

## Il contrappeso elettrico

## The electric counterweight

Ing. Sebastiano Acquaviva

Encosys s.r.l., Torino, Italia / Italy

**D**a diverso tempo si discute su quale sia la tecnologia migliore per gli ascensori. Un parametro essenziale per questo confronto è il consumo, o meglio i due fattori che lo determinano: la potenza e l'energia. Un altro parametro determinante per la scelta è la velocità di cabina.

Tabella 1 - Confronto tipologia di impianti

Tipo impianto	Idraulico	Elettrico con riduttore	Elettrico gearless
Velocità (m/s)	0,63	1,0	1,0
Portata (kg)	630	630	630
Dimensioni motore (kW)	11	5,6	4
Rendimento impianto (%)	50	56	79
Contrappeso (n.a 50% 50% counterbalancy ratio)	No	Si	Si

La Tabella 1 mostra un confronto diretto tra le varie tipologie di ascensori secondo la tecnologia corrente. Da una prima analisi si potrebbe dedurre che la tecnologia gearless sia la migliore. Ma un'analisi più attenta mostra che la differenza sostanziale è determinata da due parametri: il rendimento complessivo e il contrappeso.

Il contributo del rendimento ai fini energetici è evidente per qualsiasi apparecchio.

Nel caso dell'ascensore con riduttore o senza riduttore l'unica differenza di assorbimento è proprio dovuto al rendimento del riduttore stesso che incide il risultato globale.

La presenza del contrappeso gioca un ruolo fondamentale sulla taglia del motore e sulla potenza necessaria al corretto funzionamento, nonché sulla velocità.

Poiché la potenza necessaria è data dal peso sollevato per la velocità di traslazione, la presenza del contrappeso consente di poter aumentare la velocità di traslazione pur rimanendo con delle potenze relativamente basse.

**T**he discussion about what is the best technology for the lifts has been open for some time. An essential parameter in this comparison is the energy consumption, or rather the two factors that determine it: the power and the energy. Another important parameter for the choice is the speed of the car.

Table 1 - Lift technology comparison

Plant type	Hydraulic	Geared	Gearless
Speed (m/s)	0.63	1.0	1.0
Load (kg)	630	630	630
Motor size (kW)	11	5.6	4
Plant efficiency (%)	50	56	79
Counterweight (n.a 50% 50% counterbalancy ratio)	No	Yes	Yes

Table 1 shows a direct comparison between different types of lift in accordance with current technology.

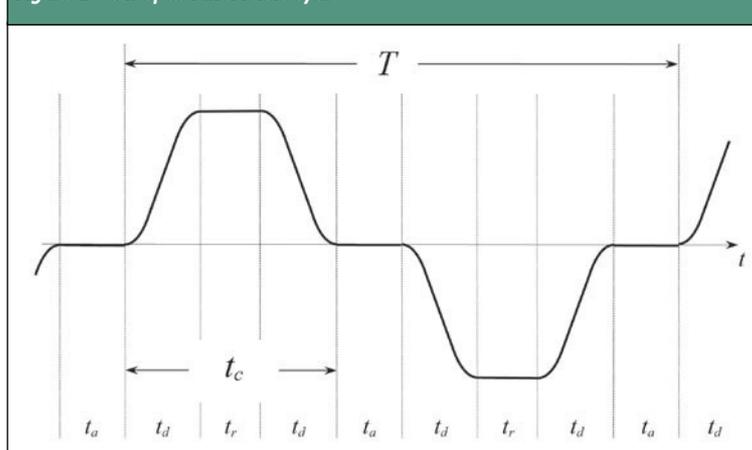
A first analysis tends to indicate that the gearless technology is the best.

But a closer inspection shows that the difference is determined by two parameters: the overall efficiency and the counterweight.

The contribution of the efficiency on the energy is evident for any plants.

In the case of the geared or gearless lift the difference of the input power is only due to the gearbox efficiency that reduce the overall result.

Figura 1 - Velocità cabina in un ciclo base di tragitto  
Figure 1 - Car speed in a basic cycle



The presence of the counterweight plays an important rule on the motor size and on the power necessary for the proper operation, as well as on the speed.

Since the power required is given by the weight raised times the travel speed, the presence of the counterweight allows to increase the car speed whilst using relatively low power.

Dovendo l'ascensore idraulico per un corretto funzionamento lavorare con una pressione dell'olio elevata, dotare questa tipologia di ascensore di contrappeso non è molto conveniente poiché ne riduce la pressione di lavoro. Inoltre solo una parte ridotta del peso può essere controbilanciata dal contrappeso, da cui si ricaverebbe unicamente una minima riduzione della potenza dell'impianto. Il costo del contrappeso e quanto ad esso connesso non giustificano tale scelta. Quest'articolo descrive un sistema elettrico che fa la funzione di contrappeso soprattutto per gli ascensori idraulici. I vantaggi risultanti rispetto al contrappeso meccanico sono molteplici. Esso è un sistema di accumulo di energia con i vantaggi che ne derivano. Può essere indifferentemente utilizzato sugli ascensori elettrici e idraulici.

Il sistema interviene pesantemente nella riduzione della potenza impegnata (fino al 80% in dipendenza della tipologia dell'ascensore e del carico di lavoro svolto dall'ascensore), nella riduzione della energia consumata (oltre il 40% in dipendenza della tipologia dell'ascensore). Può essere installato semplicemente sugli impianti esistenti (nel qual caso i vantaggi energetici sono leggermente minori) o su impianti nuovi predisposti per il suo utilizzo ottimale.

## 1. ANALISI TECNICA

### 1.1 Definizione del ciclo base

È importante far riferimento ad un ciclo standard per un confronto energetico che possa essere ripetuto e riconosciuto da chiunque. Poiché l'ascensore è una macchina che lavora con un carico molto variabile, nella definizione del ciclo base si è fatto riferimento a quanto disposto nel documento [1], ed in particolare per quanto attiene l'ascensore idraulico.

#### 1.1.1 Ciclo base di tragitto

Per tragitto qui si intende un ciclo minimo composto da una salita e una discesa formate ciascuna da un tempo di apertura e chiusura porte, detto  $t_a$ , un tempo di accelerazione e decelerazione, detto  $t_d$  e un tempo di regime detto  $t_r$ . La figura 1 mostra tale ciclo. Il tempo totale di ciclo è  $T$ . Il tempo di corsa è detto  $t_c = 2 t_d + t_r$ .

#### 1.1.2 Ciclo base per l'energia

Con riferimento al documento [1] il ciclo tipo per gli ascensori idraulici è: 50% dei tragitti a vuoto, 30% con il 25% del carico, 10% con il 50% del carico e 10% con il 75% del carico. Al fine della valutazione energetica per ogni tipologia di impianto si adottano i seguenti cicli base: 100.000 per impianti residenziali e industriale, 300.000 per commerciale e alberghi. Si assume che il tragitto medio percorso sia il 50% della massima distanza (completo per impianti a 2 fermate).

#### 1.1.3 Ciclo base per la potenza

Ai fini della valutazione della potenza da impegnare con il fornitore della rete definiamo il ciclo base per la potenza come un ciclo base di tragitto al 100% del carico in salita e a vuoto in discesa ripetuto continuamente percorrendo la massima corsa.

### 1.2 Definizione dei carichi del motore

Di seguito verranno valutate le condizioni operative di funzionamento del motore elettrico nelle varie situazioni durante il ciclo base di tragitto. Queste valutazioni verranno fatte sia con il motore operante in modo standard (senza inverter), sia con inverter.

*Because the hydraulic lift, for a correct functioning, needs to work with a high oil pressure, to equip the counterweight for this lift typology is not convenient.*

*Moreover, only a reduced part of the weight can be balanced from the counterweight, then the power reduction will be small.*

*The cost of the counterweight and what needed to be connected to it do not justify this choice.*

*This paper describes an electric system that works as a counterweight especially for the hydraulic lifts.*

*The resulting advantages compared to mechanical counterweight are many.*

*It is an energy storage system with the advantages that derive from it.*

*It can indifferently be used on the electric and hydraulic lifts.*

*The system heavily intervenes in reducing the power (up to 80% depending of the lift type and the lift duty cycle), reduction of the consumed energy (over 40% depending on the lift type).*

*It can be installed simply on the existing plants (in that case the energetic advantages are slightly smaller) or on new plants predisposed for its optimal use.*

## 1. TECHNICAL ANALYSIS

### 1.1 Basic cycle definition

*For an energy comparison that can be repeated and understood by everyone it is important to refer to a standard cycle. Since the lift is a machine that works with a highly variable duty, the basic cycle definition has been made reference to the document [1], and particularly on that which concerns the hydraulic lift.*

#### 1.1.1 Trip basic cycle

*The trip is a minimum cycle composed of an up and down travel, each one including an opening and closing door time, said  $t_a$ , by acceleration and deceleration time, said  $t_d$  and steady state time, said  $t_r$ . Figure 1 shows such cycle. The cycle total time is  $T$ . The running time is said  $t_c = 2 t_d + t_r$ .*

#### 1.1.2 Energy basic cycle

*With reference to the document [1] the energy cycle for the hydraulic lifts is: 50% of the travel with empty car, 30% with 25% of the load, 10% with 50% of the load and 10% with 75% of the load. For the energy evaluation purpose the following base cycles are adopted for every installation type: 100.000 for residential and industrial installations, 300.000 for commercial and hotels plants. It is assumed that the trip distance is the 50% of the maximum one (complete for installations with 2 stops).*

#### 1.1.3 Power Basic cycle

*To evaluate the maximum engaged power from the net supplier we define the power cycle as a trip basic cycle having 100% of the load in upward travel and empty car in downward travel, repeated continuously at the maximum travel distance.*

### 1.2 Motor loads definition

*In the following the electric motor working conditions will be evaluated in the different situations during the trip basic cycle.*

*These evaluations will be made both with the motor operating in standard mode (without inverter) or with inverter.*

### 1.2.1 Carichi in salita

Ai fini della valutazione dei carichi del motore la salita è suddivisa in quattro fasi: lo spunto, la partenza e l'accelerazione, il regime, il rallentamento e la fermata.

Nella fase di partenza il motore passa dalla condizione di funzionamento a vuoto ad una condizione determinata dal carico stesso. Il punto di lavoro del motore può variare notevolmente nel suo ordinario funzionamento dal 50% al 100% del carico nominale. In Figura 2 è riportato l'andamento del rendimento di un tipico motore per ascensore idraulico in funzione del carico. È evidente che essendo il funzionamento del motore prevalentemente a vuoto ai fini del computo energetico, il rendimento complessivo dell'impianto è ridotto notevolmente. L'uso di un inverter idoneo programmato per l'inseguimento del punto di massima efficienza può ridurre il consumo notevolmente.

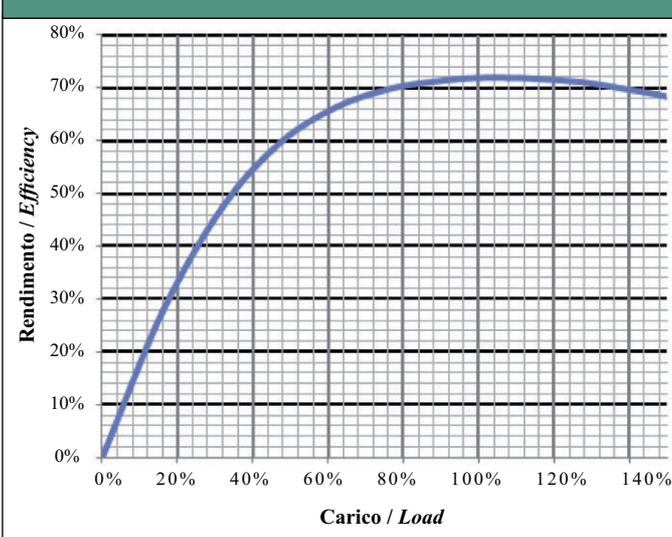
La figura 3 mostra l'assorbimento di corrente nelle versioni senza e con inverter VVVF. L'area gialla rappresenta il risparmio di energia ottenibile con l'utilizzo dell'inverter VVVF nella fase di salita. Inoltre è possibile ridurre notevolmente la fase di posizionamento al piano, riducendo sia il tempo totale di corsa, sia l'energia assorbita durante il posizionamento che, per corse brevi, può essere di grande rilevanza.

### 1.2.2 Carichi in discesa

Come la salita, anche la discesa è suddivisa in quattro fasi: lo spunto, la partenza e l'accelerazione, il regime, il rallentamento e la fermata.

A differenza della salita, nella soluzione tradizionale senza inverter, la discesa è governata completamente dal gruppo valvola in modo dissipativo ed il motore non è interessato al movimento.

Figura 2 - Rendimento del motore asincrono per ascensore idraulico  
Figure 2 - Motor efficiency vs load



### 1.2.1 Upward load

For the evaluation of the motor loads, the upward is divided in four phases: the start-up, the acceleration, the steady state, the deceleration and stop.

During the starting phases the motor goes from no load condition to a condition determined by the car load.

Motor standard working point can vary from 50% to 100% of the nominal load.

Figure 2 shows the efficiency versus the load of a typical motor for hydraulic lift.

Clearly, as the motor works mainly with empty car for the energy evaluation, the global efficiency of the plant is significantly reduced.

Using an inverter programmed with the maximum efficiency tracking point can reduce the consumption significantly.

Figure 3 shows the input current of the hydraulic lift in the versions with and without VVVF inverter.

The yellow area represents the energy saving obtained by using an VVVF inverter during the upward travel.

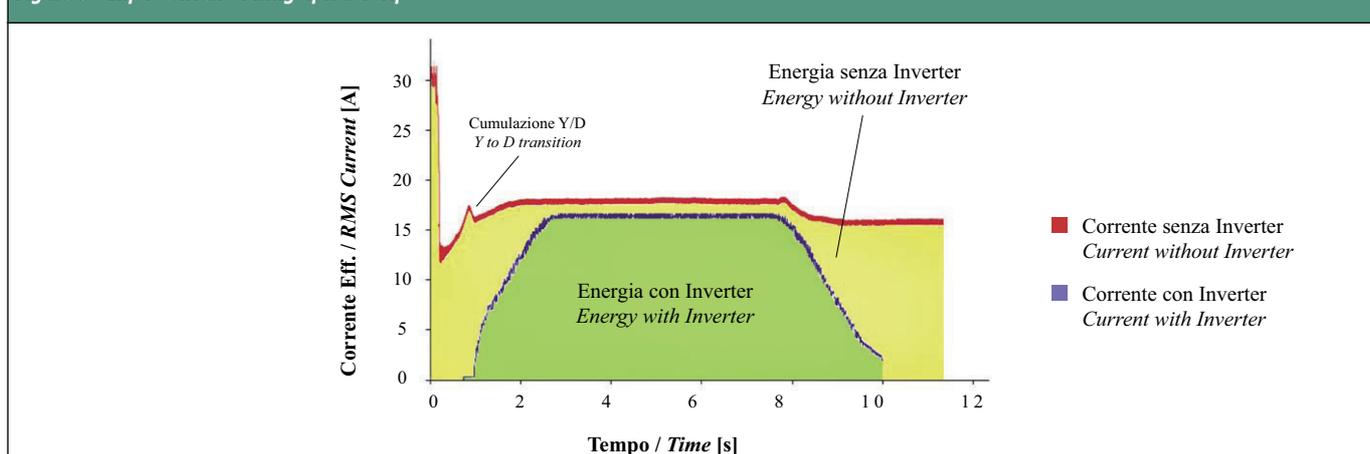
It is also possible to reduce considerably the positioning phase to the floor; reducing both the total run time and the energy during the positioning phase.

This advantage, for short runs, can be of great importance.

### 1.2.2 Downward load

As the upward travel, also the downward travel is divided in four phases: the start-up, the acceleration, the steady state, the deceleration and stop. Unlike the upward travel, for the traditional solution without inverter, the downward travel is completely driven by the valve group in a dissipative way and the motor is not involved into the lift movement.

Figura 3 - Corrente durante un percorso in salita  
Figure 3 - Input current during upward trip



Utilizzando l'inverter VVVF è possibile far gestire il movimento dal motore e frenare la cabina rigenerando l'energia per un utilizzo successivo.

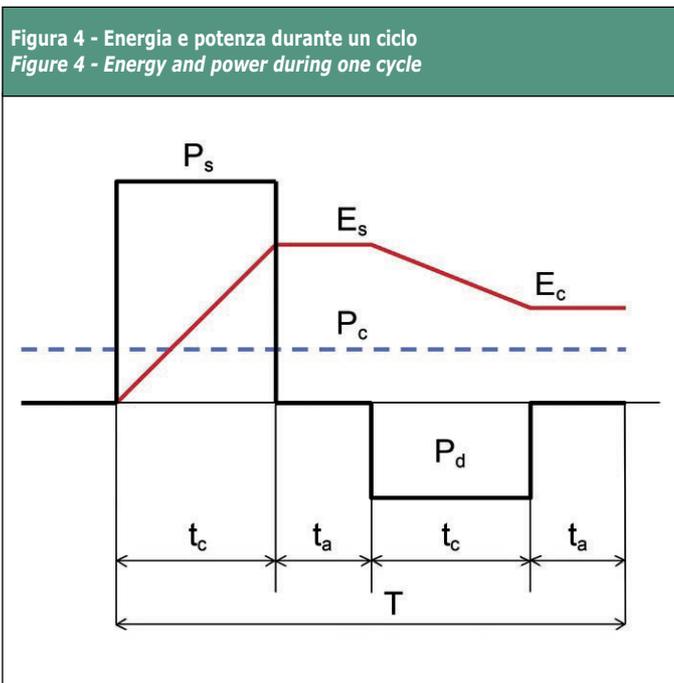
Using the VVVF inverter, the motor can manage the car movement working as a brake and regenerating the energy for successive use.

### 1.3 Potenza ed energia in un ciclo base di tragitto

Per un ascensore idraulico, durante le fasi di accelerazione e di rallentamento, la potenza dovuta all'inerzia è molto bassa comparata con la potenza necessaria al sollevamento. Inoltre, essendo il carico sempre unidirezionale, l'effetto inerziale durante l'accelerazione compensa, ai fini energetici, l'effetto inerziale durante il rallentamento. Quindi, per una semplificazione espositiva, può essere trascurato l'effetto inerziale non avendo a fine ciclo alcun contributo globale. La Figura 4 mostra l'energia e la potenza in un ciclo di tragitto. Partendo dal piano basso con il carico  $M_t$ , percorrendo la corsa  $h$  e ritornando al piano inferiore con il carico  $M_b$  si ha il bilancio energetico seguente:

### 1.3 Power and Energy during a trip basic cycle

For a hydraulic lift, during the acceleration and deceleration phases, the power due to the inertia load is very low compared with the power required for lifting. Since the load is unidirectional, the inertial effect during the acceleration compensates the inertial effect during the deceleration, in the energy point of view. Then, to simplify, the inertial effect can be neglected, not having any global contributions at the end of the cycle. Figure 4 shows the energy and the power during a trip cycle. Starting from the lower floor with the load  $M_t$ , travelling the distance  $h$  and returning downstairs with the load  $M_b$ , the following energy balance can be made:



$$E_s = \frac{M_t \cdot g \cdot h}{\eta} ; E_d = M_b \cdot g \cdot h \cdot \eta = \left( \frac{M_b}{M_t} \cdot \eta^2 \right) E_s$$

$$E_s = \frac{M_t \cdot g \cdot h}{\eta} ; E_d = M_b \cdot g \cdot h \cdot \eta = \left( \frac{M_b}{M_t} \cdot \eta^2 \right) E_s$$

dove  $E_s$  è l'energia assorbita dalla rete in salita,  $E_d$  è l'energia rigenerata in discesa;  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  è l'accelerazione di gravità e  $\eta$  è il rendimento dell'intero impianto.

where  $E_s$  is the input energy absorbed from the supply during the upward travel,  $E_d$  is the regenerated energy during the downward travel,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  is the acceleration due to gravity and  $\eta$  is the efficiency of the whole installation.

L'energia consumata a fine ciclo sarà:

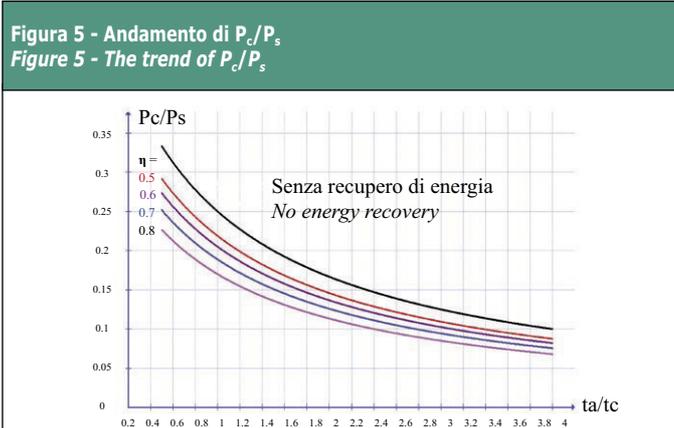
The energy consumed at the end of the cycle will be:

$$E_c = E_s - E_d = \left( 1 - \frac{M_b}{M_t} \cdot \eta^2 \right) \frac{M_t \cdot g \cdot h}{\eta} = \left( 1 - \frac{M_b}{M_t} \cdot \eta^2 \right) E_s$$

$$E_c = E_s - E_d = \left( 1 - \frac{M_b}{M_t} \cdot \eta^2 \right) \frac{M_t \cdot g \cdot h}{\eta} = \left( 1 - \frac{M_b}{M_t} \cdot \eta^2 \right) E_s$$

È evidente che l'energia consumata dipende fortemente dal rendimento dell'intero impianto.

Con  $M_b / M_t = 1$  e  $\eta = 0.5$  (pari al 72% del motore elettrico e 70% della restante parte dell'impianto, condizione reale nella maggioranza degli impianti esistenti) si ha una perdita di energia pari al 75% (ovvero il recupero possibile massimo è del 25%).



Clearly consumed energy strongly depends on performance of the whole installation.

With  $M_b / M_t = 1$  and  $\eta = 0.5$  (equal to 72% for the electric motor and 70% for all the other parts of the installation, real condition in the majority of existing installations) the energy loss is equal to 75% (or the maximum possible energy recovery is only 25%).

Posto invece  $\eta = 0.65$ , raggiungibile con un motore brushless ad alta efficienza (pari al 93%), la perdita di energia è del 58% (ovvero con un recupero possibile massimo pari al 42%). Quindi l'utilizzo di un motore elettrico ad alta efficienza, possibilmente non immerso in olio, di tipo brushless è fortemente raccomandato. Inoltre, l'uso di un gruppo valvola a bassa caduta dà un contributo notevole al recupero energetico, aumentando il rendimento della restante parte dell'impianto.

Per le potenze, detta  $P_s$  la potenza richiesta dalla rete in salita,  $P_c$  la potenza media nel ciclo,  $t_c$  il tempo totale di corsa e  $T$  il tempo minimo di un ciclo completo di tragitto, si ha quanto segue:

$$P_s = \frac{E_s}{t_c} = \frac{M_t \cdot g \cdot h}{\eta \cdot t_c} ; P_c = \frac{E_c}{T} = \left(1 - \frac{M_b}{M_t} \cdot \eta^2\right) \frac{M_t \cdot g \cdot h}{\eta \cdot T}$$

$$\frac{P_c}{P_s} = \left(1 - \frac{M_b}{M_t} \cdot \eta^2\right) \frac{1}{2 \left(1 + \frac{t_a}{t_c}\right)}$$

La Figura 5 riporta l'andamento di  $P_c / P_s$  in funzione di  $t_a / t_c$  per un rapporto  $M_b / M_t = 0.5$  (salita a pieno carico, discesa a vuoto). È inoltre riportato l'andamento nel caso in cui non ci sia recupero di energia. Il grafico mostra che nella peggiore delle ipotesi, ovvero senza recupero di energia, e con il tempo  $t_a$  al minimo, ovvero funzionamento continuativo, la potenza impegnata può essere ridotta al 33% del valore nominale, cioè per un impianto da 12 kW si può, nelle peggiori condizioni, impegnare solamente 4 kW.

Dal grafico risulta anche che aumentando il rendimento dell'impianto si può ridurre notevolmente la potenza impegnata. In impianti quali condomini o uffici a bassa intensità di traffico, oppure per impianti non molto alti in cui il rapporto  $t_a / t_c$  è più elevato, la potenza impegnata può essere ridotta al 25% o addirittura al 20%, cioè rimanere comodamente entro i 3 kW.

## 2. IL SISTEMA A "CONTRAPPESO ELETTRICO"

### 2.1 Caratteristiche di un sistema di accumulo di energia

Nella prima parte sono state brevemente analizzate le caratteristiche energetiche di un ascensore idraulico. Si è visto che la potenza media in un ciclo è molto inferiore alla potenza massima di funzionamento e può essere ridotta notevolmente aumentando il rendimento del sistema oppure aumentando il rapporto  $t_a / t_c$ , o entrambi. Analogamente, l'energia consumata per ogni ciclo completo può essere ridotta notevolmente se l'impianto permette di recuperare l'energia di discesa, ovvero dotando l'impianto di un gruppo valvola idoneo al controllo della discesa attraverso la pompa e quindi il motore elettrico. All'energia recuperata durante la fase di discesa si aggiunge, quale risparmio energetico, l'energia non assorbita grazie ad un controllo del motore mediante un inverter VVVF gestito con idoneo software per l'inseguimento del punto di massimo rendimento in tutto il campo operativo dell'ascensore. Infatti, considerando che l'ascensore lavora per circa il 50% a vuoto, il rendimento medio del motore è molto basso se alimentato direttamente da rete.

With instead  $\eta = 0.65$ , possible with a high efficiency brushless motor (equal to 93%), the energy loss is 58% (or the maximum possible energy recovery is equal to 42%). The use of a high efficiency electric motor, hopefully not submersible, brushless type is strongly recommended. Also, the use of a low pressure drop valve group gives a large contribution to the energy recovery, increasing the efficiency of the remainder parts of the installation.

Regarding the power,  $P_s$ , the power required by the supply in the upward travel,  $P_c$  the average power of the cycle,  $t_c$  the total travel time and  $T$  the minimum time for a complete cycle, can be written:

$$P_s = \frac{E_s}{t_c} = \frac{M_t \cdot g \cdot h}{\eta \cdot t_c} ; P_c = \frac{E_c}{T} = \left(1 - \frac{M_b}{M_t} \cdot \eta^2\right) \frac{M_t \cdot g \cdot h}{\eta \cdot T}$$

$$\frac{P_c}{P_s} = \left(1 - \frac{M_b}{M_t} \cdot \eta^2\right) \frac{1}{2 \left(1 + \frac{t_a}{t_c}\right)}$$

Figure 5 shows the trend of  $P_c / P_s$  in function of  $t_a / t_c$  with the ratio  $M_b / M_t = 0.5$  (upward travel at full load, downward travel with empty car). Also the condition without energy recovery is shown. In the worst case, i.e. without energy recovery, and with time  $t_a$  to a minimum, or continuous operation, the power draw from the net can be reduced to 33% of the nominal value, i.e. for a 12 kW installation, in the worst conditions, only a 4 kW is possible.

The graph shows also that increasing the plant efficiency the power can be drastically reduced. In plant such as residential or offices with low traffic density, or for low rise buildings, where the ratio  $t_a / t_c$  is higher, the power can be reduced down to 25% or even down to 20%, which remain comfortably within the 3 kW.

## 2. THE "ELECTRICAL COUNTERWEIGHT" SYSTEM

### 2.1 Characteristics of an energy storage system

In the first part of the paper the energy characteristics of a hydraulic lift have been briefly analysed. It was found that the average power in a cycle is well below the operational maximum power and it can be reduced significantly by increasing the efficiency of the system or increasing the ratio  $t_a / t_c$ , or both. Similarly, the energy consumed for each complete cycle can be reduced significantly if the installation can recover the energy during the downward travel, i.e. using a suitable valve block that allows the control through the pump and then through the electric motor. The energy recovered during the downward phase can be added, such as energy saving, to the energy that is not absorbed due to the use of a maximum efficiency tracking point VVVF inverter controlling the motor in the whole operating range of the lift. Considering that the lift works for about 50% of the time with empty car, the efficiency of the motor is very low if powered directly from supply.

Per ottenere quanto detto sopra, ovvero per ridurre la potenza installata e assorbire esattamente la potenza media dalla rete, si deve dotare l'ascensore di un sistema che permetta di accumulare l'energia di discesa, di rigenerare tale energia accumulata fornendo l'eccedenza di energia necessaria durante la salita.

A tal fine il sistema deve avere un rendimento molto elevato, permettere di recuperare velocemente energia durante la fase di discesa dell'ascensore ed accumularla, avere una vita lunga e un basso costo di acquisto e di manutenzione.

## 2.2 Il sistema a "contrappeso elettrico"

La Figura 6 mostra lo schema a blocchi del sistema proposto. Si identificano quattro blocchi: il PFC, il regolatore dell'accumulatore REGA, l'accumulatore ACC e l'inverter del motore dell'ascensore INVM.

Il PFC è l'acronimo inglese di Power Factor Corrector ovvero correttore del fattore di potenza. Questo blocco può essere monofase o trifase, ha la caratteristica di avere  $\cos\phi$  unitario in tutto il campo operativo, può essere rigenerativo o no. Limita la potenza in ingresso ad un valore impostabile dal controllo, garantendo in questo modo che non si superi la potenza impegnata con il fornitore della rete.

Il regolatore REGA è controllato in modo da gestire il flusso energetico dell'accumulatore ACC.

Il controllo adottato garantisce la regolazione di potenza in modo tale da supplire alla differenza di energia tra quella necessaria all'ascensore per il proprio movimento e l'energia assorbita dalla rete. Se in salita l'ascensore necessita di 15 kW per il proprio movimento, ma la potenza impegnata è solamente di 3 kW, allora il sistema REGA + ACC funziona da generatore e fornisce i mancanti 12 kW all'ascensore. In discesa invece funziona da accumulatore e recupera l'energia rigenerata che negli inverter tradizionali viene dissipata nelle resistenze di frenatura.

L'inverter INVM è un inverter programmato per gestire un ascensore idraulico, con l'inseguimento del punto di massima efficienza. Può comandare un motore di tipo ad induzione oppure di tipo brushless. Controlla la fase di salita degli ascensori sia sui vecchi impianti, sia su impianti con gruppo valvola modificato per la discesa. Per il controllo della discesa è necessario montare un gruppo valvola idoneo allo scopo.

## 2.3 Benefici del sistema proposto

Quando il sistema è completamente carico ha un'energia accumulata di circa 600 kJ. Un impianto da 6 persone (450 kg) con corsa di 15 m (5 fermate), velocità di 0,63 m/s, potenza utile meccanica di 5,8 kW, con un rendimento complessivo del 50%, necessita di una potenza installata di 12 kW. La corsa dura circa  $t_c = 24$  s e, con un tempo di apertura/chiusura porte e attesa  $t_a = 10$  s, il tempo di ciclo è di  $T = 68$  s, ovvero circa 100 corse ora.

*In order to achieve the above, or to reduce the installed power and absorb just the average power from the supply, the lift must be provided with a storage system and regenerating system for descending energy, providing the surplus power needed during the upward travel.*

*To this purpose, the storage system must have a very high efficiency, allowing the energy to be recovered and stored quickly during the descent phase, have a long life, low purchase cost and maintenance cost.*

## 2.2 The "electrical counterweight" system

*Figure 6 shows the block diagram of the proposed system. There are four blocks: the PFC, the accumulator regulator REGA, the accumulator ACC and the inverter for the motor lift INVM.*

*The PFC is the acronym for Power Factor Correction.*

*This block can be single or three phase, it has the characteristic of having a unity value  $\cos\phi$  throughout the operating range, it can be regenerative or not. It limits the input power to a value set by the control, thus ensuring it does not exceed the provided power from the supply.*

*The regulator REGA is controlled in order to manage the energy flow of the accumulator ACC.*

*It controls the power so as to compensate for the energy difference*

*between the power required by the lift and the energy absorbed by the supply. If the lift needs up to 15 kW for its movement but the power drawn is only 3 kW, then the system REGA + ACC operates as a generator and provides the missing 12 kW to the lift.*

*In the downward direction it works as an accumulator and recovers the energy regenerated which, in the conventional inverter, is dissipated into braking resistors.*

*The inverter INVM is programmed for the hydraulic lift in order to operate always with the maximum efficiency tracking point.*

*It can control induction or brushless motor.*

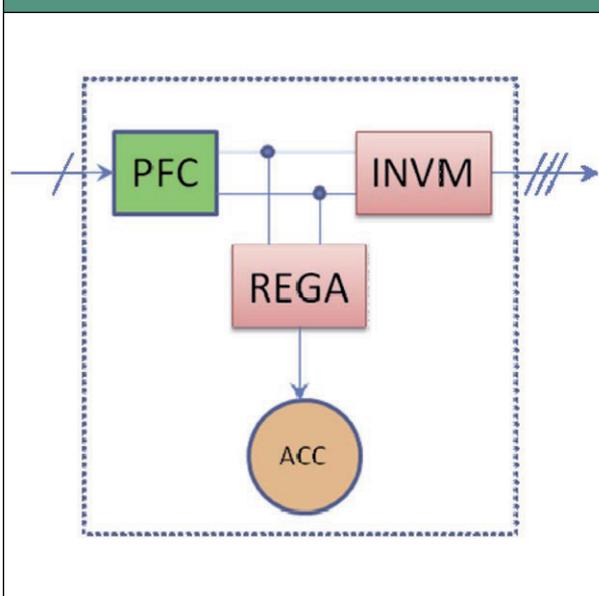
*It controls the upward phase of lifts either on old installations, or on new installations with modified valve block for the downward phases.*

*To control the downward travel is necessary to mount a suitable valve block.*

## 2.3 Advantages of the proposed system

*At full charge, the energy accumulated into the system is about 600 kJ. A 6 people (450 kg) installation with a 15 m trip (5 stops), 0.63 m/s speed, 5.8 kW useful mechanical power and with an overall efficiency of 50%, requires a 12 kW installed power. The ride takes about  $t_c = 24$  s where, with the opening/closing doors and waiting time of  $t_a = 10$  s, the cycle time is  $T = 68$  s, or nearly 100 trip per hours.*

Figura 6 - Schema a blocchi  
Figure 6 - Block diagram



In queste condizioni la potenza necessaria è di 12 kW. Con il sistema proposto si può utilizzare un impianto monofase da 3 kW. I restanti 9 kW li fornisce l'accumulatore ACC, che ha l'energia sufficiente per due corse complete.

Nei tempi di inattività l'energia accumulata può essere utilizzata per l'alimentazione dei servizi ausiliari, quali luci cabina, ecc. Un tale sistema può essere montato in pochi minuti su tutti gli impianti esistenti senza la necessità di modifiche. Permette di ridurre la potenza impegnata ad 1/4 o addirittura 1/5 della potenza istantanea. In assenza di recupero di energia in discesa, la riduzione di energia consumata del 20% circa, è determinata essenzialmente dal miglior rendimento in cui il motore opera. Se invece viene inserito un gruppo valvola idoneo al recupero dell'energia in discesa, il risparmio energetico raggiunge e supera il 40%, il riscaldamento dell'olio è ridotto notevolmente fino a evitare lo scambiatore di calore per impianti con funzionamento gravoso.

L'alimentazione può essere indifferentemente trifase o monofase. Il fattore di potenza è sempre unitario, quindi la corrente assorbita è la minima possibile. In mancanza di elettricità dalla rete elettrica il sistema continua la sua corsa senza alcuna soluzione di continuità e si ferma al piano desiderato. Solo dopo che le persone sono uscite dalla cabina va in blocco fino al ripristino della tensione della rete elettrica. Poiché la potenza assorbita che vede la rete elettrica con il sistema proposto è la potenza media e non la potenza istantanea assorbita dall'ascensore, la velocità della cabina può essere elevata senza che si abbia alcun effetto sulla potenza impegnata. Così facendo gli ascensori idraulici possono essere usati comunemente alla velocità di 1 m/s.

Se al posto del motore elettrico tradizionale di tipo asincrono (o ad induzione) si utilizza un motore ad alta efficienza a magneti permanenti (brushless motor), il rendimento globale del sistema viene incrementato notevolmente, ricavando un forte risparmio economico. Il motore può essere convenientemente non immerso, consentendo così di ridurre le perdite di rotazione oltre che di risparmiare sulla quantità di olio impiegato.

A tutto questo, vanno aggiunti i benefici derivanti dalle norme di incentivazione fiscale per l'utilizzo di motori ad alta efficienza.

### 3. PARTE TERZA: RISULTATI E CONCLUSIONI

#### 3.1 Risultati sperimentali

Il grafico di Figura 7 mostra la tensione e corrente assorbita dalla rete. La potenza assorbita è 3.4kW monofase.

È evidente dal grafico che la corrente e la tensione sono in fase perfetta.

Il diagramma di Figura 8 mostra il funzionamento energetico del sistema durante le corse dell'ascensore. La curva nera rappresenta la potenza assorbita dalla rete (in questo caso 1,5 kW).

La curva azzurra rappresenta la potenza scambiata dall'ascensore (nel caso in esame 9 kW in salita a pieno carico, 1.5 kW in discesa a vuoto).

*Under these conditions the power required is 12 kW. Installing the proposed system a single phase of 3 kW can be used. The remaining 9 kW being supplied by the accumulator ACC, which has enough power for two complete trips.*

*During the standby time, the stored energy can be used to power ancillary services such as car lights, etc.*

*Such a system may be installed in few minutes on all existing plants without any need for any changes.*

*It reduces the required power down to 25% or even 20% of the instantaneous power. In the absence of the downward energy recovery, it can reduce the energy consumption by about 20%, which is mainly driven by the better performance in which the motor works.*

*Using a suitable valve block for the downward energy recovery, the energy savings can reach up to 40%, the oil heating is reduced significantly avoiding the need for the heat exchanger on those systems with heavy duty.*

*Power can be either single phase or three phase.*

*The power factor is always unity, then the current consumption is always at the minimum value.*

*If there is a lack of electricity from the supply, the system continues to run without interruption and stops at the desired floor.*

*Only after people left the car the lift will be blocked until the supply comes up again.*

*Since using the proposed system the supply sees the average power instead of the instantaneous power of the lift, the car speed can be increased without having any effect on power.*

*Doing so the hydraulic lift can be commonly used at a speed of 1 m/s.*

*If, instead of the traditional induction motor, a high efficiency brushless motor is used, the overall system performance is greatly increased, obtaining a strong savings.*

*The motor can be conveniently not submersible, reducing thereby the rotational losses of as well as saving the amount of used oil.*

*Beside all of this, the benefits from tax rules to encourage the use of high efficiency motors should be added.*

### 3. PART THREE: RESULTS AND CONCLUSIONS

#### 3.1 Experimental results

*The graph of Figure 7 shows the voltage and current drawn from the supply.*

*The input power is 3.4kW single phase. The graph shows clearly how the current and voltage are in perfect phase.*

*The diagram of Figure 8 shows the system energy operation during the lift rides. The black curve represents the input power by the supply (in this case 1.5 kW).*

*The blue curve represents the power exchanged by the lift (in this case up to 9 kW in upward at full load, 1.5 kW in downward with empty car).*

Figura 7 - Corrente e tensione in ingresso  
Figure 7 - Input current and voltage

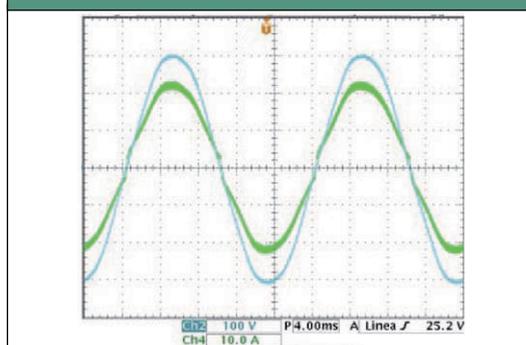
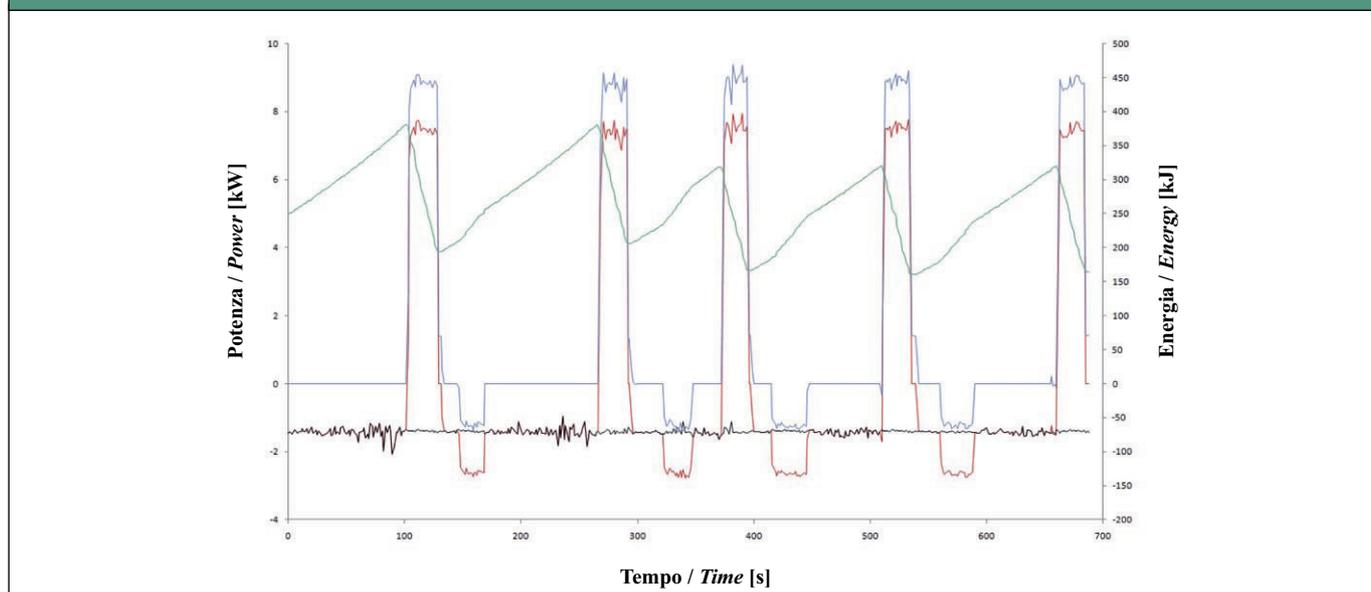


Figura 8 - Potenze ed energia durante il funzionamento  
Figure 8 - Input current and voltage



La curva rossa è la potenza trasferita dall'accumulatore, mentre la curva verde è l'energia residua. Durante la salita dell'ascensore si vede che dalla rete si assorbe 1.5 kW e i restanti 7.5kW vengono forniti dall'accumulatore. Arrivati al piano l'accumulatore continua ad assorbire 1.5 kW dalla rete per ricaricarsi. Durante la discesa l'energia rigenerata viene assorbita dall'accumulatore assorbendo 3 kW. Con soli 1.5 kW monofasi si è fatto funzionare un'ascensore che normalmente assorbe 9 kW. Il sistema ha anche recuperato mediamente il 20 % di energia e consumato circa il 20 % in meno in salita per il miglior rendimento complessivo, risparmiando così circa il 40 % di energia complessiva.

#### 4. CONCLUSIONI

Da quanto sopra esposto, si può affermare che con il sistema a "contrappeso elettrico" l'ascensore idraulico può essere limitato a una potenza da rete di 3 kW monofase e può arrivare alla velocità di 1 m/s senza alcun limite. I vantaggi che ne derivano sono:

- potenza ridotta (da 15 kW a 3 kW);
- monofase o trifase;
- funzionamento anche in assenza di tensione;
- velocità elevata (1m/s);
- adattabilità a tutti gli impianti esistenti;
- collegabile a fonti di energia rinnovabile;
- nessuna modifica richiesta agli impianti;
- garanzia del riporto al piano in salita assenza di tensione di rete senza soluzione di continuità;
- semplicità di installazione;
- alto risparmio energetico.

Da un'analisi sul parco ascensori in Italia (Tabella 2), applicando tale sistema sugli impianti idraulici esistenti, si potrebbero risparmiare circa 300 GWh all'anno.

The red curve is the power transferred from the accumulator, while the green curve is the residual energy. During the up travel of the lift the power absorbed from the supply is 1.5 kW and the remaining 7.5kW are supplied from the accumulator. Once the floor is reached, the accumulator continues to draw 1.5 kW from the mains to recharge. During the down travel also the regenerated energy is drawn by the accumulator, which absorbs 3 kW. With only 1.5 kW single phase connection an lift that normally absorbs 9 kW can be run. The system also has recovered an average 20% of energy and consumed about 20% less during the up travel for the best overall efficiency, thus saving about 40% of total energy.

#### 4. CONCLUSIONS

From the above, we can say that installing the "electric counterweight" system the hydraulic lift may be limited to an input power of 3 kW single-phase from the supply and can reach the speed of 1 m/s without any limits. The resulting advantages are:

- Reduced power (from 15 kW to 3 kW)
- Single phase or three phase
- Operates with electricity drawback
- High speed (1 m/s)
- Adaptability to all existing installations
- Connects to renewable energy sources
- No changes required to existing installations
- Warrantee to run without interruption in the absence of electricity and stops at the desired floor
- Easy installation
- High energy saving

Analyzing the elevator park in Italy (Table 2), applying this system on existing hydraulic plant, it could be saved about 300 GWh per year.

Tabella 2 - Ascensori Idraulici in Italia

Table 2 - Energy consumption of hydraulic lift in Italy

Tipo impianto <i>Plants type</i>	Impianti esistenti <i>Existing plants</i>	Numero di corse anno <i>Trip /year</i>	Consumo medio per corsa <i>Average energy per cycle</i>	Consumo annuo impianto <i>Annual plant consumption</i>	Consumo annuo totale <i>Global annual consumption</i>	Risparmio con contrappeso elettrico <i>Save with electrical counterweight</i>
			[Wh]	[kWh]	[GWh]	[GWh]
Residenziali <i>Residential</i>	180000	50000	63,8	957,0	172,3	68,9
Uffici <i>Office</i>	15000	164000	83,1	4088,5	61,3	24,5
Ospedali <i>Hospital</i>	15000	278000	346,1	28864,7	433,0	173,2
Industriali <i>Industrial</i>	10000	43000	140,7	1815,0	18,2	7,3
Hotel <i>Hotel</i>	6000	86000	107,6	2776,1	16,7	6,7
Commerciale <i>Commercial</i>	25000	142000	62,5	2662,5	66,6	26,6
<b>Totale</b> <i>Total</i>	<b>251000</b>			<b>3059,5</b>	<b>767,9</b>	<b>307,2</b>

#### 5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] E4 - Energy Efficient Elevator and Escalator ([www.ela-aisbl.org/Environment/WP6-Brochure-15-03-2010-rev.pdf](http://www.ela-aisbl.org/Environment/WP6-Brochure-15-03-2010-rev.pdf)). ■

#### 5. REFERENCES

[1] E4 - Energy Efficient Lift and Escalator ([www.ela-aisbl.org/Environment/WP6-Brochure-15-03-2010-rev.pdf](http://www.ela-aisbl.org/Environment/WP6-Brochure-15-03-2010-rev.pdf)). ■




**SEM DRIVE**  
STORED ENERGY MANAGEMENT

**IDONEO PER ASCENSORI IDRAULICI ED ELETTRICI**



# SEM DRIVE

## IL CONTRAPPESO ELETTRICO

- Potenza ridotta (75% in meno)
- Alta efficienza
- Funzionamento anche in assenza di tensione
- Velocità elevata
- Recupero energia di frenatura e discesa
- Collegabile a fonti di energia rinnovabile
- Semplicità di installazione su ogni impianto
- Monofase

