



Attività svolte dal gruppo sulla mobilità elettrica

- Progettazione e controllo di convertitori per la ricarica wired e wireless di veicoli elettrici
- Progettazioni di sottostazioni ferroviarie bidirezionali e dotate di sistema di accumulo a supercondensatori
- Progettazione e controllo di convertitori per il trasferimento di energia senza contatto in applicazioni su elicotteri
- Dimensionamento e sviluppo di powertrain per veicoli autonomi
- Sviluppo di algoritmi di controllo predittivo su FPGA
- Progettazione e realizzazione di convertitori DC/DC fail-operational per veicoli elettrici autonomi
- Progettazione e realizzazione di azionamenti innovativi che integrano le funzioni di trazione con quelle di caricabatterie e di BMS
- Progettazione, ottimizzazione, modellazione e caratterizzazione di componenti elettromeccanici per veicoli elettrici stradali
- Progettazione di motori elettrici per propulsione in applicazioni aerospace
- Progettazione di macchine e componenti elettrici criogenici e a superconduttori (HTS)
- Macchine Elettriche e Azionamenti lineari per attuatori ausiliari

Progetti di ricerca nell'ambito della mobilità elettrica

- Progetto FUNDRES (2019-2021) (749.54k€) – Unified DC Railway Electrification System - H2020-EU.3.4.8.3. - Innovation Programme 3: Cost Efficient and Reliable High Capacity Infrastructure – Leader: Institut National Polytechnique de Toulouse (230k€). Partner: Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (295k€), Politecnico di Milano (175.8k€), Union Internationale Des Chemins De Fer (48.75k€). Il progetto FUNDRES propone un approccio stimolante al futuro delle ferrovie basato su un nuovo sistema di elettrificazione unificato di 9 kV_{DC} in grado di consolidare le linee esistenti.
- Progetto Autodrive (2017-2020) “Advancing fail-aware, fail-safe, and fail-operational electronic components, systems, and architectures for fully automated driving to make future mobility safer, affordable, and end-user acceptable.” -finanziato nella call H2020-ECSEL-2016-1-RIA-two-stage/H2020-ECSEL-2016-1-RIAtwo-stage – GA 737469, 62 partners, budget 64M€ (finanziati 16M€) – budget Politecnico di Milano 317k€ (finanziati 100k€)
- Progetto Improves (2017-2021) (€ 7.399.058,43) “INtegrazione di PROdotto e PROcesso per la realizzazione di motori elettrici per VEicoli Stradali” – finanziato da Regione Lombardia nell'ambito di POR – FESR 2014-2020 - Asse I, Azione 1.1.B.1.3 "Sostegno alle attività di R&S per lo sviluppo di nuove tecnologie sostenibili, di nuovi prodotti e servizi"; capofila: Brembo; partners: Marelli, Politecnico di Milano, Università degli Studi di Bergamo, UTPVision, Peri, MakoShark, e-Novia, MDquadro; budget Politecnico di Milano - Dip. di Meccanica e di Energia: k€ 652,75 + k€ 210,0. Il progetto ha sviluppato prototipi ottimizzati di motori elettrici brushless a magneti permanenti, per propulsori e attuatori di frenatura, ad elevate prestazioni. In particolare, sono stati perseguiti i due seguenti aspetti: 1) Concept di prodotto; 2) Implementazione di una linea produttiva flessibile secondo i paradigmi dell'Industry 4.0.



Collaborazione con Aziende, nazionali e internazionali, nel settore della mobilità elettrica

- Bombardier
- Lucchini RS S.p.A
- ABB
- Trenitalia
- RFI
- S&H Italy S.r.L
- Engie EPS
- Hitachi Europe Ltd
- Hitachi Ltd
- Leonardo S.p.A
- Centro Ricerche Fiat
- Toyota Europe
- Marelli Motorsport
- Brembo
- Motor Design Limited
- GKN aerospace

Pubblicazioni scientifiche del gruppo degli ultimi 3 anni e relative alla mobilità elettrica

Powertrain e ausiliari

- [1] D. De Simone, P. Tricoli, S. D'Arco and L. Piegari, "Windowed PWM: A Configurable Modulation Scheme for Modular Multilevel Converter-Based Traction Drives," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 35, no. 9, pp. 9729-9738, Sept. 2020, doi: 10.1109/TPEL.2020.2969375
- [2] S. Barcellona, D. De Simone, L. Piegari, "Control strategy to improve EV range by exploiting hybrid storage units", *IET Electrical Systems in Transportation*, Volume 9, Issue 4, 1 December 2019, Pages 237-243
- [3] Barcellona, S., Piegari, L., Villa, A.: "Passive hybrid energy storage system for electric vehicles at very low temperatures", *Journal of Energy Storage*, Vol, 25, October 2019, Article number 100833
- [4] M. Quraan, P. Tricoli, S. D'Arco and L. Piegari, "Efficiency Assessment of Modular Multilevel Converters for Battery Electric Vehicles," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, no. 3, pp. 2041-2051, March 2017.
- [5] S. Colnago, M. Mauri, S. Carmeli and L. Piegari, "Cost and Efficiency Analysis of Different Powertrain Architectures for Fuel Cell Electric Vehicles," *2020 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, Sorrento, Italy, 2020, pp. 275-280. doi: 10.1109/SPEEDAM48782.2020.9161889
- [6] D. De Simone and L. Piegari, "Modular multilevel converters for battery electric vehicles: variable dc voltage control to optimize battery lifetime," *2020 IEEE 14th International Conference on*



Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG), Setubal, Portugal, 2020, pp. 137-142. doi: 10.1109/CPE-POWERENG48600.2020.9161510

- [7] Wang, D, Piegari, L., Liu, J., De Simone, D., Song, S., Chen, X: "A Hybrid Modular Multilevel Converter with Multiple Common-Mode Voltages Injection Control for Electric Vehicle Applications", 35th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC 2020; New Orleans; United States; 15 March 2020
- [8] F. Bertino, D. de Simone and L. Piegari, "Design and operation of a fail-operational 5kW 800V-12V DC-DC converter," *2019 21st European Conference on Power Electronics and Applications (EPE '19 ECCE Europe)*, Genova, Italy, 2019, pp. P.1-P.10.
- [9] D. Wang, J. Liu, L. Piegari, S. Song, X. Chen and D. D. Simone, "A Battery Lifetime Improved Control Strategy of Modular Multilevel Converter for Electric Vehicle Application," 2019 IEEE 10th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), Xi'an, China, 2019, pp. 594-598.
- [10] L. P. Di Noia, R. Rizzo, R. Miceli and L. Piegari, "Improving High Frequency Transformers behavior for DC-DC Converter Used in Electric Vehicles," *2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, Paris, France, 2018, pp. 1508-1513.
- [11] De Simone, D., Piegari, L., D'Arco, S., "Comparative Analysis of Modulation Techniques for Modular Multilevel Converters in Traction Drives", *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, pp. 593-600, June 2018
- [12] K. Elshawarby, M. Rossi, R. Perini, F. Castelli Dezza, G. M. Foglia, A. Di Gerlando "A Practical Solution for Torsional Vibrations Evasion in Variable Speed Drives," IEEE Conference IECON 19, Lisbona, Portugal, 14-17 October 2019.
- [13] A. Di Gerlando, G. M. Foglia, R. Perini "Procedure to Define an Accurate Model for Saturation and Cross-Coupling in Interior Permanent Magnet Machines," XIV Intern. Conf. on Electrical Machines (ICEM), Gothemburg, 2020, Proc. on-line, pp. 291-297; ISBN: 978-1-7281-9944-3.
- [14] A. Di Gerlando, G. M. Foglia, R. Perini, B. Massa "Assessment of Energy Lost in the Winding in Road Vehicle IPM Machines, Considering Saturation, Cross Coupling, Battery State of Charge," XIV Intern. Conf. on Electrical Machines (ICEM), Gothemburg, 2020, Proc. on-line, pp. 786-791; ISBN: 978-1-7281-9944-3.
- [15] A. Di Gerlando, G. Foglia, C. Ricca "Analytical Design of a High Torque Density In-Wheel YASA AFPM Motor," Intern. Conf. on Electrical Machines (ICEM), Gothemburg, 2020, Proc. on-line, pp. 402-408; ISBN: 978-1-7281-9944-3.
- [16] A. Di Gerlando, M. Gobbi, G. Mastinu, A. Miotto "Electric Motor for Brakes – Optimal Design," SAE International Conference Proceedings, Virtual Conference, April 2020, pp. 1 – 6.
- [17] F. Camozzi, A. Di Gerlando, M. Gobbi, G. Mastinu, A. Miotto, C. Fissore, P. Righettini, R. Strada "Optimal design of a DC brushless motor for automotive brake actuation" 11th International Munich Chassis Symposium, Virtual Conference, 23-24 June 2020, pp. 1 – 13.
- [18] M. Brunetti, S. Chatterton, N. Toscani, M. Mauri, M. S. Carmeli and F. Castelli-Dezza. "Wireless Power Transfer with Temperature Monitoring Interface for Helicopter Rotor Blade Ice Protection,"



AIAA 2020-3569. AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum. August 2020;
<https://doi.org/10.2514/6.2020-3569>

- [19] M. Rossi, L. Piegari, F. Castelli-Dezza, M. Mauri and M. S. Carmeli, "Voltage Control Comparison for Low-Power DC-DC Converters in EVs: PI and Explicit MPC," IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Washington, DC, USA, 2018, pp. 5005-5011, doi: 10.1109/IECON.2018.8591195.
- [20] H. Yu, F. Cheli and F. Castelli-Dezza, "Optimal Design and Control of 4-IWD Electric Vehicles Based on a 14-DOF Vehicle Model," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 67, no. 11, pp. 10457-10469, Nov. 2018, doi: 10.1109/TVT.2018.2870673.
- [21] C. D. Manolopoulos, M. F. Iacchetti, A. C. Smith, P. Miller, M. Husband, "Comparison Between Coreless and Yokeless Stator Designs in Fully-Superconducting Propulsion Motors," in *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 30, no. 6, pp. 1-7, Sept. 2020, Art no. 5207407, doi: 10.1109/TASC.2020.2992588.
- [22] C. D. Manolopoulos, M. F. Iacchetti, A. C. Smith, K. Berger, M. Husband and P. Miller, "Stator Design and Performance of Superconducting Motors for Aerospace Electric Propulsion Systems," in *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 28, no. 4, pp. 1-5, June 2018, Art no. 5207005, doi: 10.1109/TASC.2018.2814742.
- [23] J. Zhao, M. F. Iacchetti, A. C. Smith, R. P. Deodhar, Y. Komi, A. Abdullah, C. Umemura, K. Mishima, "Air-Cored Resonant Induction Machines: Comparison of Capacitor Tuning Criteria and Experimental Validation", in *IEEE Transactions on Industry Applications, Early Access 2021*.
- [24] J. Zhao, M. F. Iacchetti, A. C. Smith, R. P. Deodhar, Y. Komi, A. Abdullah, C. Umemura, "Winding Inductance Estimations in Air-Cored Resonant Induction Machines" ECCE 2020 - IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, 2020, pp. 5813–5820, 9236229
- [25] J. Zhao, M. F. Iacchetti, A. C. Smith, R. P. Deodhar, K. Mishima, "Comparison of different capacitor tuning criteria in air-cored resonant induction machines," 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2019, 2019, pp. 3017–3024, 8913143
- [26] M. F. Iacchetti, M. Popescu, J. Goss, "Combined analytic-linear-FE approach for fast stress analysis of high-speed interior pm rotors," 2019 IEEE International Electric Machines and Drives Conference, IEMDC 2019, 2019, pp. 280–287, 8785179.
- [27] G. D. Marques, M. F. Iacchetti, "Minimum Loss Conditions in a Salient-Pole Wound-Field Synchronous Machine Drive," *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, 2019, 2019-October, pp. 1183–1189, 8926793.
- [28] A. C. Smith, M. F. Iacchetti, P. M. Tuohy, "Feasibility study of an induction motor rim drive for an aircraft boundary-layer-ingestion fan," in IET Journal of Engineering, Volume 2019, Issue 17, June 2019, p. 4506 – 4510, DOI: 10.1049/joe.2018.8044, Online ISSN 2051-3305
- [29] M. F. Iacchetti, A. C. Smith, R. P. Deodhar, K. Mishima, "Modelling and Operating Characteristics of Air-Cored Resonant Induction Machines" 2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2018, 2018, pp. 6468–6475, 8557355
- [30] C. D. Manolopoulos, M. F. Iacchetti, A. C. Smith, P. M. Tuohy, X. Pei, P. Miller, M. Husband, "Design of Superconducting AC Propulsion Motors for Hybrid Electric Aerospace," 2018 AIAA/IEEE Electric Aircraft Technologies Symposium, EATS 2018, 2018, 8552775.



Battery pack – BMS

- [31] Castelli Dezza, F., Musolino, V., Piegari, L., Rizzo, R., “ Hybrid battery-supercapacitor system for full electric forklifts”, *IET Electrical Systems in Transportation*, vol. 9, Issue 1, March 2019, pp. 16-23
- [32] S. Barcellona and L. Piegari, "Improvement of EVs Range by Hybrid Storage Units," 2017 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Belfort, 2017, pp. 1-5.
- [33] H. Yu, F. Castelli-Dezza, F. Cheli, X. Tang, X. Hu and X. Lin, "Dimensioning and Power Management of Hybrid Energy Storage Systems for Electric Vehicles With Multiple Optimization Criteria," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 36, no. 5, pp. 5545-5556, May 2021, doi: 10.1109/TPEL.2020.3030822.
- [34] M. Mauri, F. Castelli-Dezza, M. S. Carmeli, M. Scarfogliero and G. Marchegiani, "Electro-Thermal Aging Model of Li -Ion Batteries for Vehicle-to-Grid Services," 2019 AEIT International Conference of Electrical and Electronic Technologies for Automotive (AEIT AUTOMOTIVE), Turin, Italy, 2019, pp. 1-6, doi: 10.23919/EETA.2019.8804544.
- [35] M. Scarfogliero et al., "Lithium-ion batteries for electric vehicles: A review on aging models for vehicle-to-grid services," 2018 International Conference of Electrical and Electronic Technologies for Automotive, Milan, Italy, 2018, pp. 1-6, doi: 10.23919/EETA.2018.8493211.

Infrastrutture di ricarica

- [36] D. De Simone, L. Piegari, “Integration of stationary batteries for fast charge EV charging stations”, *Energies*, Volume 12, Issue 24, 6 December 2019, Article number 4638
- [37] M. S. Carmeli, F. Castelli-Dezza, M. Mauri, M. Pedretti and M. Rossi, "Voltage Oriented Control of an Innovative Bidirectional 3 kV Railway electric substation using Parallel Three-Level NPC Converters," 2018 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM), Amalfi, Italy, 2018, pp. 644-649, doi: 10.1109/SPEEDAM.2018.8445322.
- [38] A. Clerici, E. Tironi and F. Castelli-Dezza, "Multiport Converters and ESS on 3-kV DC Railway Lines: Case Study for Braking Energy Savings," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 54, no. 3, pp. 2740-2750, May-June 2018, doi: 10.1109/TIA.2018.2792420.

System integration

- [39] M. S. Carmeli, F. Castelli-Dezza, S. Moscatelli, M. Rossi and M. Mauri, "Modular modelling and efficiency analysis of a 3kV DC railway system," 2019 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), Otranto, Italy, 2019, pp. 556-561, doi: 10.1109/ICCEP.2019.8890094.



POLITECNICO
MILANO 1863

DIPARTIMENTO
DI ELETTRONICA
INFORMAZIONE E
BIOINGEGNERIA

DIPARTIMENTO
DI ENERGIA

DIPARTIMENTO
DI MECCANICA

Gruppo di Ricerca sui Convertitori, Macchine e Azionamenti Elettrici

Laboratori: strumentazione disponibile e banchi prova

Laboratorio di Azionamenti Elettrici (dip. Meccanica)

<https://www.mecc.polimi.it/ricerca/laboratori-dipartimentali/electric-drives/>

- Banco freno 100 kW (2500 Nm/6500 rpm).
- Banco freno 7 kW (35 Nm/7500 rpm) con PC per acquisizione dati e gestione prova wattmetro digitale Yokogawa PZ4000.
- Alimentatori (1500 W): 600 V-2.5 A; 300 V-15 A, 12,5 V-360 A, 80 V 500A.
- E4360A Sistema modulare per la simulazione di celle fotovoltaiche, E4362A Modulo DC per simulatore E4360A, 130 V, 5 A, 600 W.

Laboratorio di Azionamenti Elettrici, Elettronica di Potenza ed accumuli di energia (dip. Ingegneria Elettronica, dell'Informazione e Bioingegneria)

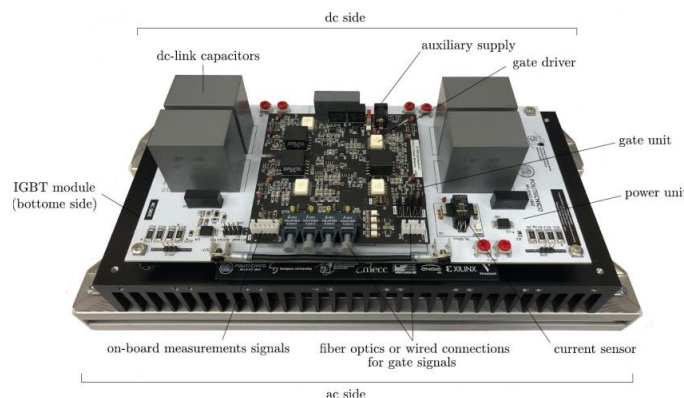
- Banco prova batterie fino a 80 V 500 A cicli controllati di carica/scarica
- Banco prove celle di batterie 5 V – 100 A , cicli controllati, spettroscopia di impedenza

Laboratorio di Convertitori, macchine ed Azionamenti Elettrici (dip. Energia)

- Banco freno per prove su motori/generatori
 - Rigenerativo 15 Nm / 3,000 rpm
 - 50 Nm / 3,000 rpm
 - 1 Nm / 50,000 rpm
- Banco freno per alte coppie per sistemi ad accoppiamento diretto (4 kNm / 70 rpm)
- Alcuni Inverter trifase da 15 kW

Prototipi realizzati e disponibili

- Convertitore a tre livelli T-type, basato su IGBT
- Banco prova per test di invecchiamento su singole batterie
- Convertitore DC/DC 800 V-12 V, 3kW, fail operational
- Double star chopper cells trifase integrante batterie con 36 moduli (6 per arm) – 70 V – 100 A



Convertitore a tre livelli T-type, basato su IGBT



POLITECNICO
MILANO 1863

DIPARTIMENTO
DI ELETTRONICA
INFORMAZIONE E
BIOINGEGNERIA

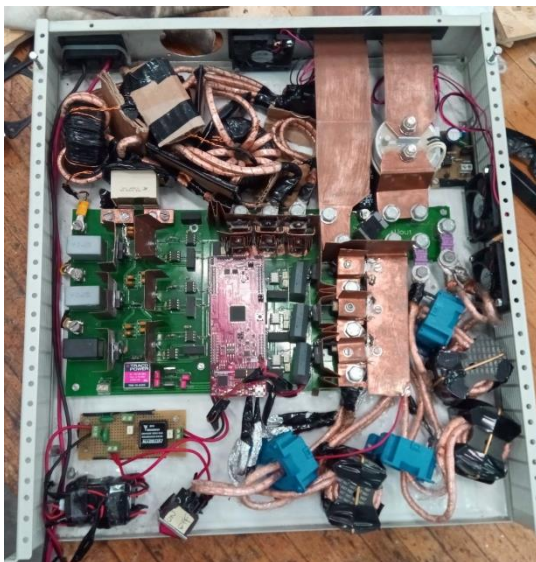
DIPARTIMENTO
DI ENERGIA

DIPARTIMENTO
DI MECCANICA

Gruppo di Ricerca sui Convertitori, Macchine e Azionamenti Elettrici



Banco prova per test di invecchiamento su singole batterie



Convertitore DC/DC 800 V-12 V, 3kW, fail operational



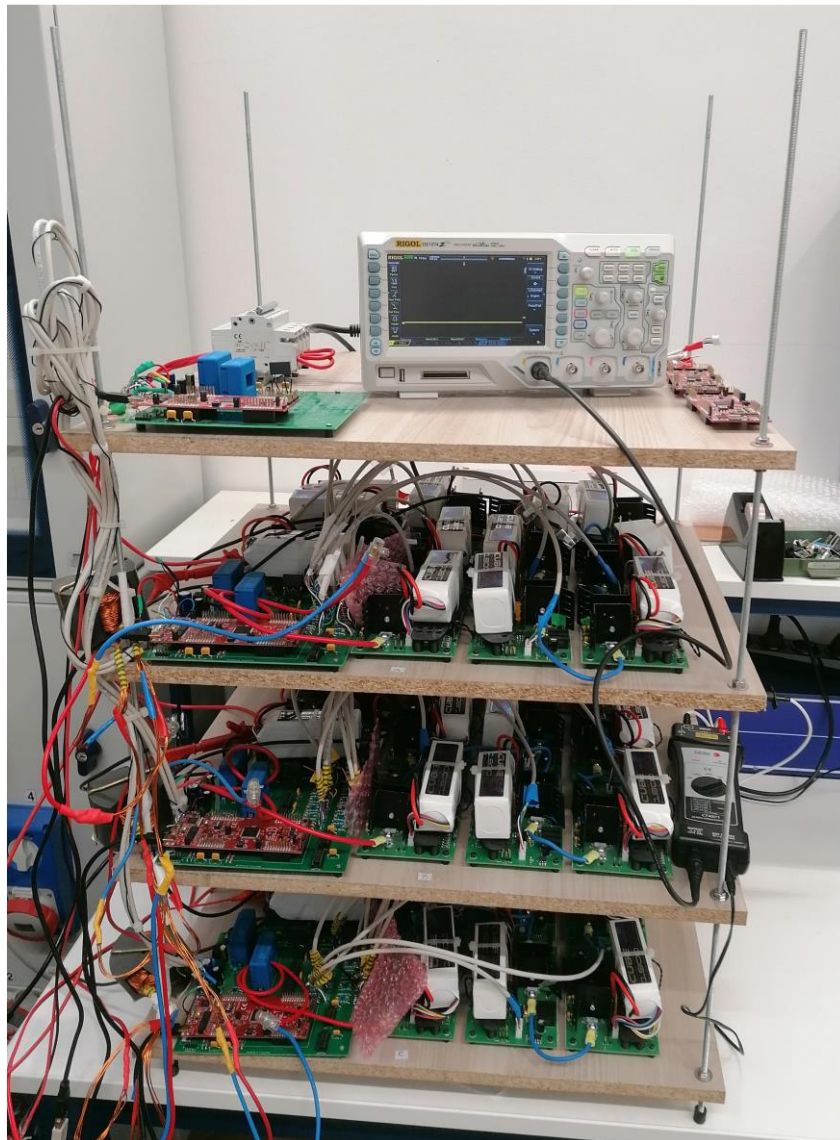
POLITECNICO
MILANO 1863

DIPARTIMENTO
DI ELETTRONICA
INFORMAZIONE E
BIOINGEGNERIA

DIPARTIMENTO
DI ENERGIA

DIPARTIMENTO
DI MECCANICA

Gruppo di Ricerca sui Convertitori, Macchine e Azionamenti Elettrici



Double star chopper cells trifase integrante batterie con 36 moduli (6 per arm) – 70 V – 100 A