



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Messa a punto e validazione di un software di simulazione in
Simulink per il controllo di una piccola rete in utenze caratterizzate
da assorbimenti discontinui di potenza e/o in applicazioni di
peak-shaving

Augusto Di Napoli



Report RdS/2010/x230

MESSA A PUNTO E VALIDAZIONE DI UN SOFTWARE DI SIMULAZIONE IN SIMULINK PER IL CONTROLLO DI UNA PICCOLA RETE IN UTENZE CARATTERIZZATE DA ASSORBIMENTI DISCONTINUI DI POTENZA E/O IN APPLICAZIONI DI PEAK-SHAVING

Augusto Di Napoli (Università Roma TRE, Dip. di Ingegneria Meccanica)

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Usi finali

Tema: Elettrotecnologie innovative per i settori produttivi: applicazioni su scala reale

Responsabile Tema: Ennio Ferrero, ENEA

Università di Roma TRE

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale

Accordo di Programma MSE-ENEA

Tema di ricerca 5.4.3.1

“Promozione delle Tecnologie Elettriche Innovative negli Usi Finali”

Relazione delle attività dell'Accordo di Collaborazione tra **ENEA** e **Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale** - Università di Roma TRE

Attività di ricerca dal titolo:

“Messa a punto e validazione di un software di simulazione in simulink per il controllo di una piccola rete in utenze caratterizzate da assorbimenti discontinui di potenza e/o in applicazioni di peak-shaving.”

Augusto Di Napoli

TITOLO

Messa a punto e validazione di un software di simulazione in simulink per il controllo di una piccola rete in utenze caratterizzate da assorbimenti discontinui di potenza e/o in applicazioni di peak-shaving

Autori

Augusto Di Napoli (Dipartimento di Ing. Meccanica e Industriale – Univ. Roma TRE)

Per il periodo 13 novembre 2009 – 30 settembre 2010

Report Ricerca Sistema Elettrico Nazionale

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area usi finali

Tema Promozione delle tecnologie elettriche innovative negli usi finali

Responsabile Tema: Augusto Di Napoli

Relazione su

“Messa a punto e validazione di un software di simulazione in simulink per il controllo di una piccola rete in utenze caratterizzate da assorbimenti discontinui di potenza e/o in applicazioni di peak-shaving”.

Premessa

La presente relazione descrive il programma di attività, il cui titolo è riportato in testa, effettuato presso il Dipartimento di ingegneria Meccanica ed Industriale dell'Università degli studi di Roma TRE nel periodo novembre 2009 – settembre 2010, si inserisce nell'ambito del tema “Promozione delle tecnologie elettriche innovative negli usi finali”.

La relazione si suddivide in due parti:

La prima parte è relativa alla campagna di misure che è stata effettuata presso i laboratori ENEA, su tutto il dominio di lavoro del carro ponte presente. Gli obiettivi principali delle prove sperimentali riguardano infatti l'analisi delle prestazioni ottenute tramite l'impiego dei supercondensatori come unità di accumulo; in particolare sono state analizzate le capacità dei supercondensatori di gestire i picchi di potenza, in modo da ridurre l'erogazione dalla rete di distribuzione dell'energia elettrica durante la fase di recupero dell'energia. Per l'effettuazione di tali prove, dovendo misurare e immagazzinare dati che hanno una banda passante della decina di MHz, è stato necessario vedere quali apparecchi tra quelli presenti sul mercato presentassero un migliore rapporto qualità prezzo. E' stata pertanto acquisita una piattaforma CDAQ della National Instrument che consente l'acquisizione contemporanea fino a sedici grandezze con banda passante variabile a seconda delle grandezze misurate, ed alcune sonde di corrente sia 2 sonde in a.c Yokogawa, che 4 in d.c.Fluke, oltre a tre sonde di tensione.

la seconda si riferisce alla costruzione di un simulatore in linguaggio Matlab – Simulink per lo studio della dinamica di tale sistema. fissato il profilo di missione. Come sistema base, per il quale si effettuerà la messa a punto e validazione, si è preso il carro ponte dimensionato nel precedente anno di ricerca , sulla base di considerazioni steady state, e disponibile presso i laboratori ENEA –Casaccia.

Il simulatore è stato costruito nelle sue parti essenziali, motore ,convertitori, banco condensatori, come riportato nell'allegato lavoro presentato a Bressanone nel marzo del 2010 , successivamente sono stati dimensionati i parametri dei regolatori industriali PID di ciascuna delle reti di controllo dei convertitori, ed

effettuata la stabilizzazione della tensione sui carichi, per valutare istante per istante l'assorbimento di corrente lato rete e per ottenere le riduzioni dei consumi a parità di prestazioni .

Le simulazioni sono state effettuate con diversi profili di missioni, per individuare il comportamento dell' impianto in presenza di una richiesta di energia di breve durata e con tempo di salita rapido.

Definizione del sistema

Il sistema in riferimento riguarda un azionamento per carro ponte con accumulo a supercondensatori in cui, a partire dalla rete elettrica trifase, l'alimentazione del sistema è ottenuta tramite un ponte raddrizzatore trifase a diodi con relativo condensatore di link che provvede a garantire una tensione continua sul dc-link. La presenza di opportuni filtri in ingresso al ponte raddrizzatore garantisce il rispetto dei limiti normativi nel punto di interconnessione alla rete di distribuzione dell'energia elettrica. L'azionamento elettrico preposto alla movimentazione del carro ponte si compone di una macchina trifase ad induzione e di un inverter trifase con controllo vettoriale ad orientamento di campo (nel prototipo realizzato l'inverter è controllato con una logica V/f costante). Il banco di supercondensatori (UC: Ultracapacitor) provvede ad alimentare l'azionamento elettrico durante la fase di sollevamento dei carichi (scarica UC) e a recuperare l'energia che si rende disponibile durante la fase di discesa dei carichi (ricarica UC). Per interfacciare il sistema di accumulo con il dc-link è necessario un convertitore elettronico di potenza dc-dc bidirezionale del tipo innalzatore/abbassatore (Fig.1). Il convertitore di UC è controllato in corrente perchè:

- la tensione lato UC è imposta dallo stato di carica dei supercondensatori
- la tensione lato dc-link è imposta dal raddrizzatore non controllato

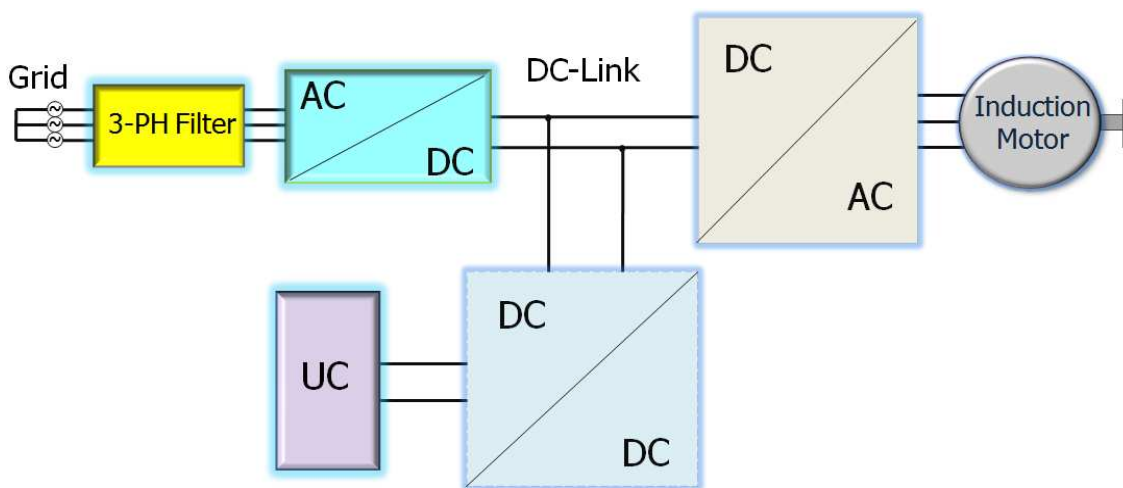


Fig.1 - Layout impianto

Il riferimento di corrente per il controllo del convertitore di UC è calcolato quindi come percentuale della corrente di link, assorbita o erogata dall'azionamento, con una logica finalizzata

all'ottimizzazione dei flussi di potenza nell'impianto. In Fig.2 è riportato l'impianto con l'esplicazione della terminologia adottata:

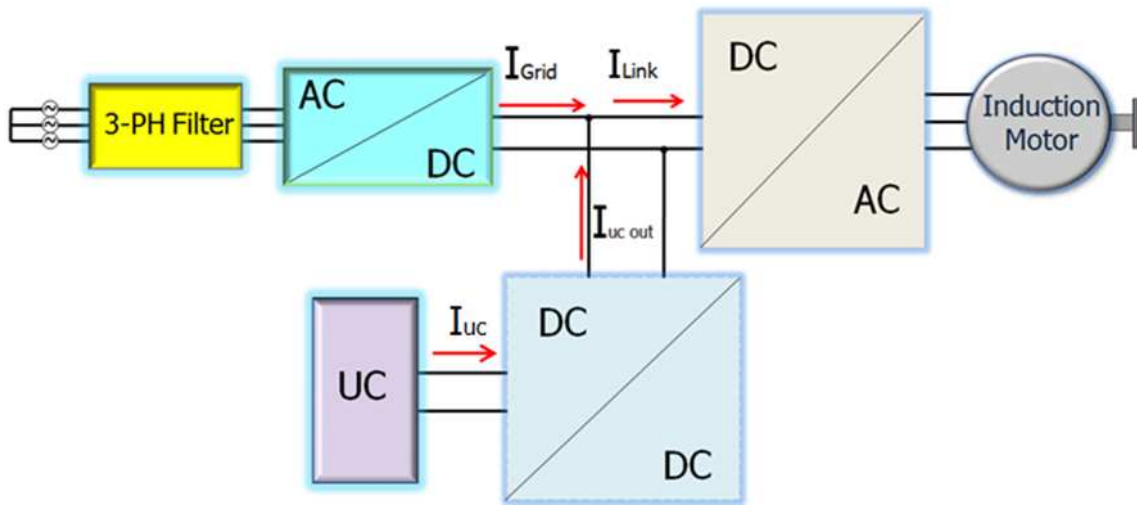


Fig.2 – Definizione grandezze

in virtù di tale logica, la rete elettrica è quindi sempre chiamata ad erogare potenza facendo il saldo di corrente al nodo tra quello che richiede (o eroga) l'azionamento e quello che sono chiamati a gestire i supercondensatori (1).

$$I_{grid} = | I_{link} - I_{UC out} | \quad (1)$$

Per ottimizzare le prestazioni del sistema sarebbe preferibile operare in modo che la rete eroghi una potenza costante in entrambe le fasi (carica e scarica UC) del ciclo di lavoro e contemporaneamente mantenere la tensione dei supercondensatori nel range [125,250] V. La scelta di mantenere i supercondensatori in questo range nasce dal fatto che sorgono problemi, ragionando a pari potenza di funzionamento, sia di correnti troppo elevate in scarica (sovradimensionamento convertitore e riscaldamento eccessivo per perdite joule), sia energetici. I supercondensatori (come tutti i dispositivi di accumulo elettrostatici), infatti, mettono a disposizione il 75% dell'energia nel campo di valori di tensione massima e metà della stessa.

Il sistema di accumulo a supercondensatori dell'impianto in scala, disponibile in ENEA Casaccia, è stato dimensionato per poter contenere ed elaborare l'energia media del ciclo di lavoro a potenza di 13kW scelto come rappresentativo dell'impianto carroponete (Fig.3).

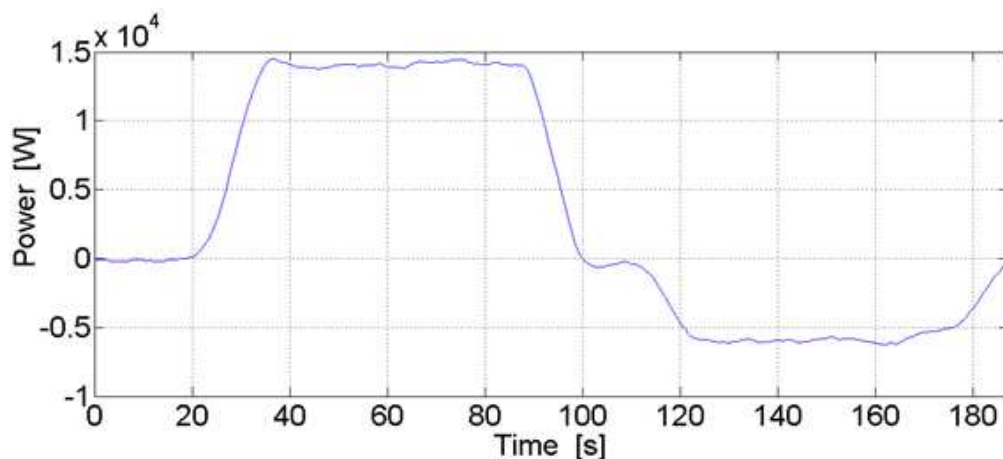


Fig.3 – Profilo di potenza dell'impianto in scala

Sulla base di questo ciclo sono state condotte preliminarmente delle simulazioni¹ per indagare il funzionamento dei supercondensatori nell'impianto in scala realizzato. Come accennato per meglio sfruttare i supercondensatori si richiede che essi lavorino nel campo del loro State Of Charge (SOC) massimo (SOC=1) e metà dello stesso (SOC=0,5). I risultati delle simulazioni sono rappresentati in Fig.4 e la percentuale di intervento del sistema di accumulo è del 73% in scarica e del 149% in ricarica. L'ottimizzazione di tali percentuali ha senso per la situazione a potenza nominale (nel caso nostro a 13 kW) in cui le percentuali scelte consentono di avere assorbimenti da rete simmetrici e contemporaneamente fare lavorare i supercondensatori nel campo desiderato.

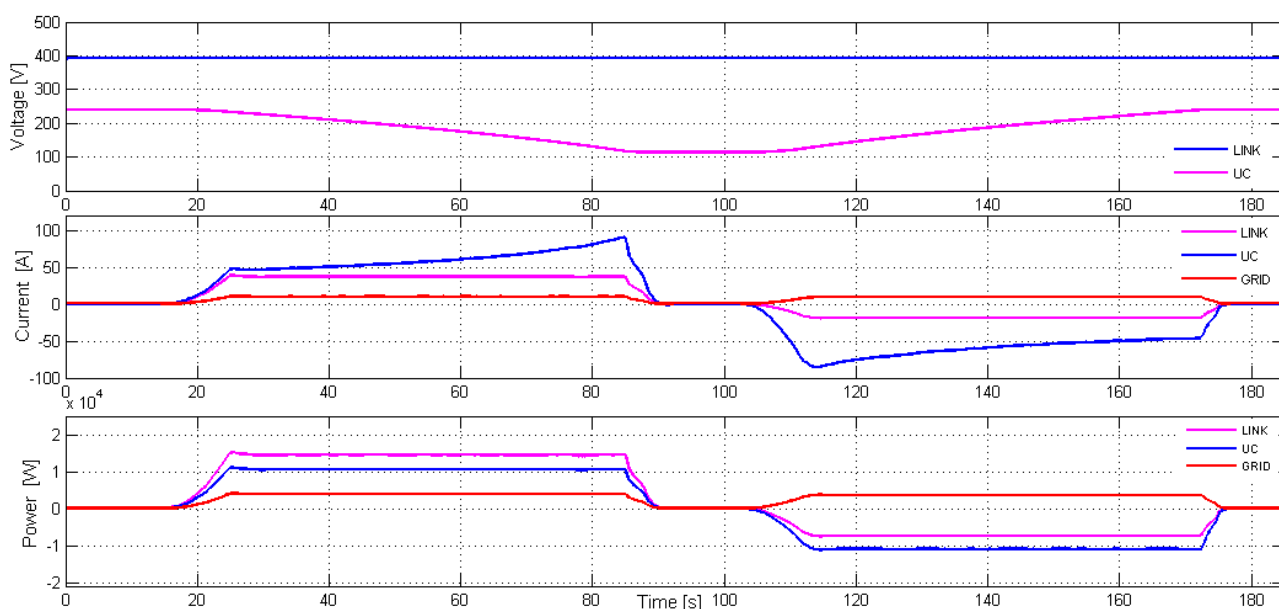


Fig.4 – Andamenti grandezze per $P_{mec} = 13 \text{ kW}$

¹ Queste prime simulazioni sono state ricavate con un programma in Matlab di tipo statico, messo a punto nel primo contratto nel 2009.

Nelle situazioni in cui si lavora a $P < P_{nom}$ le percentuali di intervento dei supercondensatori possono essere lasciate invariate, in modo da lasciare gli assorbimenti da rete costanti, ma si perderebbe la possibilità di sfruttare al meglio l'energia accumulabile come mostra il caso a potenza ridotta a 5 kW (fig.5).

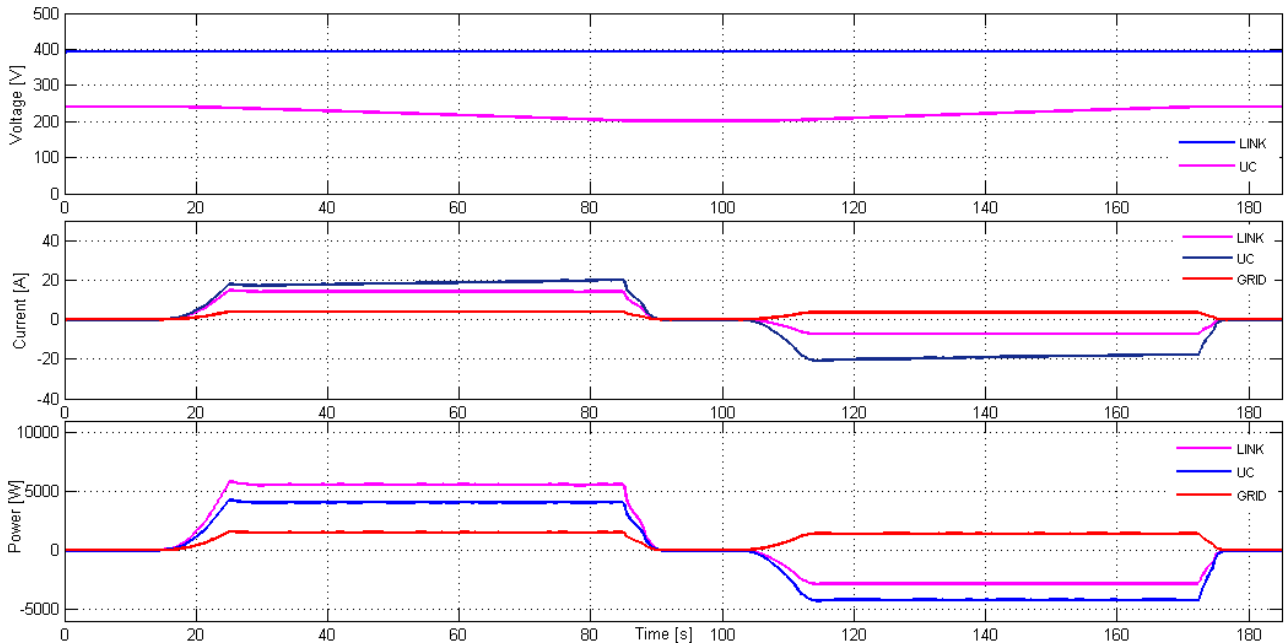


Fig.5 – Andamenti grandezze per $P = 5 \text{ kW}$

Variando le percentuali di intervento si potrebbe, per potenze non troppo distanti dal valore nominale, continuare a sfruttare bene il sistema di accumulo ma si devono squilibrare gli assorbimenti da rete (fig.6).

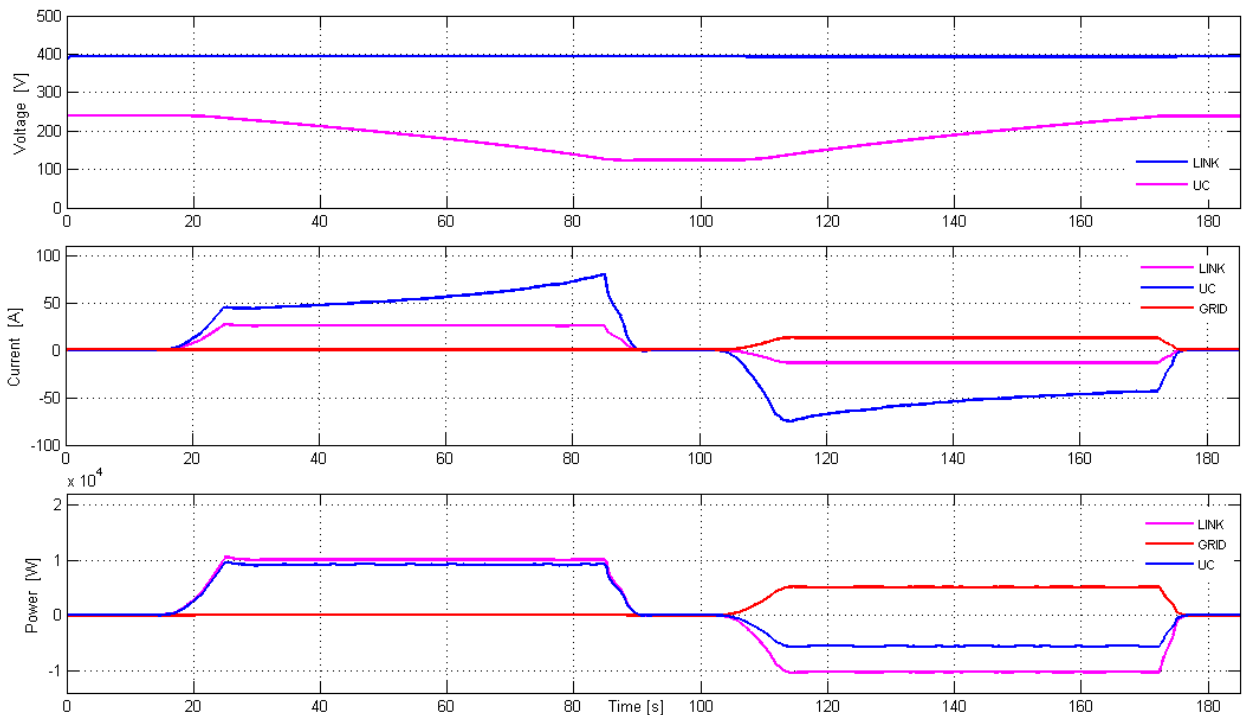


Fig.6 – Andamenti grandezze per potenza di 7 kW con percentuali di UC (100% - 200%)

Pertanto non è di interesse ottimizzare le percentuali di intervento per le situazioni di lavoro a potenze troppo distanti da quella nominale (si perderebbero i vantaggi in termini di bilanciamento degli assorbimenti lato rete).

Descrizione prototipo

Il sistema realizzato nei laboratori Enea (Fig.7) è composto, a partire dalla rete elettrica trifase, da un trasformatore abbassatore per alimentare l'impianto con una concatenata efficace di 220V ed il successivo ponte raddrizzatore che stabilizza la tensione del dc-link a 300V. Sul dc-link stesso è inserito il sistema di accumulo a supercondensatori (i dati sono riportati in Tab.I) composto da due moduli connessi in serie tra loro per arrivare ad un valore di tensione nominale ai capi di 250V, il sistema di accumulo si interfaccia al dc-link tramite un convertitore dc-dc bidirezionale in corrente. Infine l'azionamento elettrico, preposto alla simulazione della movimentazione del carro ponte, si compone di una macchina trifase ad induzione da 15kW e di un inverter trifase con controllo scalare con una logica V/f costante.

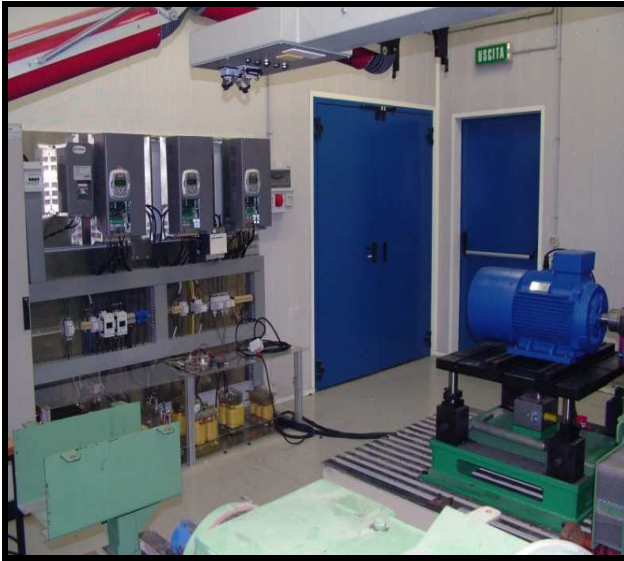


Fig.7 – Prototipo realizzato nei laboratori in ENEA Casaccia

Tensione nominale [V]	125
Capacità nominale Cmod [F]	63
Resistenza DC serie [mΩ]	18
Energia disponibile [Wh]	101.7
Max.corrente continuativa [A]	150
Max. corrente [A]	750
Temperatura min. di esercizio [°C]	-40
Max. temperatura di esercizio [°C]	65
Peso [Kg]	58

Tab.I Dati banco supercondensatori

Per investigare il funzionamento dell'azionamento è stato scelto lo stesso ciclo di lavoro adottato nelle simulazioni viste in precedenza con la variante di eseguirlo ripetuto (Fig.8) e sulla base di questi è stata condotta la campagna di prove che ha interessato le attività dell'Università Roma Tre.

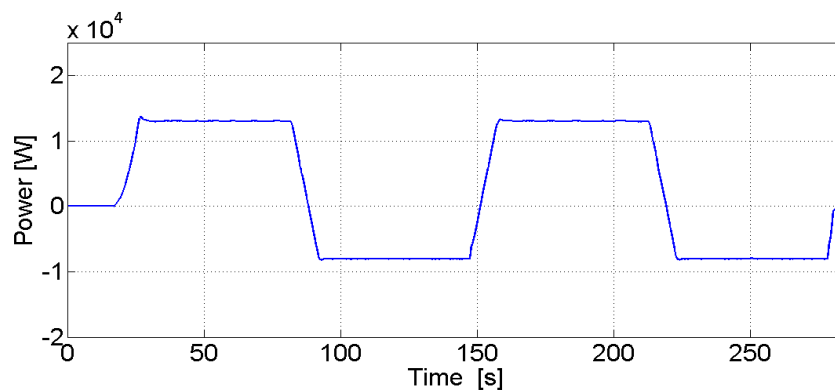


Fig.8 – Ciclo di lavoro ripetuto del carro ponte a potenza di 13 kW

Test sperimentali sul prototipo

A tale fine, per questo prototipo di carro ponte, allo scopo di effettuare misure di tensione e corrente che consentano anche una valutazione delle potenze sono state acquistate schede di acquisizione (NI cDAQ 9174), sonde di tensione (Yokogawa Model 701944/701945) e sonde di corrente sia in alternata (Yokogawa Model 96001 Clamp-on Probe) che in continua (Fluke i1010). Sono state pertanto effettuate acquisizioni di tali grandezze ed i valori prelevati dalle sonde, tramite la scheda di acquisizione (funzionante in ambiente NI LabVIEW), sono stati inviati e memorizzati in un Pc. L'utilizzo di Matlab/Simulink ha consentito il post-processing, l'opportuna scalatura ed il

filtraggio dal rumore delle grandezze misurate. Sono stati condotti tre tipi di test, il primo denominato Test UC in cui si è investigato il funzionamento del prototipo col sistema di accumulo connesso, il secondo, Rigenerativo verso rete, in cui si è rinviata l'energia proveniente dalla frenatura rigenerativa verso rete senza fare intervenire i supercondensatori. Il terzo infine è denominato Test non rigenerativo in cui si riproduce un carroponte tradizionale in cui non c'è recupero nella fase di discesa del carico.

Test UC

I risultati che mostrano la modalità di lavoro del prototipo sono mostrati di seguito, la Fig.9 mette in luce la tensione raddrizzata di link e quella della serie del banco supercondensatori durante il funzionamento. Come si evince dal grafico quest'ultima si mantiene nel campo di lavoro desiderato. La Fig.10 e la Fig.11 mettono in luce rispettivamente le correnti (UC lato componente, la corrente raddrizzata di rete sul dc-link e quella richiesta dalla macchina lato dc-link) e le potenze elaborate nell'impianto (UC, rete e richiesta della macchina).

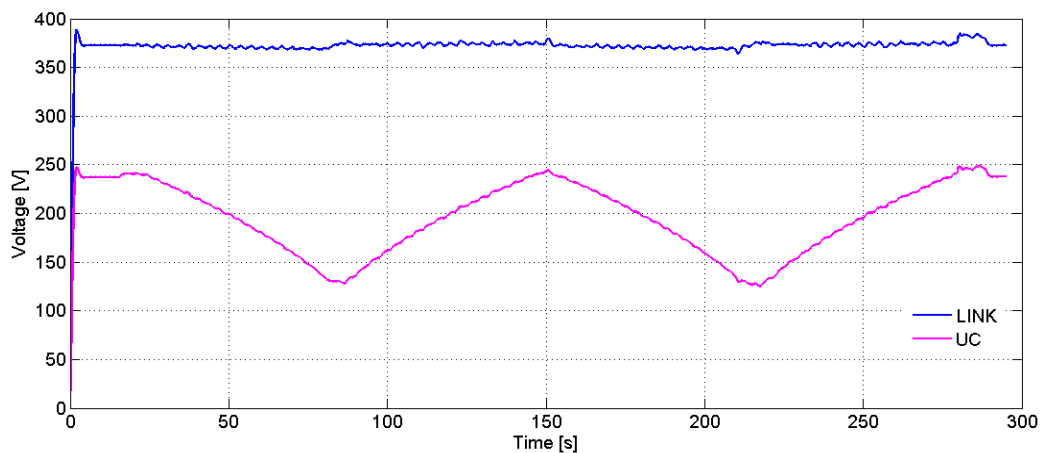


Fig.9 – Tensioni di impianto (Test UC)

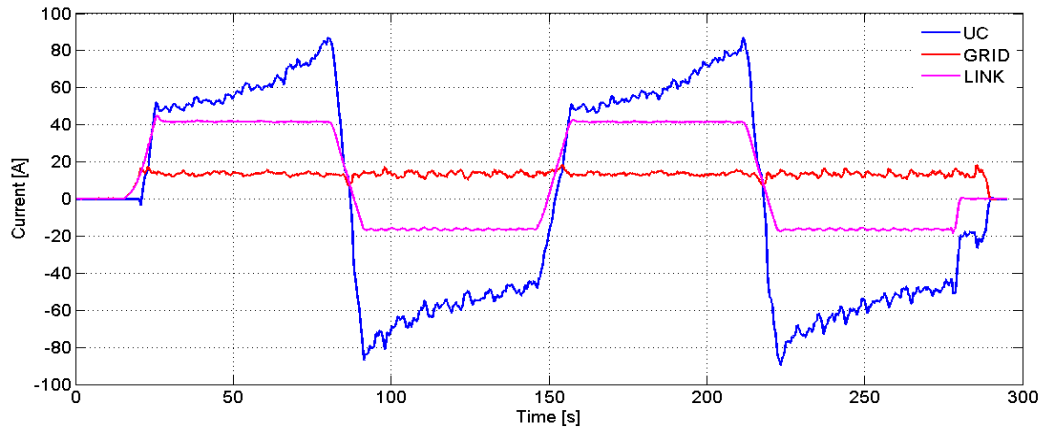


Fig.10 – Correnti di impianto (Test UC)

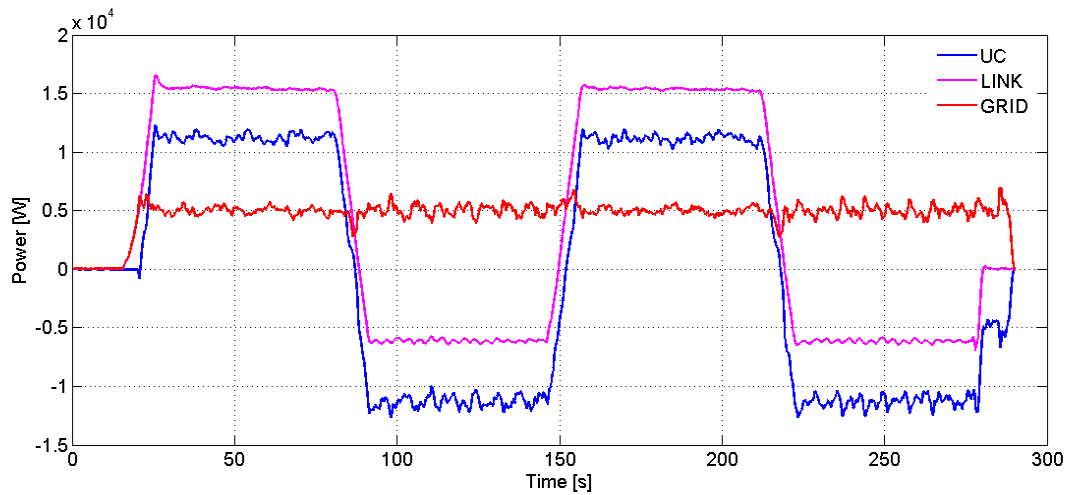


Fig.11 – Andamento delle potenze (Test UC)

Test rigenerativo verso rete

Questo test, diversamente da quello precedente consente il recupero di energia in fase di discesa del carico ma, anziché immagazzinarla nell'accumulo, la si invia verso rete (operazione possibile grazie al modulo rigenerativo verso rete presente nel prototipo). Non facendo intervenire i supercondensatori nella prova, si riportano solo gli andamenti della corrente di link Fig.12 e e della potenza di link in Fig.13 (pari a quella di rete in entrambi i casi).

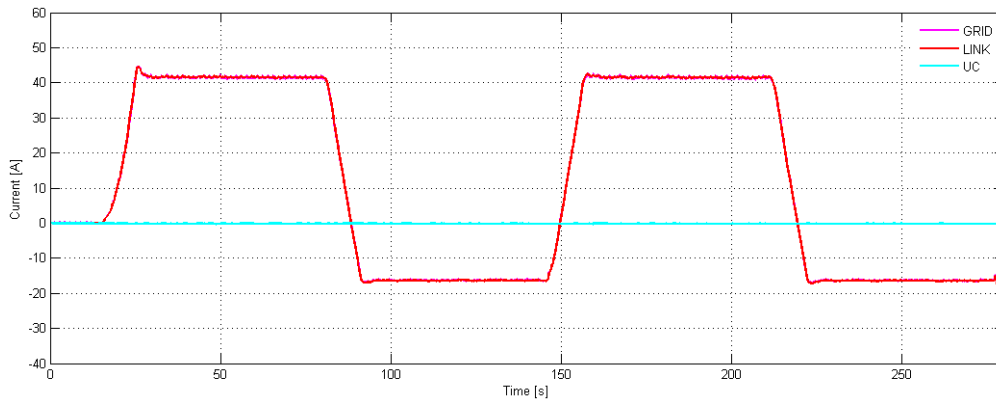


Fig.12 – Correnti di impianto (Rigenerativo verso rete)

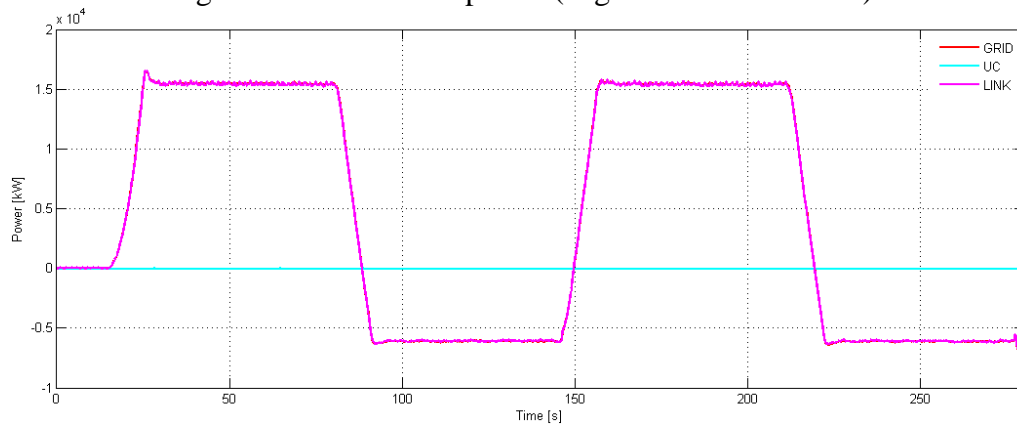


Fig.13 – Andamento delle potenze (Rigenerativo verso rete)

Questa configurazione presenta un assorbimento da rete netto (inteso come differenza tra quello che l'azionamento richiede e quello che restituisce) intorno agli 0,81 MJ/ciclo

Test non rigenerativo

Questo test ha la funzione di mostrare come funzionerebbe un carrozzone tradizionale, è evidente come dopo la fase di salita, che richiede potenza dalla rete, si deve dissipare con frenatura meccanica l'energia associata alla massa del carico. L'andamento delle grandezze memorizzate in questa prova sperimentale sono proposti nelle Fig.14-15.

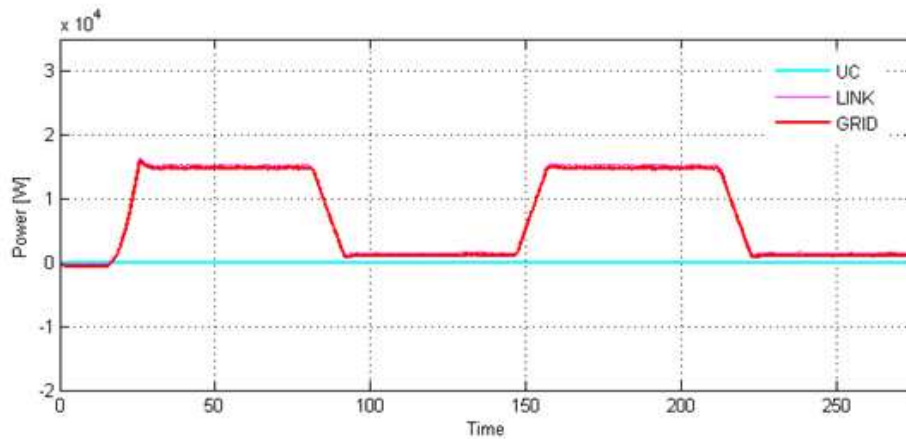


Fig.14 – Profilo di potenza nel funzionamento di un carro ponte

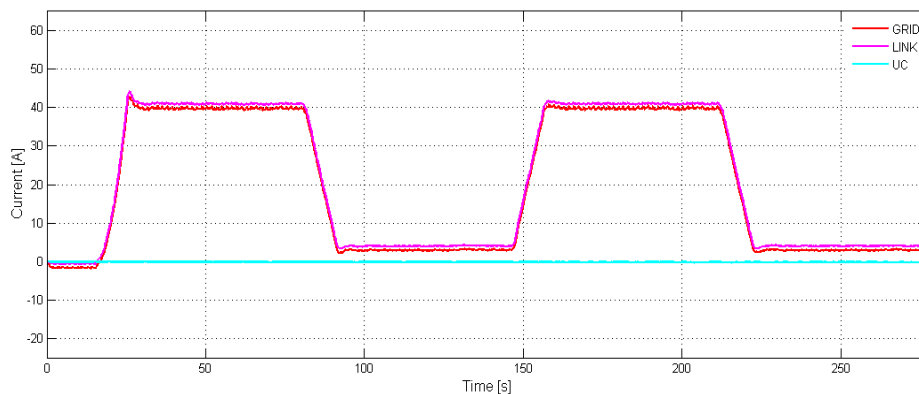


Fig.15 – Andamento correnti nel funzionamento di un carro ponte

Variation of the power threshold

Tests were also conducted by varying the power threshold of the prototype, and the results are reported for a power of 5 kW. As shown in Fig.3, for powers lower than the nominal one, the operating range of the supercapacitors is not fully utilized. The reason is to be found in the fact that the storage system was dimensioned for the reference cycle at a power of 13 kW. Having the cycle operate at 5 kW, what happens is that, after the first cycle, the UCs are presented with a voltage around 210 V and at the end of the second repetition they are at 190 V, indicating a permanent discharge (Fig.16).

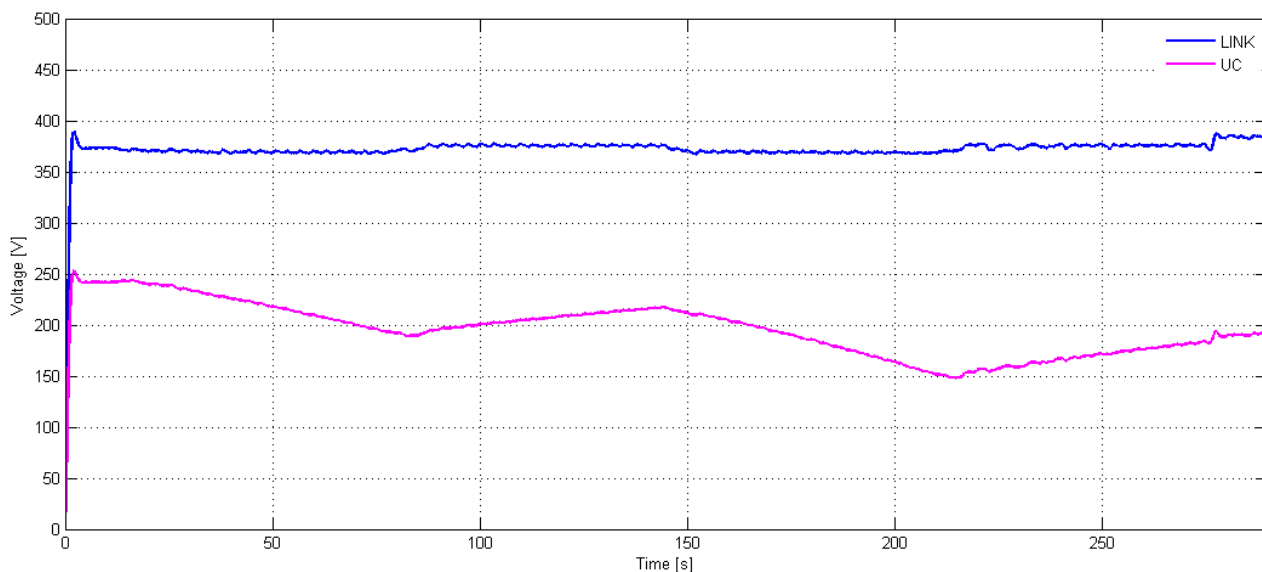


Fig.16 – Andamento tensioni per potenza meccanica pari a 5 kW

Comparazione tra il prototipo ed un carrozzone tradizionale

E' di interesse effettuare una comparazione rispetto ad un azionamento per carrozzone industriale il cui flusso di potenza (sempre monodirezionale) è mostrato in Fig.17. Nell'intento di voler confrontare i due funzionamenti dal punto di vista energetico ci si deve mettere nell'ipotesi di prevedere, oltre che lo stesso ciclo di lavoro per la movimentazione del carico, lo stesso tipo di azionamento e taglia della macchina. Pertanto, a parte il sistema di accumulo, esso risulta simile nelle restanti parti ed è alimentato da rete con tensione concatenata a 220Ve prevede sia un raddrizzatore che alimenta un inverter che alimenta un motore asincrono a potenza di 13 kW.

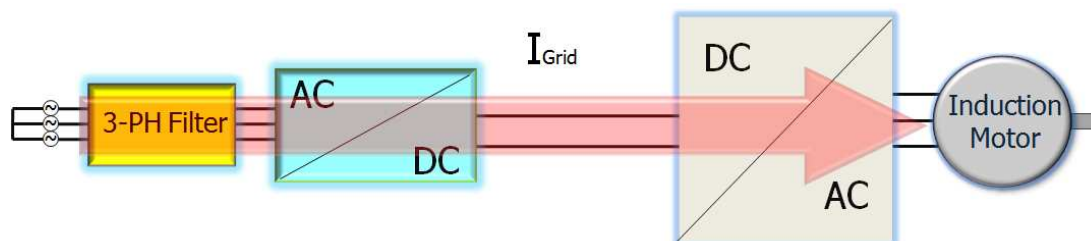


Fig.17 – Azionamento per carrozzone di tipo tradizionale

Sulla base delle assunzioni fatte, il funzionamento in termini di potenze è riassunto di seguito dove la potenza richiesta da rete coincide con quella del dc-link ed il sistema di accumulo è assente come già affermato in relazione al test non rigenerativo (Fig.18)

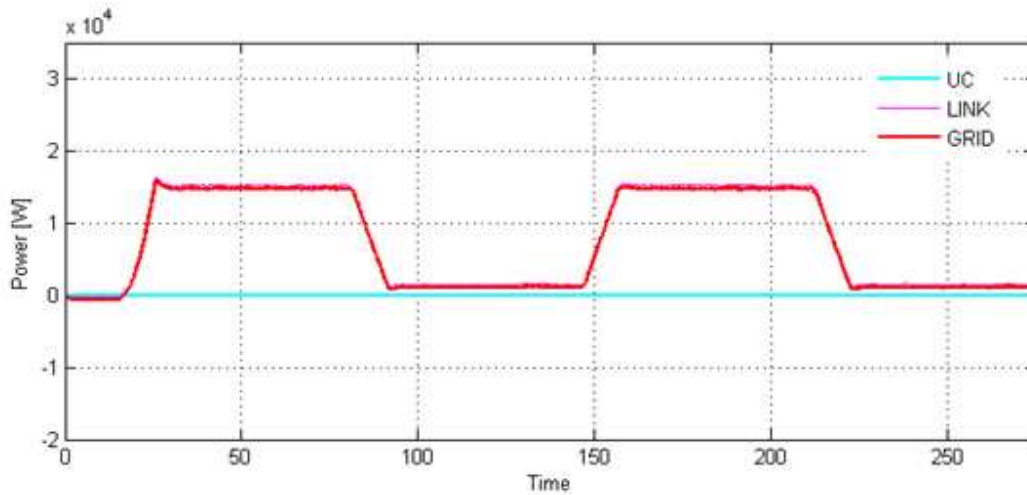


Fig.18 – Andamento potenza per carroponte tradizionale

E' evidente che in questa configurazione la rete deve fornire tutta la potenza meccanica all'albero (più le perdite lungo la catena di trasformazione energetica) ed inoltre non è possibile il recupero della quota parte di energia meccanica del carico con la frenatura rigenerativa. Considerando il ciclo in esame, alla rete elettrica si richiede un assorbimento di 2,1 MJ (1,05MJ/ciclo). Inoltre si deve tenere in conto che in discesa si deve dissipare l'energia meccanica associata alla massa del carico, nel nostro caso si rinunciarebbe a recuperare teoricamente un'energia pari a 0,42 MJ/ciclo.

Entrando in dettaglio nell'impianto prototipale, esso consente di far lavorare il sistema di accumulo nelle due fasi di lavoro (nella salita del carico in scarica ed in ricarica nella discesa del carico) con i relativi flussi di potenza indicati in Fig.19.

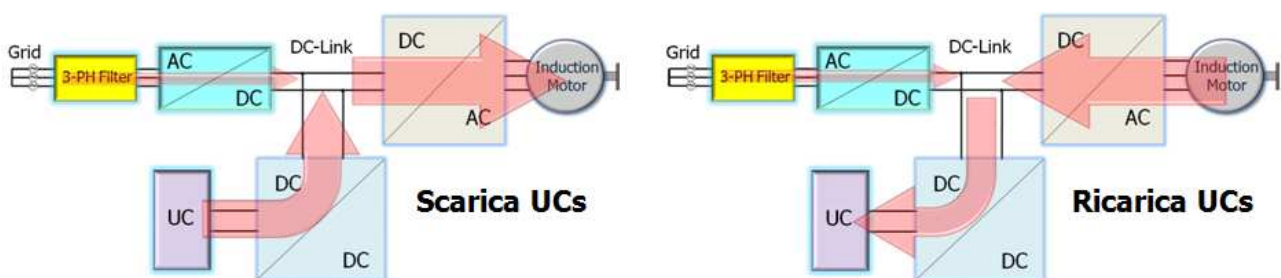


Fig.19 – Flussi di potenza nell'azionamento con sistema di accumulo

E' possibile riferirsi ad uno schema equivalente per la comparazione partendo dal presupposto che il dc-link può essere visto come un nodo in cui concorrono i flussi di potenza. Nella situazione di alzata del carico si indica con $P_{UC\ s}$ la potenza che erogano i supercondensatori, P_{GRID} la potenza che si richiede alla rete mentre $P_{LINK\ s}$ è la potenza che, somma delle due precedenti, va al motore elettrico. Nella situazione di discesa del carico grazie alla frenatura rigenerativa si invia una $P_{LINK\ d}$ che va a ricaricare il sistema di accumulo insieme alla potenza che viene da rete P_{GRID} . La somma di queste due fornisce la $P_{UC\ d}$ che entra negli UC (Fig.20).

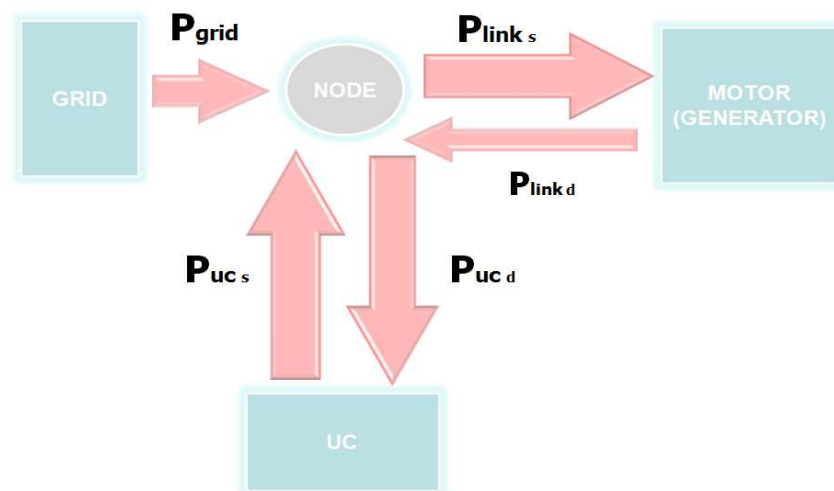


Fig.20 – Schema dei flussi di potenza nell'azionamento con sistema di accumulo

Concettualmente ogni ciclo di lavoro determina una minore richiesta di energia da rete (Fig.21 e Fig.22) e tale fattore può giocare un ruolo determinante per impianti di taglia elevata o per frequenze di utilizzo elevate. Usando i valori ottenuti da integrazione degli andamenti misurati nella campagna di prove (riassunti in Tab.II) si evince che, ogni ciclo, col sistema di accumulo si ha un assorbimento da rete inferiore del 33%

I_{GRID} [MJ]	0,703 /ciclo
$P_{UC\ s}$ [MJ]	770/ciclo
$P_{UC\ d}$ [MJ]	850/ciclo
$P_{LINK\ s}$ [MJ]	1,05/ciclo
$P_{LINK\ d}$ [MJ]	0,42/ciclo

Tab.II Valori flussi di potenza

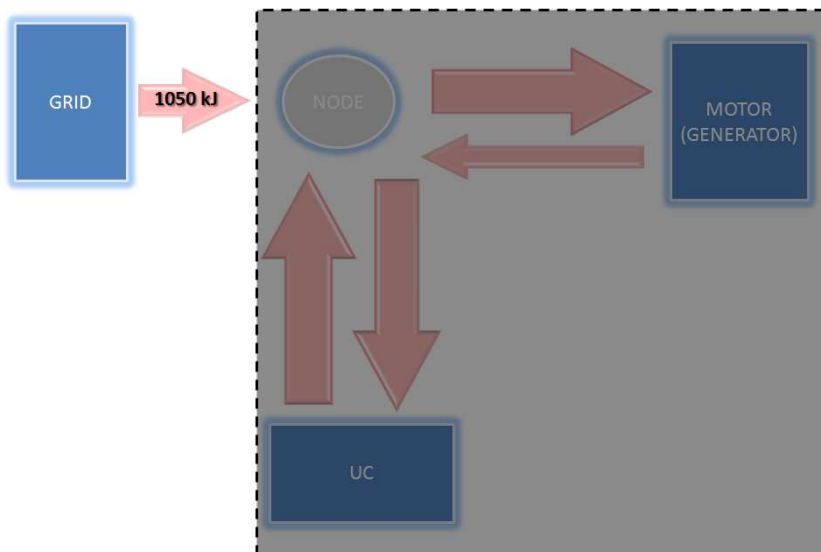


Fig.21 – Assorbimento da rete del carro ponte tradizionale

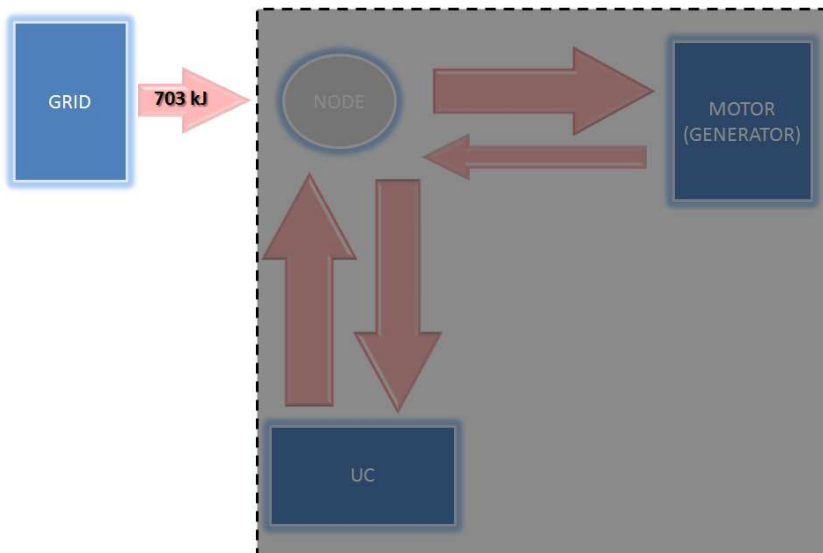


Fig.22 – Assorbimento da rete di un carro ponte con accumulo

Modello dinamico di un azionamento per carro ponte

Per quanto riguarda l'attività di messa a punto e validazione di modelli di sistemi di accumulo a supercondensatori anche idonei a conseguire il peak shaving, in utenze caratterizzate da assorbimenti impulsivi di potenza intervallati da periodi di basso prelievo o in applicazioni di power quality, si è messo a punto un modello su piattaforma Matlab/Simulink. Il prototipo di carro ponte è stato simulato considerando il motore controllato secondo la tecnica del controllo diretto di coppia e l'inverter di alimentazione regolato secondo la tecnica SVM. Le grandezze di macchina sono quelle vere dell'azionamento esaminato, mentre per velocizzare il lavoro computazionale del

calcolatore si è inizialmente scelto un profilo di missione di durata inferiore. Il programma si presenta composto da numerosi blocchi in cui si è tenuto conto dei dati del progetto nel modo più fedele possibile sia sulla base delle prove sperimentali eseguite che sui data sheet dei componenti del prototipo in scala. In Fig.23 è raffigurata la schermata principale del programma in cui è presente, nella sua globalità, l'impianto e l'elettronica di gestione dei convertitori. Nel blocco "DRIVE" è stato modellato il controllo vettoriale ad effetto di campo della macchina ad induzione ed il relativo convertitore con modulazione SVM (Fig.24). Infine per quanto riguarda la macchina ad induzione è riportato in Fig.25 lo schema di modellizzazione.

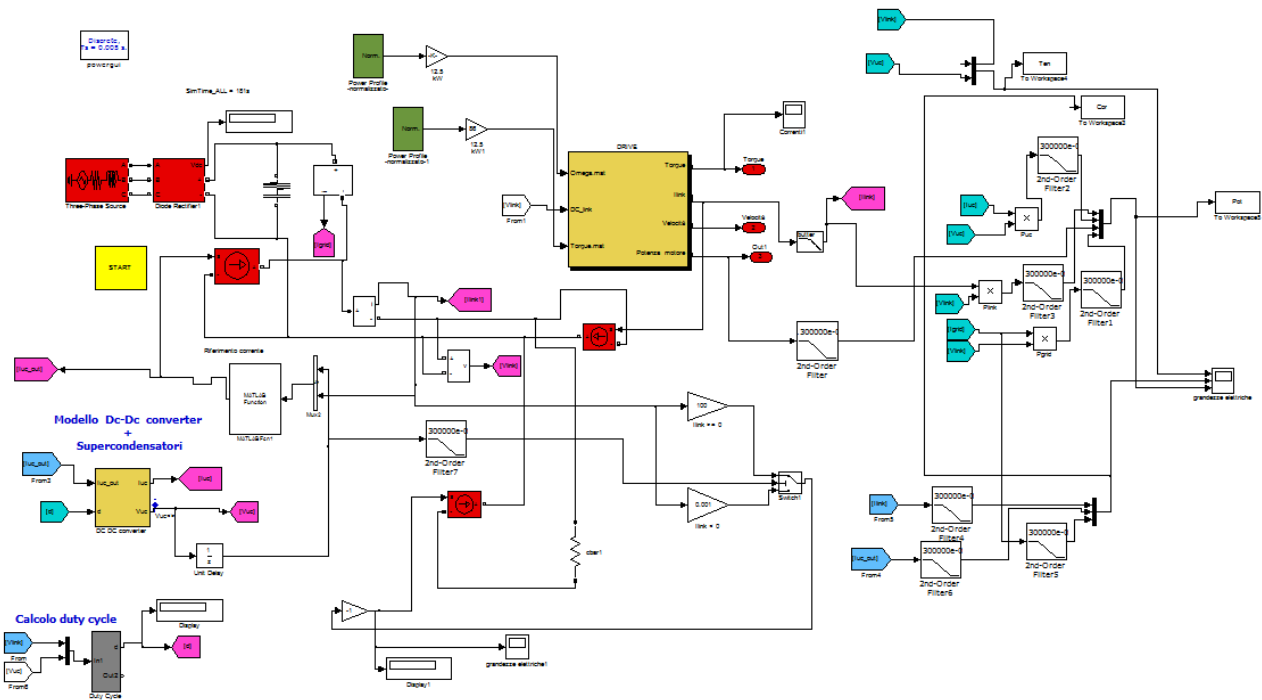


Fig. 23 – Tensione ai capi del banco dei SU e corrente uscente o entrante nel banco.

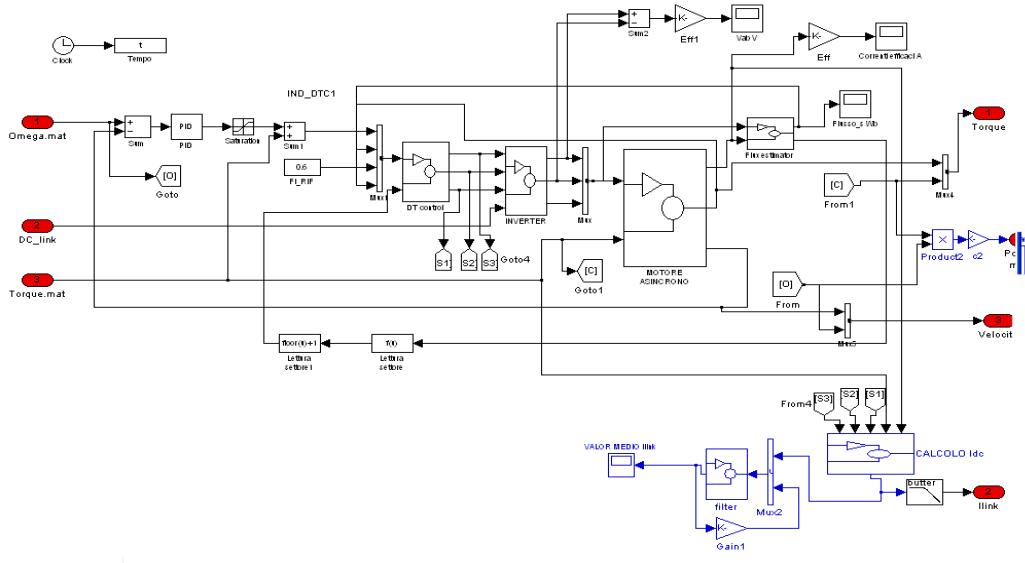


Fig. 24 – Blocchi funzionali del modello Simulink relativi all’azionamento

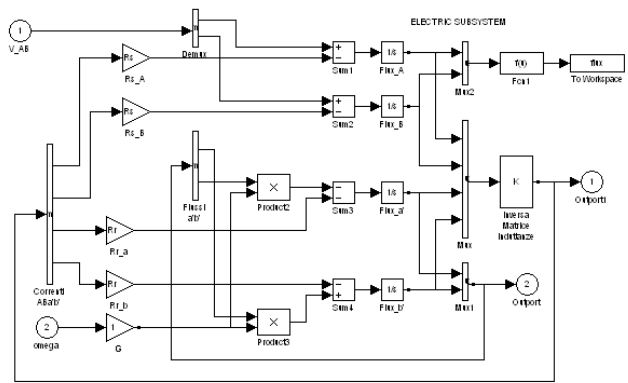
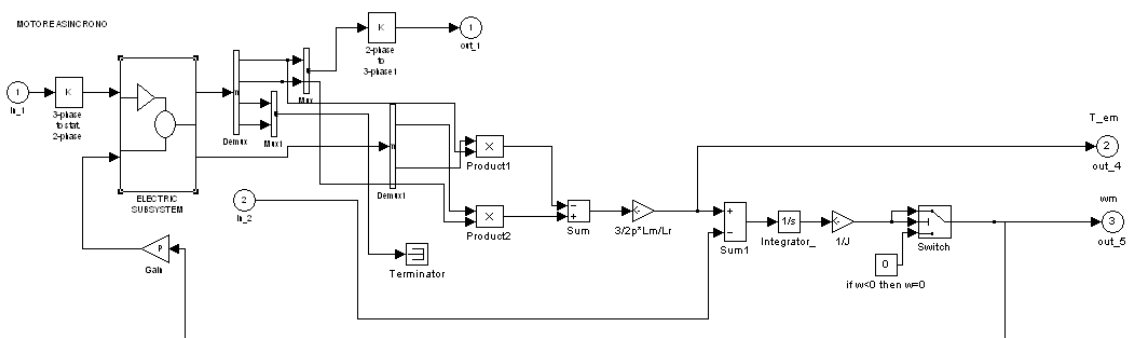


Fig. 25 – Blocchi relativi alla schematizzazione del modello della macchina asincrona

Per quello che concerne gli andamenti della simulazione, di seguito viene riportato il grafico della coppia e velocità impostata (actual) e quella misurata (Fig.26), e la tensione e corrente ai capi del blocco supercondensatore (Fig.27). E' di interesse riportare anche gli andamenti delle correnti di impianto (I_{GRID} , I_{link} , I_{UC}) ottenuta nella simulazione e riportate in fig. 28.

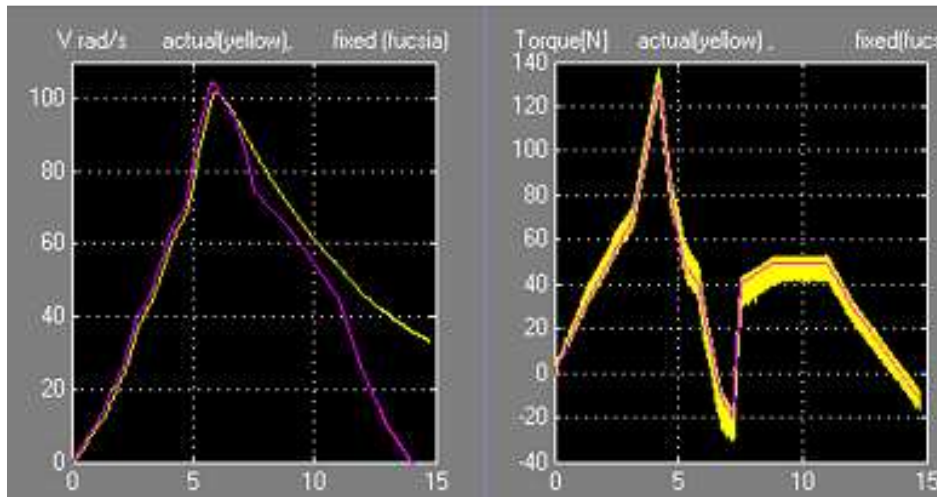


Fig. 26 – Velocità in rad /sec imposta e calcolata, coppia in Nm imposta e calcolata

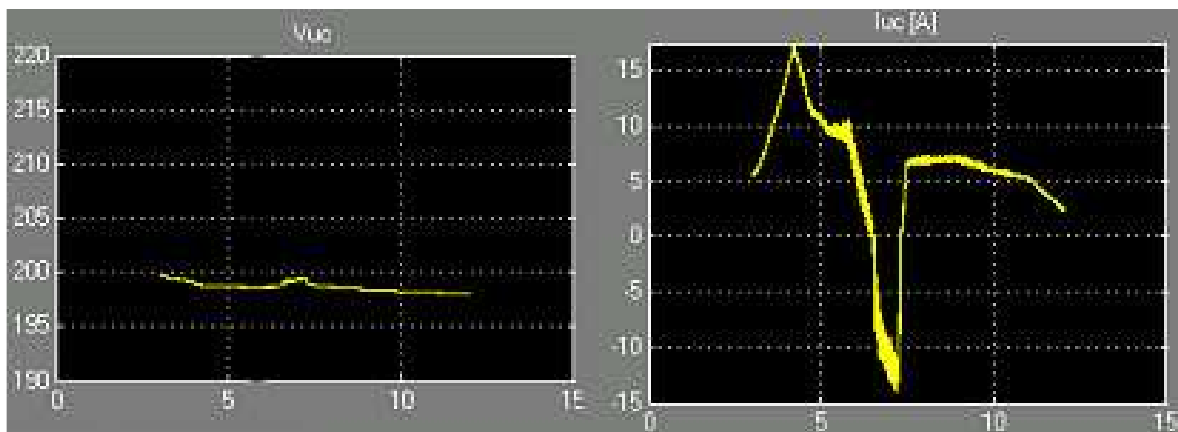


Fig. 27 – Tensione ai capi del banco dei SU e corrente uscente o entrante nel banco.

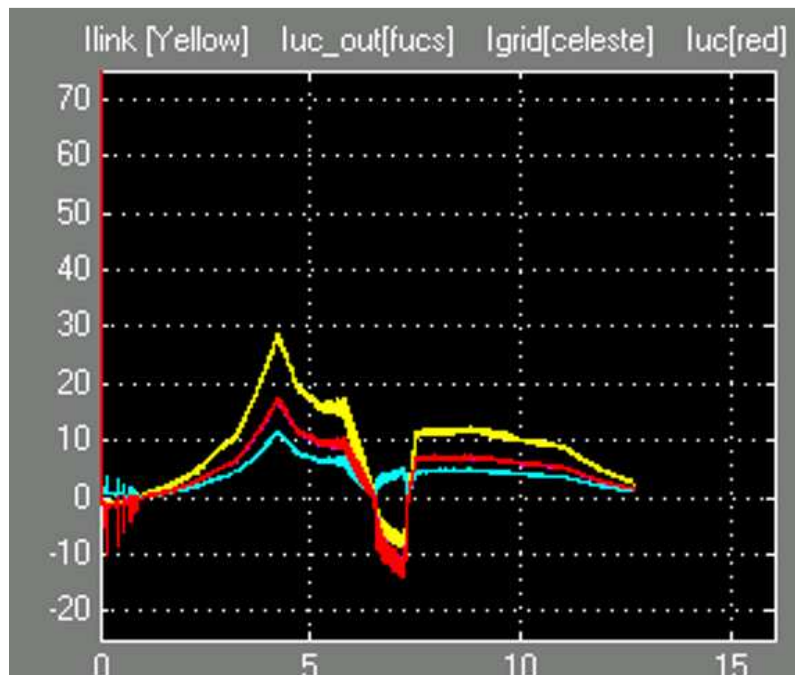


Fig. 28 – Correnti di impianto nel modello dinamico

Valutazione sulla dimensione del sistema di accumulo

Dalle misure fatte, dai dati di progetto del sistema sperimentale (banco di supercondensatori e carro ponte) realizzato presso ENEA Casaccia, dai costi delle singole parti del sistema e dalla tariffa del kW/h, è possibile effettuare alcune considerazioni. Il progetto ottimo deve rispondere a due esigenze la prima è quella in cui la rete fornisce solo una quota di energia pari alla differenza fra quella necessaria al carro ponte nella fase in cui sale il grave e quella in cui il carico scende, cioè pari all'energia dissipata in calore nelle diverse parti dell'impianto; la seconda corrisponde a quella in cui il diagramma di carico è continuo, cioè ad una fase ascendente segue una fase discendente e via di seguito, senza periodi di riposo. All'aumentare del periodo di riposo rispetto ai tempi di carico e scarico si ha un aumento del tempo di ritorno dell'investimento in cui la spesa viene coperta e quindi l'impianto non è più remunerativo. Nel caso in cui il diagramma di carico, pur non avendo tempi morti, non è ripetitivo in ampiezza sia per l'impiego di più carri ponte che per la presenza di gravi di peso diverso, la scelta della dimensione del sistema di accumulo deve essere regolata su un valore medio. In tale caso si dovrà prelevare dalla rete, istante per istante, un valore di potenza corrispondente alla differenza fra il valore medio e quello necessario al carico, anche in questo caso si ha una sottoutilizzazione dell'impianto e quindi una bassa redditività.

- [1] A. Di Napoli, A. Lidozzi, C. Polini "Ultracapacitors for Energy Storage in Industrial Grid-connected Systems", Proceedings of Conference EEMODS'09, Nantes (France), 14-17 September 2009.
- [2] A. Di Napoli "Accumulo di energia elettrica con supercondensatori nei sistemi industriali "Conferenza "Progressi nei sistemi di accumulo di energia elettrica", Fiera Milano(2°HTE Hi.Tech.Expo), 26 novembre 2009.
- [3] A. Di Napoli, C. Polini "Modello Dinamico di un Azionamento per Sollevamento e Trasporto con Sistema di Accumulo a, UC, e Validazione tramite Sperimentazione al Banco"22-23 marzo 2010, Bressanone.