

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Ingegneria Industriale DII
Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

Relazione per la prova finale

Analisi e ottimizzazione di un motore asincrono per auto elettriche ad alte prestazioni

Tutor Universitario: Prof. Mauro Andriollo

Andrea Quagliotto 2003397

Anno Accademico 2022/2023

INTRODUZIONE

- La crisi climatica sta spingendo la società verso l'elettrificazione dei consumi finali
- Grande attenzione nell'elettrificazione dei trasporti, specialmente per veicoli ad uso privato



POWERTRAIN

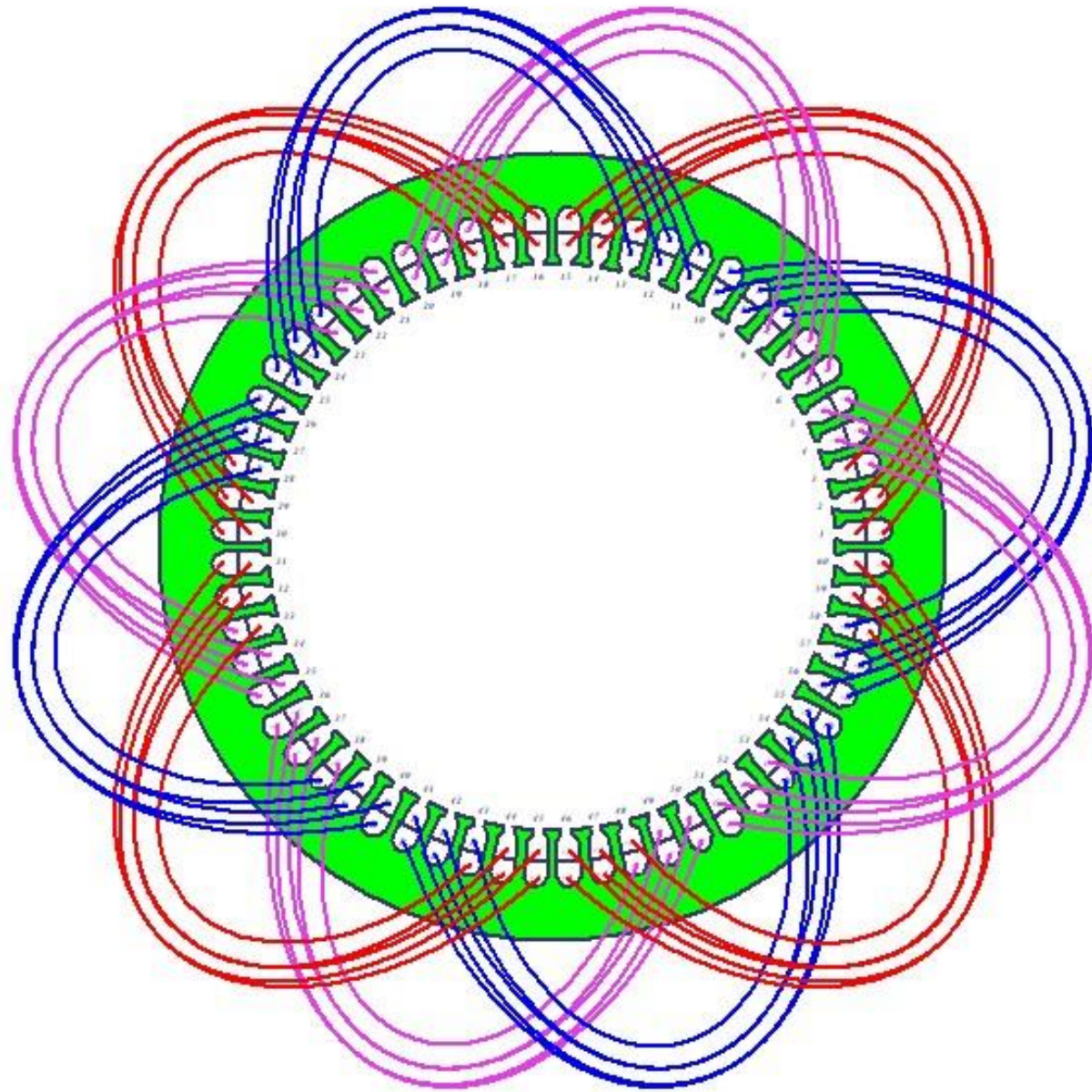
Powertrain di una vettura elettrica composto da:

- Batteria
- Convertitore DC/DC
- Inverter
- Motore elettrico



Analisi motore Tesla Model S con software
Ansys Rmxprt

IL MOTORE



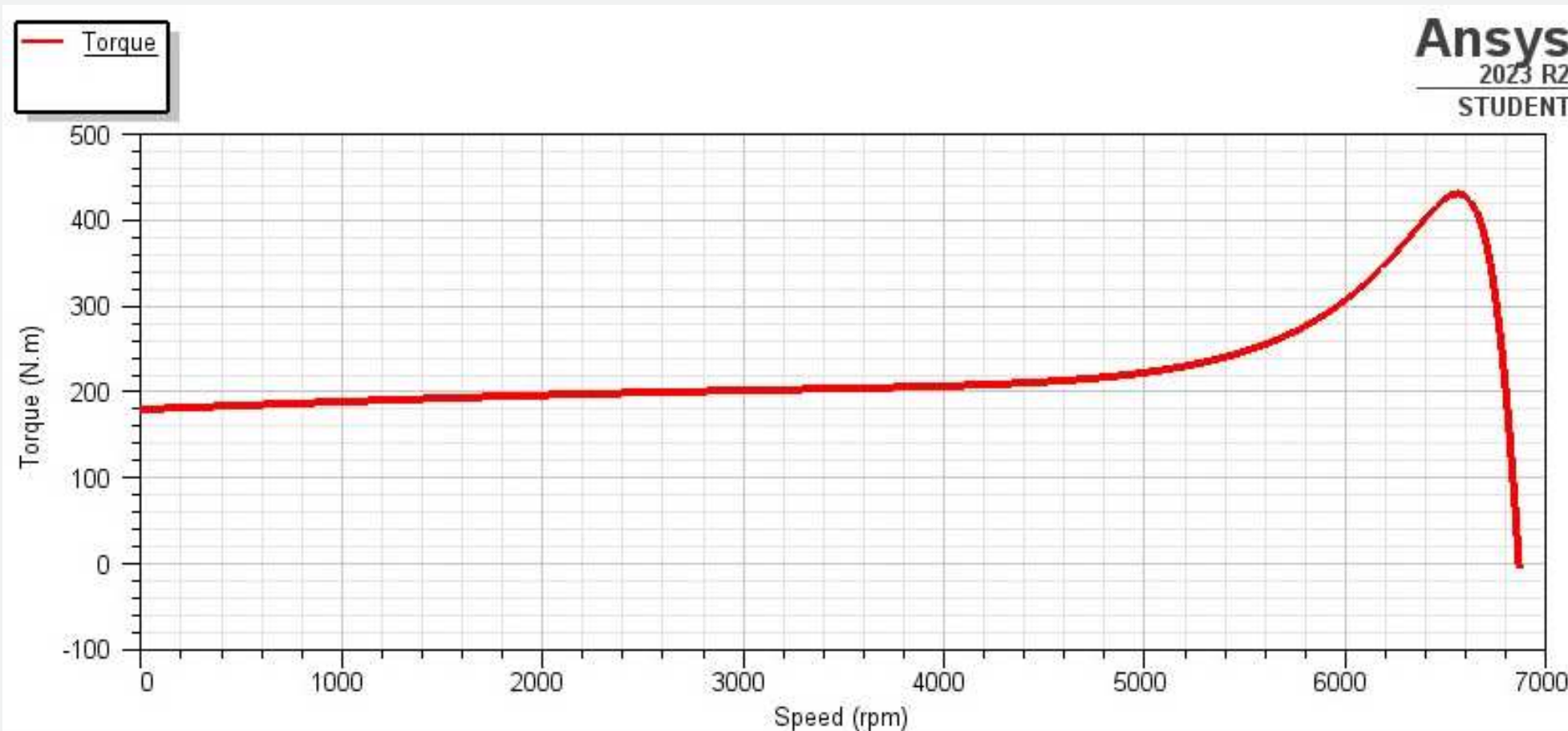
- Motore asincrono con rotore a gabbia di scoiattolo
- 4 poli
- 60 cave statoriche, 74 barre rotoriche
- Avvolgimento a passo variabile
- Rotore in rame pressofuso

PRESTAZIONI



- Risultati in linea con simulazioni condotte da altri studi
- Discrepanze dovute a:
 1. mancanza di alcuni dati
 2. impiego di diversi software

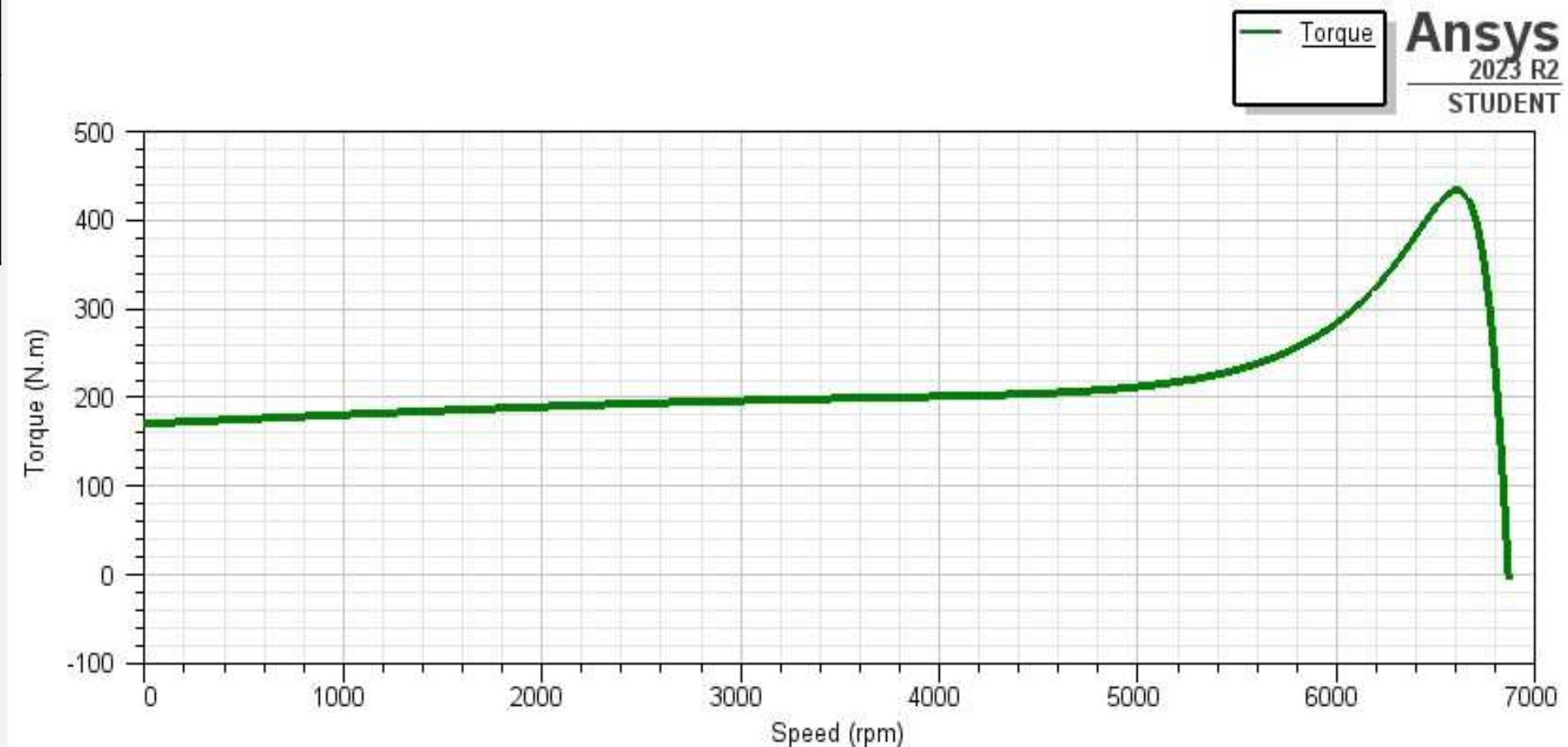
Tensione stellata statore	97,58	V(rms)
Corrente statore	971	A(rms)
Perdite ohmiche statoriche	16,52	kW
Perdite ohmiche rotoriche	4,18	kW
Perdite nel ferro	0,5	kW
Perdite meccaniche	2,71	kW
Perdite totali	23,92	kW
Potenza elettrica assorbita	249,37	kW
Potenza meccanica erogata	225,45	kW
Rendimento	90,4	%
Velocità rotorica	6740,45	rpm
Scorrimento	1,8	%
Coppia	319,4	Nm
Coppia massima	430,3	Nm
Scorrimento a coppia massima	4,5	%



NUMERO DELLE BARRE

	70 barre	74 barre	76 barre	78 barre	82 barre
Potenza	231,5 kW	225,4 kW	229,1 kW	232,7 kW	239,7 kW
Coppia	328,7 Nm	319,4 Nm	324,6 Nm	329,7 Nm	339,6 Nm
Coppia max	423,8 Nm	430,3 Nm	433,2 Nm	435,9 Nm	441,7 Nm
Rendimento	89,9%	90,4%	90,3%	90,1%	89,8%

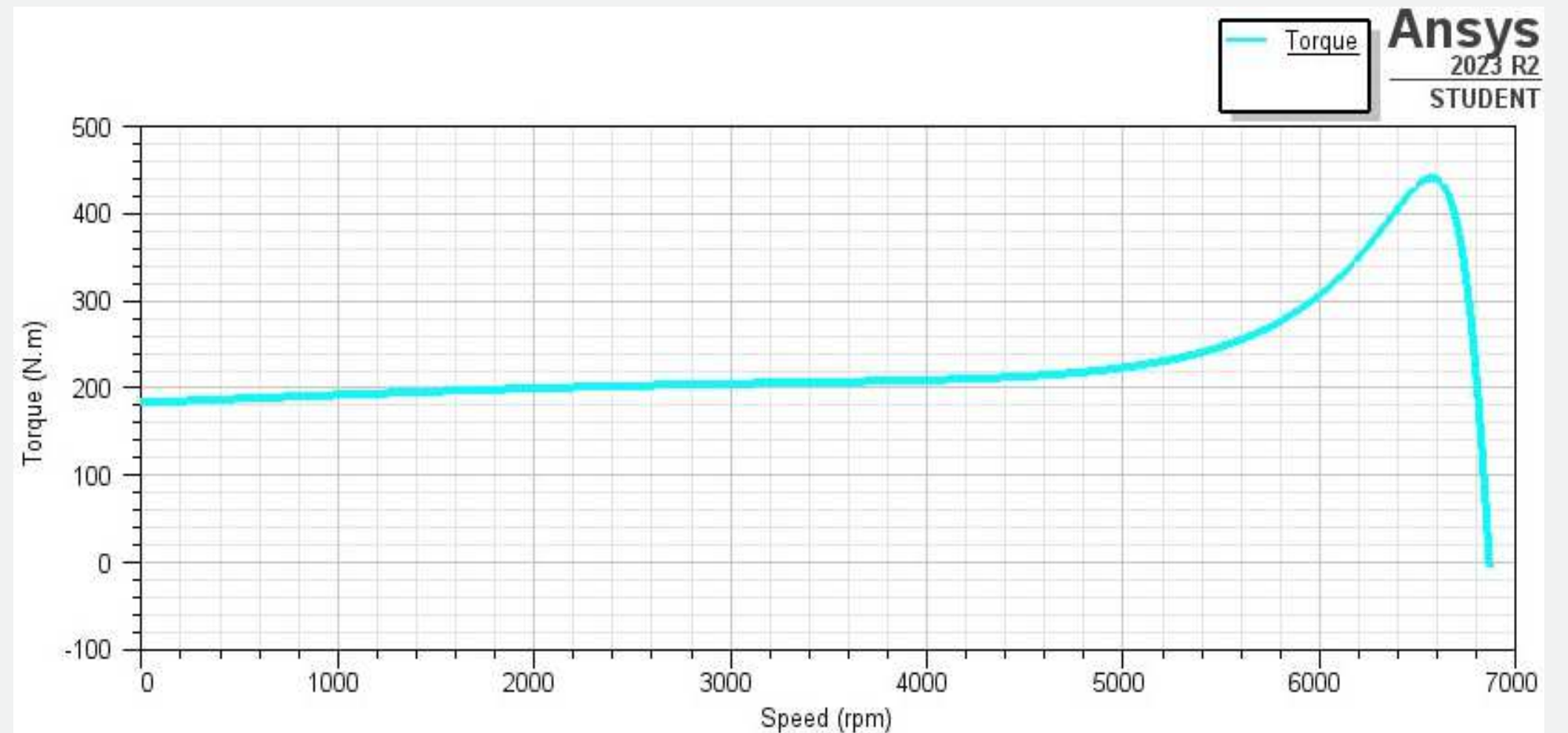
- **Limitate variazioni del numero di barre**
- **Ottimizzazione geometrica rotore a 76 barre**
- **Lieve incremento di potenza, aumento di coppia nominale e coppia massima**
- **Rendimento invariato**



DIAMETRO FILI

- Incremento diametro dei fili dell'avvolgimento a 1,15 mm
- Riduzione resistenza dell'avvolgimento
- Attenzione al fattore riempimento cava

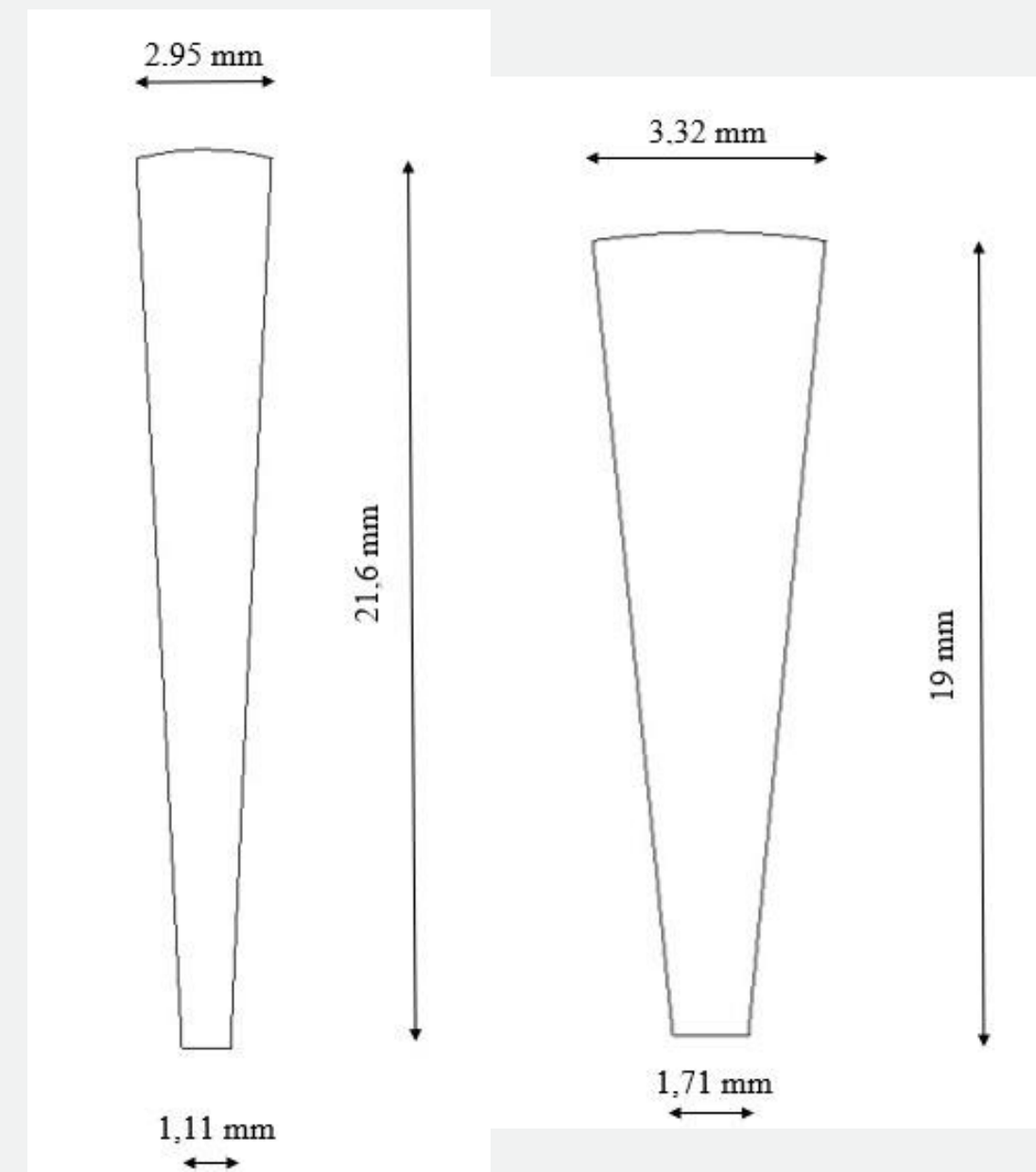
	Diametro originale	Diametro aumentato
Potenza	225 kW	235 kW
Coppia nominale	319,4 Nm	332,7 Nm
Coppia massima	430 Nm	440 Nm
Rendimento	90,4%	90,9%



ROTORE IN ALLUMINIO

- Gabbia rotorica con massa minore ma resistenza più alta
- Variazioni dimensione barre per diminuirne resistenza
- Fili dell'avvolgimento con diametro maggiore per ridurre perdite

	Rotore in rame Diametro cavi 1,08mm	Rotore in alluminio Diametro cavi 1,15mm
Potenza	225 kW	230,3 kW
Coppia nominale	319,4 Nm	328,3 Nm
Coppia massima	430 Nm	464,3 Nm
Rendimento	90,4%	90,5%

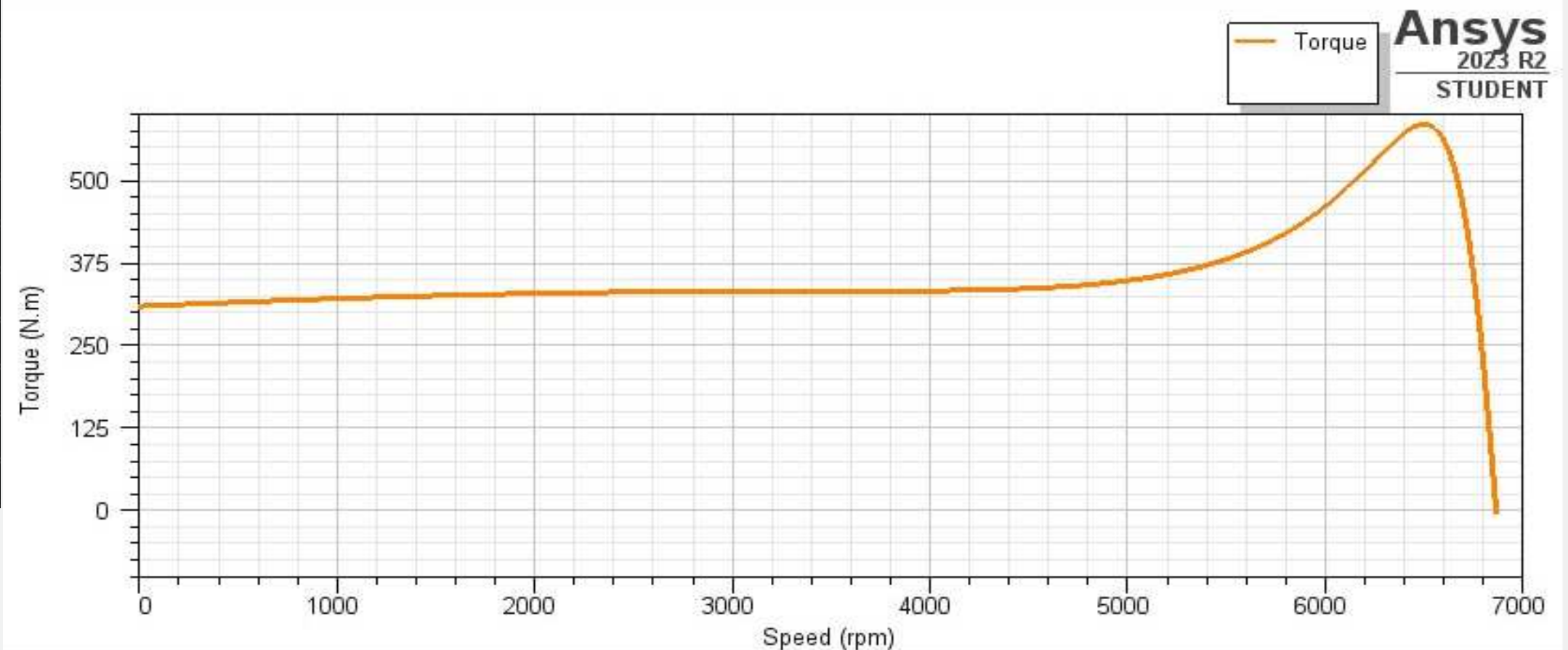


TECNOLOGIA HAIRPIN

	originale	hairpin	
Tensione stellata statore	97,58	97,57	V(rms)
Corrente statore	971	975	A(rms)
Perdite ohmiche statoriche	16,52	8,59	kW
Perdite ohmiche rotoriche	4,18	4	kW
Perdite nel ferro	0,5	1,4	kW
Perdite meccaniche	2,71	2,72	kW
Perdite totali	23,92	16,71	kW
Potenza elettrica assorbita	249,37	259,62	kW
Potenza meccanica erogata	225,45	242,9	kW
Rendimento	90,4	93,5	%
Velocità rotorica	6740,4	6754,18	rpm
Scorrimento	1,8	1,6	%
Coppia	319,4	343,4	Nm
Coppia massima	430,3	600,9	Nm
Scorrimento coppia massima	4,5	5,5	%
Massa statore	32,24	38,06	kg
Massa rotore	26,86	26,86	kg
Massa totale	59,1	64,92	kg

- **Attenzione ad effetto pelle ed effetto di prossimità**

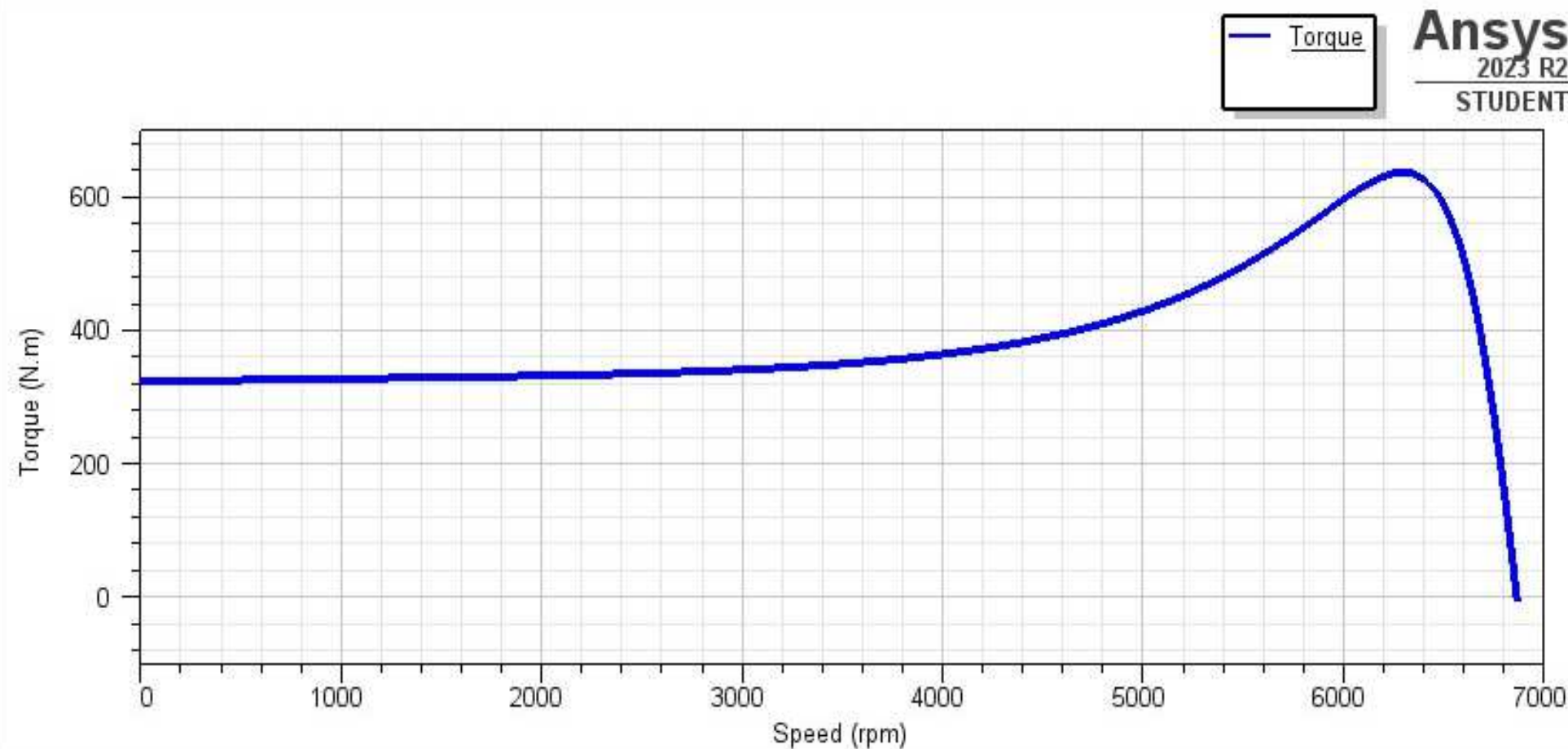
- **Avvolgimento statorico composto da fili rettangolari**
- **Riduzione resistenza statorica**
- **Aumento del fattore riempimento cava**



TECNOLOGIA HAIRPIN E ROTORE IN ALLUMINIO

- Aumento di massa dato da fili rettangolari
- Gabbia rotorica in alluminio per diminuire la massa

	originale	hairpin + rotore in alluminio	
Tensione stellata statore	97,58	97,57	V(rms)
Corrente statore	971	966,7	A(rms)
Perdite ohmiche statoriche	16,52	8,44	kW
Perdite ohmiche rotoriche	4,18	5,45	kW
Perdite nel ferro	0,5	1,62	kW
Perdite meccaniche	2,71	2,69	kW
Perdite totali	23,92	18,23	kW
Potenza elettrica assorbita	249,37	258,7	kW
Potenza meccanica erogata	225,45	240,4	kW
Rendimento	90,4	92,9	%
Velocità rotorica	6740,4	6713	rpm
Scorrimento	1,8	2,2	%
Coppia	319,4	342	Nm
Coppia massima	430,3	635,4	Nm
Scorrimento coppia massima	4,5	8	%
Massa statore	32,24	38,06	kg
Massa rotore	26,86	19,54	kg
Massa totale	59,1	57,6	Kg



CONCLUSIONI

- Per un'auto elettrica l'incremento di massa del motore non è trascurabile
- Soluzione con avvolgimento hairpin e rotore in alluminio: compromesso tra un buon rendimento, alte prestazioni e massa contenuta
- Apprendimento utilizzo software Ansys Rmxprt

BIBLIOGRAFIA

- H. Koke, “Comparative study of stranded and bar windings in an induction motor for automotive propulsion applications.”, M.A.Sc thesis, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, agosto 2017
- R. Thomas, H. Husson, L. Garbuio, L. Gerbaud, “Comparative study of the Tesla Model S and Audi e-Tron Induction Motors”, 17-th Int. Conf. On Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), Sofia, Bulgaria, 1-4 luglio 2021
- R. Thomas, L. Garbuio, L. Gerbaud, H. Chazal, “Modeling and design analysis of the Tesla Model S induction motor”, 2020 International Conference on Electrical Machines (ICEM), Göteborg, Svezia, 2020, pp. 495-501
- Y. Tang, “Induction Motor Lamination Design,” p. 14, 2012
- M. Popescu et al., “Electrical Vehicles-Practical Solutions for Power Traction Motor Systems”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 54, n. 3, maggio/giugno 2018
- M. Andriollo, G. Martinelli, A. Morini, A. Tortella, *Macchine Elettriche Rotanti*, Gorgonzola (MI), Esculapio, 2016, pp. 84-89
- L. Varshney, C. Gupta, D. Debnath, “Performance Improvement of Squirrel Cage Rotor by Design Aspects”, IEEE Int. Conf. on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2016), Jaipur, India, 23-25 dicembre 2016
- M. A. J. Hepburn, B. Saretzky, H. O. Collett, “Some test results on a crawling induction motor”, Transactions of the South African Institute of Electrical Engineers, vol.25, n.12, pp. 283-284, dicembre 1934
- W. Xun, Q. Ariu, “Calculation of Cogging Torque in Squirrel-cage Induction Motors”, Int. Conf. on Electrical Machines and Systems, 2010
- P. Hermann, P. Stenzel, U. Vögele, C. Endisch, “Optimization Algorithms for Maximizing the Slot Filling Factor of Technically Feasible Slot Geometries and Winding Layouts”, 6th International Electric Drives Production Conference, 2016
- A. Arzillo et al., “An Analytical Approach for the Design of Innovative Hairpin Winding Layouts”, 2020 International Conference on Electrical Machines (ICEM), Göteborg, Svezia, 2020