



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



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Impianti industriali di sollevamento con sistemi di accumulo elettrici
a supercondensatori: gestione con convertitori interfaccia per
scambi energetici mutui

*Enrico Pagano
Pietro Tricoli*



IMPIANTI INDUSTRIALI DI SOLLEVAMENTO CON SISTEMI DI CUUMULO ELETTRICI A
SUPERCONDENSATORI: GESTIONE CON CONVERTITORI INTERFACCIA PER SCAMBI
ENERGETICI MUTUI

Enrico Pagano (Dipartimento di Ingegneria Elettrica dell'Università di Napoli "Federico II")
Pietro Tricoli (Dipartimento di Ingegneria Elettrica dell'Università di Napoli "Federico II")

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

INDICE

1	DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI ACCUMULO PER UN CARROPONTE IN SCALA REALE IN PRESENZA DI CARICHI DETERMINISTICI E ALEATORI	pag 2
2	DEFINIZIONE DELLE STRATEGIE DI CONTROLLO E REALIZZAZIONE DEL SOFTWARE DI GESTIONE DEL SISTEMA	pag 8
3	VALIDAZIONE SPERIMENTALE DEL SOFTWARE DI GESTIONE E COLLABORAZIONE ALLA SUA IMPLEMENTAZIONE SU DI UN PROTOTIPO DI CARROPONTE IN SCALA REALE	pag 11
	Allegato 1: Schema di montaggio delle apparecchiature necessarie per l'inserimento dei supercondensatori nel carroponete reale	pag 19
	Allegato 2: Offerta di Elettronica Santerno per l'istallazione dei supercondensatori in un carroponete già esistente	pag 23

1 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI ACCUMULO PER UN CARROPONTE IN SCALA REALE IN PRESENZA DI CARICHI DETERMINISTICI E ALEATORI

Il recupero dell'energia cinetica disponibile per trascinamento di masse inerziali è, al giorno d'oggi, una realtà consolidata. Tale recupero avviene generalmente attraverso l'impiego di sistemi di accumulo di energia, che convertono parte dell'energia cinetica disponibile in energia elettrica. Gli impianti di sollevamento portuali ed industriali costituiscono una sede particolarmente idonea per l'utilizzo di sistemi di accumulo a supercondensatori o ibridi, facenti, cioè, ricorso all'integrazione di batterie elettrochimiche e supercondensatori.

La tecnologia è attualmente in grado di fornire insiemi di supercondensatori e/o batterie elettrochimiche capaci di immagazzinare energia elettrica con elevate densità volumetriche e ponderali. I dispositivi di accumulo devono essere necessariamente connessi ad un convertitore statico di potenza, realizzato con elementi a semiconduttori controllati, il quale provvede a governare l'immagazzinamento e la restituzione dell'energia elettrica secondo logiche di controllo che dipendono dal pratico impiego. L'insieme di componenti di accumulo e di convertitore statici costituisce il sistema di accumulo vero e proprio e può essere collegato ad una rete in corrente continua od alternata mono- o trifase.

L'energia accumulata durante le fasi in cui i carichi si comportano da generatori (discese) può essere restituita in tempi successivi. In questo modo si ottiene il duplice beneficio del risparmio energetico e del livellamento dei picchi di assorbimento di potenza. Pertanto, l'impiego di sistemi di accumulo in impianti di sollevamento contribuisce in maniera significativa al miglioramento dell'efficienza energetica di questi ultimi. Al fine di ottimizzare le prestazioni dell'impianto di sollevamento, riveste particolare importanza la definizione di opportuni criteri di dimensionamento che riducano al minimo i costi aggiuntivi necessari per l'installazione del sistema di accumulo.

Il dimensionamento di un sistema di accumulo consiste innanzitutto nell'identificazione dei componenti di accumulo (batterie elettrochimiche e/o supercondensatori) che meglio soddisfano le caratteristiche del recupero energetico in senso lato e, cioè, più specificatamente:

- il rapporto tra energia da recuperare e tempo richiesto per l'immagazzinamento;
- i diagrammi di restituzione ottimizzata nel tempo.

Successivamente si può determinare la capacità che devono avere i componenti di accumulo in funzione dell'energia da recuperare, espressa in Wh. Si passa, quindi, a dimensionare il gruppo di conversione statica di potenza in funzione della tensione nominale dell'impianto e del diagramma temporale delle correnti entranti ed uscenti dal sistema di accumulo.

Nella procedura di dimensionamento, si deve poi tenere presente che ogni sistema di accumulo è caratterizzato dall'insieme dei valori massimi ammissibili che possono assumere le sue grandezze nominali o di targa. Queste ultime sono essenzialmente costituite da:

- massima energia immagazzinabile per la restituzione. Ogni componente di accumulo ha come dato caratteristico la propria capacità di immagazzinamento di energia. Questa quantità è differente dal valore dell'energia gestibile in fase di accumulo e di restituzione, perché anche se è vero che ogni componente può immagazzinare una quantità di energia pari alla sua capacità di immagazzinamento, è altrettanto certo che l'energia effettivamente disponibile in fase di scarica è sempre una quota-parte della capacità di immagazzinamento, perché non è praticamente possibile estrarre per un utilizzo immediato l'intera energia immagazzinata. La quantità di energia gestibile è, dunque, sempre una aliquota ξ -volte minore della capacità di immagazzinamento energetico. La massima quantità di energia immagazzinabile per la restituzione, E_M , è, dunque, fornita dalla relazione:

$$E_M = \sum_{v=1}^{N_b} \xi_{b,v} Q_{b,v} + \sum_{\rho=1}^{N_s} \xi_{sc,\rho} Q_{sc,\rho} \quad (1)$$

nella quale $\xi_{b,v}$ e $Q_{b,v}$ sono rispettivamente il fattore di impiego dell'energia immagazzinata e la capacità della v -sima batteria, $\xi_{sc,v}$ e $Q_{sc,\rho}$ sono rispettivamente il fattore di impiego dell'energia immagazzinata e la capacità del ρ -simo supercondensatore.

- Massima corrente di carica/scarica. Alla corrente in uscita contribuiscono tutti i componenti di accumulo, disposti in parallelo, per cui si ha:

$$I_M = \sum_{v=1}^{N_b} I_{bM,v} + \sum_{\rho=1}^{N_s} I_{scM,\rho} \quad (2)$$

dove con $I_{bM,v}$ si è indicata corrente nominale della v -sima batteria e $I_{scM,\rho}$ massima corrente erogabile dal ρ -esimo supercondensatore.

- Tensione nominale del sistema. È la tensione alle sbarre di collegamento del sistema di accumulo.
- Potenza nominale del sistema di accumulo. Essa è determinata dal massimo valore della funzione $P_M(t)$.
- Tipo dei componenti (batterie e/o supercondensatori). La scelta viene fatta in modo da ottenere il minimo peso e/o volume del complesso dei componenti di accumulo. In questa fase si tiene essenzialmente conto dei tempi di carica e scarica, perché, come è noto, le batterie sono essenzialmente componenti di accumulo di energia elettrica; i supercondensatori di potenza elettrica. In presenza di fenomeni lenti risulta, quindi, più opportuna la scelta che privilegi le

batterie elettrochimiche. Quando prevalgono fenomeni veloci, risulta più utile privilegiare la scelta di supercondensatori.

La determinazione dei valori nominali del sistema di accumulo, che meglio soddisfa le esigenze dell'utenza, è effettuata in sede di progetto sulla base delle grandezze significative dell'impianto, che sono strettamente legate alle operazioni del sistema di accumulo. Nel caso degli impianti di sollevamento, si deve tenere presente che essi realizzano in generale una movimentazione tridimensionale, perché provvedono al sollevamento ed all'abbassamento dei carichi ed alla loro movimentazione piana. Tutti gli spostamenti avvengono con velocità molto basse, anche per evitare pendolazioni pericolose. La trasmissione del moto dai motori elettrici ai carichi meccanici avviene, dunque, mediante appositi riduttori di velocità.

Un impianto di sollevamento è generalmente costituito da un argano di sollevamento montato su di un carrello che consente movimenti orizzontali in una sola direzione ortogonale alla verticale di sollevamento. Il movimento lungo la terza direzione è ottenuta con lo spostamento della struttura di sostegno del carrello. Una vista di insieme di un impianto di sollevamento a carro ponte è riportata in fig. 1. Nel carro ponte di fig. 1, il carrello è posizionato su una trave che scorre su dei binari disposti su una struttura portante. Nel caso in cui la trave scorra su binari posti direttamente a terra, si parla invece di gru a cavalletto. Il gruppo di sollevamento è realizzato secondo lo schema di fig. 2.



Fig. 1. Vista di insieme del carrello con in evidenza il motore di sollevamento, il motore per lo spostamento del carrello e il motore per l'avanzamento del carriponte



Fig. 2. Spaccato del motore di sollevamento con in evidenza la trasmissione meccanica

I motori di sollevamento sono generalmente progettati per sopportare elevati sovraccarichi e per funzionare in ambienti dove sono presenti vapori, polvere e sostanze abrasive. Sono generalmente protetti contro i sovraccarichi prolungati mediante sensori di temperatura che rilevano eventuali sovratemperature. Collegato sull'asse del motore è poi presente il freno, necessario per impedire la caduta accidentale dei carichi sospesi. Il freno è generalmente di tipo a disco ed è normalmente inserito in assenza di alimentazione elettrica, così da intervenire in caso di guasto al sistema di alimentazione del carro ponte. L'albero del motore è poi collegato all'organo di sollevamento mediante un riduttore di velocità, generalmente realizzato con un rotismo lubrificato in olio costituito da uno o più coppie di ruote dentate a seconda dei rapporti di riduzione richiesti. L'organo di sollevamento è costituito da un tamburo sul quale è avvolta la corda. Questa è collegata al gancio si presa. Anche quando il gancio è in posizione completamente abbassata, sul tamburo sono avvolti sempre un certo numero di giri di corda per garantire l'attrito necessario ad impedire che la corda slitti in presenza del carico.

Per quanto riguarda i movimenti orizzontali, sono impiegati dispositivi su ruota, mossi da motoriduttori. Le ruote scorrono in opportune guide e possono essere lisce e, quindi scorrere su binari, o dentate e quindi scorrere su cremagliere. In fig. 3 è riportato un esempio di apparecchio per la traslazione su ruote lisce con motoriduttore.



Fig. 3. Apparecchi per la traslazione del carro ponte e lo spostamento del carrello

Il sistema elettromeccanico, che caratterizza gli impianti di sollevamento, fa ricorso, dunque, all'uso di tre motori elettrici: uno per gli spostamenti verticali e due per la movimentazione piana. Il

primo ha generalmente potenza prevalente rispetto agli altri due, perché il lavoro compiuto dalla forza peso negli spostamenti verticali è preponderante rispetto a quello compiuto dalle forze di attrito che si devono vincere negli spostamenti orizzontali. Lo schema di principio dell'azionamento del motore di sollevamento di un carro ponte è riportato in fig. 4a. La macchina elettrica preposta a questi spostamenti è generalmente prevista per funzionamento da motore e da generatore, in quanto durante il sollevamento dei carichi deve fornire energia elettrica, che viene trasformata in energia potenziale, mentre durante la discesa del carico è possibile restituire alla rete di alimentazione elettrica parte dell'energia potenziale, precedentemente immagazzinata. Questa aliquota, normalmente dissipata sotto forma di calore in resistenze zavorra, può essere facilmente utilizzata per realizzare il recupero energetico, come indicato nello schema di fig. 4b. Il suo valore costituisce la grandezza di riferimento primaria per il dimensionamento del sistema di accumulo e può essere calcolato facilmente a partire da alcuni dati caratteristici del carro ponte.

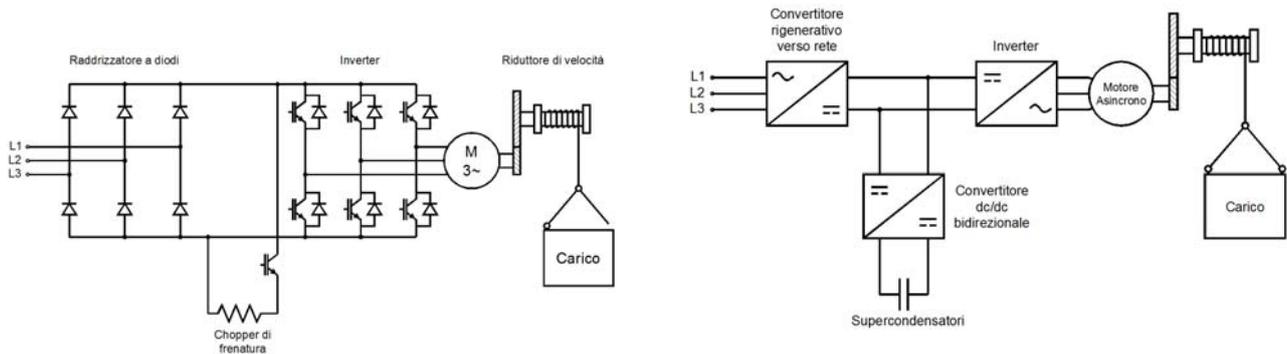


Fig. 4. Schema di principio di un azionamento per carro ponte dissipativo (a) o previsto per il recupero energetico (b)

Tra i dati di specifica degli impianti di sollevamento sono assegnati il *peso del massimo carico sollevabile* e la *lunghezza massima della sua corsa*. Il prodotto di questi due valori definisce il massimo valore del lavoro che il carro ponte è chiamato a svolgere. Esso è numericamente uguale al valore massimo dell'energia potenziale connessa con l'impianto di sollevamento. Il massimo valore di energia recuperabile, E_M , è, dunque, espressa dalla relazione:

$$E_M = m g h \eta_g \eta_c \frac{2\eta_m - 1}{\eta_m},$$

nella quale m è massa del massimo carico sollevabile dal carro ponte, g è l'accelerazione di gravità, h è la massima corsa del carro ponte, η_g rappresenta il rendimento massimo della macchina elettrica in funzionamento da generatore, η_c il rendimento del convertitore statico di alimentazione del sistema di accumulo e η_m il rendimento massimo della trasmissione meccanica.

Il massimo valore di energia da fornire in fase di sollevamento, E'_M , è, invece, espresso dalla relazione:

$$E'_M = m g h \frac{\eta_g}{\eta_c} \frac{2\eta_m - 1}{\eta_m}$$

Altri dati caratteristici dell'impianto di sollevamento sono la durata minima e massima della corsa. I rapporti E_M / T_{\min} , E_M / T_{\max} , E'_M / T'_{\min} , E'_M / T'_{\max} definiscono rispettivamente i valori convenzionali di potenza minima e massima, necessari per il dimensionamento del convertitore nelle due fasi di abbassamento e di sollevamento. Tenendo presente che generalmente per i carroporti gli intervalli di funzionamento delle fasi di sollevamento e di abbassamento variano tra pochi secondi ad un massimo di pochi minuti, risulta evidente che il sistema di accumulo più idoneo è quello costituito da soli supercondensatori.

Per la determinazione della capacità dei supercondensatori, è utile ricordare che gli impianti di sollevamento sono caratterizzati da cicli di funzionamento che possono essere deterministici o aleatori. Nel primo caso, la determinazione delle grandezze nominali del sistema di accumulo è relativamente semplice, perché è sufficiente stimare le energie richieste rispettivamente durante le fasi di salita e di discesa del carico. Nel secondo caso, non è invero possibile fare ricorso a metodologie di calcolo tradizionali, se non ricorrendo ad un notevole sovradimensionamento del sistema di accumulo stesso. Un esempio di tale situazione è quello delle gru portuali, che possono trovarsi a funzionare con cicli di lavoro notevolmente dissimmetrici durante le fasi di salita e di discesa. Basti pensare allo scarico a terra di una nave portacontainer, la quale prevede inizialmente una notevole variazione di quota dei carichi trasportati, con conseguente disavanzo di energia cinetica convertita in elettrica rispetto all'energia richiesta per il sollevamento. Con il prosieguo delle operazioni di scarico, tale differenza tende ad attenuarsi man mano che sono movimentati i container dei livelli inferiori. In tal caso, sarebbe impensabile dimensionare il sistema di accumulo per l'intera energia recuperata per i suoi elevati costi ed ingombri.

Per risolvere il problema del dimensionamento, è possibile considerare uno stato di carica di riferimento, V_{ref} , corrispondente ad una tensione intermedia tra la massima e la minima tensione ai capi dei supercondensatori, indicate rispettivamente con $V_{sc,max}$ e $V_{sc,min}$. Lo stato di carica di riferimento è quel valore di stato di carica che contemporaneamente è in grado di recuperare tutta l'energia in fase di discesa e di limitare la corrente di rete al valore desiderato in fase di salita del carico nominale del carroponete per la massima corsa. Pertanto, se i supercondensatori si trovano nel loro stato di carica di riferimento, sono in grado di soddisfare a tutte le funzioni previste dal sistema di accumulo indipendentemente dal carico collegato al carroponete.

Impiegando il circuito equivalente serie dei supercondensatori, risultano pertanto soddisfatte le seguenti equazioni di bilancio energetico:

$$E_M = \frac{1}{2} C (V_{sc,max}^2 - V_{sc,ref}^2);$$

$$E'_M = \frac{1}{2} C (V_{sc,ref}^2 - V_{sc,min}^2),$$
(3)

da cui, sommando membro a membro si ha:

$$E_M + E'_M = \frac{1}{2} C (V_{sc,max}^2 - V_{sc,min}^2).$$
(4)

La tensione minima dipende dalla tensione del dc-link e dal massimo rapporto di amplificazione ottenibile con il convertitore dc-dc. La tensione massima invece dipende dalla quantità di energia che si intende scaricare dal supercondensatore. Un buon compromesso consiste nel mantenere il rapporto tra energia utilizzata ed energia disponibile pari a circa 3/4. Ciò implica che la tensione minima è pari a 1/2 di $V_{sc,max}$. Inoltre, per la migliore utilizzazione del convertitore dc/dc si deve evitare che il rapporto di amplificazione sia superiore a 4. Scegliendo quindi $V_{sc,min} = 1/3 V_{dc}$, si ha dalla (4):

$$C = \frac{8(E_M + E'_M)}{3V_{sc,max}^2} = \frac{6(E_M + E'_M)}{V_{dc}^2}.$$
(5)

Il dimensionamento dei supercondensatori dipende, infine, dalle tensioni e dalle correnti nominali dei singoli moduli che costituiscono il sistema di accumulo perché da essi dipende il numero di moduli da disporre in serie e in parallelo. Se si indica con M il numero di moduli in serie, necessari per fare in modo che $V_{sc,min}$ sia almeno pari a $1/3 V_{dc}$, ne consegue che $V_{sc,max} = M V_{sc,module}$. Il numero di rami da disporre in parallelo, N , dipende invece dalla capacità totale richiesta e vale:

$$N = M \frac{C}{C_{mod}},$$
(6)

dove C è la capacità equivalente richiesta dei supercondensatori e C_{mod} è la capacità equivalente del singolo modulo di supercondensatori.

2 DEFINIZIONE DELLE STRATEGIE DI CONTROLLO E REALIZZAZIONE DEL SOFTWARE DI GESTIONE DEL SISTEMA

L'algoritmo di controllo sviluppato durante il primo anno di attività aveva il vantaggio di utilizzare completamente l'energia accumulata nei supercondensatori, ma non era in grado di rispondere adeguatamente nel caso in cui i carichi presentassero differenze di corsa nella fase di sollevamento ed in quella di abbassamento. Il nuovo software di controllo è stato allora sviluppato in modo da gestire correttamente i flussi energetici da e verso l'azionamento del carro ponte in differenti condizioni di carico, anche non se non precedentemente predeterminate. In particolare, la strategia di controllo deve essere in grado di:

- recuperare in massima parte l'energia disponibile durante le fasi di abbassamento dei carichi, anche se il carico collegato al carro ponte non è noto a priori;

- ridurre il più possibile i picchi di potenza forniti dalla rete di alimentazione durante le fasi di sollevamento, anche con carichi non conosciuti a priori.

La difficoltà principale risiede nella corretta determinazione del riferimento di corrente da assegnare al convertitore di interfaccia dei supercondensatori, soprattutto in considerazione del fatto che il carico è aleatorio. Il problema può essere allora approcciato facendo ricorso ad una strategia di gestione dell'energia che contempli la presenza di uno stato di carica di riferimento del sistema di accumulo, intermedio tra quello minimo e quello massimo. Indipendentemente dalle richieste del carico, la logica di controllo del convertitore di interfaccia tende a far permanere il sistema di accumulo sempre nell'intorno del suo stato di carica di riferimento. Questo stato di carica deve essere scelto in funzione della massima corsa dell'impianto di sollevamento quando soggetto al suo carico nominale. In questo modo, è garantito che alla fine di una qualsiasi salita o discesa il sistema di accumulo si mantenga all'interno dell'intervallo di stato di carica ammissibile. Durante la pausa di funzionamento, sempre presente per consentire la traslazione del carico o le operazioni di presa o rilascio, il sistema di accumulo è riportato nel suo stato di carica di riferimento scambiando energia con la rete elettrica di distribuzione. Operando in questo modo, il livellamento della richiesta di potenza è garantito per qualsiasi sequenza di operazioni dell'impianto di sollevamento. Si è allora progettato e sviluppato il software a stati finiti riportato in fig. 5.

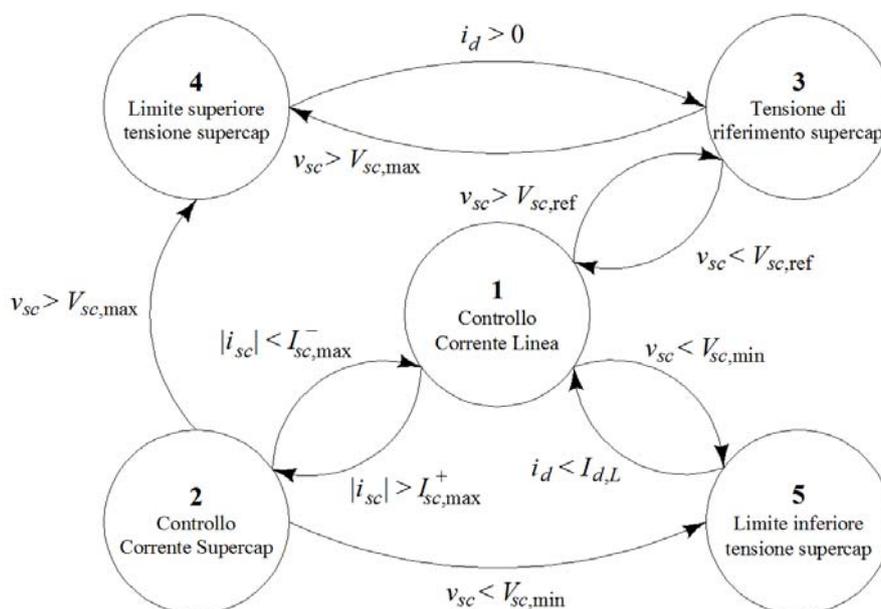


Fig.5. Diagramma degli stati del controllore progettato

Nello stato 1, chiamato "Controllo Corrente Linea", la corrente della rete è limitata ad un valore massimo prefissato, $I_{d,L}$, indipendentemente dalle richieste del carico. I supercondensatori forniscono la quota-parte eccedente dell'energia richiesta durante le fasi di sollevamento mentre, durante le fasi di discesa, accumulano l'energia disponibile. Le transizioni dallo stato 1 sono subordinate alle condizioni operative dei supercondensatori. Se la corrente dei supercondensatori

supera il valore massimo consentito, il controllore passa nello stato 2, denominato "Controllo Corrente Supercap". In questo stato, il convertitore dc-dc cerca di mantenere costante la corrente dei supercondensatori al valore massimo, in modo che essi forniscano la massima potenza disponibile. Se la tensione dei supercondensatori oltrepassa il valore di riferimento, ossia $v_{sc} > V_{sc,ref}$, il controllore passa nello stato 3 ("Tensione di riferimento supercap") e la corrente di riferimento della rete è posta a zero, ossia $I_{d,L} = 0$. In questo stato, la rete cessa di caricare i supercondensatori finché non c'è una nuova fase di sollevamento. In tal modo, i supercondensatori possono ancora ricaricare energia nel caso in cui ci sia una fase di abbassamento, oppure scaricarsi di nuovo nel caso in cui si sia una nuova fase di sollevamento. In tale stato, pertanto, i supercondensatori possono essere ricaricati soltanto dal carico fino alla tensione limite superiore. Quando $v_{sc} > V_{sc,max}$, il controllore passa nello stato 4 ("Limite superiore tensione supercap") e disabilita tutti i dispositivi di potenza del convertitore dc-dc. Se infine la tensione dei supercondensatori oltrepassa il valore limite inferiore, ossia $v_{sc} \leq V_{sc,min}$, il controllore passa nello stato 5 ("Limite inferiore tensione supercap") e i supercondensatori sono disconnessi dal dc-bus mediante interdizione di tutti i dispositivi di potenza del convertitore dc-dc. Quando il controllore è nello stato 4, i supercondensatori sono completamente carichi e la transizione allo stato 3 può avvenire soltanto se la corrente di rete è di nuovo positiva, ossia è iniziata una nuova fase di sollevamento. Quando, invece, il controllore è nello stato 5, i supercondensatori sono completamente scarichi e la transizione allo stato 1 avviene soltanto se la corrente di rete scende al di sotto del riferimento, ossia è iniziata la fase di discesa.

Il valore di tensione minima, $V_{sc,min}$, è un compromesso tra l'esigenza di usare il più possibile l'energia immagazzinata nei supercondensatori e la necessità di limitare il rapporto di amplificazione delle tensioni del convertitore dc-dc. La prima esigenza è soddisfatta adeguatamente se si pone $V_{sc,min} = 0.5 V_{sc,n}$, dove $V_{sc,n}$ è la tensione nominale dei supercondensatori, perché in tal caso l'energia usata è i 3/4 dell'energia totale accumulata. La seconda esigenza è soddisfatta imponendo $V_{sc,min} > 1/3 V_{dc,n}$, dove V_{dc} è la tensione nominale del dc-link perché in questo modo si riesce a mantenere per tutta la scarica dei supercondensatori un rendimento elevato del convertitore dc-dc.

Il valore di tensione di riferimento, $V_{sc,ref}$, è scelto in modo che, quando il carro ponte muove il suo carico nominale per la massima corsa, si abbia alternativamente la possibilità di recuperare tutta l'energia disponibile durante la fase di discesa, o di fornire tutta l'energia necessaria a limitare la corrente di linea durante la fase di salita.

La tensione massima dei supercondensatori, $V_{sc,max}$, è uguale a $V_{sc,n}$ perché la massima energia potenziale del carico è nota e i supercondensatori possono essere dimensionati per tale energia decurtata delle perdite che si hanno durante la fase di discesa.

3 VALIDAZIONE SPERIMENTALE DEL SOFTWARE DI GESTIONE E COLLABORAZIONE ALLA SUA IMPLEMENTAZIONE SU DI UN PROTOTIPO DI CARROPONTE IN SCALA REALE

Le considerazioni sviluppate nei paragrafi precedenti hanno avuto lo scopo di mostrare come dal punto di vista teorico esista la possibilità di ridurre il consumo energetico degli impianti di sollevamento con l'impiego di sistemi di accumulo. Tale soluzione è, ovviamente, subordinata alla valutazione della sua fattibilità ed alla quantificazione dei benefici attesi. A tale scopo risponde il progetto di ricerca di durata triennale, svolto in collaborazione tra Università ed ENEA, mirato a verificare, mediante un'intensa attività di sperimentazione, le effettive possibilità di impiego dei sistemi di accumulo negli impianti di sollevamento. Durante la prima annualità del progetto, presso l'ENEA è stato allestito un sistema in scala ridotta, capace di simulare il funzionamento di un carroponte. Il banco prova è corredato di un sistema di accumulo a supercondensatori, il cui convertitore è controllato da un algoritmo progettato e sviluppato presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica dell'Università di Napoli Federico II. Il sistema ha consentito di avere informazioni sulla riduzione dei consumi per differenti cicli operativi di funzionamento, nonché della riduzione della potenza impegnata sulla rete. I risultati positivi ottenuti durante il primo anno di attività hanno incoraggiato la prosecuzione del progetto per applicare il sistema di accumulo a supercondensatori ad un carroponte reale. La ThyssenKrupp si è mostrata interessata al progetto e ha messo a disposizione un carroponte di processo, presente nel suo stabilimento di Terni, per introdurre un sistema di accumulo a supercondensatori nell'azionamento elettrico esistente. L'azionamento è stato progettato secondo le specifiche riportate nell'allegato 1. Il convertitore rigenerativo verso rete è un Active Front End, in grado di assorbire ed erogare verso rete correnti con un basso fattore di distorsione armonica e con fattore di potenza unitario. I supercondensatori sono collegati al circuito intermedio in continua attraverso un convertitore dc/dc di tipo bidirezionale. Esso consente la scarica e la ricarica dei supercondensatori stessi con i desiderati profili di corrente. Il motore elettrico e le induttanze di filtro rimarranno invece quelli già installati sul carroponte. Gli apparecchi di conversione statica precedentemente esistenti non saranno smontati e sarà possibile continuare a impiegarli, in alternativa a quelli di nuova installazione, attraverso un sistema di prese.

Il dimensionamento del sistema di accumulo e dei convertitori è stato effettuato a partire dalle caratteristiche del carroponte e secondo quanto riportato nei paragrafi precedenti. Il motore di sollevamento è di tipo asincrono trifase ed ha una tensione nominale di 380 V, una potenza di 90 kW, una corrente nominale di 150 A. Il motore è sovradimensionato rispetto alle esigenze del carroponte, perché la potenza meccanica necessaria al sollevamento in condizioni di pieno carico è stata valutata sperimentalmente in 66 kW. L'argano di sollevamento è realizzato in modo da compiere l'intera corsa in circa 20 s. È stato, inoltre, stimato che il prodotto del rendimento del

motore e del rendimento della trasmissione meccanica sia pari a 0.83. Ne consegue che il rendimento dell'argano di sollevamento durante la discesa è pari a 0.80. Con questi valori di rendimento, il carro ponte assorbe una potenza elettrica in fase di sollevamento a pieno carico di 80 kW e rigenera verso rete una potenza elettrica in fase di abbassamento a pieno carico di 53 kW. Considerando una corsa pari all'intera altezza disponibile, ne consegue che sono necessari 445 Wh per la salita del carico e sono disponibili 295 Wh dalla discesa.

L'azionamento è alimentato da un convertitore a 380 V e, pertanto, la tensione del dc-link è di circa 535 V. Se per mantenere basso il costo si impiega un convertitore dc-dc costituito da un singolo ramo ad H, ne consegue che la tensione minima dei moduli di supercondensatori non deve essere inferiore a 130: in tal caso, infatti, il rapporto di amplificazione del convertitore dc-dc non è superiore a 4 e si riesce a garantire un elevato rendimento di conversione durante tutta la fase di scarica. Con queste informazioni è possibile dimensionare il sistema di accumulo a supercondensatori. Per quanto riguarda i moduli di supercondensatori, è stato scelto il modulo Maxwell BMOD0063 P125, le cui principali caratteristiche sono riportate in Tab. I.

Considerando che il rendimento dei supercondensatori e del convertitore dc-dc riduce ulteriormente l'energia elettrica disponibile dalla fase di frenatura, si può affermare che tre moduli sono sufficienti allo scopo. Per rispettare i vincoli sulla tensione minima, i tre moduli di supercondensatori devono essere collegati in serie. In tal caso, infatti, la tensione dei supercondensatori è compresa tra 375 V e 187.5 V e, di conseguenza, i rapporti di amplificazione rispetto alla tensione del dc-link valgono rispettivamente 1.40 e 2.85.

Tab. I. Principali caratteristiche dei supercondensatori impiegati

Capacità [F]	63
Resistenza interna in dc [Ω]	0.018
Corrente nominale [A]	150
Tensione nominale [V]	125
Energia disponibile [Wh]	101.7
Numero di cicli vita [-]	100 000

Per dimensionare il convertitore dc-dc, è necessario tenere in conto l'effettivo andamento della corrente in presenza dei supercondensatori. Se si considera il modello equivalente serie dei supercondensatori e, per semplicità, si trascura il valore della loro resistenza interna, si può scrivere la seguente equazione di bilancio della potenza:

$$v_{sc} i_{sc} = -C v_{sc} \frac{dv_{sc}}{dt} = P_{sc}, \quad (7)$$

dove P_{sc} è la potenza istantanea assorbita dai supercondensatori e t è il tempo. Se la tensione iniziale dei supercondensatori è V_{sc0} , l'andamento nel tempo della tensione e della corrente sono rispettivamente:

$$\begin{aligned} v_{sc}(t) &= \sqrt{V_{sc0}^2 - \frac{2P_{sc}}{C} t} ; \\ i_{sc}(t) &= \frac{P_{sc}}{\sqrt{V_{sc0}^2 - \frac{2P_{sc}}{C} t}} . \end{aligned} \quad (8)$$

La fine della ricarica si ha quando la tensione dei supercondensatori ha raggiunto il valore V_{sc1} , ossia al tempo:

$$t_{end} = C \frac{V_{sc0}^2 - V_{sc1}^2}{2P_{sc}} . \quad (9)$$

Il valore efficace della corrente di scarica è dato da:

$$I_{sc,rms} = \sqrt{\frac{1}{t_{end}} \int_0^{t_{end}} i_{sc}^2(t) dt} = P_{sc} \sqrt{\frac{2}{V_{sc0}^2 - V_{sc1}^2} \log \frac{V_{sc0}}{V_{sc1}}} . \quad (10)$$

Nel caso in esame, t_{end} è pari a 20 secondi e, quindi, si ha dall'eq. (9) $V_{sc0} = 0.53 V_{sc1}$ e un valore efficace della corrente pari a:

$$I_{sc,rms} \cong 1.33 \frac{P_{sc}}{V_{sc0}} .$$

Supponendo per cautela che si abbiano cicli di carica e scarica dei supercondensatori senza alcuna pausa, si ottengono nel caso in esame i seguenti valori per il valore massimo, $I_{sc,max}$, il valore minimo, $I_{sc,min}$, e il valore efficace, $I_{sc,rms}$, della corrente di ricarica dei supercondensatori:

$$\begin{aligned} I_{sc,rms} &= 188 \text{ A} ; \\ I_{sc,min} &= 141 \text{ A} ; \\ I_{sc,max} &= 267 \text{ A} . \end{aligned}$$

Se si scelgono convertitori Sinus Penta dell'Elettronica Santerno, il convertitore che riesce ad erogare una corrente almeno pari a $I_{sc,max}$ è il modello S30 Sinus 0150. La corrente nominale dell'inverter è di 215 A, mentre la corrente massima è di 270 A. La corrente massima può essere erogata per 120 secondi ogni 20 minuti, ossia con un duty-cycle del 10%. Nel caso in esame, la corrente nei supercondensatori sarebbe inferiore alla corrente nominale dell'inverter a partire dal tempo:

$$t > \frac{C}{2P_{sc}} \left(V_{sc0}^2 - \frac{P_{sc}^2}{I_n^2} \right) = 4.2 \text{ s} .$$

Ne consegue che ci si trova in condizioni di sovraccarico per una durata di 4.2 s ogni 20 s di funzionamento e, perciò, non compatibile con le caratteristiche dell'inverter.

È necessario provare quindi con il convertitore di taglia immediatamente superiore, ossia il Sinus 0162. La corrente nominale di questo modello di inverter è 240 A, mentre la corrente massima è di 290 A. Con questo modello, la corrente nei supercondensatori sarebbe inferiore alla corrente nominale dell'inverter a partire dal tempo:

$$t > \frac{C}{2P_{sc}} \left(V_{sc0}^2 - \frac{P_{sc}^2}{I_n^2} \right) = 1.8 \text{ s.}$$

Ne consegue che il sovraccarico avviene per una durata di 1.8 s ogni 20 s di funzionamento e, dunque, compatibile con le caratteristiche dell'inverter. È comunque utile osservare che il dimensionamento è effettuato in sicurezza, perché sono stati trascurati sia il rendimento del convertitore dc-dc, sia quello dei supercondensatori. L'energia effettivamente disponibile per la ricarica è dunque inferiore ai 295 Wh e, pertanto, anche le reali correnti in gioco saranno inferiori a quelle impiegate per il dimensionamento.

Per quanto riguarda, invece, il dimensionamento degli altri convertitori, si è tenuto conto che la potenza nominale del motore è di 90 kW, anche se in realtà ne sono normalmente utilizzati soltanto 66. Per conservare in modo completo le funzionalità presenti nella configurazione precedente, si è allora dimensionato l'inverter per la piena potenza del motore. Ipotizzando un valore del fattore di potenza pari a 0.8 in condizioni di massimo carico ed un rendimento di 0.8, si ottiene una corrente in valore efficace di:

$$I_s = \frac{P_{el}}{\eta_g \sqrt{3} V_n \cos \varphi_n} = 213 \text{ A ,}$$

dove P_{el} è la potenza assorbita dal motore elettrico, V_n è la tensione nominale del motore elettrico e $\cos \varphi_n$ è il fattore di potenza nominale del motore elettrico. Se si scelgono anche in questo caso i convertitori Sinus Penta, l'inverter da impiegare risulta essere il modello S30 Sinus 0150, le cui caratteristiche principali sono riportate in Tab. II. Il convertitore rigenerativo verso rete potrebbe essere dimensionato per una potenza inferiore dell'inverter del motore di sollevamento, perché dovrebbe compensare soltanto le perdite del sistema. Tuttavia, si è pensato di conservare la possibilità di funzionamento del sistema senza supercondensatori, in modo da preservare la piena potenzialità dell'impianto in caso di malfunzionamento ai supercondensatori o al convertitore dc/dc. Per tale motivo, per il convertitore rigenerativo è stato scelto un modello gemello dell'inverter del motore di sollevamento. La fattibilità del dimensionamento proposto è stato confermato dall'Elettronica Santerno, che ha formulato un'offerta di fornitura dei convertitori secondo quanto riportato nell'allegato 2.

Tab. II . Principali risultati del dimensionamento dei convertitori

	Convertitore rigenerativo	Convertitore dc/dc	Inverter
Modello	Sinus Penta S30 Sinus 0129	Sinus Penta S30 Sinus 0162	Sinus Penta S30 Sinus 0129
Potenza nominale [kW]	90	90	90
Corrente nominale [A rms]	195	240	195
Tensione nominale [V rms]	380ac / 550dc	550dc / 400-150dc	550dc / 380ac

Sono state infine effettuate prove di laboratorio per verificare l'efficacia del software di gestione sviluppato nell'attività di cui al punto B. Il software è stato implementato su un prototipo di carro ponte corredato del sistema di accumulo a supercondensatori, installato nei laboratori dell'ENEA, come mostrato in fig. 6.



Fig. 6. Vista di insieme del prototipo costruito presso l'ENEA

L'affidabilità del sistema di controllo è stata verificata in differenti condizioni operative mediante procedure di prova appositamente individuate. È stato individuato un ciclo rappresentativo del funzionamento ordinario del carro ponte, costituito da una fase di sollevamento, una fase di pausa e una fase di discesa. Il peso sollevato corrisponde a circa 7 tonnellate e, pertanto, differente dalla portata nominale del carro ponte. In questo modo si è verificata la capacità del sistema di accumulo di migliorare il funzionamento del carro ponte anche in condizioni diverse da quelle di progetto e non predeterminate. La tensione di riferimento dei supercondensatori è stata posta a 200 V. La seguente fig. 7 mostra gli andamenti delle correnti rispettivamente assorbite dal carico ed erogate dalla rete di alimentazione. Come si vede, a fronte di un assorbimento di circa 38 A del carico, corrispondente a 14.5 kW, la rete eroga soltanto 10 A, ossia circa 3.5 kW. La restante potenza richiesta dal carico è fornita integralmente dai supercondensatori, che mostrano, ovviamente, un

andamento decrescente della tensione ai loro morsetti, come riportato in fig. 8. Non appena la fase di sollevamento si esaurisce, la corrente di carico si azzerava ed i supercondensatori sono inizialmente ricaricati dalla rete, che tende a riportarli verso il loro stato di carica di riferimento.

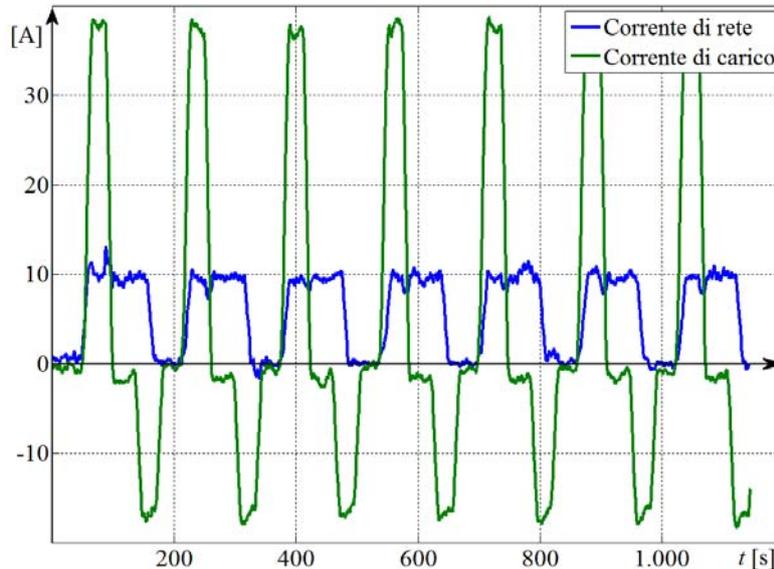


Fig. 7. Andamento della corrente assorbita dal carico e dalla corrente erogata dalla rete durante il funzionamento a cicli del carroponete

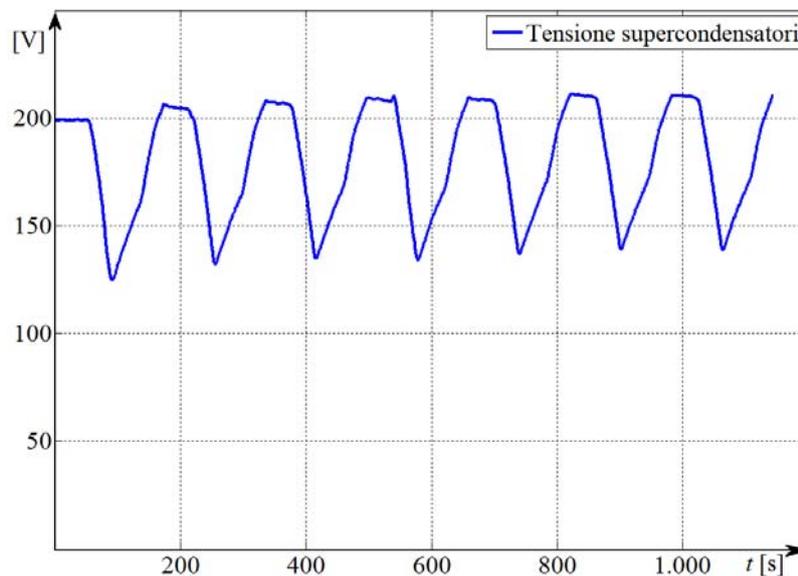


Fig. 8. Andamento della tensione dei supercondensatori durante il funzionamento a cicli del carroponete

Quando inizia la fase di discesa, dopo circa 30 secondi di pausa, i supercondensatori sono ricaricati sia dalla rete, sia dall'azionamento che recupera l'energia potenziale del carico. La presenza di questa fase è evidenziata dal cambiamento di pendenza della curva di tensione dei supercondensatori e dall'andamento della corrente riportato in fig. 9. Infatti la corrente passa da circa -10 A a circa -27 A, indicando il contributo del carico rigenerativo. Nell'istante in cui la tensione dei supercondensatori supera il valore di riferimento, la corrente nella rete si annulla e la

ricarica prosegue ad opera del solo carico rigenerativo. In questo modo, è possibile evitare che la rete ricarichi completamente i supercondensatori prima che il carico sia stato completamente abbassato, perdendo così parte dell'energia recuperata dal carico.

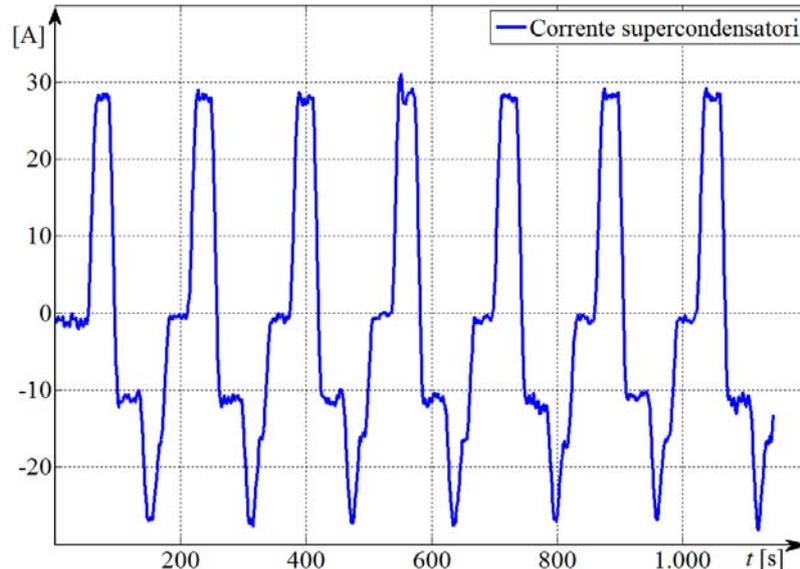


Fig. 9. Andamento della corrente dei supercondensatori durante il funzionamento a cicli del carro ponte

È importante notare che il funzionamento ripetitivo del carro ponte comporta che anche la tensione dei supercondensatori assuma a regime un andamento periodico. L'ampiezza della profondità di scarica dei supercondensatori, così come il tempo necessario per raggiungere il regime, sono ovviamente dipendenti dal carico che è sollevato e dal tempo di pausa intercorrente tra il sollevamento e l'abbassamento. In particolare, le variazioni rispetto alla tensione di riferimento saranno tanto più grandi quanto maggiori sono i carichi sollevati. Il massimo dell'escursione di tensione (ossia da 200 V a 125 V) si avrà in corrispondenza della portata massima del carro ponte. In ogni caso, però, il sistema di controllo è in grado di mantenere la tensione dei supercondensatori nell'intorno della tensione di riferimento, indipendentemente dall'entità del carico sollevato. Pertanto è possibile affermare che il controllo sviluppato è robusto ed efficace anche nel caso realistico in cui il carico da sollevare è aleatorio.

Si è infine considerato l'efficacia del funzionamento del sistema di accumulo in termini di risparmio energetico. A tal proposito, si è fatto funzionare il carro ponte per un certo numero di cicli in assenza ed in presenza del sistema di accumulo.

Nel caso in cui il sistema di accumulo sia scollegato dall'alimentazione del carro ponte, si ha assorbimento dalla rete soltanto durante le fasi di sollevamento. Questo perché durante la discesa del carico l'energia è dissipata sul resistore zavorra posto sul dc-link dell'inverter. La potenza richiesta dalla rete è uguale istante per istante a quella richiesta dal carico e l'energia necessaria per completare un ciclo vale circa 130 Wh.

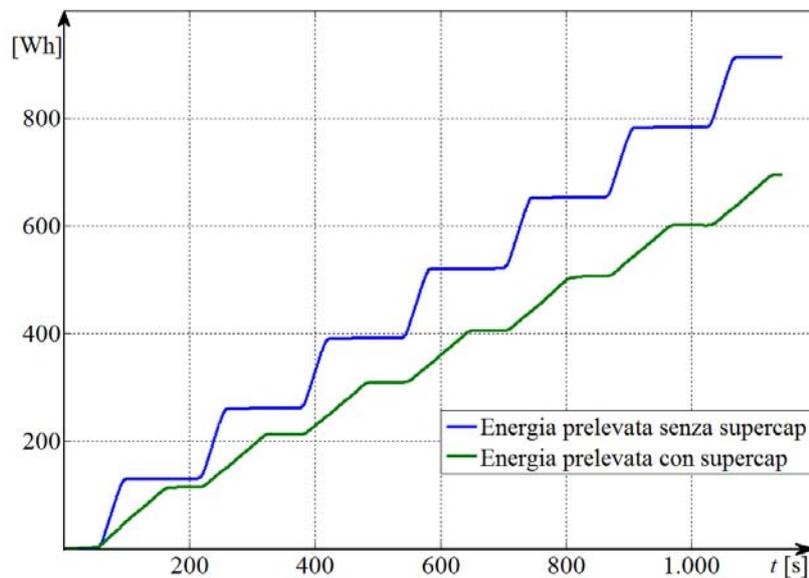


Fig. 10. Andamento dell'energia prelevata dalla rete nel funzionamento con e senza sistema di accumulo

Anche nel caso in cui il sistema di accumulo è presente, il carroponte assorbe energia dalla rete prevalentemente durante le fasi di sollevamento. Tuttavia, la rete è assistita dal sistema di accumulo che fornisce una parte significativa della potenza necessaria. Il diagramma dell'energia di rete presenta quindi una pendenza minore rispetto al caso precedente, come mostrato in fig. 10. Durante la frenatura rigenerativa, invece, l'energia è immagazzinata nel sistema di accumulo e la rete contribuisce soltanto a fornire l'energia necessaria a coprire le perdite inevitabilmente presenti nel sistema. Ne consegue che il diagramma di assorbimento di energia dalla rete è ancora crescente, anche se con pendenza minore, e presenta dei tratti costanti corrispondenti alle fasi di frenatura rigenerativa. L'energia media necessaria per eseguire un ciclo completo è, nel caso in esame, di circa 100 Wh. Ne consegue che, anche nel caso in cui i carichi connessi all'impianto di sollevamento siano di tipo aleatorio, l'impiego di un sistema di accumulo a supercondensatori nei carroponte consente di ottenere un significativo risparmio energetico, corrispondente a circa il 30% dell'energia necessaria al funzionamento ordinario.

Relazione sull'attività svolta dall'unità di Napoli nell'ambito del progetto CERSE per il secondo anno di attività

Allegato 1

Schema di montaggio delle apparecchiature necessarie per l'inserimento dei supercondensatori nel carriponte reale

SCHEMA DI CONNESSIONE DEL CONVERTITORE DC/DC

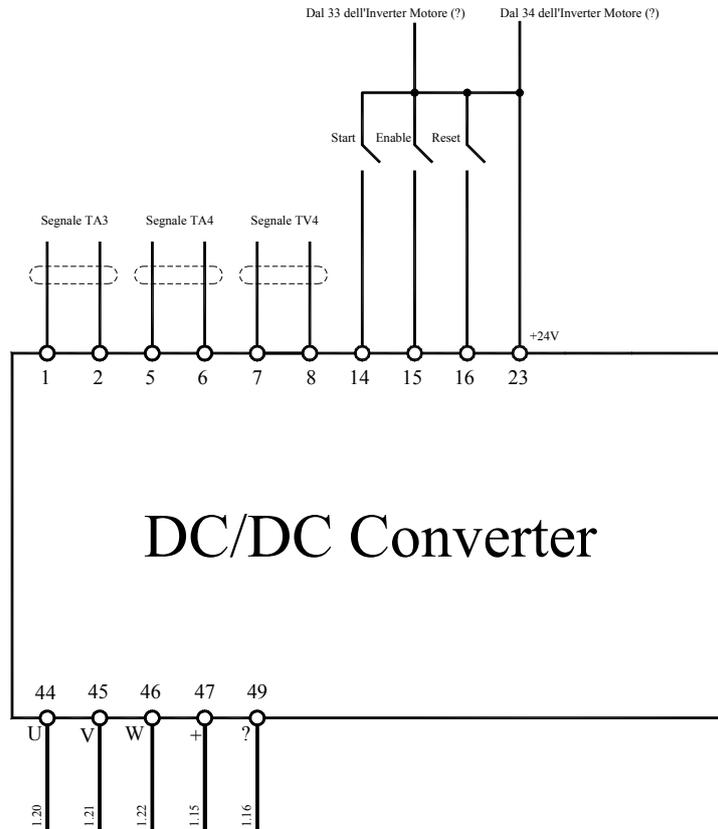


Fig.2. Schema di connessione del convertitore DC/DC

SEZIONE CAVI DI CUI ALLA FIG.1

- 1.1 120 mm²
- 1.2 120 mm²
- 1.3 120 mm²
- 1.4 16 mm²
- 1.5 16 mm²
- 1.6 16 mm²
- 1.7 120 mm²
- 1.8 120 mm²
- 1.9 120 mm²
- 1.10 120 mm²
- 1.11 120 mm²
- 1.12 120 mm²
- 1.13 185 mm²
- 1.14 185 mm²
- 1.15 185 mm²

1.16	185 mm ²
1.17	120 mm ²
1.18	120 mm ²
1.19	120 mm ²
1.20	70 mm ²
1.21	70 mm ²
1.22	70 mm ²
1.23	70 mm ²
1.24	70 mm ²
1.25	come cavo 16.10
1.26	come cavo 16.11
1.27	come cavo 16.12
1.28	4 mm ²
1.29	4 mm ²

MAGNETIC BREAKER

Corrente nominale 400 A

BYPASS CONTACTOR

Tipo AC1

Corrente nominale 275 A

Bobina 250 Vac, 3°

TRASDUTTORI

TA1, TA2, TA3, TA4, TA5

LEM HTA 300-S, oppure Honeywell CSNS300M o equivalenti

TV1, TV2, TV3

LEM AV 100-750 o equivalenti

TV4

LEM AV 100-500 o equivalenti

*Relazione sull'attività svolta dall'unità di Napoli nell'ambito del progetto CERSE per il secondo
anno di attività*

Allegato 2

**Offerta di Elettronica Santerno per l'installazione dei supercondensatori in un carro ponte già
esistente**

Elettronica Santerno S.p.A.
Strada Statale Selice 47
40026 Imola (Bo) Italia
t: +39 0542 489711
f: +39 0542 489722
sales@elettronicasanterno.it
www.elettronicasanterno.com



C. a. ENEA
Lungotevere Thaon di Revel 76
Roma
Tel: 06 30484312
Fax: 06 30484327
C. a.
Ing. PedeGiovanni
Ing. Manlio Pasquali
<mailto:giovanni.pede@casaccia.enea.it>
<mailto:manlio.pasquali@casaccia.enea.it>

Sede Legale
Via Olmo, 37
35011 Campodarsego
[Pd] Italia
t +39 049 9219111
f +39 049 9289111

C. c. ENEA
Unità gestionale Amministrativa
Servizio Approvvigionamenti
C.R.E. Casaccia V. Anguillarese, 301
00123 S. Maria di Galeria (RM)

Cap. Soc. € 2.500.000 i.v.
Codice Fiscale e Partita Iva
03686440284
R.E.A. PD 328951
Cod. Mecc. PD 054138
Cod. Ident. IVA Intracom.
IT03686440284

Imola 19/12/2009
Prot. 090-ENE-CO1-OF-3091

Premessa:

Gentile Cliente, come da Vs. richiesta, per la quale Vi ringraziamo siamo a proporre le apparecchiature idonee alla realizzazione della Vs. commessa relativa alle operazioni di test concordate in THYSSENKRUPP (Terni) ad immagazzinamento dell'Energia rigenerata da un carico verticale tipo Carroponte mediante SUPERCAPACITORS.

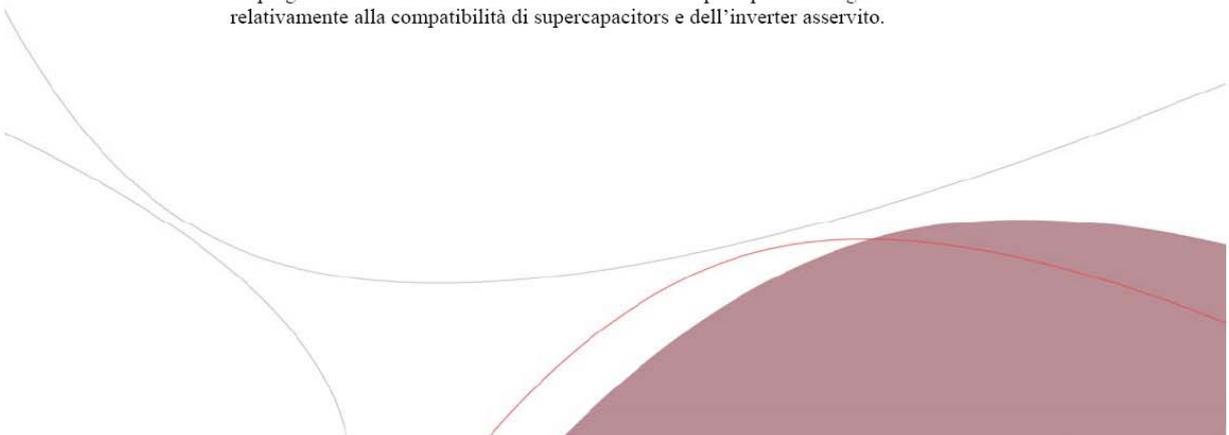
Elettronica Santerno S.p.A.
Società soggetta all'attività
di direzione e coordinamento
di Carraro S.p.A.

Come per la sperimentazione già effettuata in località "Casaccia" Santerno condividerà le nozioni necessarie al completamento dell'applicazione con l'Università di Napoli nella divisione diretta dal Dott. Pagano.

Vi chiediamo di chiedere verifica al costruttore del carroponte del dimensionamento delle apparecchiature a comando del motore di sollevamento.

L'apparecchiatura DC/DC è stata scelta di grandezza identica alle altre 2 macchine (alimentatore e Inverter-motore) la tensione del DC BUS (V link) sarà maggiore di 530V subordinata alla tensione di alimentazione connessa all'inverter.

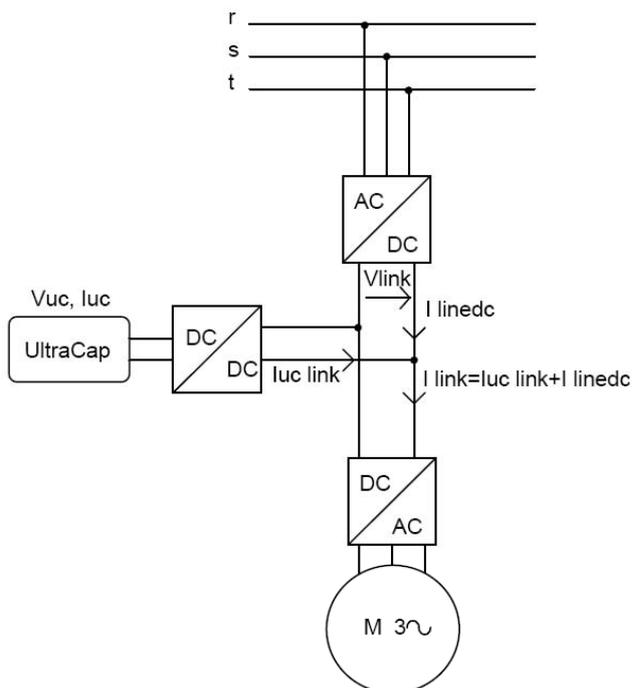
Vi preghiamo di verificare con le caratteristiche dei supercapacitors le grandezze elettriche V_{uc} e I_{uc} relativamente alla compatibilità di supercapacitors e dell'inverter asservito.



Electronica Santerno S.p.A.
Strada Statale Selice 47
40026 Imola (Bo) Italia
t: +39 0542 489711
f: +39 0542 489722
sales@electronicasanterno.it
www.electronicasanterno.com



Architettura Vs. sistema:



Electronica Santerno S.p.A.
Strada Statale Selice 47
40026 Imola (Bo) Italia
t: +39 0542 489711
f: +39 0542 489722
sales@electronicasanterno.it
www.electronicasanterno.com



Offerta economica in soluzione componenti STAND ALONE IP20 comprensivo di accessori necessari all'applicazione da Voi documentata e precedentemente riportata.

CABINET IP42-Nema2 Enclosure			LIGHT Overload up to 144%			HEAVY Overload up to 210%						
Code	Size	Model	Motor power 380-415Vac			Motor power 380-415Vac			Inom.	Imax1*	Imax2**	Net price
			kW	HP	A				A	A	A	
AC/DC "RGN" CONVERTER												
ZZ0102061	34103	S30	SINUS PENTA 0150 4T BIK2			120	165	212	90	125	159	215 270 324
IM0128324	THREE PHASE INDUCTANCE "LR" 2-4T-IP00 320A - 0,27mH											
IM0128924	THREE PHASE INDUCTANCE "LF" 2-4T-IP00 320A - 0,135mH											
ZZ0120035	Regenerative interface 0162 2-4T											
DC/AC "FOC" INVERTER												
ZZ0102061	34103	S30	SINUS PENTA 0150 4T BIK2			120	165	212	90	125	159	215 270 324
ZZ0095834	Encoder card ES836 for SINUS K-PENTA											
IM0126244	THREE PHASE INDUCTANCE "L2" 2-4T-IP00 252A - 0,088mH											
DC/DC CONVERTER												
ZZ0102061	74103	S30	SINUS PENTA 0162 4T BIK2			132	180	228	##	150	191	240 290 348
		*****	Filter DC inductance									
											Totale	€ 37.500,00
Tensione di alimentazione 200-240Vac +10%-15% - Power supply 200-240Vac +10%-15%												
Tastiera di programmazione inclusa - Integrated programming keypad												
Comunicazione seriale RS 485 protocollo Modbus RTU con SW di programmazione da PC e di teleassistenza via												
Modulo di frenatura integrato fino a S30 - Braking chopper built in up to size S30												
Inom. = corrente massima continuativa alla quale può lavorare l'inverter (la corrente nominale del motore applicabile non deve essere superiore del 5% rispetto la "Inom.") - Inom. = Rated current which can be provided to the motor (the motor rated current shall not exceed 5% the Inom)												
I max1* Sovraccarico di corrente-coppia per 120sec. ogni 20 min. - Current-Torque overload for 120sec. every 20 min.												
I max2** Sovraccarico di corrente-coppia per 3sec. - Current-Torque overload for 3sec.												

-Esclusione dalla fornitura: quanto non esplicitamente riportato in offerta.

-Le apparecchiature della serie SINUS PENTA potranno da Voi essere implementate di Sw necessari alla realizzazione dell'Applicazione.

Elettronica Santerno S.p.A.
Strada Statale Selice 47
40026 Imola (Bo) Italia
t: +39 0542 489711
f: +39 0542 489722
sales@elettronicasanterno.it
www.elettronicasanterno.com



Condizioni di fornitura:

Pagamento: da concordare.

Consegna: 12 settimane DRO

Resa: porto assegnato.

Imballo: compreso su pallet avvolto in pellicola.

Garanzia: **36** mesi per gli inverter, **24** mesi per soft-starter, **12** mesi quadro, elettromeccanica, accessori e motori secondo ns. condizioni di vendita.

La garanzia è da considerarsi f.co ns. sede a norme ANIE vigenti.

Messa in servizio: Esclusa.

Modifiche Sw: Escluse dalla fornitura, a Vs. cura

Validità presente offerta: 60 gg.

Dotazioni: nella fornitura è compresa n° 1 copia del manuale di manutenzione e d'uso.

In attesa di ricevere Vs. gradito riscontro, cogliamo l'occasione per porgerVi i ns. più cordiali saluti.

Elettronica Santerno SPA

Mirko Marchetti
Area Manager
Centro Sud Italia
Elettronica Santerno S.p.a
S.S. Selice 47 - Imola (BO)
Tel. +39 0542 489711
Mobile +39 340 7444305
Fax +39 0542 489799
Dir.line +39 0542 489736
mailto:mirko.marchetti@santerno.com
elettronicasanterno.com