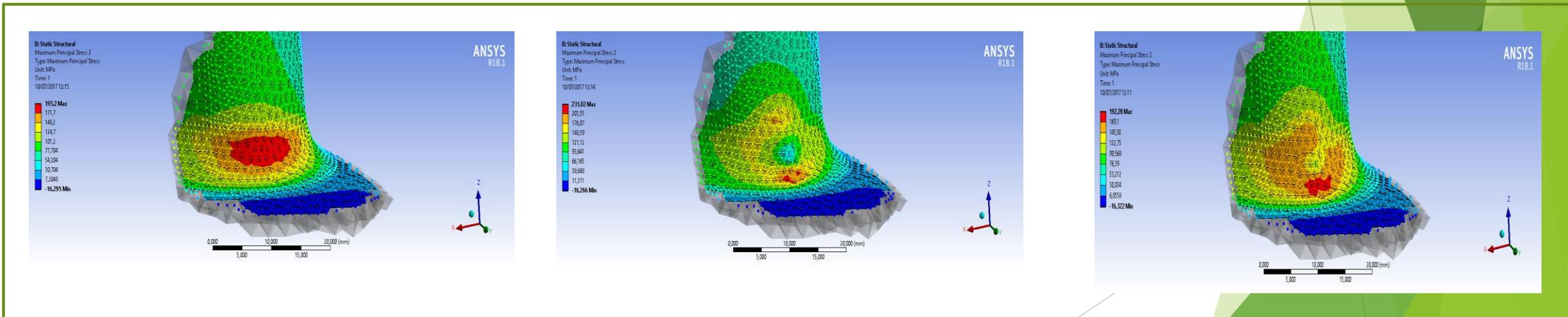
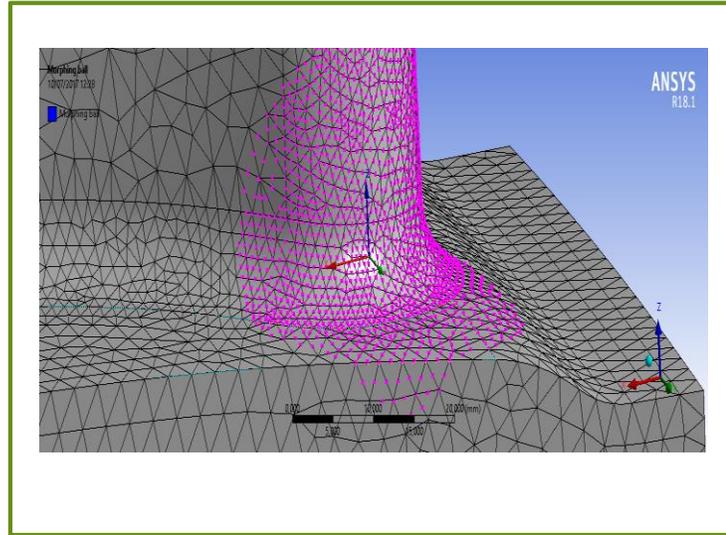
RIDURRE CONCENTRAZIONE DI TENSIONE CON RBF MORPH



Riduzione di tensione: 22%

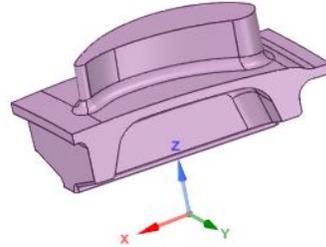
RIDURRE CONCENTRAZIONE DI TENSIONE: Local Sculpting Approach

Riduzione di tensione: 7%



METODO PROPOSTO

Sottomodello

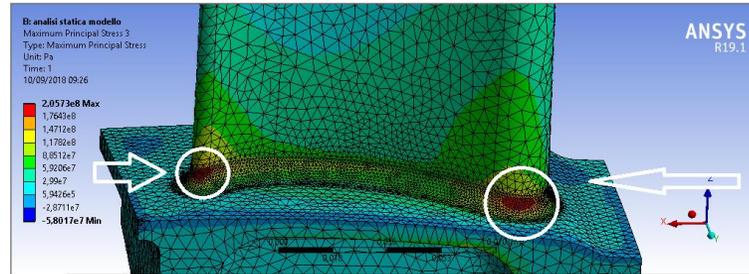


Geometria Di Base

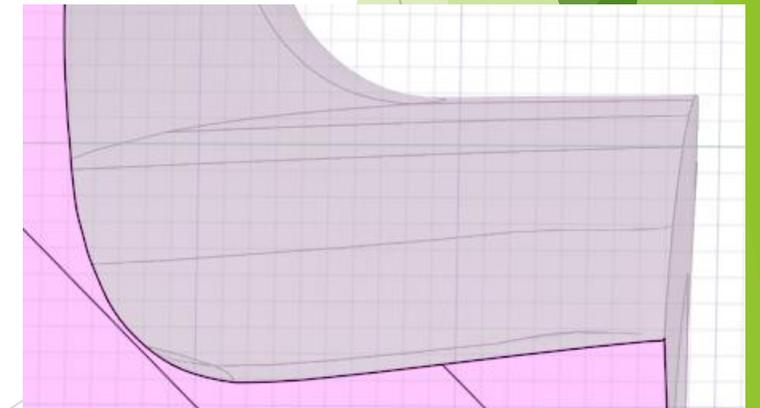
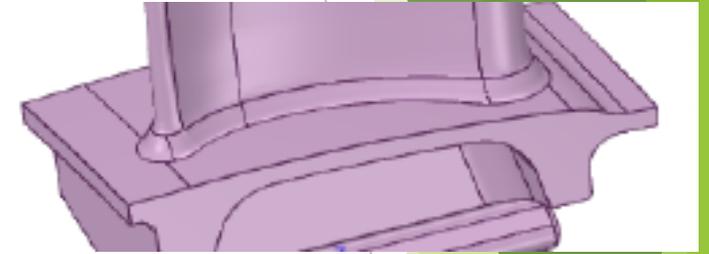


Biological Growth Method

Metodo Agli Elementi Finiti



Geometria Ottimizzata

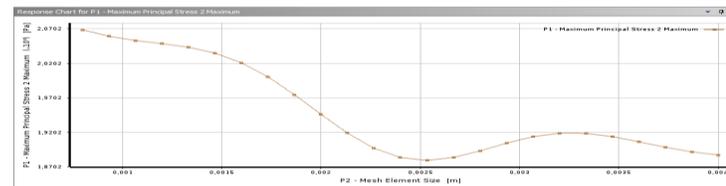


ANALISI SENSIBILITA' MESH



Workflow

Mesh



Convergenza mesh



1.6 mm



Elementi di 3 mm con rifinizione di 1 mm alla radice

Dimensione elementi mesh



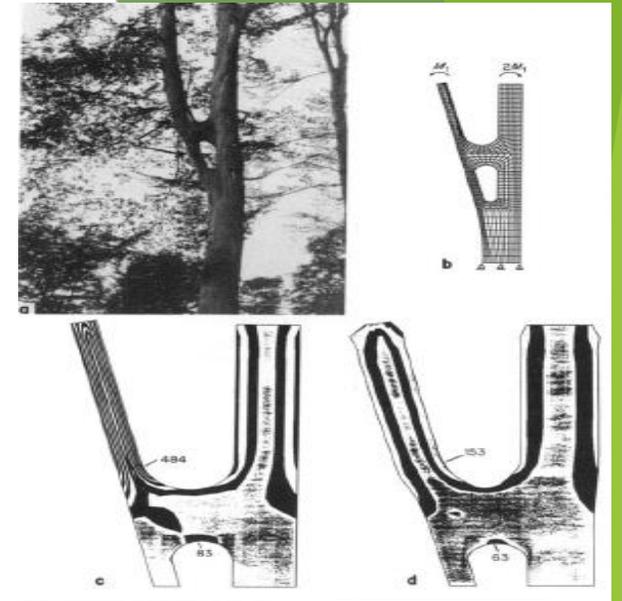
Bontà soluzione



Tempi di calcolo

Biological Growth Method (BGM)

- Introdotto da Mattheck nel 1990;
- La crescita delle strutture biologiche è guidata dal livello locale di tensione dovuta ai carichi presenti;
- L'algoritmo è applicato in superficie. Il materiale può essere addotto o rimosso in accordo con il livello dello stato di tensione;
- L'idea del BGM è che la crescita locale può essere espressa tramite una legge lineare, fissato un valore soglia di tensione;
- L'idea è stata rivista nel nel Multi Peaks Approach proposto da Waldam.



$$\epsilon_{sw} = \beta[\sigma(x, y, z) - \sigma_{ref}] \quad \forall x, y, z \in D$$

$$\epsilon_{sw} = \beta[\sigma(x, y, z) - \sigma_{ref}]\Delta t$$

$$\begin{cases} \epsilon_x = 1/E[\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] + \alpha\Delta\theta \\ \epsilon_y = 1/E[\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] + \alpha\Delta\theta \\ \epsilon_z = 1/E[\sigma_z - \nu(\sigma_y + \sigma_x)] + \alpha\Delta\theta \end{cases}$$

$$\epsilon_x \approx \epsilon_y \approx \epsilon_z \approx \alpha\Delta\theta \approx \epsilon_{sw}$$

$$\epsilon_{sw} = \alpha\Delta\theta(x, y, z) \quad \forall x, y, z \in D$$

$$\Delta t \iff \alpha$$

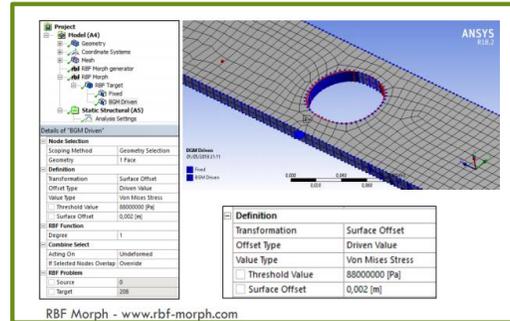
$$\beta[\sigma(x, y, z) - (\sigma_{ref})] \iff \Delta\theta(x, y, z)$$

$$\begin{cases} x = x + ku(x, y, z) \\ y = y + kv(x, y, z) \\ z = z + kw(x, y, z) \end{cases}$$

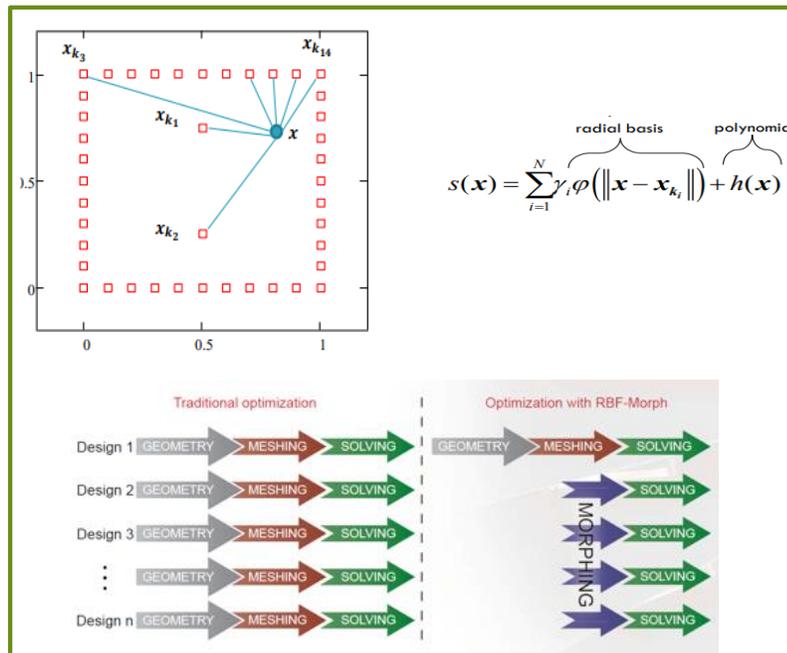
$$d_i^j = \frac{(\sigma_i^j - \sigma_{th}^j)}{\sigma_{th}^j} sc$$

$$\begin{cases} \sigma_{th}^j = \max(\sigma_i^j) & \sigma_i^j \geq 0 \\ \sigma_{th}^j = \min(\sigma_i^j) & \sigma_i^j < 0 \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

IL BGM DI RBF MORPH



- L'algoritmo è guidato da un 'Driven Value' come può essere la tensione equivalente di Von Mises, tensione principale massima ect;
- Si può controllare lo spostamento massimo tra due nodi;

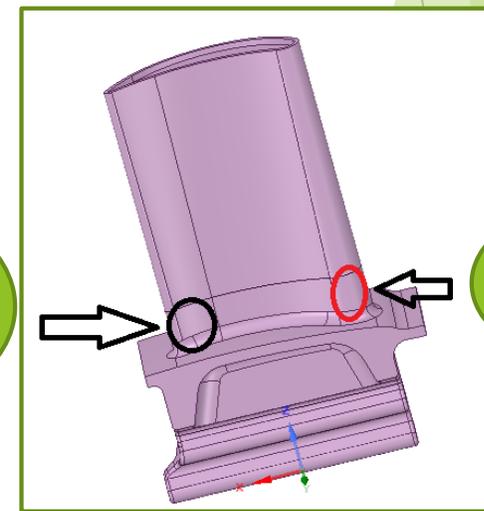


- Le coordinate dei nodi spostati, o lasciati invariati, dal BGM vengono passati alla funzione RBF;
- La funzione RBF interpola una funzione nota in punti discreti e permette di aggiornare la griglia;

OTTIMIZZAZIONI

- HOTSPOT 1 in ottica : Additive Manufacturing e Vincolo di Fabbricazione;
- HOTSPOT 2 in ottica : Additive Manufacturing e Vincolo di Fabbricazione;
- HOTSPOT 1+2 in ottica : Additive Manufacturing e Vincolo di Fabbricazione;
- SENZA SUBMODELLING: Additive Manufacturing e Vincolo di Fabbricazione.

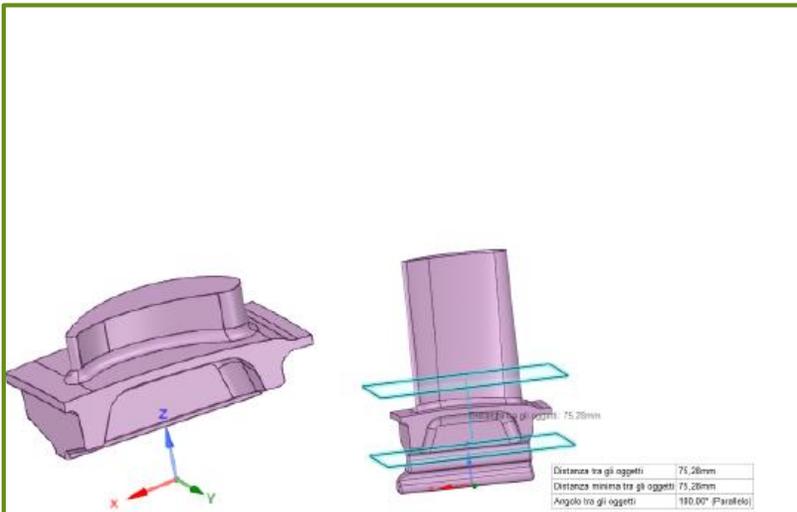
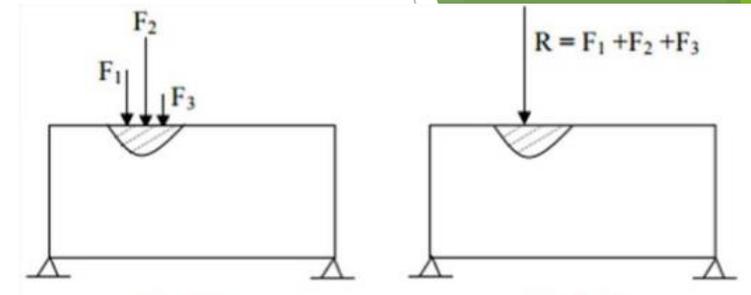
Hotspot 1



Hotspot 2

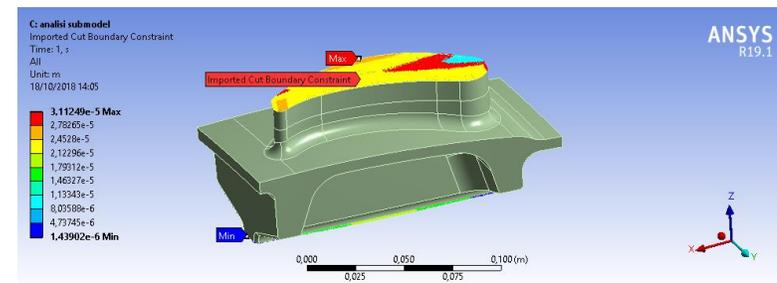
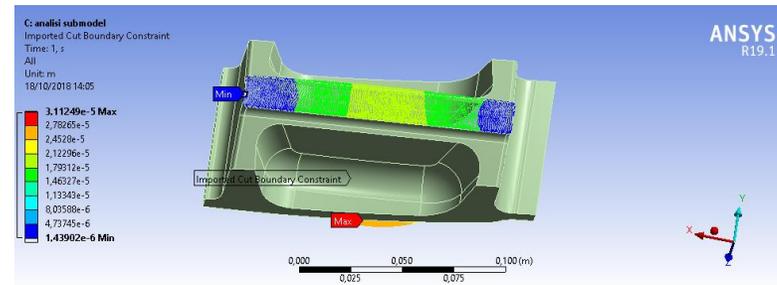
SOTTOMODELLO

Principio di De Saint Venant

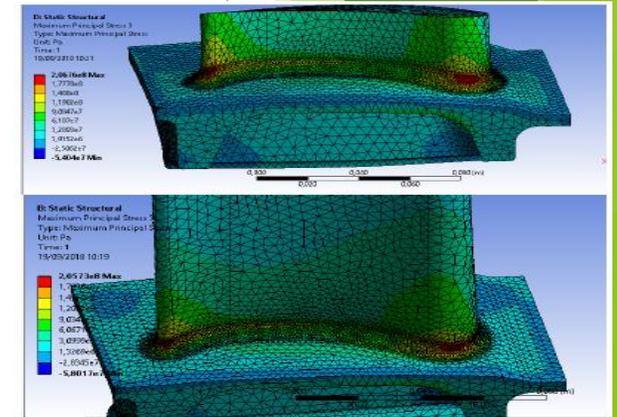


ESTRAZIONE SOTTOMODELLO:

- Riduzione tempi calcolo
- Infittimento mesh



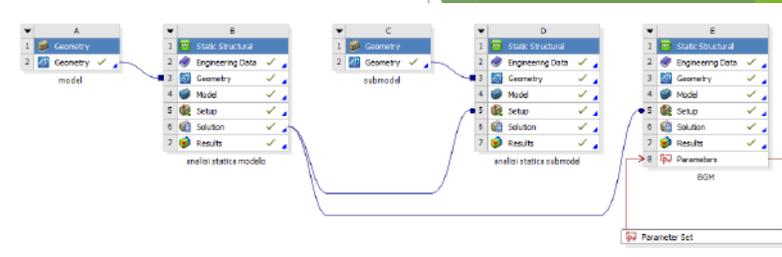
Applicazione Condizioni Al Contorno



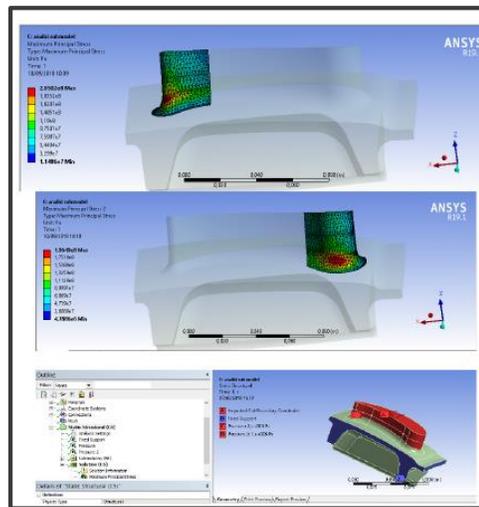
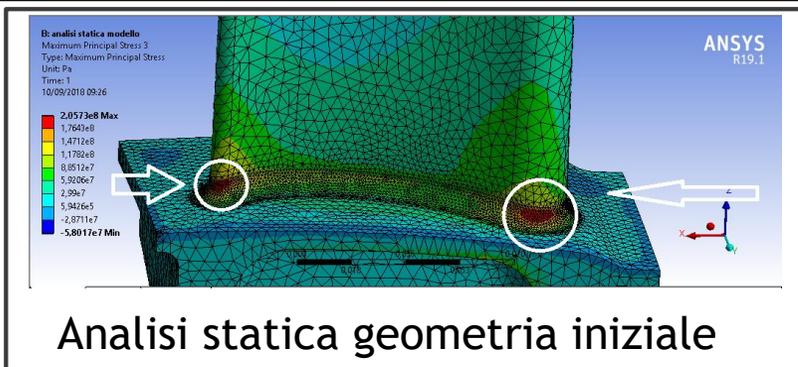
Validazione Sottomodello:

- 0.39% nell'hotspot sinistro
- 0.34% nell'hotspot destro

WORKFLOW OTTIMIZZAZIONE HOTSPOT 1



Workflow



Applicazioni condizioni al contorno al sottomodello

- 0.39% Hotspot sinistro
- 0.34% Hotspot destro

Parametri ottimizzazione

Outline of All Parameters				Table of Design Points			
ID	Parameter Name	Value	UNIT	A	B	C	D
1	Input Parameters			1	DP 1	1	1
2	BGH (EQ)			2	DP 0	0	2
3	RBF Morph Shape ID	4		3	DP 1	1	2
4	Output Parameters			4	DP 2	2	2
5	P1	Maximum Principal Stress 3 Maximum	1.5795E+08	Pa	5	DP 0 (Current)	4
6	P2	Maximum Principal Stress 2 Maximum	2.0581E+08	Pa	6	DP 1	5
7	P3	Maximum Principal Stress 3 Maximum	1.5795E+08	Pa	7	DP 0	6
8				8	DP 7	7	2
9				9	DP 8	8	2

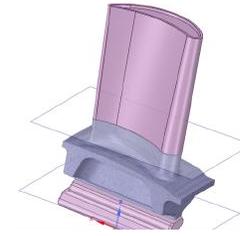
Proprietà di Schema: Parameter Set

ID	Property	Value
1	Solution Process	Run in Preprocessor
2	Update Option	Run in Preprocessor
3	Design Point Update Process	From Previous Update
4	Design Point Selection	From Previous Update
5	Format Update	None
6	Retain Part to Update	None
7	Retained Design Point	Update parameters
8	License Control	On-demand
9	License Checkout	On-demand
10	Design Point Report	None
11	Report Stage	None

Scelta Design Point

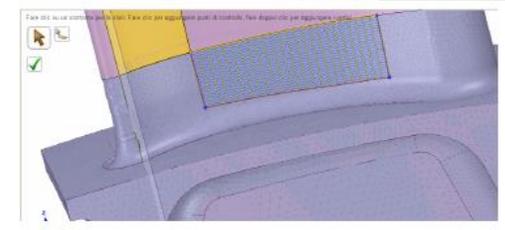
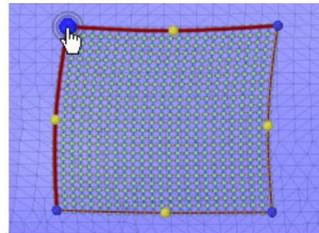
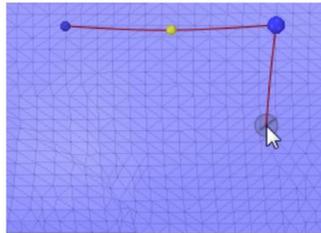


RICOSTRUZIONE GEOMETRIA

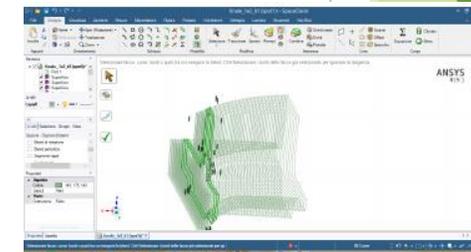
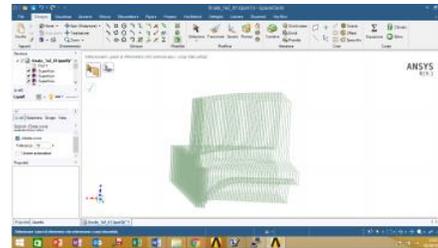
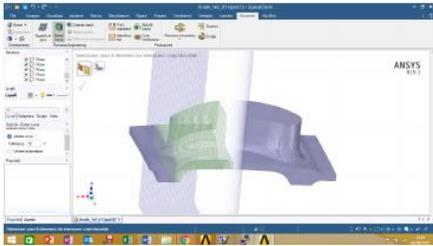


Additive Manufacturing

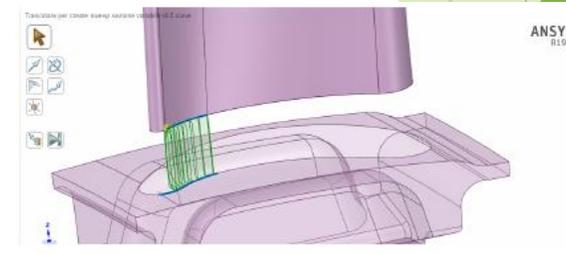
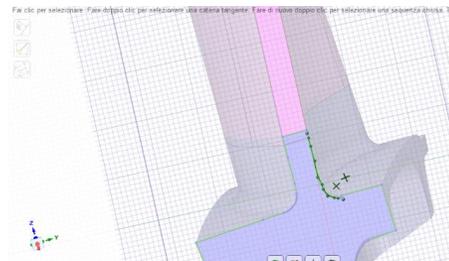
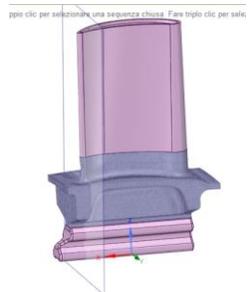
1



2



Vincolo Fabricazione



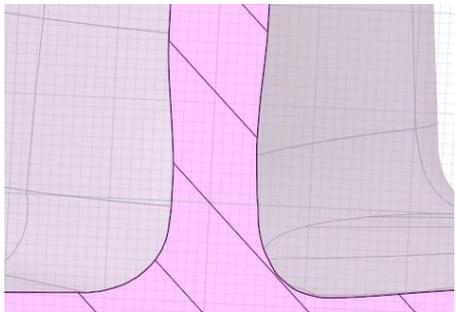
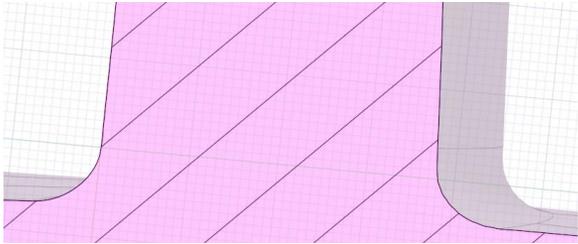
VALIDAZIONE GEOMETRIA OTTIMIZZATA

	A	B	C	D	E
1	Name	P1 - RBF Morph Shape ID	P2 - Maximum Principal Stress Maximum	P3 - Maximum Principal Stress 2 Maximum	Retain
2	Units		Pa	Pa	
3	DP 9	4	1,8911E+08	1,9815E+08	<input checked="" type="checkbox"/>
4	DP 8	3	1,9131E+08	1,9815E+08	<input checked="" type="checkbox"/>
5	DP 7	2	1,936E+08	1,9816E+08	<input checked="" type="checkbox"/>
6	DP 6	1	1,96E+08	1,9817E+08	<input checked="" type="checkbox"/>
7	DP 5	0	1,9853E+08	1,9818E+08	<input checked="" type="checkbox"/>
8	DP 45	40	1,6315E+08	1,9799E+08	<input checked="" type="checkbox"/>
9	DP 44	39	1,6407E+08	1,9801E+08	<input checked="" type="checkbox"/>
10	DP 43	38	1,65E+08	1,9802E+08	<input checked="" type="checkbox"/>
11	DP 42	37	1,6597E+08	1,9805E+08	<input checked="" type="checkbox"/>
12	DP 41	36	1,6693E+08	1,9806E+08	<input checked="" type="checkbox"/>
13	DP 40 (Current)	35	1,5593E+08	1,9787E+08	<input checked="" type="checkbox"/>
14	DP 39	34	1,5666E+08	1,9789E+08	<input checked="" type="checkbox"/>
15	DP 38	33	1,5742E+08	1,979E+08	<input checked="" type="checkbox"/>
16	DP 37	32	1,5818E+08	1,9792E+08	<input checked="" type="checkbox"/>
17	DP 36	31	1,5896E+08	1,9793E+08	<input checked="" type="checkbox"/>

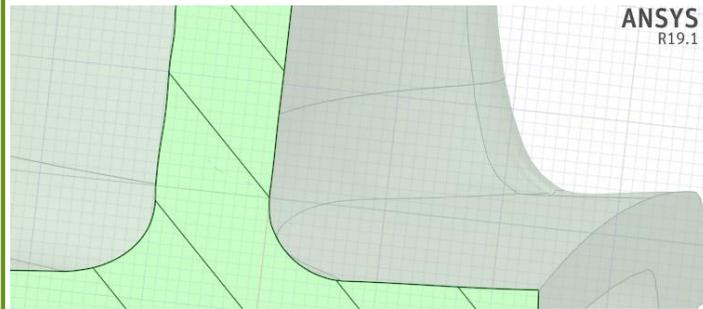
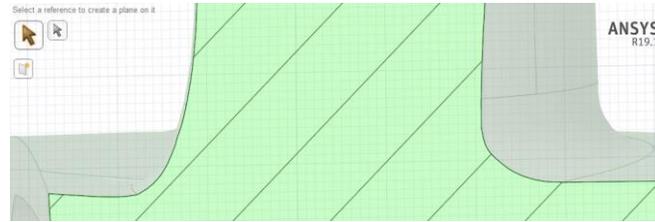
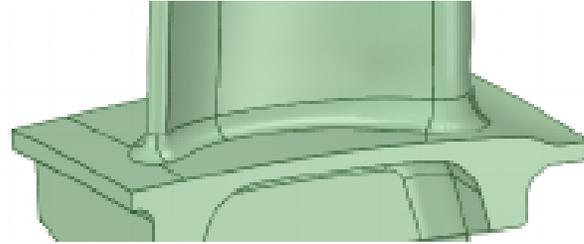


Scarto: 4-8%

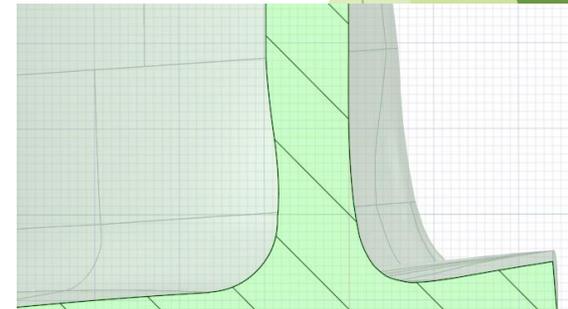
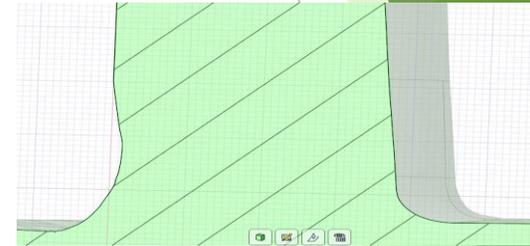
GEOMETRIE: Additive Manufacturing



Hotspot 1

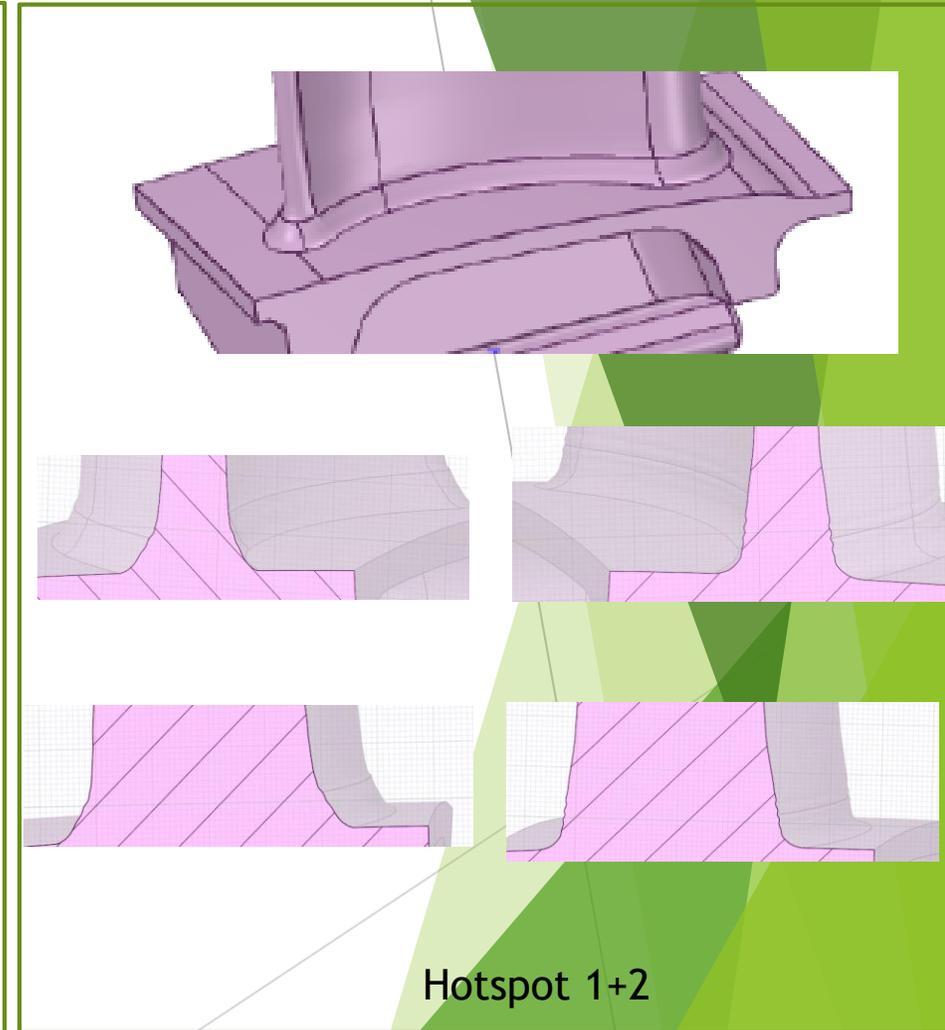
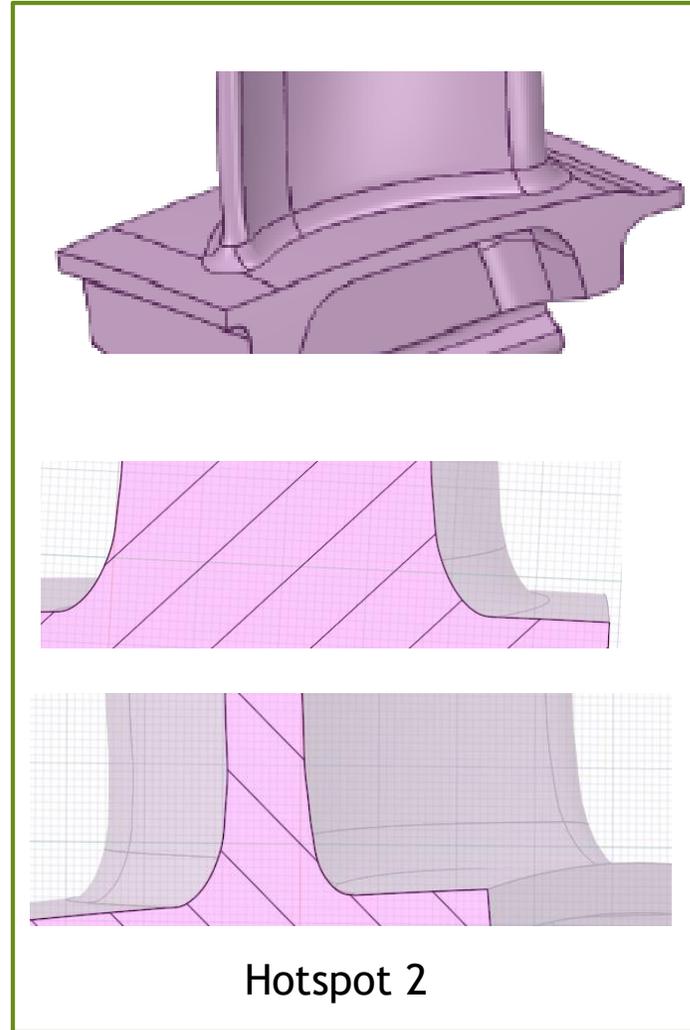
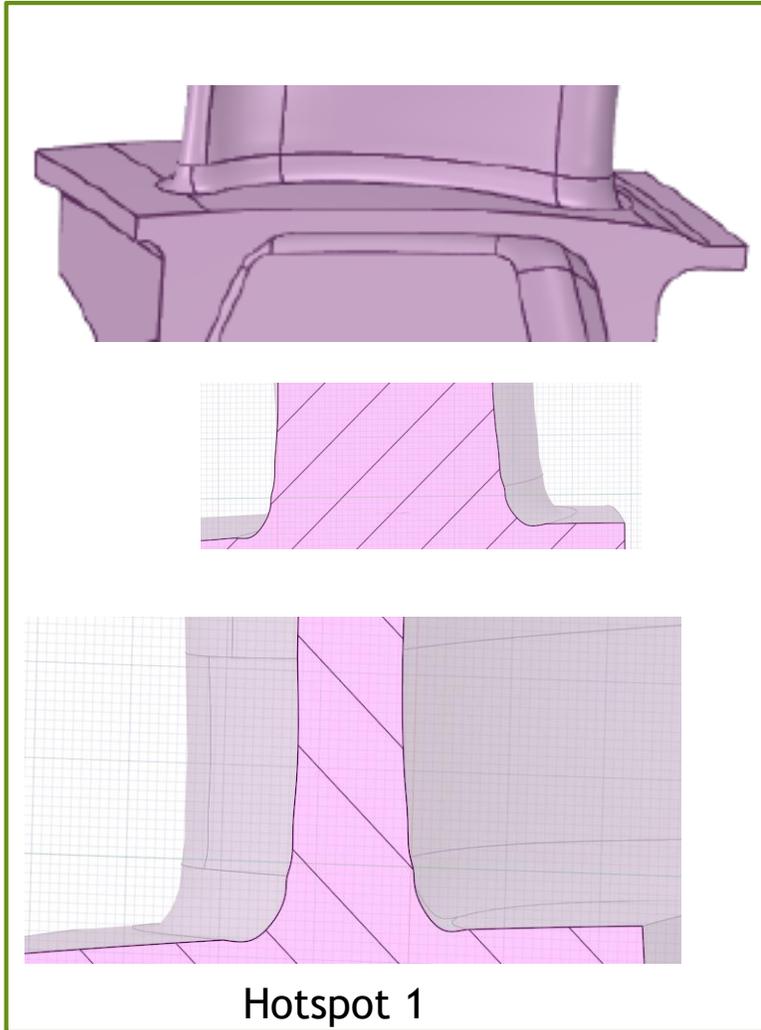


Hotspot 2

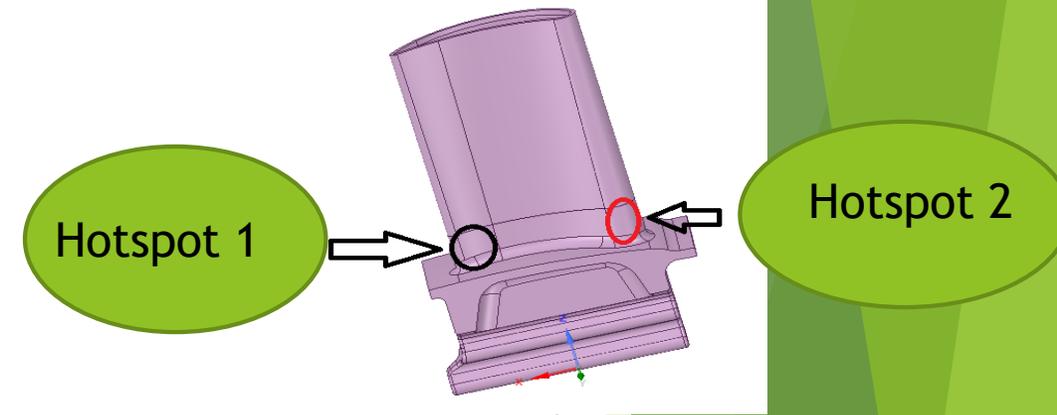


Hotspot1+2

GEOMETRIE: Vincolo Fabricazione



RISULTATI



	Tensione Principale Massima Hotspot1 (MPa)	Tensione Principale Massima Hotspot2 (MPa)	Riduzione Percentuale Massima	Peso (Kg)
Geometria Base	205,73	197,26		6,761
Ott. Hotspot 1 (v.f.)	160,79	195,97	21,85%	6,766
Ott. Hotspot 2 (v.f.)	137,22	156,21	33%	6,776
Ott. Hotspot 1+2 (v.f.)	163,64	161,16	20.5%	6,82
Ott. Hotspot 1 (A.M.)	174,13	200	15,35%	6,743
Ott. Hotspot 2 (A.M.)	213	167,45	15,11%	6,732
Ott. Hotspot 1+2 (A.M.)	171	175,9	17%	6,82

CONCLUSIONI

- ▶ Riduzioni maggiori di tensione rispetto ai casi di partenza;
- ▶ Algoritmo automatico di ottimizzazione;
- ▶ Riduzioni maggiori mantenendo il vincolo di fabbricazione rinunciando alla completa automatizzazione del processo;
- ▶ Peso circa costante.

POSSIBILI SVILUPPI FUTURI

- Si potrebbe implementare in software l'algoritmo di ottimizzazione con workflow manuale complesso. L'ACT comunque già permette di mantenere vincoli di lavorazione cilindrici e lungo una direzione retta;
- Dal punto di vista tecnologico sarebbe utile capire quali sono le forme realmente realizzabili in Additive Manufacturing e confrontarle con quelle ottenute applicando il BGM. Le pale di turbine realizzate in Additive Manufacturing, infatti, necessitano di una lavorazione alle macchine utensili dopo essere state stampate.



Università degli Studi di Roma Tor Vergata

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

‘Ottimizzazione Di Forma Strutturale BGM Alla Radice Di Pale Di Turbine Termiche’

Relatore:

M. E. Biancolini

Correlatore:

S. Porziani

(rbf-morph)™



Candidato:
Simone Putzu

Anno Accademico 2017-2018