Sistemi di frenata rigenerativi in veicoli ibridi ed elettrici

Relazione per la prova finale

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Tutor Universitario: Prof. Sonato Piergiorgio

Martelli Luca 1223712

Introduzione

- Cos’è un ERS
- Perché si usa

Principali tipi di ERS

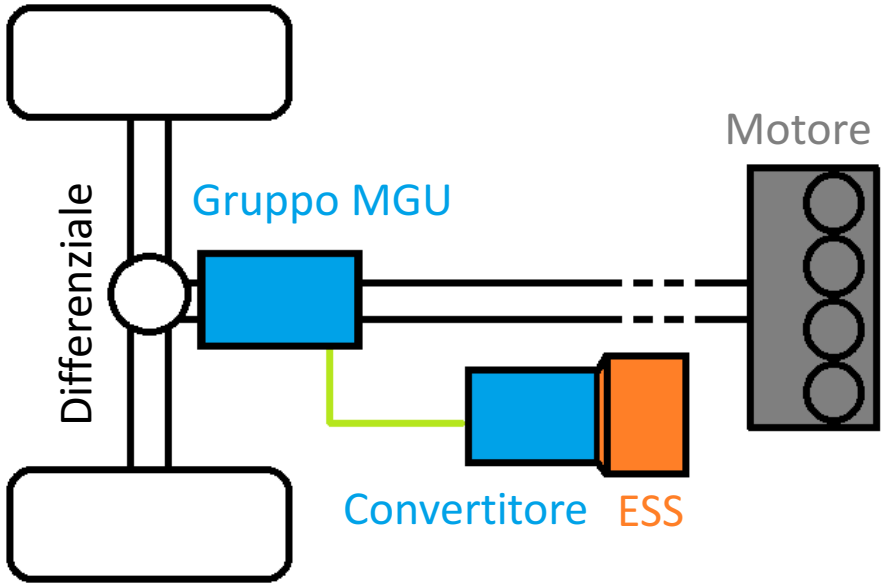
- Termoelettrici, a ciclo Rankine, turboelettrici
- Oscillatori verticali
- Magneti a superconduttori
- Volani
- Idraulici e pneumatici
- Elastomeri
- Elettrici

	Battery	Superconducting magnets	Flywheels
Energy storage efficiency	<90 %	<95 %	<85 %
Cost per unit capacity $/kWh	300–2500	300–72,000	1000–14,000
Power density	250–340 W/kg	500–2000 W/kg	400–1500 W/kg
Energy density	100–250 Wh/kg	2.5–15 Wh/kg	10–50 Wh/kg
Cycle life	1000–10,000	500,000	500,000–1,000,000

Tabella comparativa dei tre tipi di ESS più diffusi in campo automotive

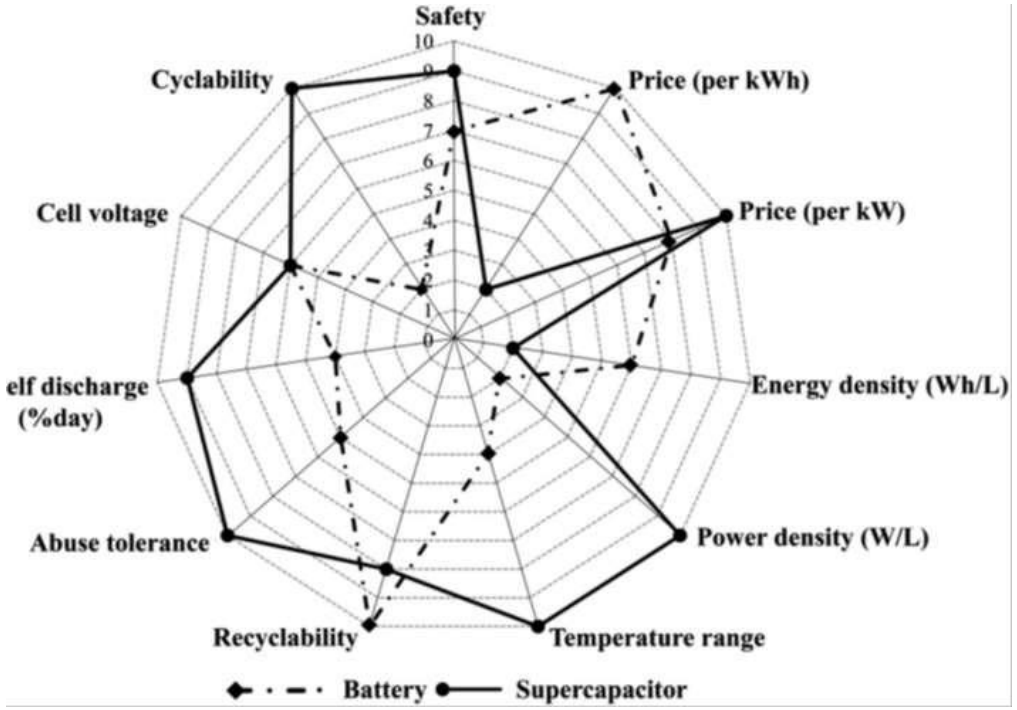
ERS puramente elettrici

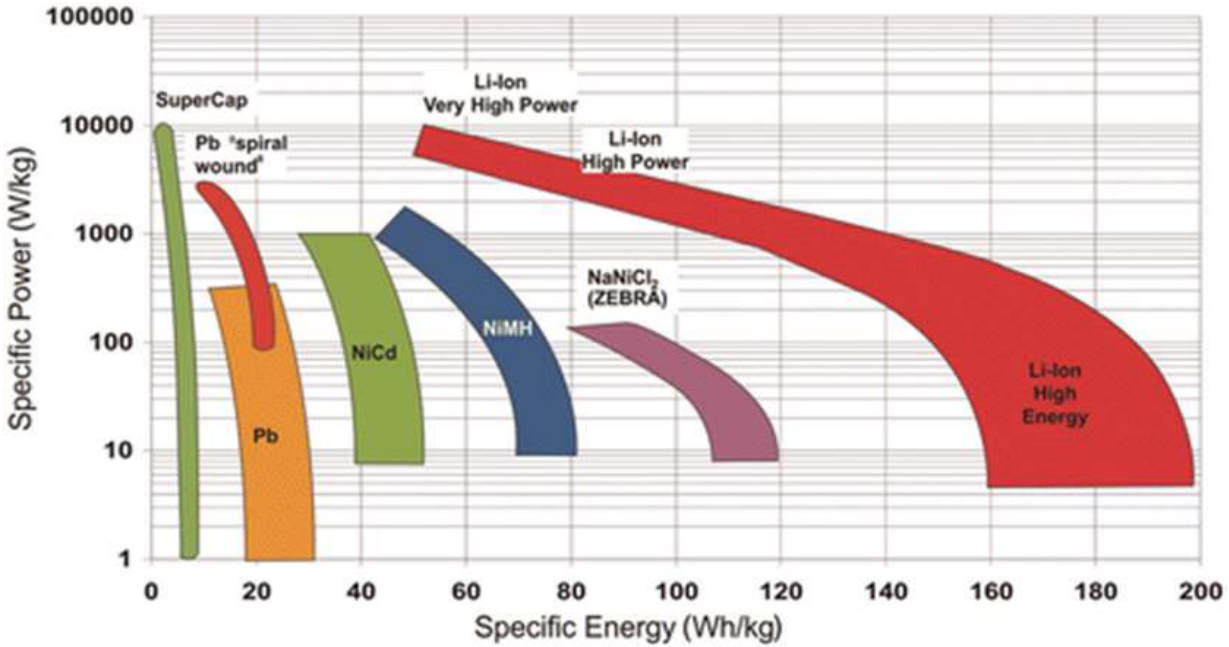
- Componentistica
- Caratteristiche desiderabili nell' ERS
- Cos'è un ESS
- Caratteristiche desiderabili in un ESS



Schema ERS elettrico convenzionale

Confronto fra batterie e supercondensatori





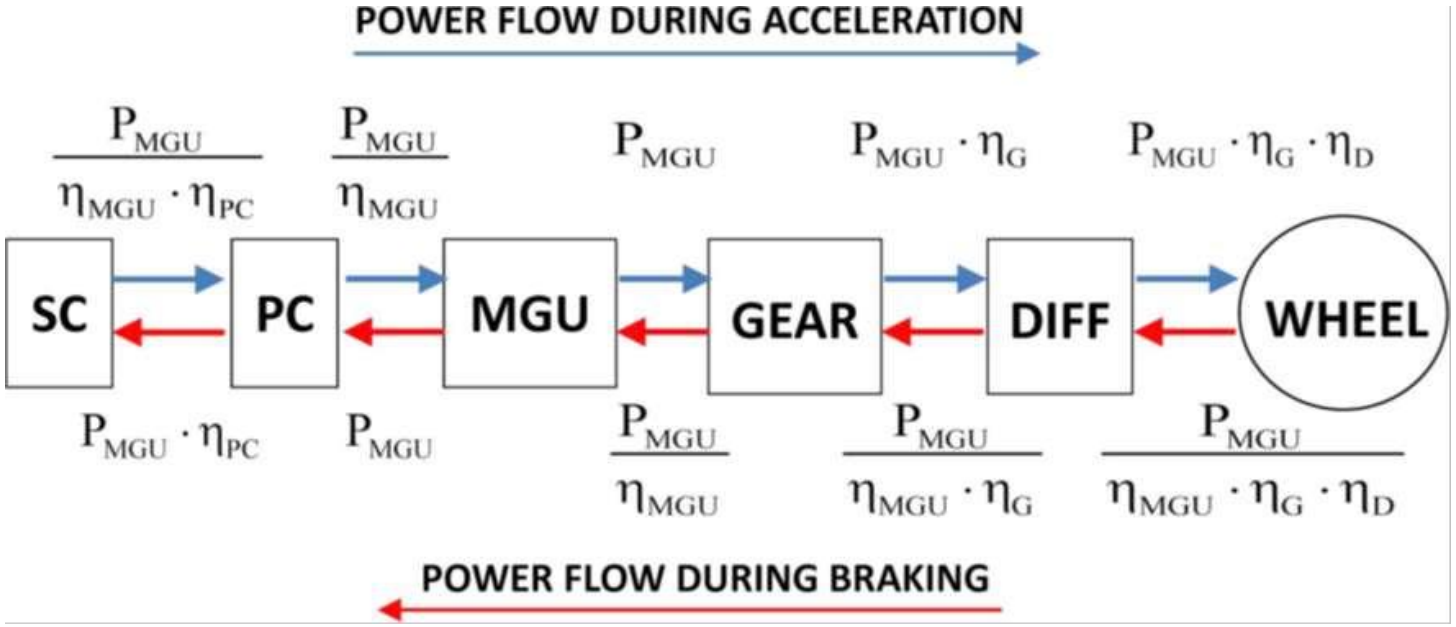
Schema flussi di potenza in ERS con soli supercondensatori

$$F_{traz}(t) - F_{fren}(t) - \left[F_{aer}(t) + F_{volv}(t) + F_{grav}(t) + F_{dist}(t)\right] = m_v \frac{dv(t)}{dt}$$

Moltiplicando per v(t) si ottiene il bilancio di potenza del sistema

$$P_{fren}(t) = -m_v \cdot a(t) \cdot v(t) - P_{resis}(t) = -P_I(t) - P_{resis}(t)$$

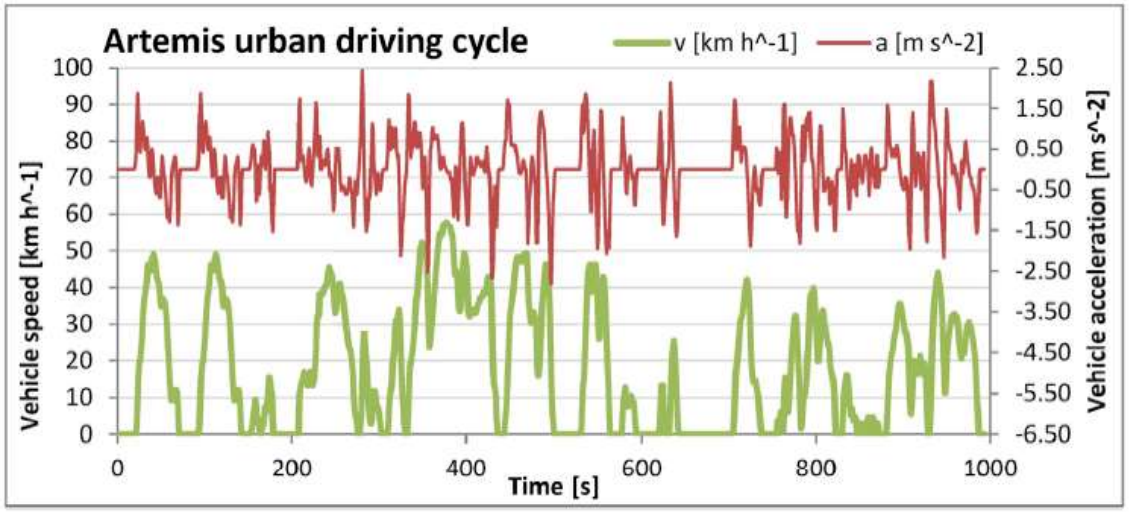
La potenza frenante che la MGU deve assorbire e trasformare in potenza elettrica è pari alla potenza inerziale del veicolo cui si sottrae la potenza degli attriti



$$V_{MGU}\, i_{MGU}(t) = T_{MGU}(t)\omega(t) - R i^2_{MGU}(t) - T_f\, \omega(t) - k\, \omega^3(t) - I\, \alpha(t)\omega(t)$$

Potenza elettrica convertita | Potenza meccanica frenante effettiva | Perdite Joule | Attrito meccanico | Attrito aerodinamico | Inerzia rotore

Risultati simulazione



Ciclo di guida simulato in MatLab

	KERS1	KERS2	KERS3	KERS4
Peak motor power [kW]	11.0	14.0	24.0	30.0
Energy required without KERS [kJ]	3006	3006	3006	3006
Energy required with KERS [kJ]	2415	2389	2293	2283
Recovered energy [MJ]	649.1	676.3	791.5	806.2
Max recoverable energy [MJ]	1673	1674	1686	1688
Energy recovery efficiency	38.8%	40.4%	46.9%	47.7%
Energy saving	19.7%	20.5%	23.7%	24.1%
LOEP	15.3%	15.7%	16.8%	17.7%
LOLP	26.7%	22.5%	7.99%	3.96%

	KERS1	KERS2	KERS3	KERS4
Fuel consumption with KERS [L $(100\,km)^{-1}$]	8.27	8.19	7.86	7.82
Fuel saving with KERS [L $(100\,km)^{-1}$]	2.03	2.11	2.44	2.48
Money saving with KERS [€ $(100\,km)^{-1}$]	2.99	3.12	3.60	3.66
KERS payback distance [km]	49750	51764	59529	67227
KERS payback time [year]	4.97	5.18	5.95	6.72
CO_2 emissions avoided [ton $(10^5\,km)^{-1}$]	19.2	19.0	18.3	18.2

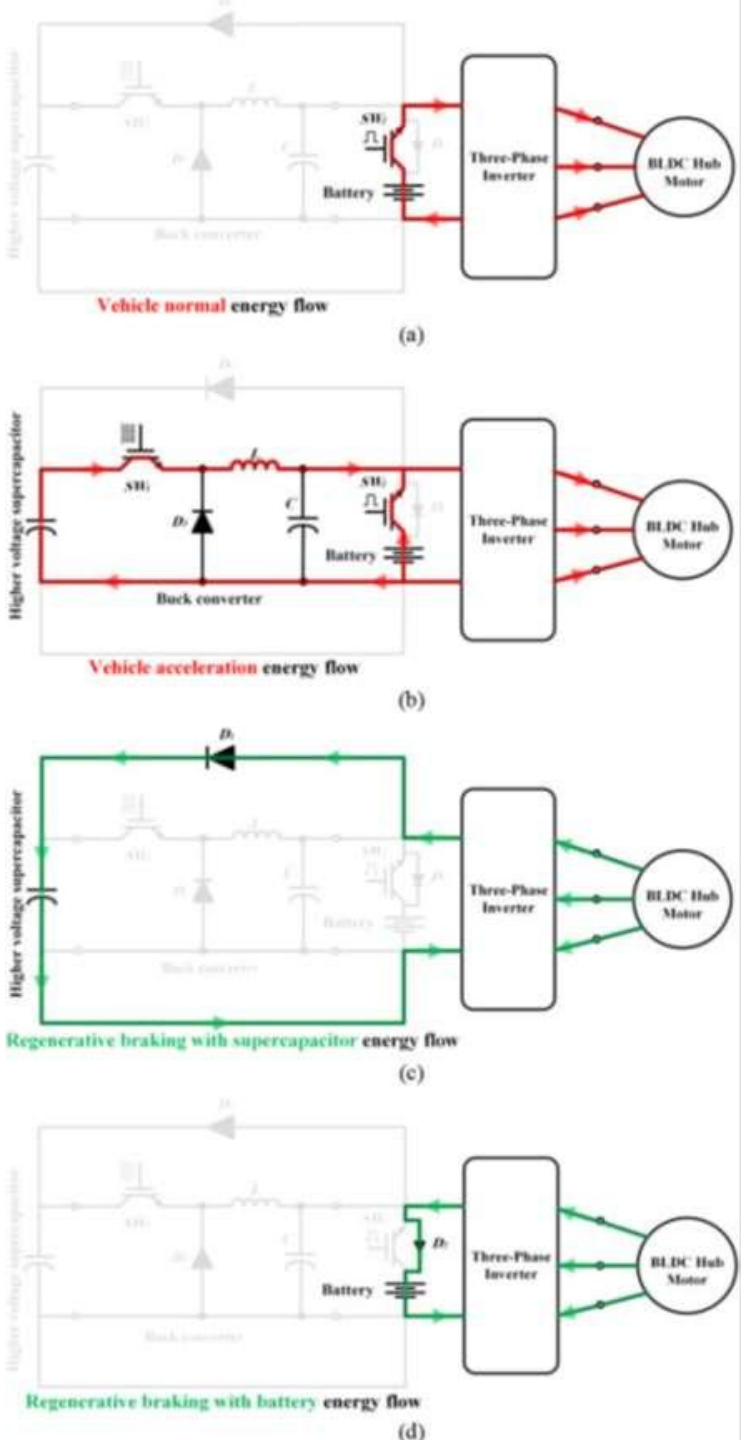
Risultati della simulazione

ESS ibrido: batterie e supercondensatori

- Limiti del sistema solo SC
- Quattro fasi di funzionamento
- Modello per misurare le prestazioni

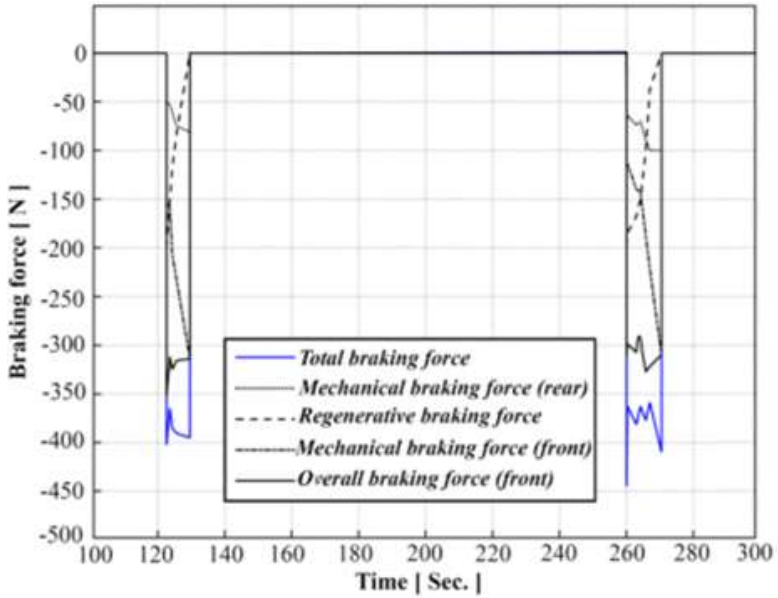
$$\eta\% = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta Esc, i + \sum_{i=1}^{n} \Delta Ebat, i}{\Delta Ecinetica} * 100$$

$$\Delta Esc = \frac{1}{2} C (V_2^2 - V_1^2) \qquad \Delta Ebat = \int_{t1}^{t2} (V_{bat} i_{bat} - R(t) i_{bat}^2)\, dt \qquad \Delta Ecinetica = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2)$$

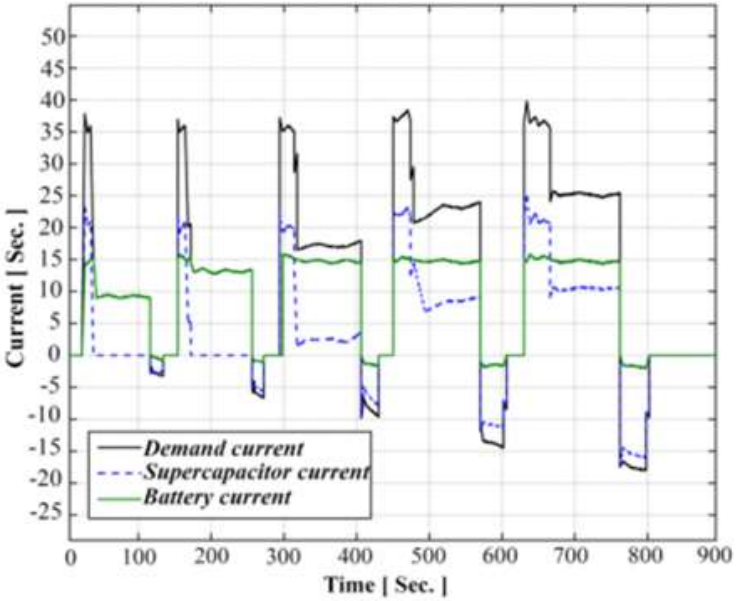


Risultati

a) Distribuzione delle forze durante la frenata
b) Andamento della corrente durante il ciclo

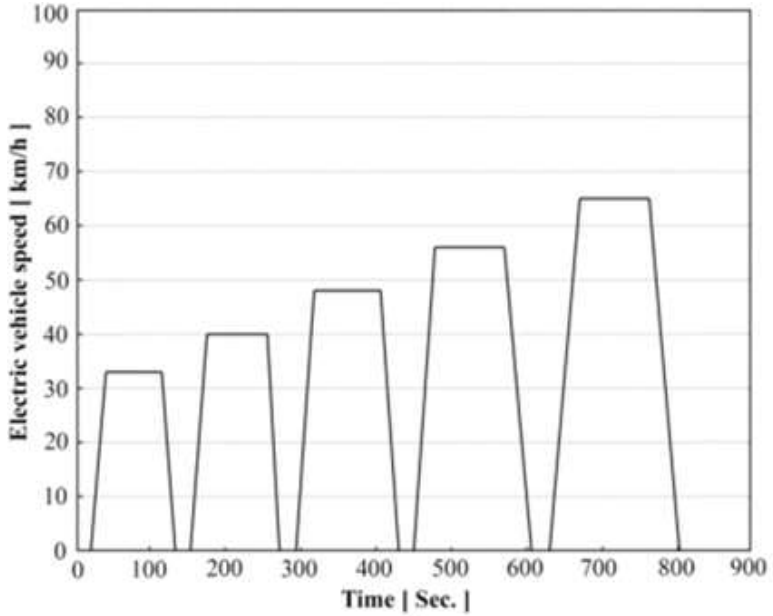


(a)

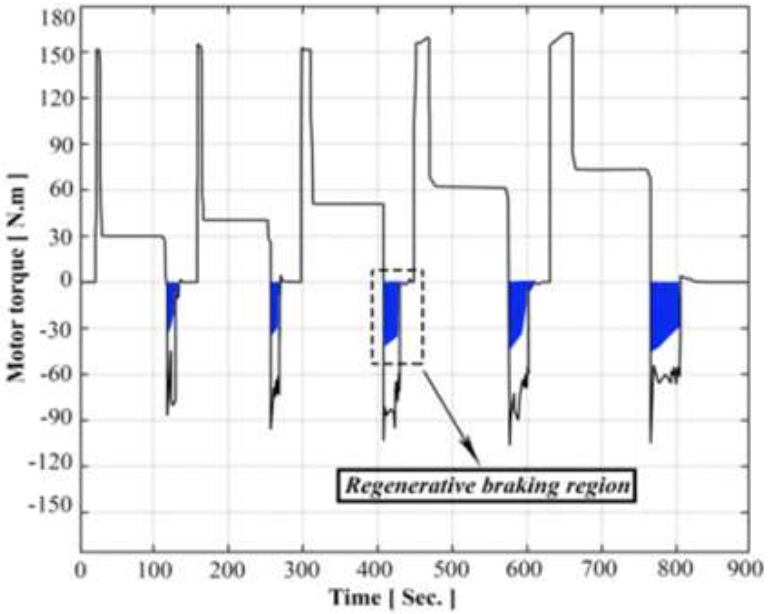


(b)

a) Ciclo simulato
b) Coppia della MGU

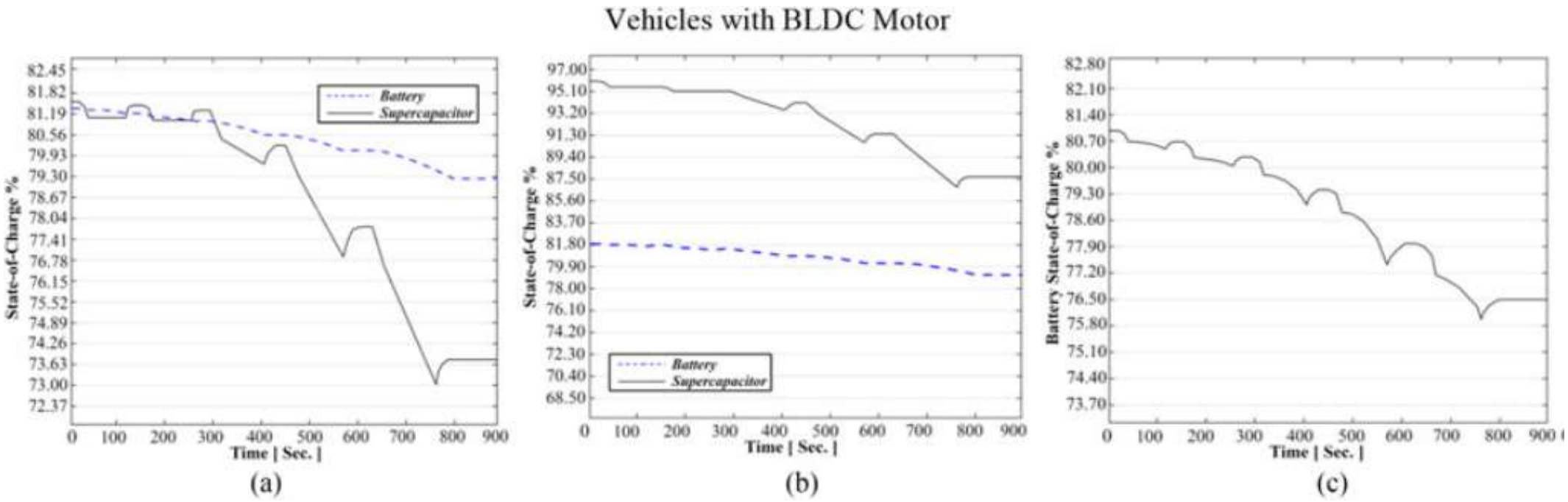


(a)



(b)

SOC in diversi casi



Condizioni iniziali: SC=81,8%, η=48%

Condizioni iniziali: SC=97%, η=43,5%

Confronto con ESS sola batteria: η=28%

Conclusioni

Vantaggi dell’uso dell’ERS:

- Aumento efficienza energetica del veicolo
- Riduzione consumi ed emissioni
- Riduzione usura parti meccaniche
- Maggiore autonomia
- Prolungamento vita batterie

Svantaggi dell’uso dell’ERS:

- Costi manutenzione
- Aumento massa del veicolo