

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

***Relazione per la prova finale  
«Analisi parametriche FEM di  
riscaldamento ad induzione»***

Tutor universitario:

Prof. Forzan Michele

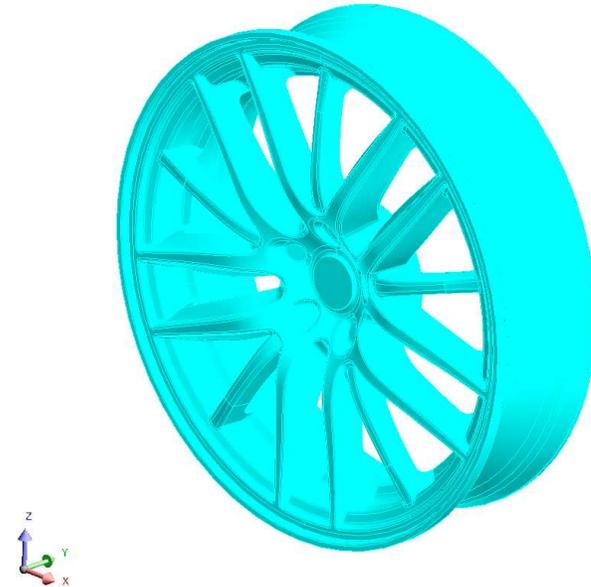
Laureando: *Lazzaro Gianmarco*

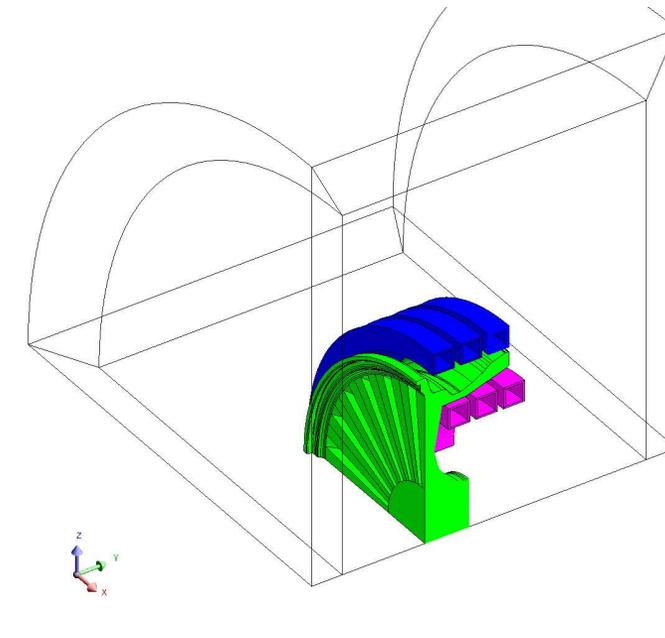
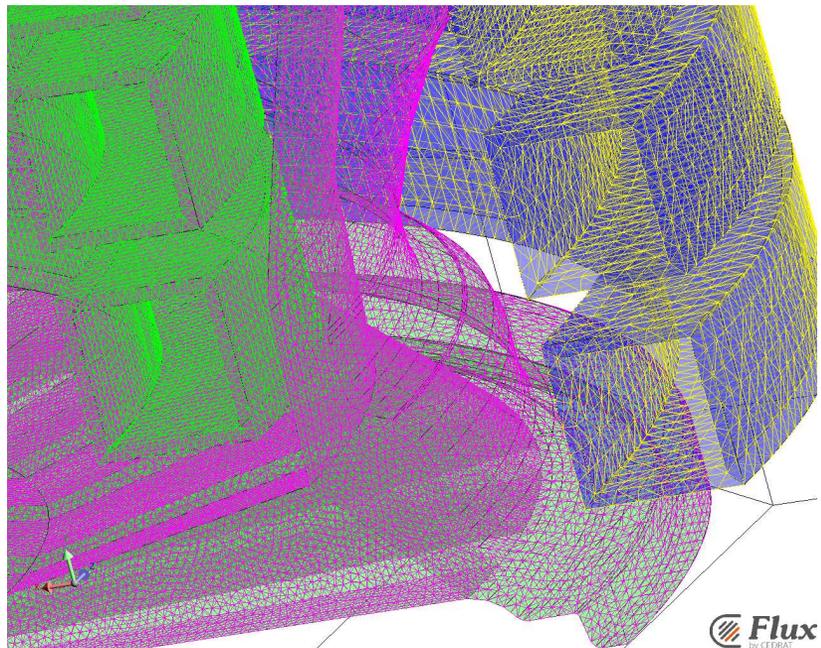
Padova, 24/11/2023

NEL CONTENUTO DI QUESTA ANALISI ABBIAMO UTILIZZATO IL SOFTWARE FLUX PER SIMULARE IL PROCESSO DI RISCALDAMENTO DI UN CERCHIONE AUTOMOBILISTICO MEDIANTE INDUZIONE ELETTROMAGNETICA.

GLI OBIETTIVI PRINCIPALI SONO:

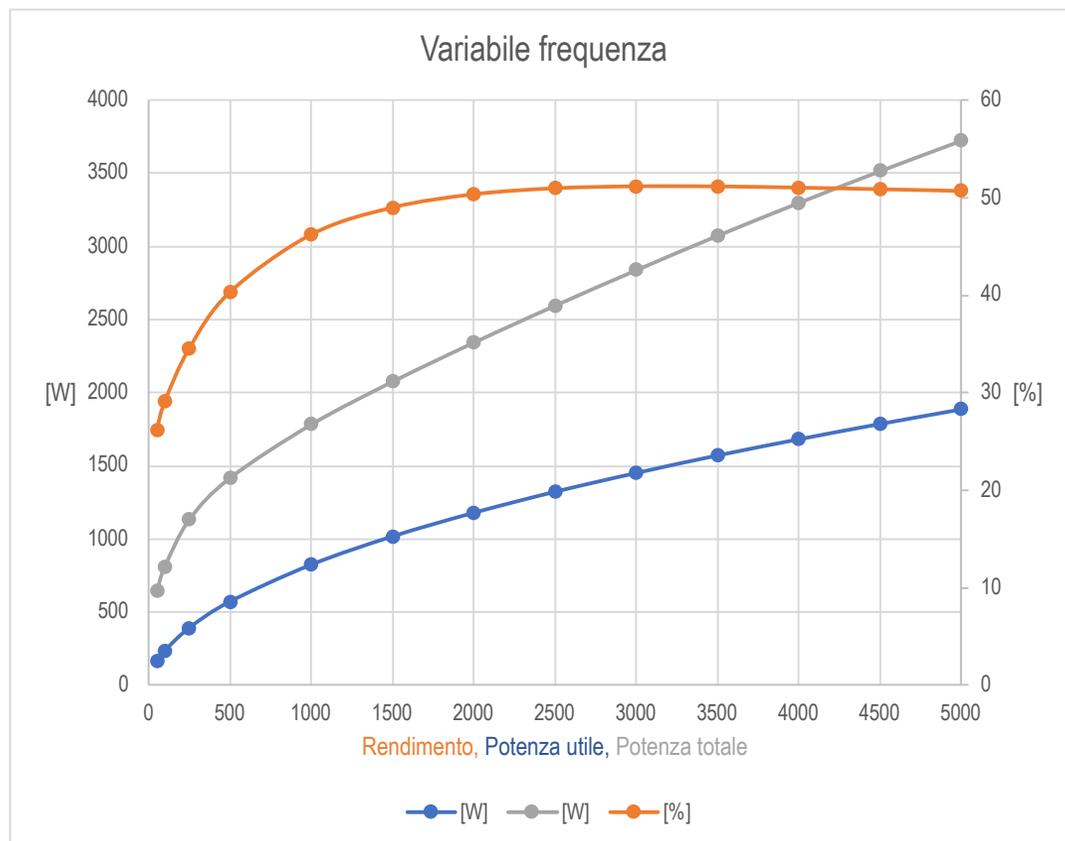
- RAGGIUNGERE UNA TEMPERATURA DI 500°C SULLA SPALLA DEL CERCHIONE, IN MODO DA ESEGUIRE CORRETTAMENTE IL PROCESSO DI FORMATURA
- DISTRIBUIRE UNIFORMEMENTE LE TEMPERATURE SU TUTTO IL VOLUME DEL CERCHIONE (MOZZO, RAGGI, LAMA)





- IL CERCHIONE È STATO SEMPLIFICATO RISPETTO AL MODELLO REALE IN 3D
- SFRUTTANDO LE SIMMETRIE VIENE RIDOTTO AD UN QUARTO DELLA SUA FORMA ORIGINALE
- USIAMO IL COMANDO «INFINITE BOX» PER DEFINIRE LE CONDIZIONI AL CONTORNO
- CAMPO MAGNETICO TANGENTE AI PIANI DI SIMMETRIA
- CAMPO DI CORRENTE NORMALE AI PIANI DI SIMMETRIA
- CREIAMO LA MESH SUI VOLUMI DI ARIA, INDUTTORI E CERCHIONE

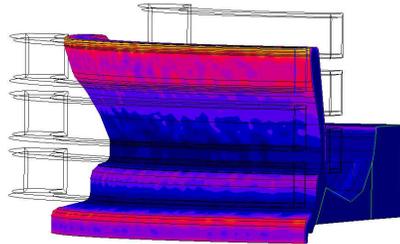
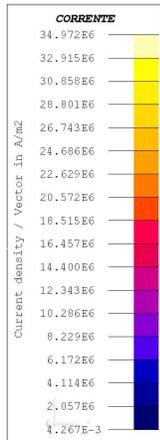
MODELLO	REALE	BASE
Volume [m <sup>3</sup> ]	7,66E-03	8,61E-03
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	2700	2700
Peso [kg]	20,68	23,25



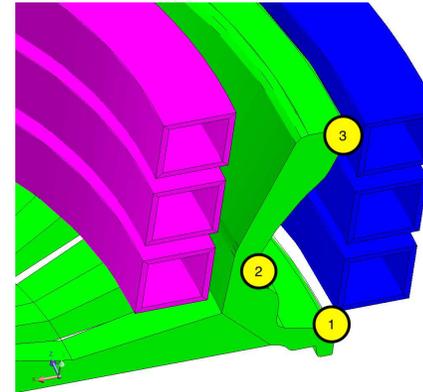
- IL RENDIMENTO MASSIMO E' ATTORNO A 2000-3000 HZ
- IL NUMERO DI SPIRE E' INVERSAMENTE PROPORZIONALE AL RENDIMENTO
- IL MODELLO A SOLE SPIRE INTERNE E' MENO EFFICIENTE
- IL MODELLO A SPIRE ACCOPPIATE SI COMPORTA COME QUELLO A SPIRE ESTERNE

## SCEGLIAMO:

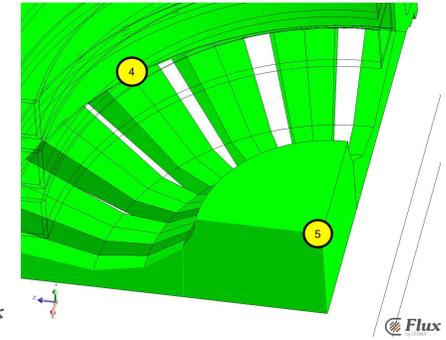
- FREQUENZA A 2000 HZ
- TRE SPIRE
- INDUTTORE ESTERNO E INTERNO ACCOPPIATI



IN FIGURA LA SOLUZIONE  
AL PROBLEMA MAGNETICO



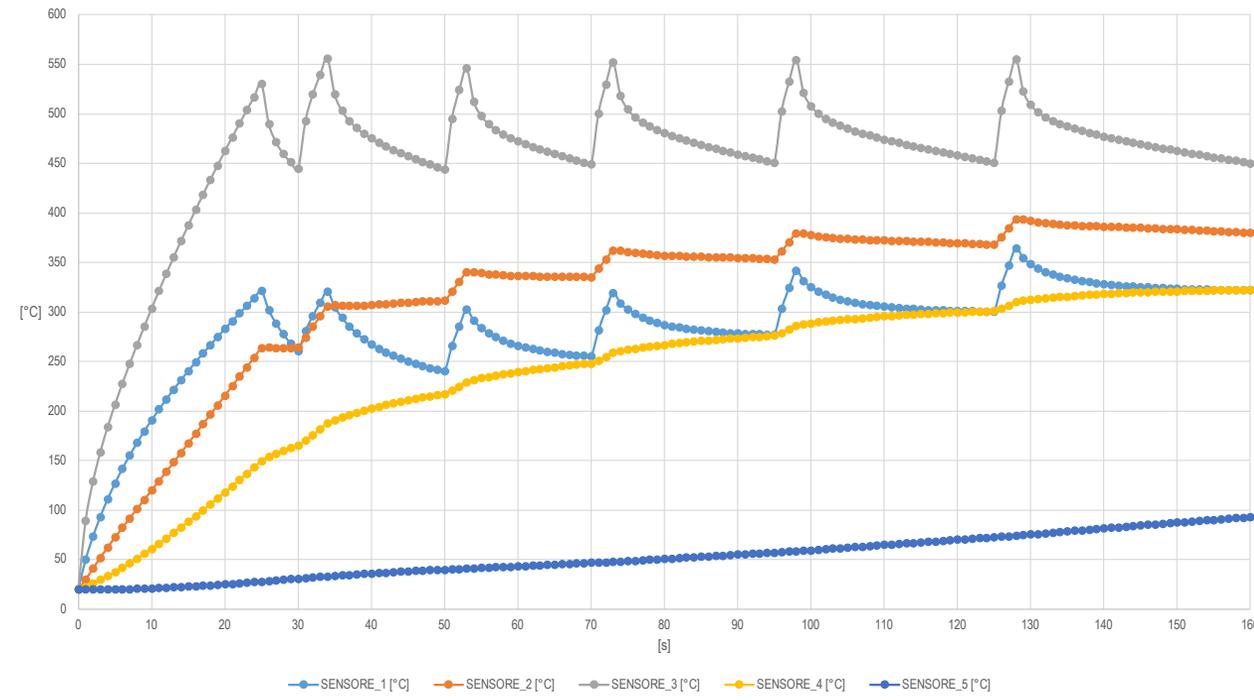
• SENSORI TERMICI



Flux

Flux

SOLUZIONE TERMICA BASE

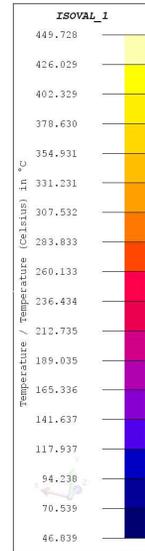
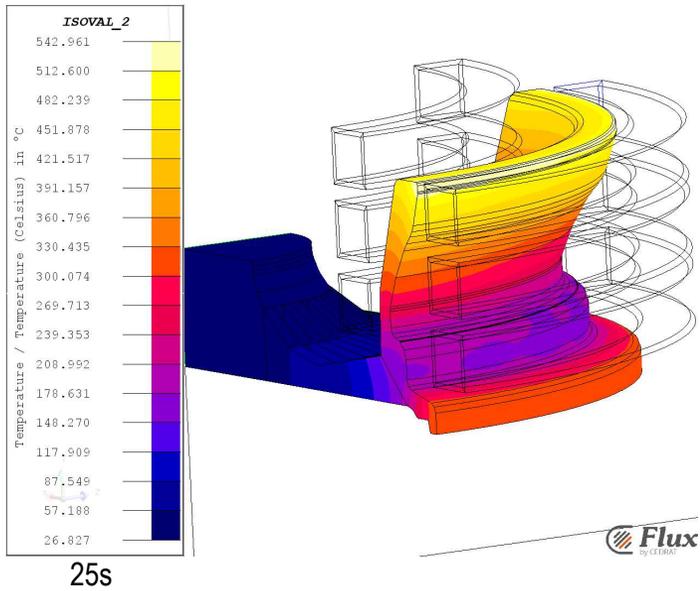


### OSSERVAZIONI:

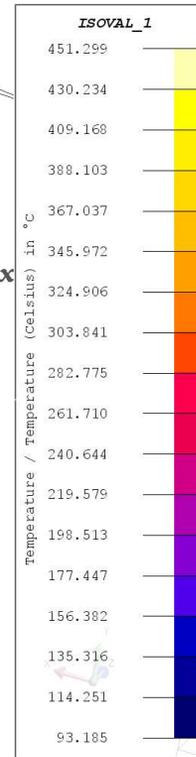
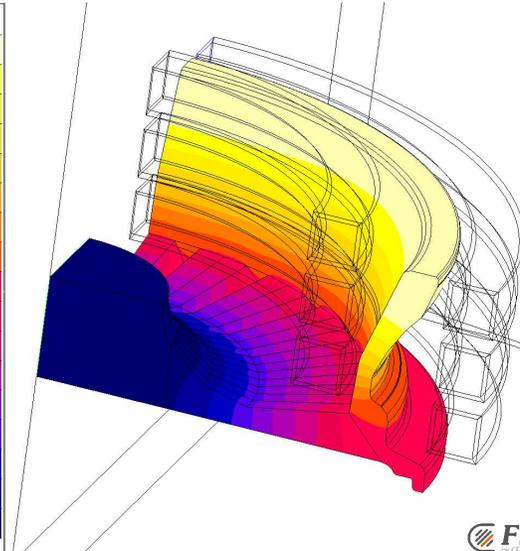
- I SENSORI 1, 2 E 3, CHE SI TROVANO SULLA SPALLA DEL CERCHIONE, PRESENTANO UN ANDAMENTO DISCONTINUO
- IL SENSORE 5, POSIZIONATO SUL CENTRO DEL MOZZO, REGISTRA UNA TEMPERATURA CHE SALE ABBASTANZA LINEARMENTE FINO A CIRCA 100°C.
- IL TEMPO DI RISCALDAMENTO DIMINUISCE
- IL TEMPO DI RAFFREDDAMENTO AUMENTA

QUESTO MODELLO NON E' ABBASTANZA EFFICIENTE

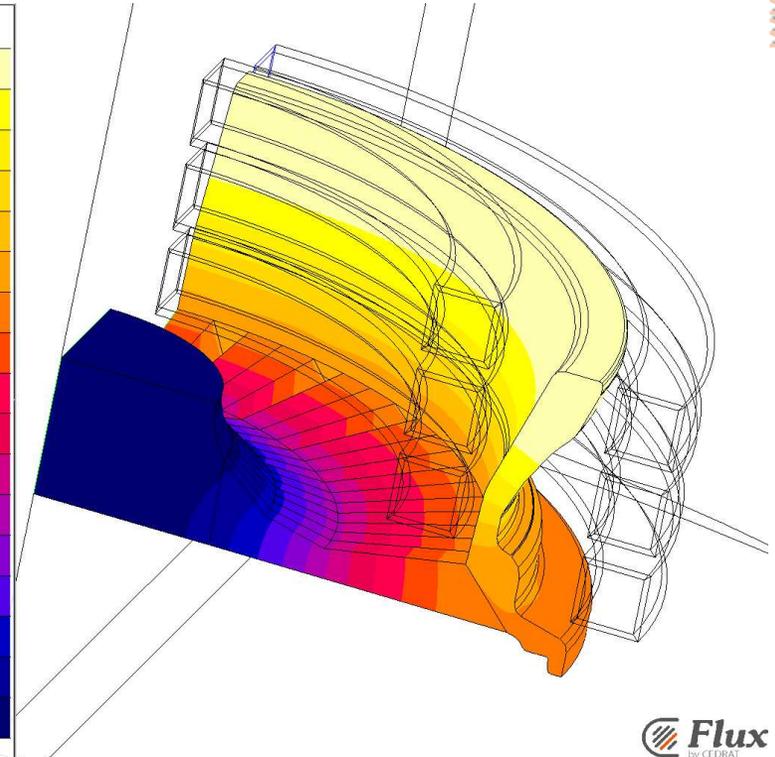
DI SEGUITO ALCUNE IMMAGINI DI FINE STEP  
RISCALDAMENTO/RAFFREDDAMENTO.

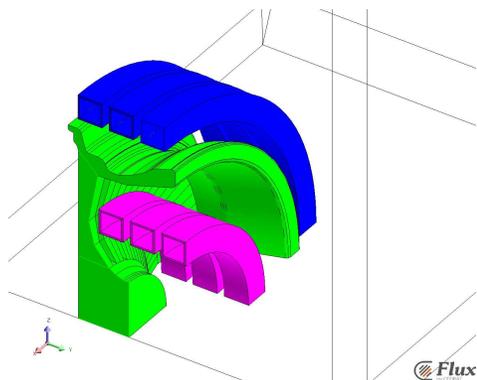


70s

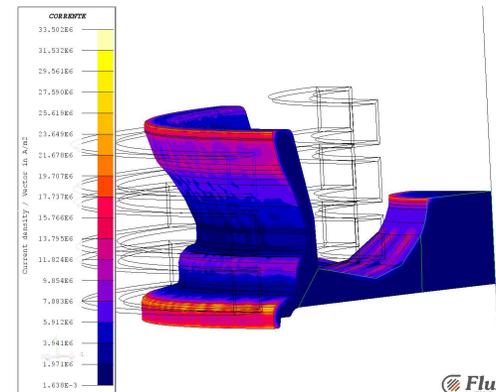


160s





- SPOSTAMENTO VERTICALE DELLE SPIRE ESTERNE DI 15MM
- UN AUMENTO DEL RAGGIO DELL'INDUTTORE ESTERNO DI 15MM
- UNA DIMINUZIONE DI RAGGIO DI 40MM PER L'INDUTTORE INTERNO

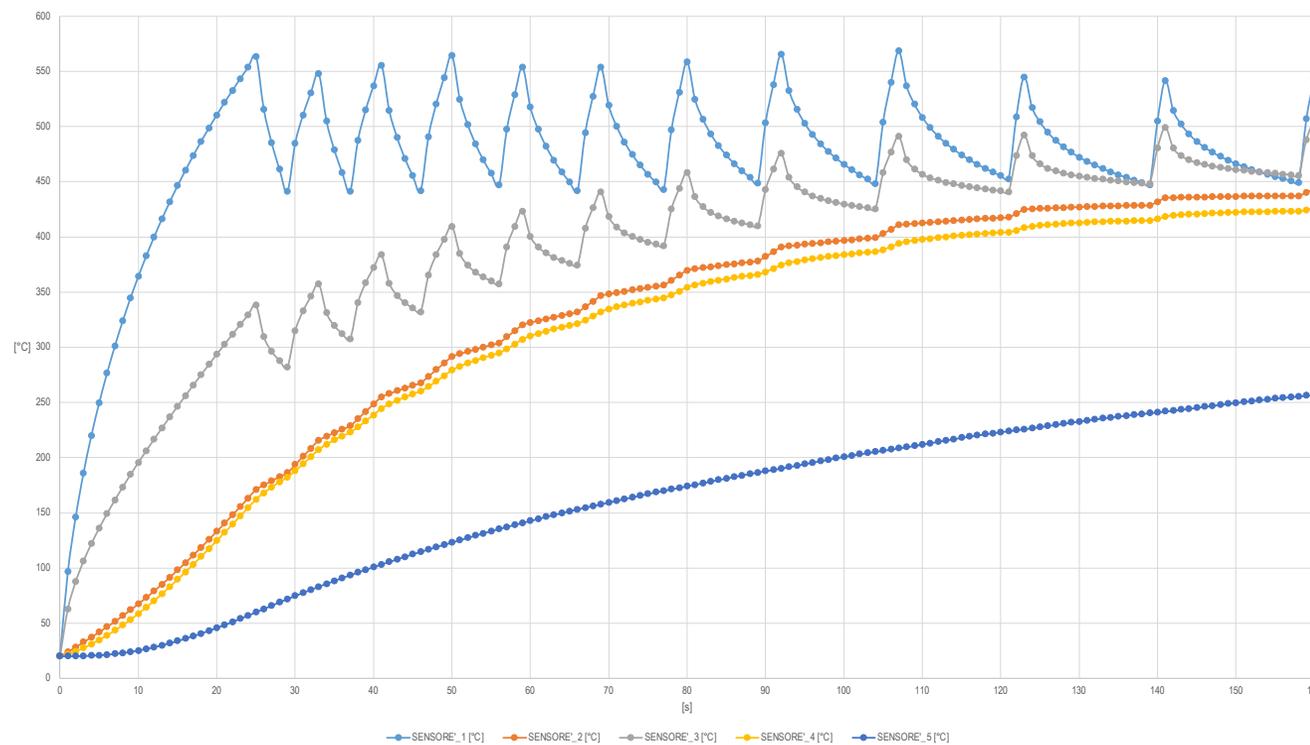


SOLUZIONE GRAFICA DEL PROBLEMA MAGNETICO.

NOTARE LA PRESENZA DI ADDENSAMENTO DI CORRENTI INDOTTE SULLA ZONA DI RAGGI E MOZZO.

www.dii.unipd.it

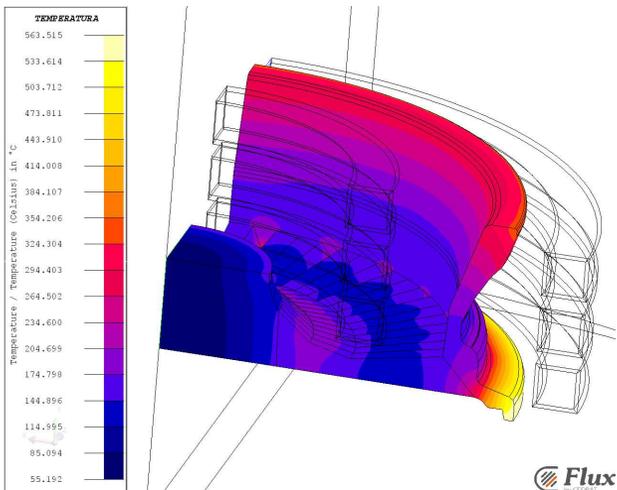
SOLUZIONE TERMICA EVOLUTA



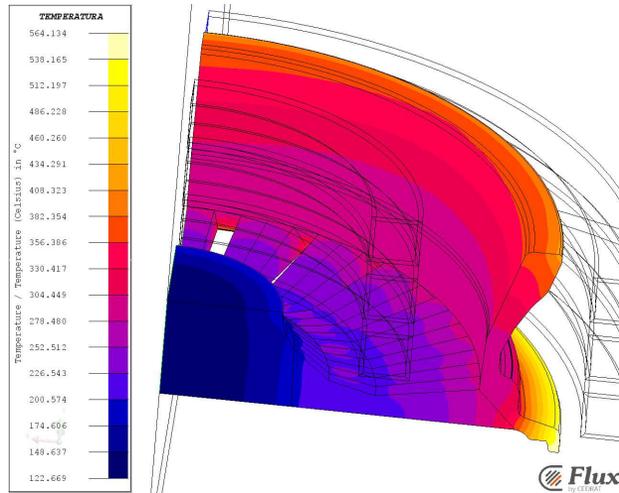
## OSSERVAZIONI:

- IL MOZZO SI SCALDA MOLTO PIÙ VELOCEMENTE CON QUESTA CONFIGURAZIONE
- LE TEMPERATURE DELLA SPALLA SUL SENSORE 1, 2 E 3 SI AVVICINANO TUTTE A 450°C
- I TEMPI DI RAFFREDDAMENTO PER OGNI STEP SONO DIMINUITI RISPETTO AL MODELLO PRECEDENTE
- PER IL RAFFREDDAMENTO PARTIAMO DA 4S INIZIALI E ARRIVIAMO A 17S NELL'ULTIMO STEP
- I SENSORI 1 E 3 SONO GLI UNICI CON ANDAMENTO DISCONTINUO.

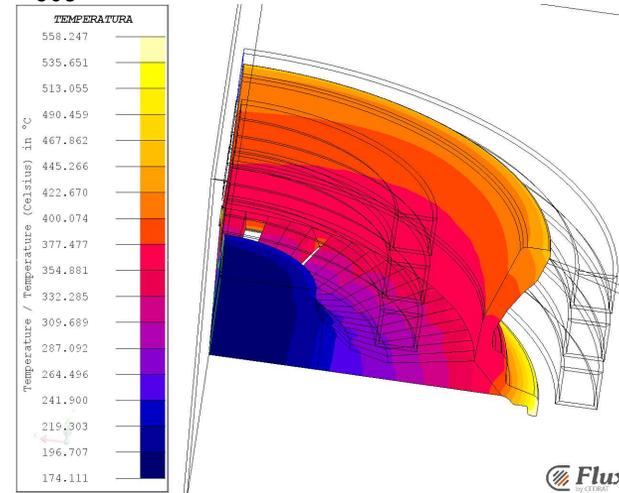
25s



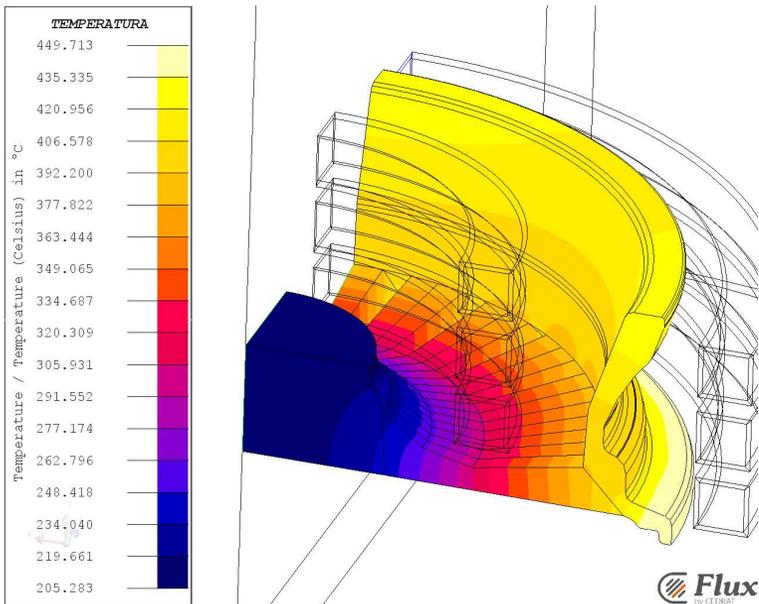
50s



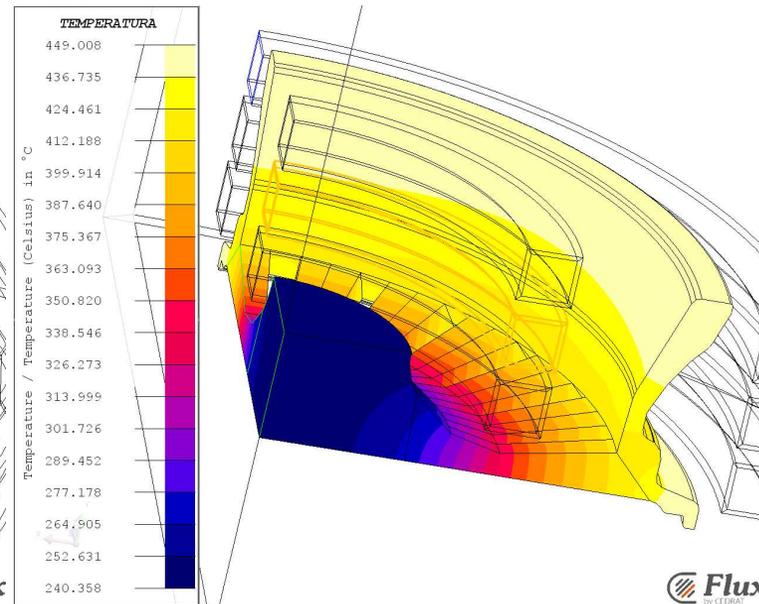
80s



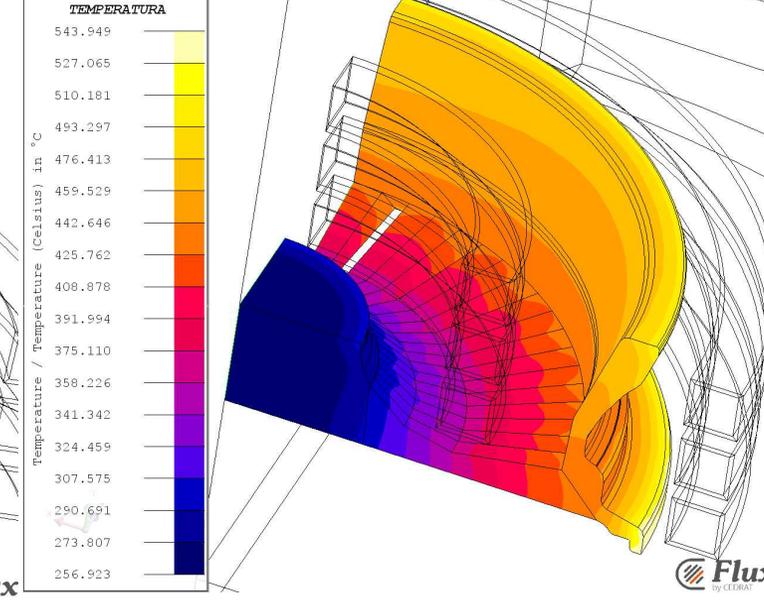
104s

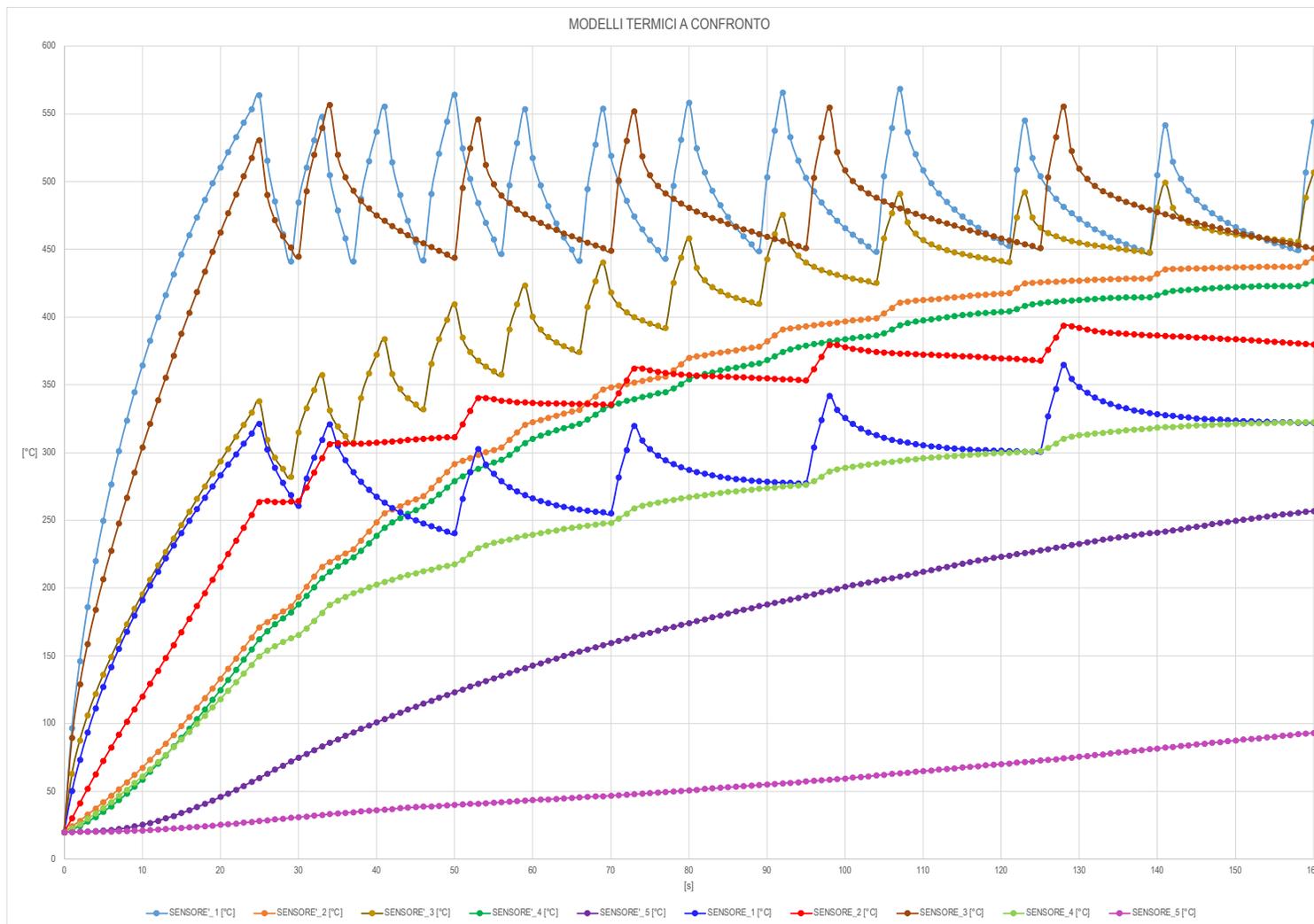


139s



160s



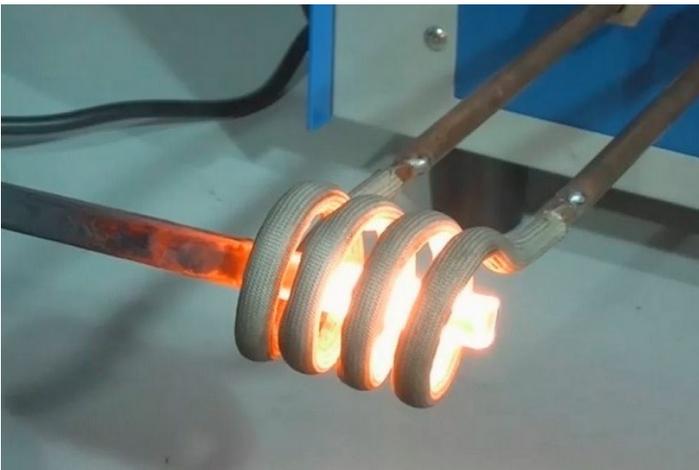


## OSSERVAZIONI:

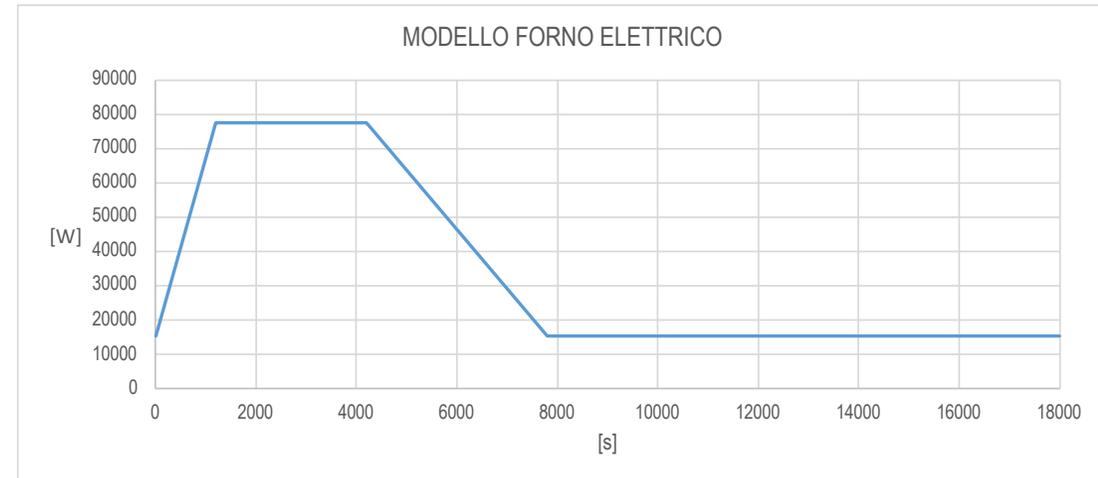
- LA TEMPERATURA È AUMENTATA DI MOLTO PER I SENSORI 1,2, 4 E 5, MENTRE DIMINUISCE DI POCO PER IL SENSORE 3
- L'ANDAMENTO DEI SENSORI 4 E 5, DOPO QUALCHE STEP, È PRESSOCHÉ LINEARE IN ENTRAMBI I MODELLI
- NEL PUNTO CENTRALE DEL MOZZO ABBIAMO OTTENUTO UNA DIFFERENZA DI TEMPERATURA DI CIRCA 150°C
- LA MEDIA DELLE TEMPERATURE RAGGIUNTE IN 160 SECONDI NEL MODELLO EVOLUTO È PIÙ ALTA DI QUELLA DEL MODELLO BASE
- TEMPO INDUTTORI ACCESI NEL MODELLO BASE È IL 25,63% DEL TOTALE
- TEMPO INDUTTORI ACCESI NEL MODELLO EVOLUTO È IL 36,25% DEL TOTALE

I BENEFICI DELLA NUOVA CONFIGURAZIONE SONO EVIDENTI SOTTO OGNI ASPETTO.

MODELLO	REALE	BASE
Volume [m <sup>3</sup> ]	7,66E-03	8,61E-03
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	2700	2700
Peso [kg]	20,68	23,25



CONFRONTO FRA MODELLO A FORNO ELETTRICO E MODELLI AD INDUZIONE. DI SEGUITO I CALCOLI DI ENERGIA PER OGNI CONFIGURAZIONE.



MODELLO FORNO ELETTRICO	
ENERGIA [J]	454140000 4,54E+08
per ruota	7,57E+07 21,03 kW/h
per kg di <i>a</i> /	0,90 kWh/kg

MODELLO BASE	
ENERGIA [J]	13120000
per ruota	3,64 kWh per ruota
per kg di <i>a</i> /	0,157 kWh/kg

MODELLO EVOLUTO	
ENERGIA [J]	18560000
per ruota	5,16 kWh per ruota
per kg di <i>a</i> /	0,22 kWh/kg

## OSSERVAZIONI:

- CONSUMO MENO ENERGIA CON IL RISCALDAMENTO AD INDUZIONE, PERCHE' AGISCO DIRETTAMENTE SUL PEZZO
- NEL MODELLO EVOLUTO L'ENERGIA SPESA E' MAGGIORE DI QUELLA DEL MODELLO BASE PERCHE' RAGGIUNGO TEMPERATURE PIU' ELEVATE SUL PEZZO
- RISPETTO AL FORNO ELETTRICO, ENERGIA PER RUOTA E PER KG DI ALLUMINIO SONO MINORI NEI MODELLI AD INDUZIONE MAGNETICA
- I TEMPI DI PROCESSO NEL CASO DI INDUZIONE SONO DECISAMENTE PIÙ BREVI CHE NEL MODELLO A FORNO ELETTRICO

## COMMENTI FINALI:

- IL MODELLO AD INDUZIONE È UN'ALTERNATIVA EFFICIENTE AL RISCALDAMENTO MEDIANTE L'USO DI FORNO ELETTRICO
- LA PRIMA CONFIGURAZIONE PRESENTA DIFETTI DAL PUNTO DI VISTA TERMICO
- LA SECONDA CONFIGURAZIONE PRODUCE UN EFFETTO BENEFICO SIA SULLA SPALLA CHE SU MOZZO E RAGGI
- IL PROCESSO DI INDUZIONE IN GENERALE RISULTA MOLTO VELOCE

