

Accordo di Programma MSE-ENEA



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Elettrotecnologie innovative per i settori produttivi:

Applicazioni dimostrative su scala reale

Sviluppo di tecniche di controllo per i sistemi di accumulo a supercondensatori finalizzate al recupero energetico sui carriponte

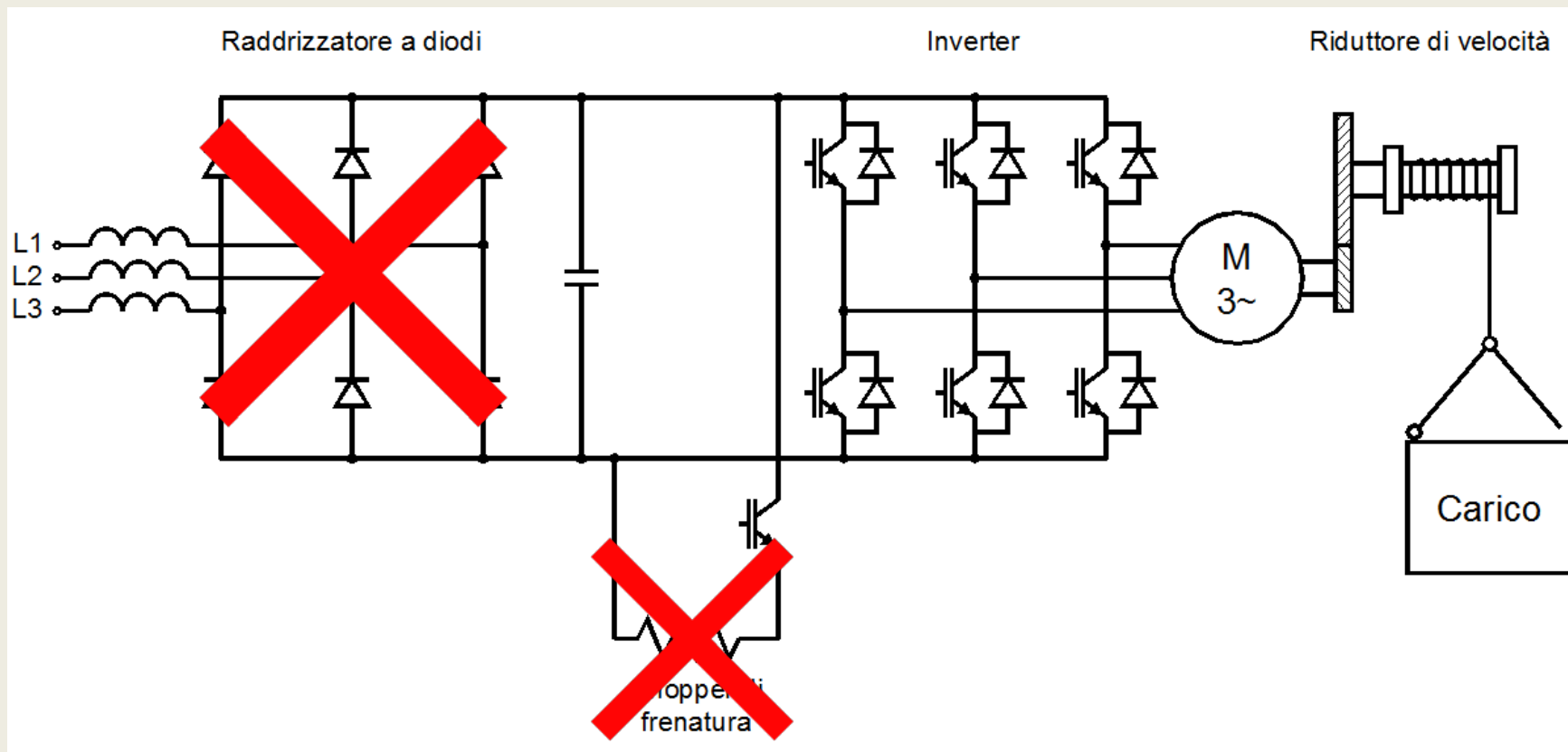
Pietro Tricoli

Dipartimento di Ingegneria Elettrica – Università di Napoli Federico II

Email: ptricoli@unina.it

Roma, 19 settembre 2011

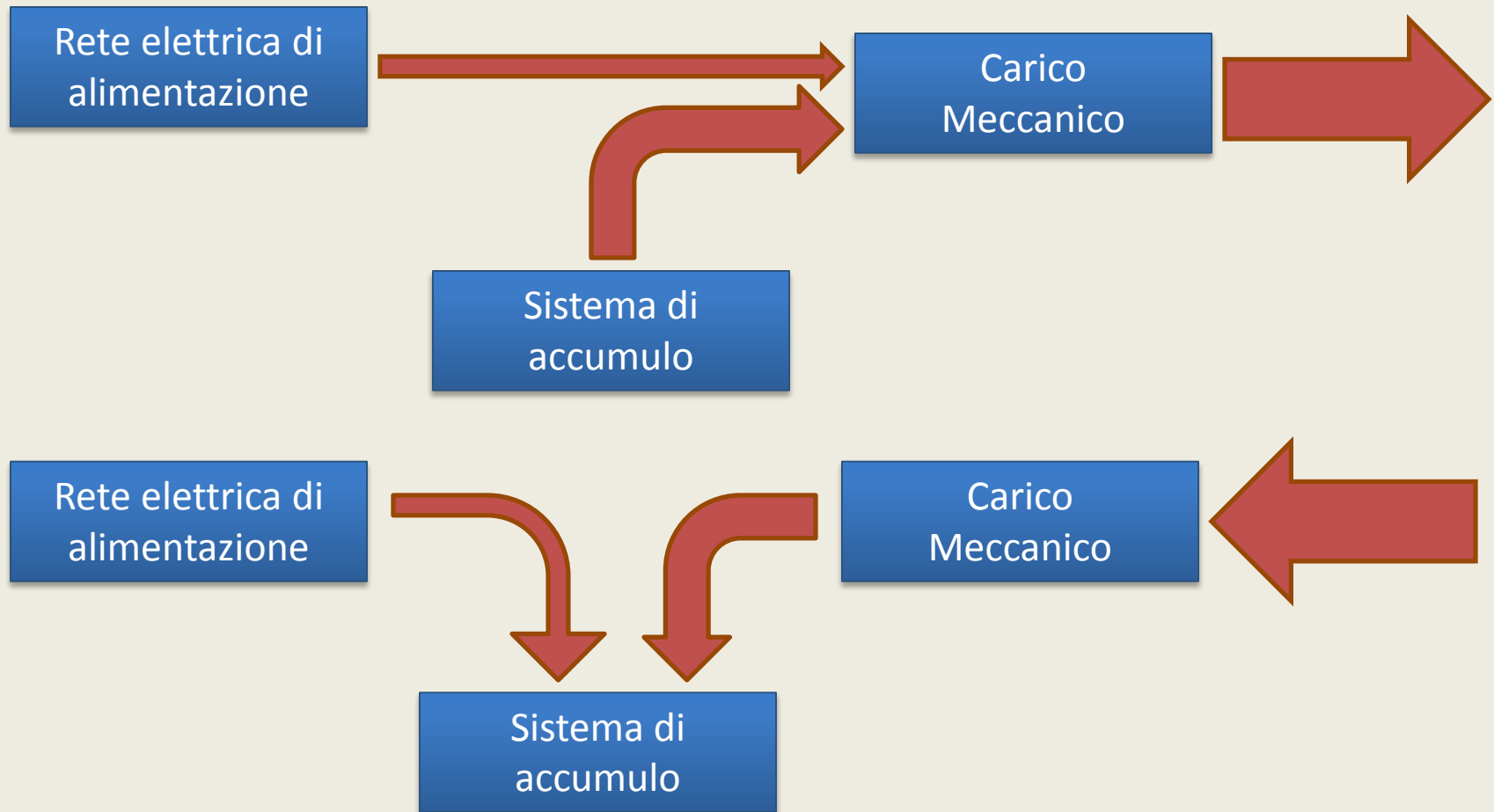
Schema di un azionamento per carroponte



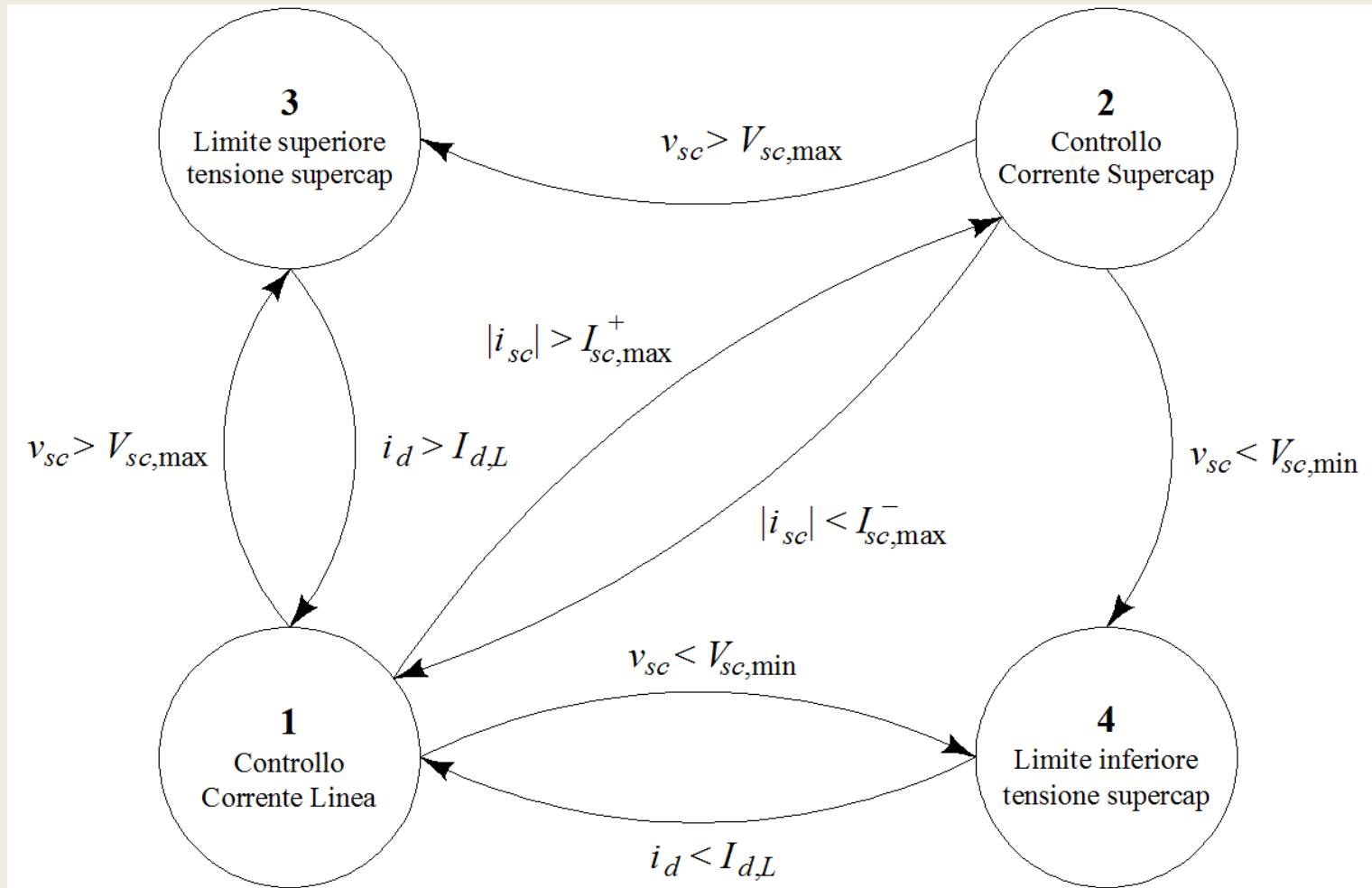
Analisi comparativa di differenti sistemi di accumulo



	Energia specifica [Wh/kg]	Potenza Specifica [kW/kg]	Tempo di vita	Rendimenti di carica-scarica [%]	Costo per unità di potenza [€/kW]	Costo per unità di energia [€/Wh]
Batterie Electrochimiche Piombo acido	20 - 40	0.075 - 0.2	200 - 300 cicli	70-75	170	0.2
Batterie Electrochimiche Altre tipologie	30 - 120	0.075 - 0.5	500 - 1500 cicli	80-90	420	1.1
Supercondensatori	1 - 10	1 - 5	10 000 - 200 000 cicli	85-98	280	40.0
Volani	0.5 - 30	1.5 - 3.0	10 000 - 200 000 cicli	90-95	310	25.0
Sistemi ad aria compressa	50 - 60	-	40 anni	70 - 80% (solo accumulo)	560	0.35



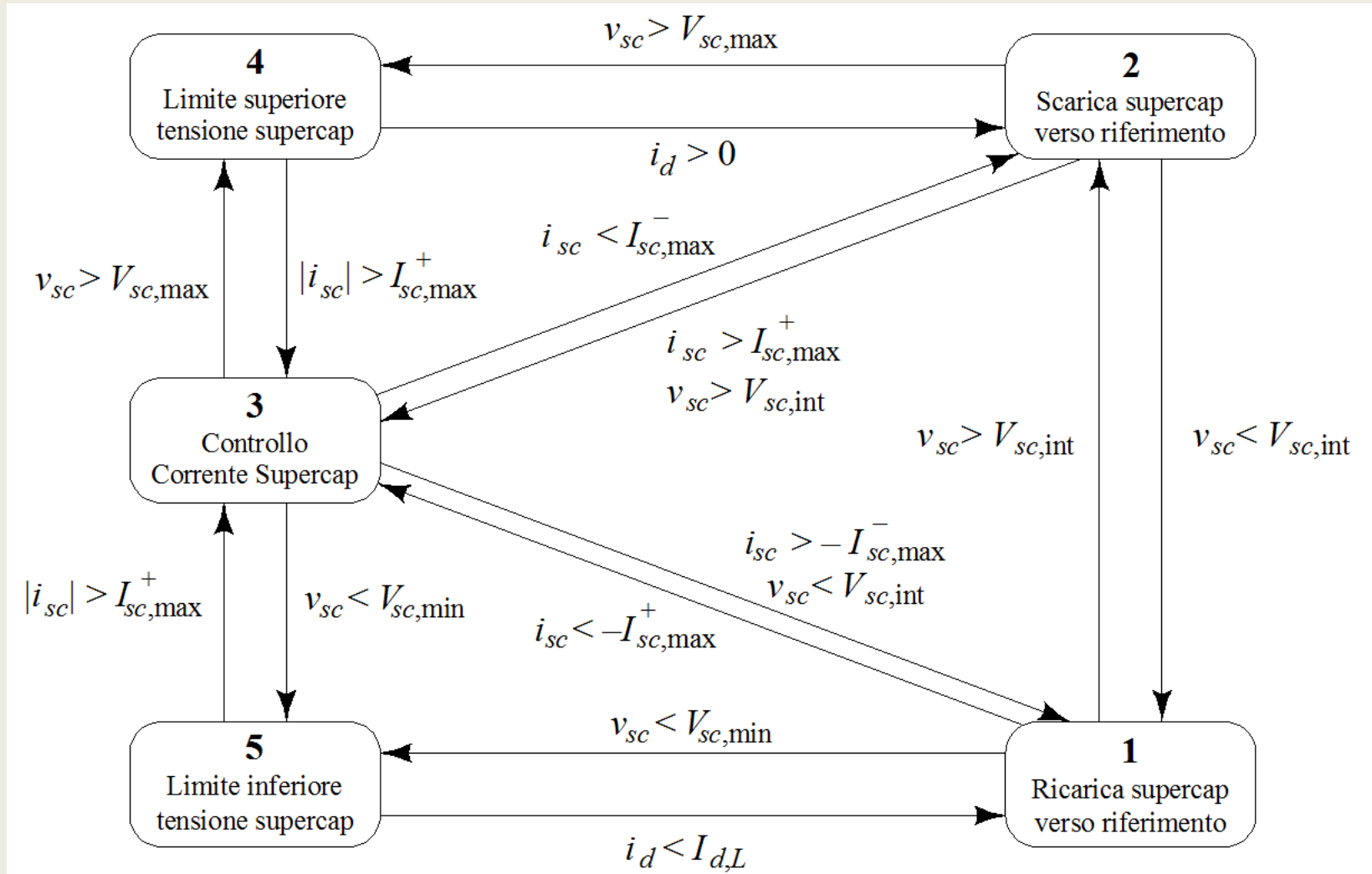
Strategia di controllo iniziale (A2)





- **Principali vantaggi:**
 - Approccio general purpose;
 - Buona limitazione della potenza di rete e semplicità di realizzazione dell'algoritmo di controllo
- **Principali svantaggi:**
 - Riduzione delle prestazioni con cicli di carico dissimmetrici, sia in termini di recupero energetico sia di riduzione dei picchi di potenza.
- **Miglioramenti introdotti nella versione successiva:**
 - Introduzione di un nuovo stato, che tende a far permanere i supercondensatori intorno ad una tensione di riferimento
 - Indipendenza del funzionamento tra un ciclo di lavoro ed il successivo.

Strategia di controllo modificata (A4, A6)





- La tensione di riferimento è inizialmente scelta in modo da poter effettuare un qualsiasi sollevamento o abbassamento:

$$V_{sc,int} = \sqrt{\frac{2 m_{\max} g h_{\max}}{3C} \left(\frac{4k}{\eta} + \eta \right)}$$

- Coefficiente di utilizzo della rete

k	0	0.25	0.5	0.52	0.75	1
Tensione intermedia V_{int} [V]	125	176	197	197.64	208	216
Energia utilizzabile per il sollevamento [Wh]	0	67.2	101.4	102.5	120.8	135.7
Energia utilizzabile per il recupero [Wh]	205.0	137.8	103.6	102.5	84.2	69.3



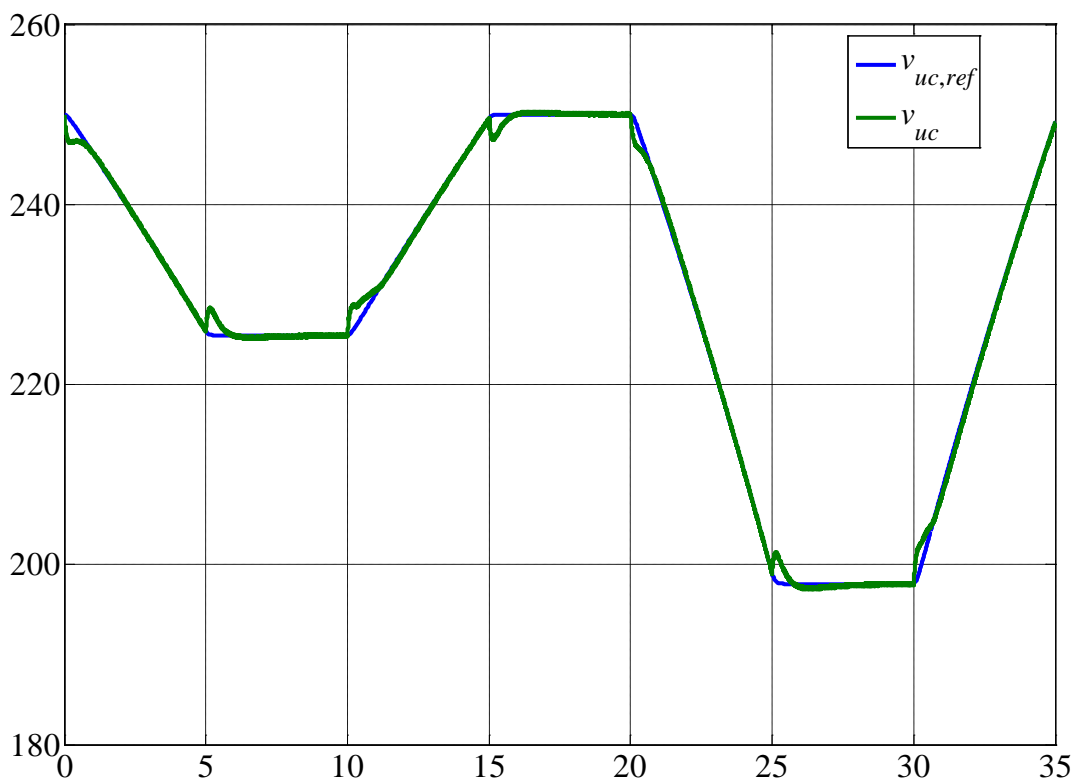
- **Principali novità introdotte:**
 - Stima della posizione tramite integrazione della velocità del motore;
 - Stima della massa del carico tramite stima del momento della coppia all'asse sviluppata dal motore.
- **Principali benefici ottenuti:**
 - La tensione di riferimento varia con la posizione del carico. Ciò consente di sfruttare tutta l'energia dei supercondensatori in ogni sollevamento:
 - La corrente dei supercondensatori è aumentata in ragione dell'ampiezza del picco richiesto e non in maniera costante.
- **Miglioramenti:**
 - Scarica dei supercondensatori con tensioni medie più elevate a parità di potenza erogata (maggiore rendimento):
 - Dinamica della corrente di rete indipendente dal carico per la presenza della compensazione.

Strategia di controllo del terzo anno (A6)

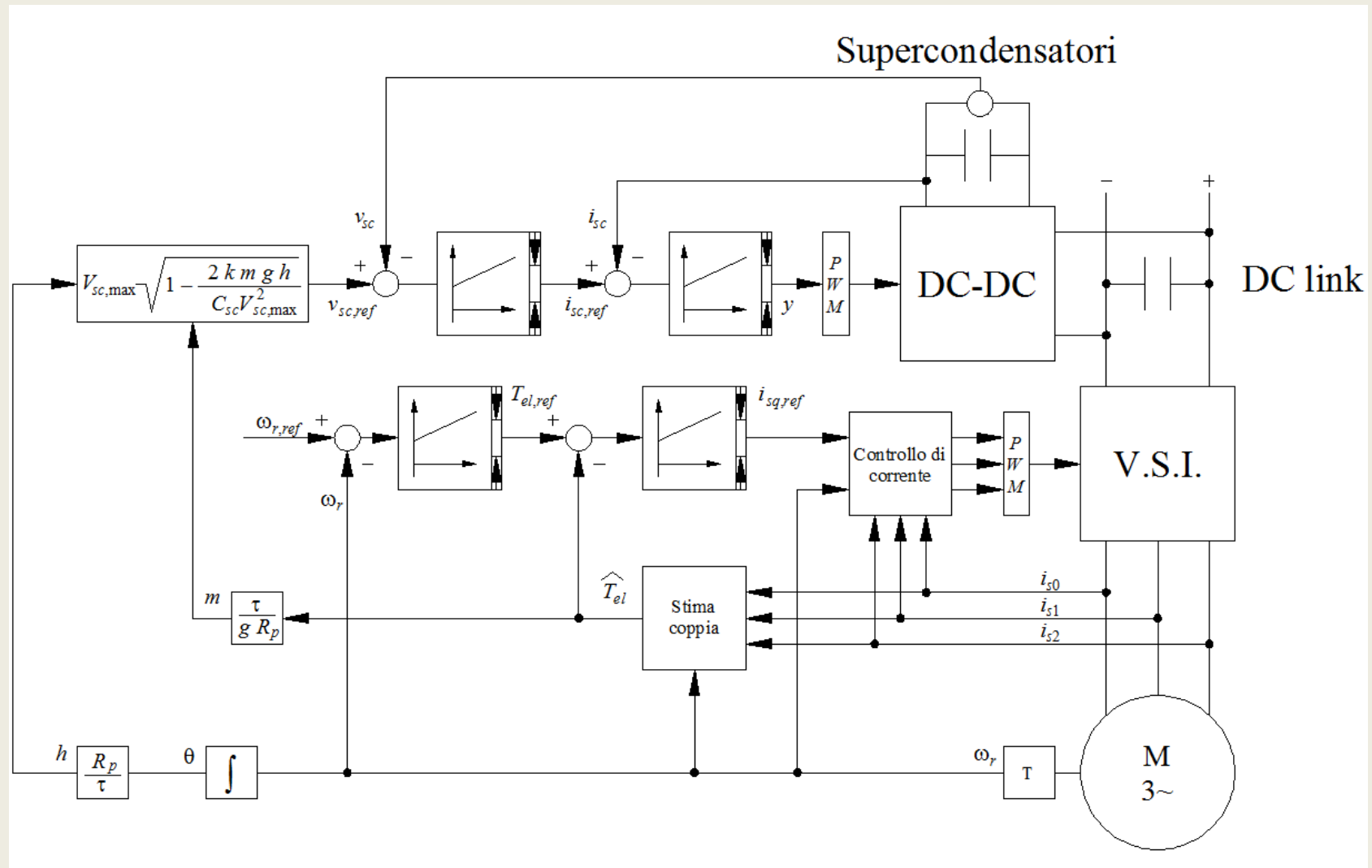



Esempio di sollevamento a due altezze diverse: variazione della tensione di riferimento

$$v_{sc,ref} = V_{sc,max} \sqrt{1 - \frac{2k m g h}{C_{sc} V_{sc,max}^2}}$$



Proposta di controllo adattato senza stati finiti (A8)





**Grazie
dell'attenzione!**