

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria dei Processi Industriali

Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica



Ascensori.

Eco – efficienza e modernizzazione

Relatore: Prof. Francesco CASTELLI DEZZA

Tesi di Laurea di:

Adrian OTETEA Matr. 722969

Anno Accademico 2009 - 2010

Indice

Introduzione	3
1. Tipologia di impianti ascensoristici	6
1.1. Impianti a fune. Una o due velocità. Velocità variabile	6
1.2. Impianti a fune MRL(machine roomless).....	8
1.3. Impianti oleodinamici	8
2. Modelli base per il calcolo del consumo di energia degli ascensori	10
2.1 Parametri energetici che caratterizzano gli ascensori	10
2.2 Le misurazioni del Doolard	11
2.3 Il metodo di Schroeder	12
2.4 Modelli di simulazione energetica dell'ascensore	15
2.4.1 I principi di base di trasferimento di energia	15
2.4.2 Attuazione	17
2.4.3 Conclusioni	20
3. Elementi che influiscono il consumo energetico dell'ascensore	21
3.1. Argani e motori	21
3.2. Tipo di motore	23
3.2.1 Motori a bassa frequenza	23
3.3. Isolamento del motore	25
3.4. Tipo di volano	25
3.5. Scelta dell'inverter	26
3.5.1. Problematiche dell'inverter alla luce delle nuove normative per le armoniche a bassa frequenza	30
3.5.2 Limiti di un inverter e nuove possibilità	32
4. Soluzioni per l'incremento dell'eco-efficienza con la modernizzazione degli ascensori	34
4.1. L'importanza del consumo in standby	34
4.2. Soluzioni di risparmio energetico riguardanti l'illuminazione	38
4.3. Soluzioni di risparmio energetico riguardanti la tipologia. dell'impianto	38
4.4. Il motore e il sistema di controllo	41
4.5. Risparmio energetico con i sistemi rigenerativi	39
4.6. Sistemi di controllo di un gruppo di ascensori (Elevator Group Control System)	40
4.7. Soluzioni KONE Eco-efficient™	42
4.8. Otis Gen2 Comfort	44

Introduzione

Le preoccupazioni legate al riscaldamento globale e all'inquinamento ambientale, sono elementi che spingono a un utilizzo ottimale dell'energia anche negli impianti, ascensoristici.

E' facile prevedere che l'energia diventerà sempre più indispensabile mentre i suoi alti costi devono spingerci a risparmiare ovunque possibile, anche nell'ascensore.

Ancora oggi vengono costruite case senza isolamenti termici e/o acustici oppure vengono usati in misura totalmente insufficiente: l'Italia è il paese europeo che emette nell'atmosfera più anidride carbonica pro capite (10 volte di più della Svizzera) cioè spreca tanta energia che potrebbe essere risparmiata. Installando pannelli solari per l'acqua calda, pannelli fotovoltaici per l'energia elettrica, isolamenti termici nelle pareti perimetrali e nelle coperture degli edifici, ascensori ad alto rendimento e basso consumo, ascensori con recupero di energia in rete (tante volte si installano condizionatori nei locali macchine per dissipare una potenza che potrebbe essere rigenerata in rete), infissi e vetri dell'ultima generazione, elettrodomestici di classe elevata, ecc.. si possono avere risparmi di energia totale consumata nell'edificio fino a più del 50%. Considerando che meno si consuma, meno si inquina, se vogliamo rispettare il protocollo di Kyoto non basta scrivere sui giornali o fare propaganda in TV, ma è necessario attuare qualcosa di concreto. Ognuno di noi può portare il proprio mattone alla costruzione della casa dello sviluppo sostenibile, rispettando il D.L. 192 del 19/08/05, attuativo della direttiva europea 2002/91/CE, secondo il quale tutte le case di nuova costruzione dovranno avere una classificazione energetica (A, B, ecc...), si dovrà contenere entro certi limiti tutta l'energia necessaria al funzionamento dell'edificio, dall'energia per il riscaldamento e raffreddamento, all'energia per elettrodomestici, ascensori, ecc...

Il consumo effettivo di energia è un indicatore fondamentale delle prestazioni di un edificio. Prima dell'inizio della costruzione dell'edificio, può essere usato un software di simulazione per modellare il design e prevedere il consumo di energia. Questi programmi devono adeguatamente concentrarsi sui grandi carichi dell'edificio che includono l'illuminazione, la ventilazione, il traffico di persone, le perdite dirette e i guadagni attraverso le dotazioni dell'edificio. I carichi accidentali, considerati più piccoli, possono essere ignorati dalle simulazioni. Tuttavia se questi carichi “accidentali” cumulativamente sono più di una piccola percentuale del totale utilizzo energetico dell'edificio, ignorandoli si giunge a relazioni di simulazioni che sistematicamente sottovalutano il consumo effettivo di energia.

L'utilizzo degli ascensori è spesso collocato in questa categoria di usi energetici imprevisti. Ci sono delle fonti che sostengono che gli ascensori usano in genere 3-5% dell'energia elettrica in un moderno edificio.[1] Simulazioni effettuate indicano che mediamente un ascensore idraulico a basso carico, che esegue 100.000 partenze in un anno, userebbe 1.900 kWh/anno. D'altra parte la potenza in standby di un ascensore può arrivare a 2kW, che si tradurrebbe in 10.000 kWh/anno per 5000 ore di standby in un anno, che rappresenta una quota considerevole del consumo elettrico totale annuo dell'ascensore, compresa tra il 25 e l'80%. In genere il consumo "stand by" è sul 25% complessivo, quindi oltre i due terzi derivano dai movimenti.

Pur consumando soltanto qualche per cento dell'energia totale dell'edificio anche l'ascensore, se scelto oculatamente, può contribuire a rendere più pulito l'ambiente in cui viviamo; a tal proposito è bene ricordare che a parità di portata e velocità, preso come

riferimento (100) il consumo di un normale impianto a due velocità, installando diversi tipi di azionamento il consumo può variare da 30 a 200 (rapporto da 1 a 7) per cui un ascensore di un certo tipo, bilanciato in un certo modo, ecc... consuma molto meno di un analogo costruito in modo tradizionale.

Le scelte tecnologiche degli ascensori (idraulico vs elettrico) possono portare a 3:1 la differenza di energia consumata. All'interno della stessa categoria la differenza di energia consumata tra il più performante e il meno efficiente può arrivare a 30-40%[1]. Almeno due terzi di tutti gli impianti ascensoristici sono idraulici (oleodinamici) limitati a non oltre sette fermate. Il resto sono ascensori cosiddetti elettrici che usano le funi di trazione guidate dalle pulegge azionate da un motore. Gli ascensori elettrici sono dotati di contrappeso collegato alla cabina tramite una carrucola, quindi scende quando l'ascensore sale e viceversa. Il contrappeso diminuisce il peso da sollevare.

Gli ascensori oleodinamici dominano il mercato degli edifici bassi, perché hanno prezzi d'acquisto sostanzialmente più bassi. Il mercato dei palazzi e delle palazzine tradizionalmente fa uso degli ascensori elettrici con motoriduttore, mentre quelli elettrici diretti (senza motoriduttore) sono predominanti negli edifici molto alti e grattacieli. I più antichi e meno efficienti ascensori elettrici usano i motori a corrente continua o a induzione come motore di azionamento e relè elettromeccanici per il controllo. Attualmente, il sistema di controllo con i relè è stato abbandonato e sostituito con i quadri di controllo elettronico. Parallelamente le unità di azionamento per ascensori a doppia velocità, hanno lasciato il posto ai sistemi di motori compatti con azionamento a velocità variabile (VSD) (motore elettrico + azionamento) che spesso usano i motori a induzione. La più efficiente apparecchiatura usa il sistema di frenatura per rigenerare l'energia elettrica .

L'Italia è la patria mondiale degli ascensori. I dati riportati da *Eco dalle Città* dicono che nel 2006 in Italia erano attivi tra i 750.000 e gli 800.000 impianti. L'Italia è il paese con il maggior numero di ascensori al mondo. E il ritmo di crescita e di nuovi impianti è impressionante: se ne installano ogni anno da 15.000 a 20.000 nuovi.

Estrapolando da un recente studio canadese il consumo totale di energia può arrivare a 3.000 GWh/anno.

Gli esperti del settore intervistati suggeriscono che il ciclo tra i più importanti lavori di ristrutturazione è in ordine di 20-30 anni, il che corrisponderebbe a 25.000-40.000 lavori di ristrutturazione / anno. Mediamente si arriva intorno a 50.000 tra nuovi impianti e ristrutturati, quindi circa 50.000 opportunità d'intervento sull'efficienza energetica degli impianti ascensoristici. I più importanti costruttori di ascensori producono attualmente impianti in grado di produrre un risparmio energetico di 30-40% rispetto agli impianti tradizionali.

Perché non utilizzare un ascensore a basso consumo? Forse per un problema culturale e di costi iniziali o perché tante volte chi acquista l'ascensore (costruttore) non è l'utilizzatore (condominio). Il maggior costo di un edificio a basso consumo sarà ammortizzato nel giro di pochi anni, il comfort abitativo è sicuramente migliore ed una miglior classificazione energetica darà un maggior valore all'immobile.

Se l'obiettivo è quello di riconoscere l'efficienza energetica degli ascensori, la più importante considerazione è quella che essi devono essere considerati come i migliori sistemi ingegneristici; una volta installati, gli elementi fondamentali (cabina, vano), saranno utilizzati per la vita dell'edificio, in molti casi 50 o 100 anni. Tuttavia durante questa vita di servizio, molti elementi che possono pregiudicare il consumo energetico, saranno sostituiti

normalmente seguendo un ciclo di 20-30 anni. Di conseguenza, anche se è possibile specificare gli attributi di un sistema efficiente (come quello di rigenerazione), il consumo effettivo di energia dipenderà da una miriade di dettagli è quindi molto difficile prevederlo.

Una seconda importante considerazione è che l'efficienza energetica è una delle più importanti caratteristiche di competitività del mercato di oggi. In particolare per le nuove costruzioni un fattore molto importante è lo spazio occupato dell'ascensore e dei sistemi di supporto. Questo ha portato alla nascita della categoria di macchine “room less” (MRL), ascensori con sistemi di comando e controllo molto compatti.

Capitolo1

Tipologie di impianti d'ascensore

1.1 Impianti a fune. Una o due velocità. Velocità variabile

Gli impianti a trazione a fune, considerati "tradizionali", sono composti di una cabina e da un contrappeso il cui azionamento avviene mediante un motoriduttore costituito da un motore asincrono trifase alimentato generalmente con una tensione di 400 V ed un gruppo di riduzione del tipo corona dentata e vite senza fine; un freno elettromagnetico aziona la sua forza frenante mediante ganasce che agiscono su un tamburo posto sull'albero veloce posizionato tra il motore e il gruppo riduttore. La trazione viene eseguita mediante una puleggia di opportuno diametro denominata "puleggia di frizione" sulla quale le funi di sospensione appoggiano nelle cave di forma conica con facce inclinate di 32° permettendo un'adeguata tenuta contro lo scorrimento delle funi.

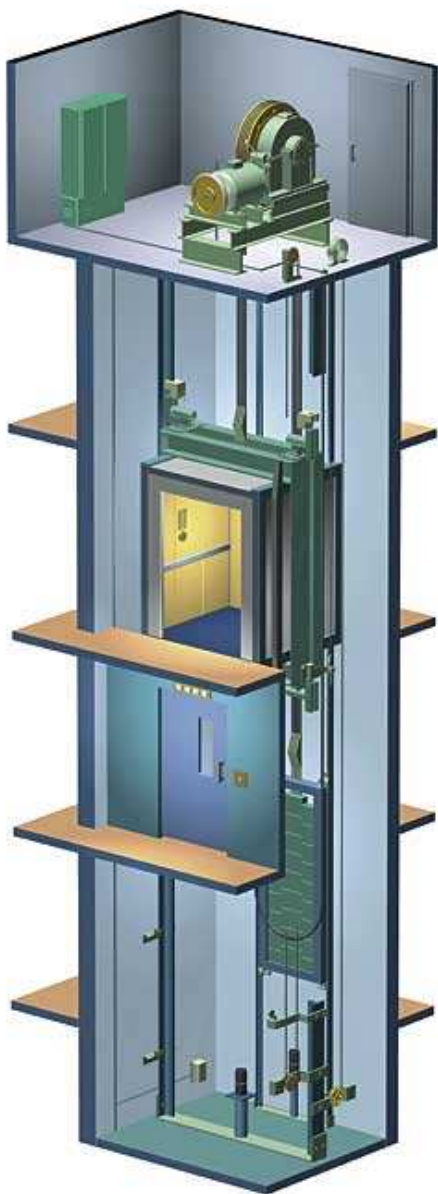


fig.1.1 Ascensore a fune con locale macchine

apposito sensore applicato sul motore chiamato Encoder, il quale permette di tenere sotto controllo la velocità di rotazione.

La velocità dell'impianto è data esclusivamente dal rapporto di riduzione dell'argano e dal diametro della puleggia di frizione in quanto si utilizzano, di norma, motori asincroni trifase con velocità fissa a 1500 giri/min. ed una potenza a partire dai 3,5kW a seconda della portata dell'impianto.

Alcuni argani di riduzione vengono equipaggiati con motori a due velocità che garantiscono un avvio e una decelerazione graduale; essi possono essere di due tipi:

- azionamenti ACVV
- azionamenti VVV

Gli azionamenti ACVV sono delle apparecchiature elettroniche che su comando variano la tensione di alimentazione del motore regolandone la velocità. Essi necessitano di un

Per impianti particolarmente veloci, oltre 1 m/s, esiste la possibilità di pilotare il motore dell'argano con delle apparecchiature elettroniche (VVVF) per la regolazione della velocità in maniera graduale e che garantiscono un avvio ed un arresto della cabina molto confortevoli.

Gli azionamenti VVVF permettono, di variare sia la tensione che la frequenza di alimentazione del motore, limitando inoltre le correnti di spunto e riducendo quindi il surriscaldamento degli avvolgimenti. Un ulteriore vantaggio è quello di avere un accurato controllo della coppia motore ai bassi giri di rotazione

Il controllo degli ascensori mediante azionamenti elettrici ha una lunga tradizione (il primo ascensore della storia è stato installato a New York nel 1867, era progettato da Elisha Graves Otis). Considerando che l'ascensore risulta il mezzo di trasporto per persone, più diffuso al mondo dopo l'automobile si può ben capire come risulti un segmento importante per l'applicazione degli azionamenti elettrici (solo in Italia sono installati più di 850.000 ascensori). Naturalmente non tutti gli ascensori sono ad azionamenti elettrici. Molti sono idraulici, hanno un buon funzionamento e sono poco costosi; hanno, però il problema del riciclaggio dell'olio e non sono molto performanti ad alte velocità. L'ascensore per l'azionamento elettrico costituisce un carico molto impegnativo in termini di prestazioni e di affidabilità richiesta. Fino a non molto tempo fa era l'azionamento a corrente continua il più usato in questa applicazioni per le eccellenti caratteristiche dinamiche di regolazione. Tale azionamento soffre di alcuni problemi relativi al motore che richiede una manutenzione abbastanza frequente e anche relativi all'alimentatore, di solito un convertitore AC/DC total controllato che ha problemi di armoniche riflesse in rete e ha problemi di funzionalità per deformazioni, buchi, interruzioni di rete. Per questi ed altri motivi (non ultimo quello economico) nel tempo è stato utilizzato il motore asincrono in alternativa al motore in corrente continua. In un primo tempo il motore asincrono utilizzato non era il diffusissimo motore a gabbia ma veniva usato un motore speciale provvisto di avvolgimento per il controllo di frenatura, mentre il funzionamento come motore era regolato in scorrimento con un convertitore AC/DC a diodi controllati (SCR), controllati in parzializzazione. La disponibilità d'inverters sempre più affidabili e performanti ha reso possibile l'impiego del motore asincrono a gabbia che è il motore più diffuso, robusto ed economico ancora oggi disponibile.

1.2 Impianti a fune MRL(machine roomless)

Lo sviluppo degli impianti a fune MRL è dovuto a una serie di innovazioni tecnologiche che hanno condotto alla notevole riduzione delle dimensioni dei motori elettrici utilizzati nei sistemi di trazione. A metà degli anni 90 nel campo degli ascensori, vengono introdotti dei piccoli motori sincroni a magneti permanenti (PMSM) insieme ai sistemi di controllo a tensione e frequenza variabile (VVVF). Il cambiamento comporta la riduzione delle dimensioni, del peso, dell'emissione di calore e del consumo di energia fino a metà rispetto agli impianti tradizionali. Il risparmio energetico rispetto agli impianti idraulici è ancora più sostanziale. Le dimensioni ridotte del motore hanno come conseguenza la possibilità di rinunciare al locale macchine e installare l'intero macchinario all'interno del vano ascensore.



Fig.1.2 Ascensore MRL

Questa nuova tecnologia ha creato una serie di vantaggi ambientali in cascata. Non solo il nuovo design ha portato ad un uso ridotto di olio e di energia – oltre ad evitare la potenziale contaminazione del suolo – ha portato anche a più efficienti e sicure tecniche di installazione, e di utilizzo del prezioso spazio degli interni.

I vantaggi dell'ascensore MRL si possono assumere in:

- L'utilizzo di un ascensore MRL farà risparmiare una notevole quantità di energia (stimata al 70-80%) rispetto agli ascensori idraulici.
- L'ascensore MRL elimina i costi e le preoccupazioni ambientali associati ad un cilindro idraulico sepolto riempito con olio idraulico. Nel corso degli anni ascensori idraulici hanno subito un maggior controllo rispetto ai problemi ambientali a causa del cilindro idraulico sepolto. Perché l'ascensore LMR è un ascensore di trazione, con tutti i suoi componenti di sopra del suolo, questa non è una preoccupazione per queste apparecchiature.
- L'ascensore MRL utilizza una macchina gearless, tipo di trazione, che si traduce in prestazioni e qualità di marcia superiori rispetto ai ascensori idraulici. MRL può operare anche a velocità più elevate, aumentando così la percezione di qualità

rispetto un ascensore idraulico convenzionale.

1.3 Impianti oleodinamici

Oltre gli impianti a fune, brevemente descritti sopra, esistono anche gli impianti oleodinamici. Il funzionamento di un impianto oleodinamico è basato sulla legge di Pascal di incomprimibilità dei fluidi. Un pistone, che può essere interrato o esterno, viene messo in pressione per far salire la cabina, oppure svuotato per far scendere la cabina. La velocità raramente supera 0,7 m/sec.

Originariamente il fluido utilizzato era l'acqua, da qui anche la denominazione "idraulico" che a volte viene usata; oggi è stata sostituita dall'olio idraulico.

Gli impianti oleodinamici sono costituiti da una centralina oleodinamica composta da un motore asincrono trifase, una pompa ad ingranaggi ad alta portata di fluido, da un gruppo di valvole idrauliche comandate da elettromagneti; tale centralina trasmette il moto alla cabina tramite un pistone ad olio. La spinta può essere diretta nel caso di grosse portate e corse brevi (tipico dei montacarichi), oppure indiretta in taglia con fune. Nel secondo caso, il pistone sulla cui cima è installata una puleggia spinge direttamente le funi le quali da un capo sono fissate alla cabina mobile e dall'altro capo sono fissate alla base del pistone. In questo modo la corsa del pistone comporta uno spostamento della cabina del doppio della stessa.

Gli impianti oleodinamici differiscono da quelli a fune per assenza del contrappeso, per diversità di alcuni comandi elettrici quali i limitatori di velocità, l'azionamento e la frenatura.

I vantaggi dell'ascensore oleodinamico includono:

- il locale macchine non deve essere posizionato sopra il vano di corsa;
- le dimensioni del vano sono ridotte (riduzione dovuta all'assenza del contrappeso);
- i carichi sono distribuiti sulle pareti laterali – non sono richiesti rinforzi strutturali supplementari;
- il locale macchine può essere posizionato lontano dal vano di corsa;
- realizzazione di impianti di qualsiasi portata;
- i costi di installazione sono ridotti rispetto agli impianti a fune;

Gli svantaggi che comportano gli impianti oleodinamici includono:

- maggior consumo energetico
- limitazione riguardante le prestazioni, tra cui la velocità e la perfezione della fermata al piano
- livello di rumore più alto
- odore proveniente dal surriscaldamento dell'olio
- problemi dovuti all'impatto ambientale derivato dall'uso di quantità significative d'olio
- confort di marcia ridotto



Impianto oleodinamico diretto centrale



Impianto oleodinamico in taglia

Capitolo 2

Modelli base per il calcolo del consumo di energia degli ascensori

2.1 Parametri energetici che caratterizzano gli ascensori

Come molti altri prodotti gli ascensori sono caratterizzati da seguenti parametri:

- consumo energetico
- efficienza energetica
- potenza impegnata
- impatto ambientale

Il parametro forse più conosciuto all'utente finale è la *potenza impegnata* perché condiziona il contratto di fornitura con la società erogatrice di energia, e quindi il costo fisso della fornitura stessa. Però la potenza impegnata ha poco a che fare con l'effettivo *consumo energetico* dell'impianto, essendo invece legata al livello della necessaria massima corrente di avviamento. Il risparmio energetico riguarda, ovviamente, l'energia che è il bene che dobbiamo tutelare per limitare l'impatto ambientale, non tanto la potenza o la corrente.

L'*efficienza energetica* è la misura di quanta energia di quella assorbita e pagata dall'utente, va a realizzare l'effettivo lavoro dell'apparecchiatura, nel nostro caso il movimento in verticale della cabina e gli indispensabili consumi accessori (illuminazione, segnalazioni), e quanta invece va dispersa nell'ambiente senza utilità.

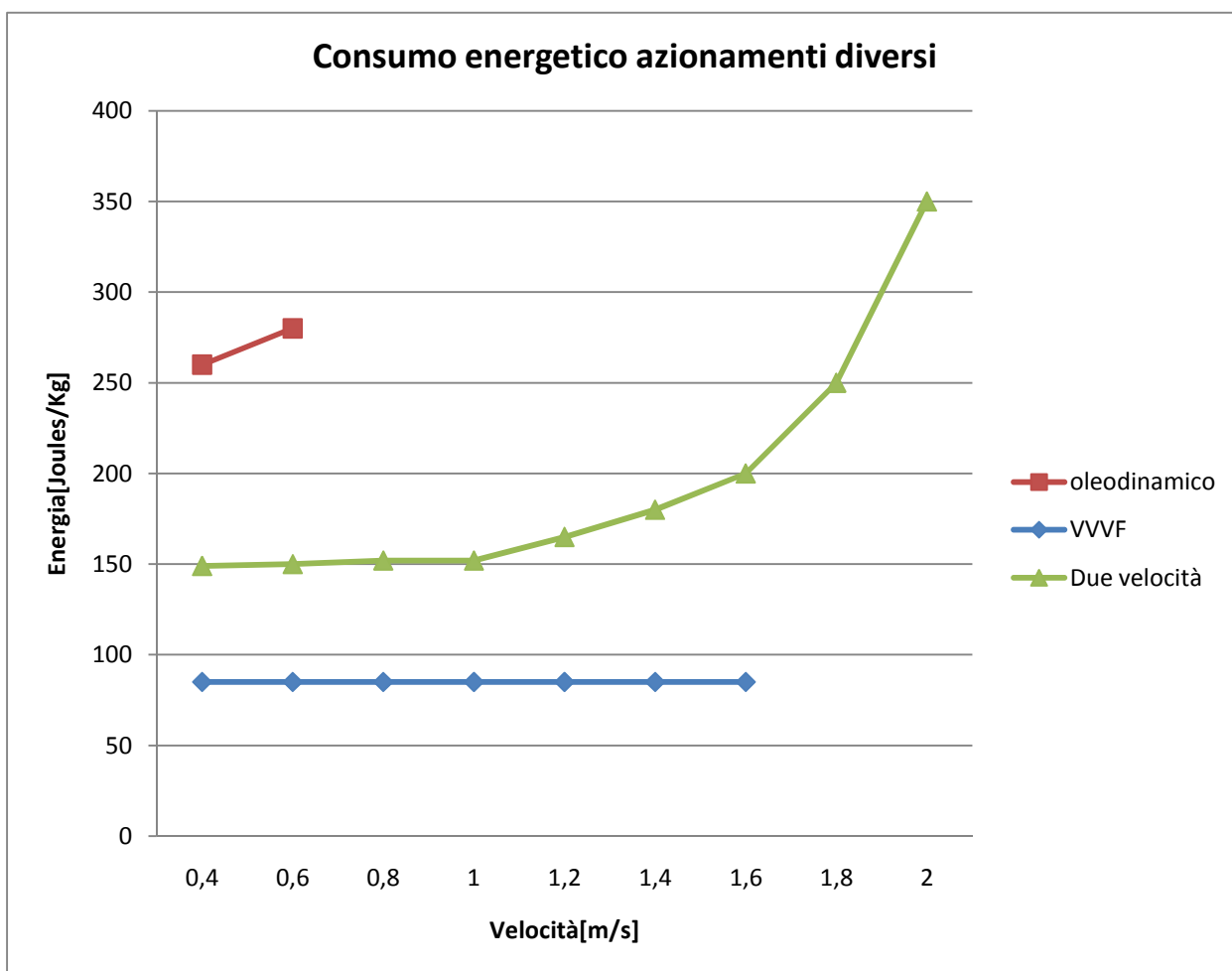
Infine, l'*impatto ambientale* di un prodotto va al di là del suo consumo energetico e della sua efficienza energetica durante il normale utilizzo. Andrebbe invece tenuto presente l'intero ciclo di vita del prodotto, cioè l'energia necessaria per produrlo, per mantenerlo, per smaltirlo e l'eventuale pericolosità dei materiali necessari alla sua produzione, e che ad un certo punto andranno smaltiti o riciclati.

I metodi per calcolare il consumo di energia dell'ascensore si basano su regole empiriche, la precisione delle quali è molto limitata. In questo documento si propone un nuovo approccio di modellizzazione generale dell'energia. Il modello di energia risultante può essere utilizzato per calcolare il consumo di energia di qualsiasi viaggio individuale dell'ascensore. Il modello di energia è collegato a un programma di simulazione del traffico dell'ascensore, che consente il calcolo del consumo di energia di un impianto, in qualsiasi edificio e per qualsiasi scenario di traffico passeggeri.

Il consumo di energia di un impianto di ascensore è una percentuale rilevante del totale carico elettrico dell'edificio. Secondo le stime vanno da 5 a 15 % in base agli altri servizi installati nell'edificio. La comprensione dell'utilizzo dell'energia e dei costi sta diventando sempre più importante per i clienti dell'industria degli ascensori. Pertanto è necessario poter prevedere, con ragionevole precisione, l'utilizzo di energia di un nuovo impianto ascensoristico e dell'ammodernamento d'impianti esistenti.

2.2 Le misurazioni di Doolard

Doolard[3] ha eseguito un gran numero di misurazioni sui vari impianti ascensoristici. Ha misurato l'energia consumata da ciascun ascensore quando effettua un percorso di andata e ritorno di tre piani. Gli ascensori erano vuoti. I risultati sono stati normalizzati rispetto alla massa della cabina e tracciati rispetto alla velocità nominale. In sé, le misurazioni di Doolard non erano un mezzo per calcolare il consumo di energia di altri impianti di ascensore, ma un confronto indicativo tra le diverse tipologie di ascensore. *CIBSE Guide D Sistemi trasporti negli edifici* [2] fornisce un metodo per l'utilizzo dei risultati del Doolard in modo che i dati



possono essere applicati ad altri impianti.

fig. 2.1 Il grafico delle misurazioni di Doolard

2.3 Il metodo di Schroeder

Schroeder ha sviluppato un metodo semplice per calcolare il consumo di energia utilizzando una tabella e formule di base. La tabella stima la durata tipica di un viaggio di un ascensore a seconda del numero di piani dell'edificio e la velocità dell'ascensore. Utilizzando il numero di partenze al giorno, e supponendo che il motore è stato utilizzato a pieno regime durante l'esecuzione, ha fatto una stima del consumo energetico giornaliero dell'ascensore. Moltiplicando questa per il numero di giorni di lavoro all'anno e quindi dividendo per l'area dell'edificio, risulta la possibilità di calcolare una figura di merito per valutare l'energia consumata dagli ascensori per mq dell'edificio all'anno.

Per primo ha ricavato la media temporale per un motore etichettandola $m\%$ (vedi Tabella 1)

Di seguito ha ricavato un altro fattore – tempo tipico di corsa – TP, che dipende dal numero di piani dell'edificio, tipo di azionamento, e di conseguenza della velocità di esercizio. La Tabella 2 riporta i valori calcolati da Schroeder per diversi azionamenti.

Tabella 1

azionamento		piani edificio	m%	
			Campo	Media
Oleodinamico	Senza contrappeso	3-4	22-28	25
	Con riduttore			
	AC 2 velocità	4-8	37-50	44
	ACVV(peso basso)	6-12	29-33	31
	ACVV(peso alto)	6-12	21-23	27
Senza riduttore	Motore-generatore	12-18	17-25	21
	Tiristori	12-18	12-21	17

Tabella 2

azionamento		piani edificio	TP[sec.]	
			Campo	Media
Oleodinamico	Senza contrappeso	Meno di 6	5-7	6
	Con riduttore			
	AC 2 velocità	6	9-12	10.5
	ACVV(peso basso)	12	7-10	8.5
	ACVV(peso alto)	12	5-8	6.5
Senza	Motore-	18	4-6	5

riduttore	generatore			
	Tiristori	18	3-5	4

Il fattore TP viene inserito nella seguente formula:

$$E = \frac{R \times S \times TP}{3600}$$

Dove:

E - l'energia giornaliera consumata in kWh/gg

R - l'indice motore in kW

ST - il numero di partenze al giorno

Il parametro ST deve essere stimato o misurato, il che influisce sull'accuratezza dell'estimazione. Il valore del E è utilizzato per calcolare il consumo annuale di energia (e) per unità di superficie :

$$e = \frac{E(kWh/gg) \times gg/anno \times 0,85}{popolazione \times spazio/persona}$$

Esempio1

Un edificio è dotato con sei ascensori, ognuno avente la velocità di esercizio di 4m/s, 23 passeggeri e un azionamento senza riduttore a tiristori. Il fattore TP dalle tabelle risulta essere 4 secondi (il valore medio).La potenza di un motore è di 45 kW. Per determinare il consumo di energia giornaliero l'unico parametro che manca, e che deve essere stimato, è ST - il numero di partenze al giorno. Un semplice metodo per stimare il numero di partenze è di considerare due picchi di due ore ognuno, durante i quali si ottiene il valore massimo di 240 partenze all'ora. Si considerano poi altre otto ore di traffico normale di 40 partenze all'ora (abbiamo così considerato 12 ore di un giorno 7:00- 19:00).Abbiamo come risultato il numero totale di partenze al giorno:

$$ST = 2 \times 240 + 2 \times 240 + 8 \times 40 = 1280 \text{ partenze al giorno}$$

Quindi il consumo totale al giorno per ogni ascensore:

$$E = \frac{45 \times 1280 \times 4}{3600} = (64kWh/gg)/asc.$$

Per tutti sei ascensori:

$$E = 64 \times 6 = 384kWh/gg$$

Il consumo annuale di energia per 269 giorni lavorativi:

$$E_{anno} = 384 \times 260 = 99.840 kWh/anno$$

Considerando 2000 persone nell'edificio e 20 m² per ogni persona, si ottiene:

$$e = \frac{384 \times 260 \times 0,85}{2000 \times 20} = 2,12 kWh/m^2 /anno$$

Esempio 2

Dobbiamo calcolare il consumo giornaliero di un ascensore di otto persone, che effettua 600 partenze al giorno con la velocità di esercizio di 1 m/s, sapendo che il motore è dimensionato a 13,8 kW. Dalla tabella 2 si ricava il valore del TP; risulta essere 6. Quindi il consumo giornaliero:

$$E_{gg} = \frac{6 \times 600 \times 13,8}{3600} = 13,8 kWh$$

Esempio 3

Un impianto con quattro ascensori ha un azionamento AC comandato da un inverter in tensione variabile, portata 13 passeggeri, ed effettua 1200 partenze al giorno. I motori sono dimensionati a 9kW di potenza. Il consumo giornaliero può essere calcolato secondo il metodo di Schroeder. TP dalla tabella 2 è 8,5. Il consumo giornaliero risulta essere:

$$E_{gg} = 4 \times \frac{1200 \times 8,5 \times 9}{3600} = 102 kWh$$

Esempio 4

Un impianto composto di sei ascensori dotato con un azionamento diretto (senza riduttore) con motore a corrente continua, avente la velocità di esercizio di 6 m/s, la capienza di 28 persone, 10 piani, e ogni motore dimensionato a 75kW. Dobbiamo calcolare il consumo annuale di energia, sapendo che ogni ascensore effettua 1300 partenze al giorno e ci sono 260 giorni lavorativi all'anno. Inoltre dobbiamo calcolare la percentuale del consumo energetico dell'impianto rispetto al consumo totale dell'edificio sapendo che il consumo dell'edificio è di 30.000 kWh al giorno. Usando il metodo di Schroeder, si ricava il TP dalla tabella 2: TP = 4. Di conseguenza il consumo giornaliero di energia:

$$E_{gg} = 6 \times \frac{1300 \times 4 \times 75}{3600} = 650 kWh$$

La percentuale sul consumo totale dell'edificio:

$$E_{\%} = \frac{650}{30000} \times 100 = 2,167\%$$

Il consumo annuale di energia:

$$E_{anno} = 260 \times 650 = 169.000 kWh$$

Tutti gli esempi finora presentati sono basati sul metodo di Schroeder. La pratica dimostra che le valutazioni usando questo metodo vengono a sottostimare il consumo reale. Questo è dovuto al fatto che Schroeder ha fondato i suoi calcoli su una corsa media di 1,1 piani al viaggio il che è rappresentativo per il traffico di picco ma non per il traffico totale durante la giornata.

Doolard svolse le sue misurazioni su una media di tre piani al viaggio, di conseguenza le sue misurazioni hanno come risultato dei valori quasi tre volte più alti rispetto al calcolo di Schroeder, e sembrano di essere più vicini al consumo medio reale.

Esempio 5

Per compiere una comparazione tra i due metodi, prendiamo in considerazione un impianto con due ascensori a due velocità, avente una velocità di esercizio di 1,2 m/s, 13 persone come portata, che effettua 500 partenze al giorno, con motori dimensionati a 6,75kW.

Dal grafico di Doolard si ricava l'energia in Jules/kg: 150 Jules/kg. di conseguenza il consumo totale giornaliero sarebbe:

$$E_{gg} = 2 \times \frac{150J/kg \times 500 \times 13 \times 75}{3.600.000} = 40,6kWh$$

Usando il metodo di Schroeder, il TP dalla tabella 2 risulta ad essere 10,5. Quindi:

$$E_{gg} = 2 \times \frac{10,5 \times 500 \times 6,75}{3600} = 19,68 kWh$$

Questo esempio dimostra le differenze di stima usando i due metodi. Questi metodi quindi, sono solo adatti per i calcoli di carattere generale e per compiere valutazioni comparative tra diverse configurazioni. Essi non possono valutare i vantaggi delle unità rigenerative, del tipo di collegamento (diretto o in taglia), di efficienza risultata dal uso di diversi motori o riduttori e così via. I modelli sono basati su corsa fissa senza alcun riferimento alla velocità o l'accelerazione.

2.4 Modelli di simulazione energetica dell'ascensore

Data l'importanza del risparmio energetico, si è reso necessario trovare un mezzo migliore per calcolare il consumo di energia. Il modello concepito può essere utilizzato per calcolare il consumo di energia di qualsiasi viaggio di un ascensore (senza dover stimare il numero medio di piani per viaggio). L'approccio di modellizzazione proposto prende in considerazione il consumo energetico di ogni principale elemento in parte durante un viaggio dell'ascensore.

2.4.1 I principi di base di trasferimento di energia

Un ascensore a fune, quindi con contrappeso, funge da un dispositivo d'immagazzinamento per l'energia. In un mondo ideale, senza attrito e perdite, l'energia non viene mai consumata in un ascensore; è presa in prestito e quindi restituita. Prendendo come esempio un edificio contenendo solo degli uffici, tutti i passeggeri che prendono l'ascensore per salire la mattina, dovranno riprenderlo per scendere nel pomeriggio. Così, salvo che non si scelga di prendere le scale, l'energia potenziale che è stata «memorizzata» in esso la mattina sarà restituita al sistema nel pomeriggio. Sono le inefficienze del sistema a causare la perdita di energia. In realtà, se non fosse stato per le inefficienze del sistema dell'ascensore, non vi

sarebbe alcuna necessità di studiare il consumo di energia in ascensori; il consumo netto di energia a lungo termine sarebbe zero!

Il sistema dell'ascensore converte sostanzialmente l'energia elettrica in entrata in energia meccanica in uscita, con perdite sotto forma di calore (e qualche rumore). Prendendo un diagramma semplificato che rappresenta il flusso di energia in entrata e in uscita (vedere la figura 2.2), vi sono tre fasi attive nel flusso di energia: sistema accelerato, velocità costante e fase di decelerazione.

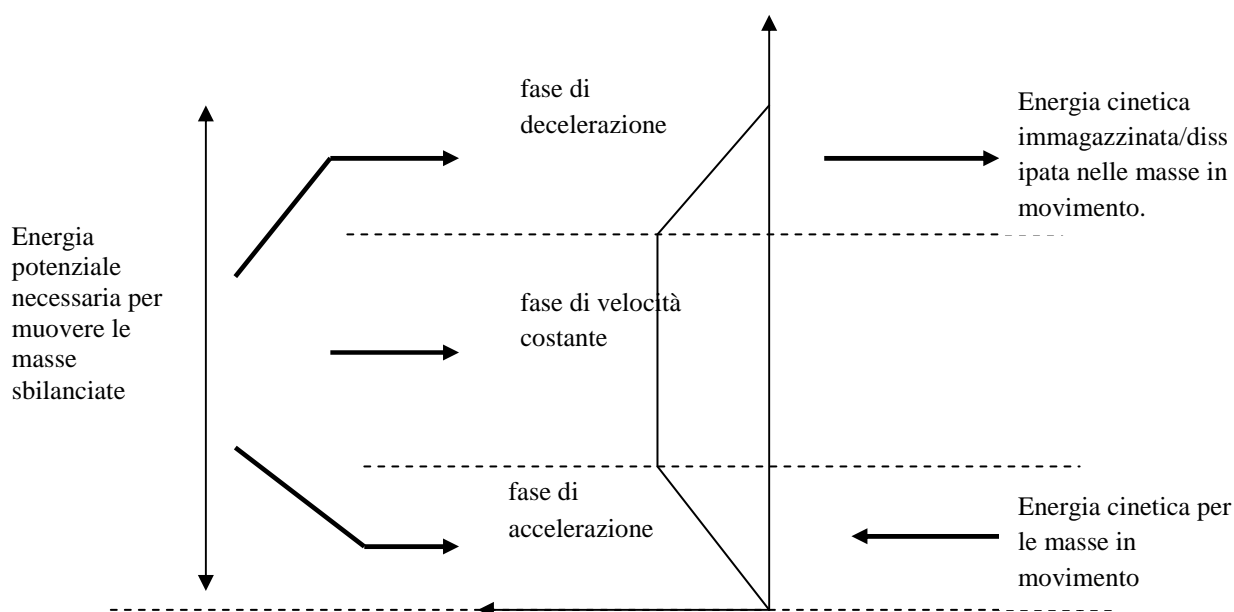


fig.2.2 Diagramma che rappresenta il flusso di energia durante le diverse fasi di un viaggio di un ascensore

Sono state effettuate misurazioni su una vasta gamma di sistemi ascensoristici al fine di comprendere il flusso dell'energia entrante ed uscente. Ad esempio, la figura 2.4 mostra il consumo di energia di un ascensore di portata 1800 kg e velocità di esercizio 2 m/s. I viaggi sono tracciati per corse verso l'alto o verso il basso con la macchina che trasporta il 42 %, 25 % e il 75 % del suo carico nominale. Il sistema è controbilanciato al 42 % del carico nominale; in questo caso la massa della cabina più massa del carico è uguale alla massa del contrappeso. La figura 3.3 è suddivisa in cinque fasi distinte, per le quali il flusso energetico possa essere riassunte come segue:

1. Quando l'ascensore è fermo prima dell'inizio del viaggio, l'unica energia consumata è quella necessaria per mantenere il controller in esecuzione.
2. Una volta che l'ascensore si avvia ad accelerare, il sistema assorbe energia per fornire energia cinetica alle masse in movimento. Inoltre verrà consumata o restituita, come nella fase seguente 3, l'energia potenziale.
3. Alla fine della fase di accelerazione, l'energia cinetica non è più necessaria in quanto la velocità è costante. Durante la corsa verso alto: se la cabina è carica e supera con il suo carico

il peso del contrappeso, allora il sistema è destinato a immagazzinare energia potenziale. Se il contrappeso è più pesante, il sistema sta restituendo energia potenziale. Allo stesso modo per le cabine che viaggiano verso basso, energia potenziale può essere memorizzata o restituita.

4. Al termine della fase a velocità costante, l'ascensore inizia a rallentare e viene restituita l'energia cinetica immagazzinata nelle masse in movimento. L'energia potenziale verrà disegnatata o restituita come nella fase 3.

5. Dal momento in cui l'ascensore si ferma al piano, ritorna alla prima fase dove l'unica energia consumata è necessaria per mantenere il controller in esecuzione.

Quando l'energia netta necessaria è negativa, l'unità rigenerativa restituirà l'energia nella rete di distribuzione; nella figura 2.3 ciò è rappresentato dall'area ombreggiata del grafico.

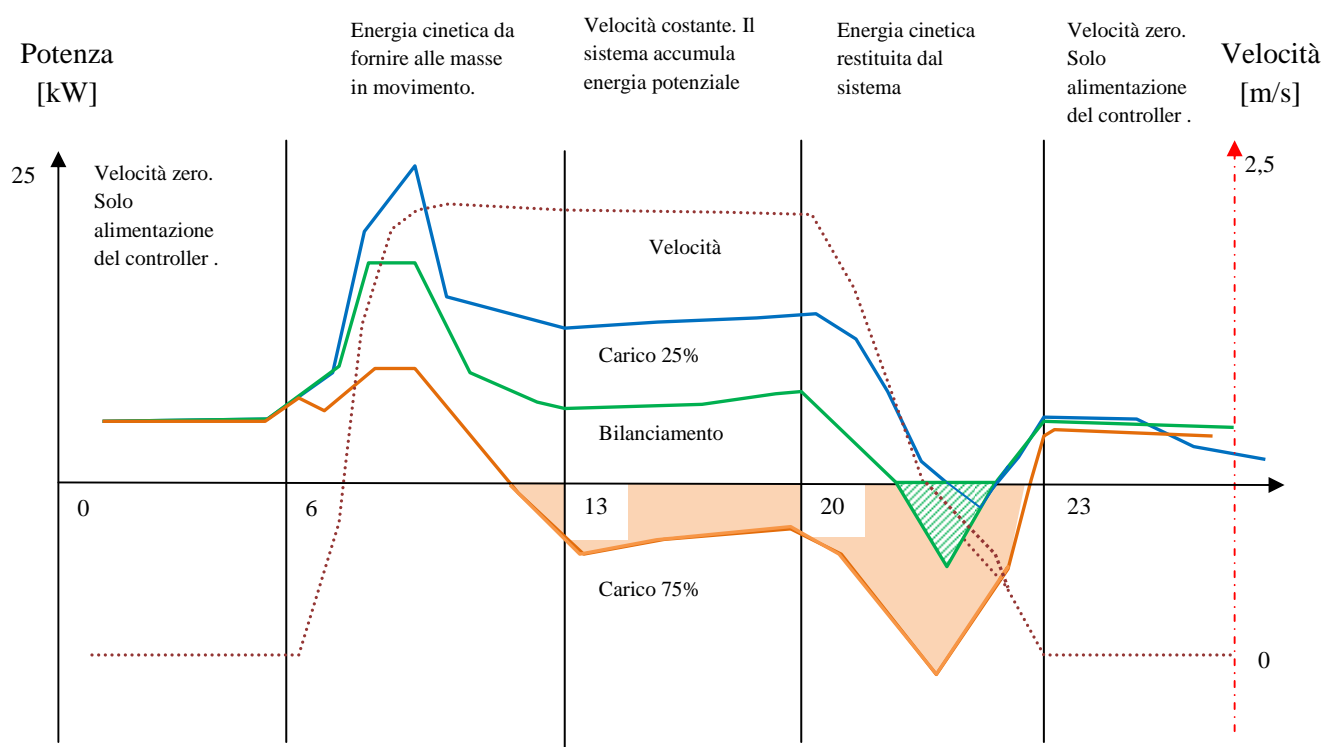


fig.2.3 Consumo velocità e l'energia di un ascensore per diversi carichi

2.4.2 Attuazione

Applicando i concetti illustrati, sono stati sviluppati dei modelli matematici. Gli ascensori elettrici e idraulici richiedono modelli diversi ma simili. I modelli sono stati implementati utilizzando il linguaggio di programmazione C++. Taratura dei modelli è basata su misurazioni effettuate dagli autori in una vasta gamma d'impianti, ascensoristici, utilizzando attrezzature di diversi produttori.

Per un singolo sito, il modello può essere calibrato per misurare quasi esattamente il consumo di energia di un viaggio di qualsiasi distanza, in entrambe le direzioni e per qualsiasi carico.

La figura 3.4 mostra un grafico del consumo di energia per viaggi diversi della stessa distanza compiuti da un ascensore elettrico. Ogni grafico è per un viaggio alla stessa distanza, ma in direzioni diverse e per carichi diversi. La figura 2.5 mostra i viaggi stessi con il consumo di energia calcolato mediante il modello matematico.

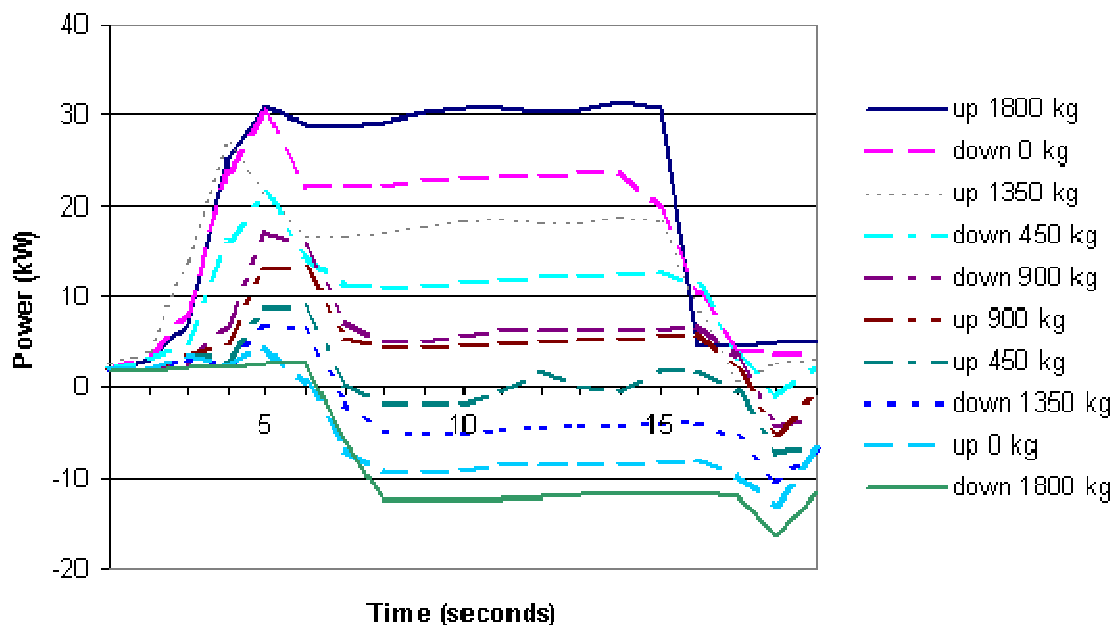


Fig. 2.4 Il consumo di energia misurato per un ascensore di 1800 kg per corse in entrambi le direzioni con l'ascensore che trasporta diversi carichi .

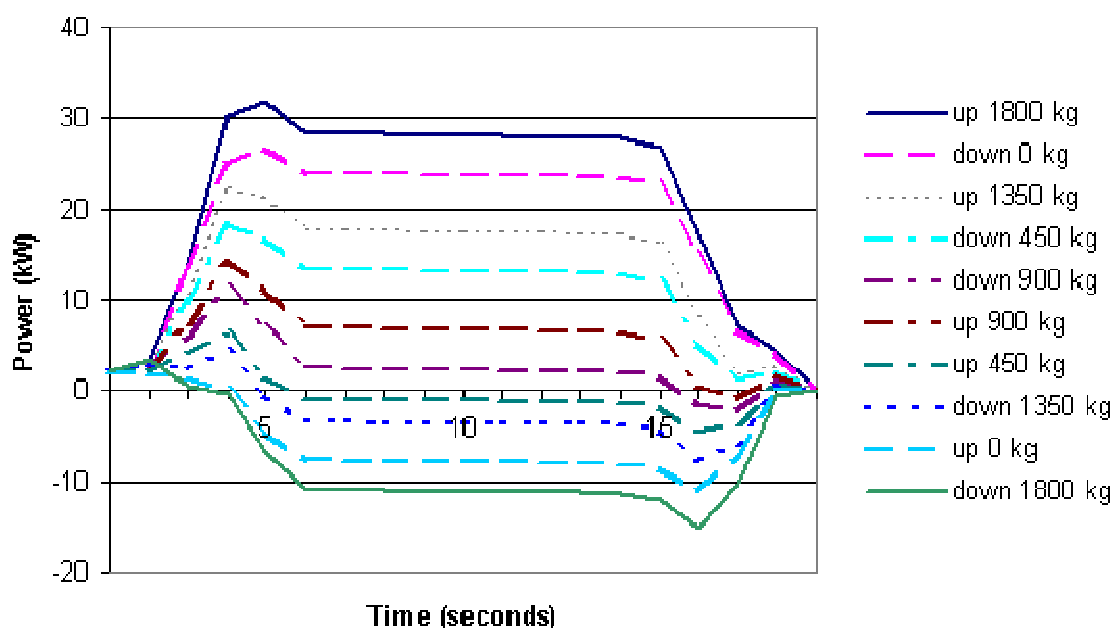


Figura 2.5 Il consumo di energia calcolato mediante il modello di energia per i viaggi di ascensore mostrato nella figura 2.4

Dopo aver costruito un modello che potrebbe calcolare il consumo di energia per ogni viaggio di qualsiasi carico e direzione, questo viene applicato in combinazione con un programma di simulazione del traffico. Un programma di simulazione del traffico, Elevate™, è stato personalizzato per applicare il nuovo modello di energia.

Il programma di simulazione del traffico utilizza le informazioni sull'impianto analizzato e sul traffico passeggeri per fornire i dettagli del modello di energia di ogni viaggio che avviene. Il modello di energia calcola la potenza consumata, visualizzando un misuratore di Watt-ore durante le simulazioni e la potenza totale consumata alla fine della simulazione. Le misurazioni del fattore di potenza verranno aggiunte a una futura versione del modello.

Mediante la generazione di un profilo di traffico passeggeri per un'intera giornata, si può misurare il consumo energetico giornaliero.

Il modello può essere utilizzato per misurare gli effetti della regolazione di un'ampia gamma di variabili, tra cui:

- tipo e l'efficienza dell'azionamento (motore)
- se l'azionamento è rigenerativo o non
- se l'impianto è con o senza riduttore
- se l'impianto è diretto o in taglia
- il carico della cabina
- massa della cabina vuota
- rapporto di compensazione
- altezza dei piani
- la velocità e l'accelerazione

2.4.3. Conclusioni

La modellizzazione dell'energia è un argomento complesso e i metodi precedenti hanno fornito solo le regole di base. Il nuovo modello di simulazione di energia è un grande passo avanti su approcci precedenti. La modellizzazione dell'energia presenterà sempre qualche incertezza, come l'utilizzo non può essere previsto con precisione totale. Ma ora c'è un modello di simulazione di energia che è fondamentalmente valido.

Il modello di simulazione di energia offre uno strumento per valutare il consumo di energia di un nuovo impianto ascensoristico e un mezzo per valutare i benefici energetici associati alla modernizzazione. È inoltre semplice calcolare il tempo di recupero del capitale investito per diverse opzioni, ad esempio scegliendo un ascensore elettrico su uno oleodinamico, o un azionamento rigenerativo su un azionamento non rigenerativo.

Attualmente il modello energetico viene utilizzato per valutare il consumo di energia per i nuovi sistemi ascensoristici e per i progetti di modernizzazione. Esso viene applicato anche nella ricerca per sviluppare nuove tecnologie di risparmio energetico.

Capitolo3

Elementi che influiscono il consumo energetici dell'ascensore

3.1 Argani e motori

Nella vita di tutti i giorni siamo abituati a valutare alcune cose con unità di misura ineccepibili e prive di una qualunque interpretazione: una lampadina da 60 watt, una bottiglia di latte da 1 litro, una corsa dell'ascensore di 30 m, ecc... Nel calcolo della potenza dei motori per ascensore sembra che questo non sia più possibile: è successo infatti che un installatore, dovendo costruire un nuovo impianto regolato a VVVF, abbia chiesto offerta dell'argano a tre diversi costruttori: le tre offerte ricevute presentavano valori di potenza del motore sul riduttore molto diversa (rispettivamente 17,5 kW, 25 kW e 30 kW) con ovvie conseguenze sui costi dell'argano e del quadro; la potenza del variatore di frequenza necessario allo scopo variava tra 18,5 kW e 37 kW, valore quest'ultimo richiesto dal motore da 30 kW che, presentando una corrente nominale superiore alla corrente erogabile dell'inverter 30 kW, obbligava a scegliere la taglia superiore da 37 kW. Qualche costruttore deve aver sbagliato i calcoli; ma è insufficiente il 17,5 kW o esagerato il 30 kW? Forse il motore non è in grado di fornire la potenza di targa o è l'argano ad avere un rendimento molto basso?

Per fare chiarezza, iniziamo a vedere come si calcola la potenza del motore in un impianto poiché si deve tener conto del possibile abbassamento della tensione di rete alla partenza e della tolleranza che ha la tensione stessa (in genere $\pm 10\%$).

La formula da usare è la seguente:

$$P[kW] = \frac{T \times V}{102} \cdot \frac{1}{\eta_a \times \eta_v \times (\eta_p \times N)} \cdot \chi,$$

dove:

T = carico da sollevare (differenza di tiro in Kg)

N.B. La differenza di tiro dipende dal bilanciamento dell'impianto e dal peso delle funi (in assenza di funi di compensazione).

V = Velocità della cabina in m/s.

η_a = Rendimento dell'argano (0,6 ÷ 0,75 con viti senza fine ad 1 principio, 0,8 ÷ 0,9 con viti senza fine a 2 o più principi).

η_v = Rendimento del vano (0,9 per arcate tradizionali, 0,8 per arcate a sbalzo)

η_p = Rendimento delle pulegge di rinvio (in genere 0,98 ogni puleggia).

N = Numero delle pulegge

χ = Coefficiente di sicurezza per eventuale sovraccarico (in genere 1,1).

Esempio:

Si abbia un impianto con portata 320 Kg, velocità 0,70 m/s, corsa 30 m, 3 funi diametro 10mm, senza funi di compensazione e 1 puleggia di rinvio; i rendimenti siano $\eta_a = 0,7$; $\eta_v = 0,9$; $\eta_p = 0,98$.

Consideriamo 2 diversi tipi di bilanciamento:

1) Bilanciamento al 50%

La differenza di tiro con partenza in salita a pieno carico sarà:

$$T = \text{Portata} - (\text{Portata} \cdot 0,5) + \text{Peso Funi} = 320 - 160 + (0,37 \cdot 30 \cdot 3) = 193 \text{ Kg}$$

La potenza richiesta al motore, utilizzando la formula scritta in precedenza, sarà:

$$P = \frac{193 \times 0,7}{102} \cdot \frac{1}{0,7 \times 0,9 \times 0,98} \cdot 1,1 = 2,36 \text{ kW}$$

2) Bilanciamento 35% (la maggioranza dei vecchi impianti è in queste condizioni)

La differenza di tiro sarà:

$$T = \text{Portata} - (\text{Portata} \cdot 0,35) + \text{Peso Funi} = 320 - 112 + 33 = 241 \text{ Kg}$$

La potenza richiesta al motore sarà in questo caso:

$$P = \frac{241 \times 0,7}{102} \cdot \frac{1}{0,7 \times 0,9 \times 0,98} \cdot 1,1 = 2,94 \text{ kW}$$

N.B. sono stati utilizzati valori di rendimento medi per argano e vano; in caso di dubbio maggiorare il coefficiente di sicurezza χ .

Come si vede la potenza richiesta al motore nel secondo caso è maggiore del 25%.

In caso di assenza di riduttore (motore Gearless), la potenza del motore è inevitabilmente minore, in quanto non si deve tener conto del rendimento dell'argano.

Ad esempio, per un impianto Gearless 630 Kg, 1 m/s, bilanciato al 50%, la potenza necessaria risulta essere:

$$P = \frac{350(315 + \text{peso funi})}{102} \cdot 1,1 = 3,43 \text{ kW}$$

teorici (ciò considerando il rendimento di vano $\eta_v = 1$)

Con $\eta_v = 0,9$ la potenza sarà 3,81 kW

Con $\eta_v = 0,8$ sarà 4,28 kW, ecc...

La potenza minima richiesta dal motore è quindi di 3,43 kW, con η_v unitario; la potenza necessaria deve in realtà essere maggiore dipendentemente dal valore dei rendimenti di vano. C'è però qualcuno che insiste nel sostenere che è possibile installare, nel caso appena analizzato, un motore da 2,8 kW; questo risultato è ottenibile con $\eta_v = 1,2$.

Quindi costui ha sbagliato i calcoli, oppure ha realizzato il moto perpetuo!

Non mi dilungo nella considerazione dei diversi rendimenti degli argani, che dipendono dal tipo di argano scelto, dai materiali utilizzati, dalle lavorazioni eseguite e soprattutto dalla loro qualità, dal rapporto di riduzione, ecc. Tengo però a sottolineare quanto sia importante calcolare in modo corretto la potenza del motore perché se potenze esagerate provocano costi e consumi maggiori, potenze troppo piccole possono portare ad anomalie di funzionamento in particolare quando la cabina parte in salita a pieno carico.

3.2 Tipo di motore

Il motore utilizzato per funzionare a VVVF è diverso dal vecchio motore per ascensori; la sua caratteristica fondamentale è quella di avere uno scorrimento contenuto, in genere minore del 5%. Se lo scorrimento è maggiore (supponiamo sia il 10%) il motore continua a funzionare, ma presenta delle inevitabili differenze di velocità tra vuoto e carico (la stragrande maggioranza degli inverter non corregge scorrimenti di quest'ordine) mentre se viene richiesta la coppia nominale, con regolatore ad anello chiuso, può presentare grossi problemi di funzionamento alla massima velocità. Probabilmente è questo problema a spingere alcuni costruttori di argani a utilizzare motori con potenze e coppie esagerate; se un motore ad alto scorrimento funziona al 60% della sua coppia massima, infatti, avrà naturalmente un minore scorrimento e di conseguenza non presenterà problemi. Il rovescio della medaglia di questa soluzione sta nel fatto che un motore troppo potente, regolato ad anello aperto, può a sua volta presentare inconvenienti ("strappo" in partenza, pendolazioni di coppia ai bassi giri, ecc...), oltre ad avere un rendimento sicuramente minore. Non è quindi vero che utilizzando un motore potente si eliminano i problemi.

Le migliori prestazioni dell'impianto e il miglior confort di marcia si ottengono con la scelta giusta del motore, con una buona meccanica, con un motore adatto al funzionamento VVVF e con un inverter che conosca tutti i dati caratteristici del motore.

Le caratteristiche presenti sulla targa del motore devono essere:

- Tensione nominale
- Frequenza nominale
- Corrente nominale a carico
- Numero di giri a carico
- Corrente a vuoto (corrente magnetizzante)
- $\cos\phi$ a carico

Spesso tali dati sono incompleti o sbagliati; è allora molto più difficile ottenere le prestazioni desiderate.

Attualmente sono presenti sul mercato motori con frequenze nominali diverse dai tradizionali 50/60 Hz; questi motori, oltre ad essere la "disperazione" ingiustificata degli ingegneri verificatori, che preferirebbero vedere solo motori a 50 Hz, sono mal sopportati anche da alcuni variatori di frequenza che non ammettono parametri del motore oltre un certo range.

La presenza di questi motori con frequenze nominali basse, ma soprattutto l'entrata nel panorama ascensoristico dei motori a magneti permanenti con frequenze meccaniche nominali fino a soli 8Hz, costringerà i costruttori di inverter ad adeguarsi alle richieste del mercato.

3.2.1 Motori a bassa frequenza

Si sta diffondendo sempre più l'utilizzo di motori gearless a bassa frequenza ($8 \div 20$ Hz), di riduttori a bassa riduzione (3/47, 2/57, a cinghia, ecc...) con motori a bassa frequenza (30Hz, 38Hz, ecc...).

Alcuni ispettori di enti di certificazione e verifica mal sopportano questi motori, che hanno una frequenza diversa da quella di rete, perché, a loro dire, sono meno sicuri dei motori a 50Hz.

Il principio di funzionamento dell'inverter è illustrato nella figura che segue:

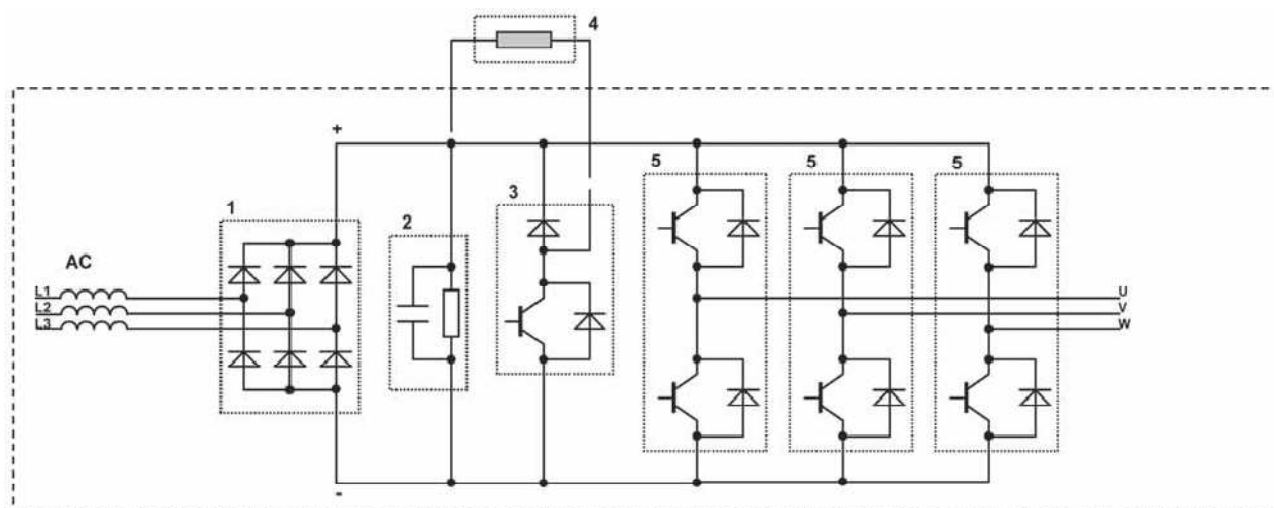


fig.3.1 Il principio di funzionamento dell'inverter

- 1 = Ponte a diodi trifase (convertitore CA/CC)
 2 = Condensatore
 3 = Unità di frenatura interna
 4 = Resistenza di frenatura
 5 = Convertitore di tensione e frequenza (CC/CA)
 AC = Induttanza lato tensione alternata

Come si vede la frequenza di uscita è totalmente svincolata da quella di ingresso, per cui risulta difficile capire perché il motore che garantisce la velocità nominale dell'impianto a 50Hz dovrebbe essere più sicuro del motore che garantisce la stessa velocità a 20, 30 o 40Hz.! La frequenza di uscita è generata da un microprocessore e da componenti di potenza che partono da un bus in corrente continua derivato dalla frequenza di rete che viene raddrizzata e filtrata da grosse capacità. Il problema della sicurezza non si risolve con motori ad alta frequenza ma in altro modo: in tempi passati i motori a velocità variabile erano unicamente in corrente continua, regolati tramite sistemi Ward-Leonard o da convertitori analogici; oggi ci può aiutare anche l'elettronica, in quanto esistono software specifici che comprendono alcuni parametri di blocco frequenza di uscita che non può e né deve mai superare la frequenza nominale impostata.

I motori a bassa frequenza costano di più (a pari potenza devono sviluppare una coppia maggiore) ma sono più silenziosi e garantiscono agli argani minori vibrazioni, maggiori rendimenti, ecc... Perché allora non usare sempre motori a bassa frequenza? L'unica ragione è legata soltanto ad un problema di costi; anche 40 anni fa si smise l'uso dei motori 6 poli (1.000 rpm) unicamente per questioni economiche. Alcuni esperti nel campo ascensoristico sostengono che tecnicamente era molto meglio il motore 6 poli, rispetto al 4 poli, perché era più silenzioso, aveva minori vibrazioni e aveva dei "passaggi" migliori.

Oggi sono molti gli impianti nuovi senza il locale macchina; è quindi molto importante che il motoriduttore sia silenzioso e che abbia un buon rendimento per poter contenere i consumi.

Per ottenere il minor consumo dell'impianto è necessario utilizzare:

- motori a bassa frequenza e costruiti per inverter;
- argani a bassa riduzione (oppure usare motori gearless);

- attriti dei pattini di cabina e contrappeso molto contenuti (dove le condizioni lo permettono sarebbe bello usare pattini a rullo).

Se inoltre si usano inverter rigenerativi, si cede alla rete tutta l'energia della frenatura, migliorando così il bilancio energetico.

3.3 Isolamento del motore

Per quanto riguarda l'isolamento del motore, gli inverter lo "stressano" in modo diverso l'uno dall'altro; gli spike di tensione bucano l'isolante (che deve essere di buona qualità per evitare che ceda in breve tempo) dipendentemente da come è costruito e pilotato il circuito di potenza, dai filtri di uscita, dalla lunghezza e dal tipo di cavo usato, ecc. Infatti, installando un inverter su un motore di vecchia costruzione, capita spesso di dovere riavvolgere lo statore dopo un breve tempo di utilizzo, variabile in funzione dell'usura, della qualità dell'isolamento, dell'intensità di traffico dell'impianto e della temperatura di esercizio. Se nel collegamento inverter/motore si inserisce una induttanza di valore adeguato, però, tutte le problematiche scompaiono.

3.4. Tipo di volano

Quando il motore è regolato VVVF, tutti i costruttori di argani montano un volano di plastica o alluminio che sia il più leggero possibile e che risulta necessario unicamente per la manovra a mano. In linea teorica, la scelta è giusta, perché le masse volaniche necessitano di energia aggiunta in fase di accelerazione e scaldano maggiormente la resistenza di frenatura durante il rallentamento. Da un punto di vista pratico però, i volani sono necessari in quanto consentono di eliminare molte delle problematiche meccaniche che inevitabilmente sono presenti nel sistema: attrito dei pattini sulla guida (che può dare uno "strappetto" in partenza), leggere oscillazioni del motore a bassissima frequenza, giunzioni nelle guide non perfette, ecc.; un po' di massa volanica fa quindi sicuramente molto bene al comfort del sistema. A sostegno di questa tesi basta osservare che quando si montano inverter su vecchi impianti, con motore a una velocità di 50 anni fa, teoricamente non idoneo all'inverter, spesso, se il volano è consistente, si ottiene un ottimo comfort, il più delle volte senza modificare i parametri standard di regolazione; quando invece si sostituisce anche l'argano e si mette un motore nuovo per inverter, ma senza masse volaniche, lo stesso comfort è difficilmente raggiungibile, anche dopo una complicata e accurata registrazione e messa a punto dell'impianto.

Molti impianti a tiro diretto senza il locale macchine (MRL), hanno la cabina a sbalzo per cui, a cabina completa, si presentano forti attriti sulle guide, attriti che penalizzano una buona partenza. In questo caso se l'impianto è senza encoder (anello aperto) il volano è praticamente indispensabile.

"Perché nei paesi che usano i regolatori di velocità da tanti anni (prima i regolatori con motori corrente continua, poi i regolatori ACVV e successivamente i regolatori VVVF) come ad esempio il Regno Unito, la Germania, la Svizzera, ecc., i volani sono inesistenti?". La risposta è semplice: in questi paesi praticamente non esiste un regolatore ad anello aperto! Anche con un piccolo motore di 3kW, infatti, la regolazione è fatta ad "anello chiuso" e in quel caso (solo in quel caso!) la massa volanica non è indispensabile. Purtroppo in Italia la stragrande maggioranza degli impianti lavora senza encoder e senza il pesatore per il carico in cabina; di conseguenza le migliori prestazioni si ottengono con volano tradizionale eventualmente di massa ridotta.

3.5 Scelta dell'inverter

Come già detto, l'ascensore costituisce un carico impegnativo per un azionamento per le seguenti ragioni:

- è richiesto un funzionamento nei quattro quadranti Coppia/Velocità;
- è richiesto un ottimo comportamento a velocità minime sia nella fase di partenza che di arrivo;
- è richiesto un ottimo comfort esente da vibrazioni o Jerk eccessivi in tutte le condizioni di velocità e di carico;
- è richiesta una buona precisione nella regolazione di velocità per un arrivo al piano dolce e accurato;
- negli edifici molto alti sono richieste velocità superiori ai 2 m/sec. (l'ascensore più veloci al mondo installati a **Burj Khalifa** raggiunge 18 m/sec. pari a 64 km/h)
- è richiesta la gestione dell'arrivo al piano per mancanza rete.



fig 3.2 Inverters

Gli attuali inverter a controllo vettoriale vengono impiegati in configurazione sensorless per velocità richiesta fino ad 1.5 m/sec. con carico bilanciato, fino ad 1 m/sec. con carico sbilanciato. Per velocità superiori vengono impiegati inverter a controllo vettoriale, retro azionati con encoder. Il comfort viene ottenuto con curve ad "S" in accelerazione e decelerazione nonché con un controllo di coppia veloce ed accurato. La frenatura dinamica di solito è su resistenza ma in impianti con più azionamenti si può ricorrere alla connessione in barra continua in modo che gli azionamenti che stanno frenando, alimentino gli azionamenti che stanno accelerando o sono in funzionamento motore. Se poi si vuole evitare l'impiego delle resistenze di frenatura, si possono utilizzare i convertitori AC/DC a PWM che tra l'altro permettono di ridurre al minimo le armoniche di corrente lato rete e di avere un $\cos \varphi = 1$ (al momento tali convertitori risultano però piuttosto costosi).

Gli inverter hanno una configurazione a doppio convertitore (AC/DC, filtro, DC/AC) dispongono cioè di una sorgente di alimentazione unica per controllo, potenza e ausiliari (barra in continua), un semplice alimentatore switching alimenta i circuiti di controllo e gli ausiliari (ventilatori), ciò rende possibile la gestione dell'arrivo al piano in mancanza rete utilizzando una batteria tampone senza dovere ricorrere a gruppi di continuità come avveniva in passato con gli azionamenti in continua o in alternata regolati in scorrimento. Inoltre, non è necessario che la batteria abbia molti elementi essendo sufficiente un funzionamento a bassa velocità e quindi a bassa tensione di uscita inverter. Ad esempio con 48 Vcc (24 elementi) di batteria è possibile comandare un normale motore asincrono a 3 - 4 Hz di frequenza statorica, cosa assolutamente non problematica con gli attuali inverter sensorless anche per coppie frenanti richieste, superiori alla coppia nominale del motore. Naturalmente è necessario che l'alimentatore switching dei circuiti di controllo funzioni già a 48 V e che sia inibito il blocco normalmente usato per Vdc minima.

Gli inverter utilizzati devono avere componenti di potenza ad IGBT per ottenere frequenze di portante superiore a 15 kHz in modo tale da essere fuori dalla banda acustica ed evitare che l'eventuale rumore acustico del motore sia avvertito in cabina oppure nei locali

adiacenti al locale macchine. I disturbi in alta frequenza condotti ed irradiati costituiscono il problema più rilevante introdotto dagli azionamenti ad inverter. È quindi indispensabile utilizzare filtri EMI altamente efficaci.

Il positivo trend nel comparto azionamenti con inverter permette un incremento di prestazioni unitamente ad una riduzione di prezzo che incoraggia sempre di più l'utilizzo di tali azionamenti per il comando ascensori. Gli attuali studi verso i posizionatori Sensorless con inverter e motori asincroni (con fermo in coppia sensorless) incoraggeranno ulteriormente la sostituzione degli ultimi azionamenti a corrente continua.

La corretta scelta del variatore di frequenza è molto complessa, in quanto deve essere fatta esclusivamente in base alle correnti richieste dal carico. Non possiamo fidarci dei dati di targa ma dobbiamo controllare la corrente assorbita dal motore a pieno carico in salita in quanto, negli impianti con bilanciamento inferiore al 50% e negli impianti senza locale macchine con arcate a sbalzo anche se bilanciati al 50%, si ha una corrente a pieno carico in salita maggiore della corrente in discesa a vuoto e molte volte maggiore della corrente nominale del motore.

Gli inverter presenti sul mercato si distinguono in due grandi categorie:

- Inverter industriali, con correnti di avviamento $1,5 \div 1,6$ volte la nominale.
- Inverter specifici per ascensori, con correnti di avviamento almeno due volte la nominale.

La corrente di avviamento a pieno carico di un motore per ascensori può essere, nel peggiore dei casi, pari a due volte la corrente nominale; è chiaro quindi che gli inverter industriali devono essere declassati di un 30% rispetto agli inverter per ascensori, portando mediamente ad un "salto" di taglia a parità di altre condizioni (temperatura di funzionamento, frequenza di commutazione, ecc.).

Esempio 1)

Impianti con velocità 1,6 m/s, accelerazione media $0,8 \text{ m/s}^2$, tiro 1:1, corsa 30m, $\eta_a = 85\%$ e $\eta_v = 85\%$, con corrente di avviamento richiesta (I_{avv}) 2 volte la nominale (I_n) per due secondi.

La scelta corretta dell'inverter è evidenziata dalla tabella seguente:

Portata Q [Kg]	Differenza di tiro T [Kg]	Potenza Motore [kW]	Potenza inverter per ascensori $I_{avv} = 2 * I_n$ [kW]	Potenza inverter Industriale $I_{avv} = 1,5 * I_n$
320	200	4,8	5,5	7,5
450	270	6,5	7,5	11
630	370	8,9	11	15
800	480	11,5	11	18,5
1000	590	14	15	22
1250	720	17,1	18,5	30
1600	950	22,7	22	37
2000	1200	28,6	30	45

Esempio 2)

Supponiamo di avere un impianto con le seguenti caratteristiche:

- Velocità 1,6 m/s
- Portata 1000 Kg
- Potenza motore 14 kW
- Argano Sassi motore tipo 270172
- Corrente nominale 29 A
- Corrente di avviamento massima 58 A

L'inverter da utilizzare è quello in grado di erogare una corrente di avviamento di 58A per il tempo di accelerazione di 2 secondi, con temperatura ambiente 50°C e frequenza di commutazione di almeno 10KHz (ciò per contenere il rumore del motore).

Esaminando i dati tecnici forniti da un'importante Ditta costruttrice di Inverter, apprendiamo che:

a) Per la taglia 15 kW:

- la corrente nominale è 34,0 A
- la corrente di avviamento è 49,5 A
- Con frequenza di commutazione 8 kHz temperatura ambiente 45°C (massimo consentito)
- Con frequenza di commutazione 12 kHz riduzione corrente 5% (10 kHz non disponibile)
- Temperatura ambiente 50°C riduzione corrente del 10%
- Regolazione da encoder riduzione corrente 5% (solo su I_{avv})

Con questi declassamenti (15-20%), le correnti reali sono:

I nominale = 28 A

I avviamento = 40 A

Quindi non idoneo

b) Per taglia 18,5kW:

- la corrente nominale è 42A
- la corrente di avviamento è 63A
- Con frequenza di commutazione 12 kHz, riduzione corrente 25%
- temperatura ambiente 50°C
- riduzione corrente 10% (massimo consentito)
- regolazione con encoder
- riduzione corrente 5% (solo su I_{avv})

Con questi declassamenti (35-40%), le correnti reali sono:

I nominale = 27,3 A

I avviamento = 38,0 A

Che corrispondono circa a quelle della taglia precedente. Ancora non idoneo.

c) Con la taglia 22 kW si riesce ad avere la corrente nominale e di avviamento richiesta dal motore.

Infatti risulta per la taglia 22 kW:

- la corrente nominale è 50 A
- la corrente di avviamento è 75 A

Con frequenza di commutazione 12 kHz, riduzione corrente 15%

Temperatura ambiente 50°C, riduzione corrente 10% (massimo consentito)

Regolazione con encoder, riduzione di corrente 5% (solo su I_{avv})

Con questi declassamenti (25-30%), le correnti reali sono:

I nominale = 37,5 A

I avviamento = 52,5 A

Considerando che il funzionamento è intermittente (max 50%) e che la corrente di avviamento richiesta non è sempre quella massima, le correnti erogate da questa taglia sono ritenute accettabili. Da tale semplice esempio si deduce che con questo tipo di inverter è necessario installare un 22kW con un motore di potenza 14 kW.

È sempre importante riferire le correnti alla temperatura di funzionamento richiesta (50°C), alla frequenza di commutazione da utilizzare e a qualunque altro dato riferito dal costruttore. La decennale esperienza nell'uso degli Inverter, insegna che una scelta non corretta comporta guasti al dispositivo nel giro di breve tempo, con conseguenze facilmente immaginabili. È bene ricordare che la scelta di una temperatura di funzionamento di 50°C non è dettata dalla voglia di penalizzare l'inverter, ma semplicemente da dati oggettivi poichè in estate, con inverter chiuso in armadio, traffico medio, temperature del locale macchine prossime ai 40°C secondo EN81-1&2, è molto facile che la temperatura di funzionamento dell'inverter si avvicini a 50°C.

Se nel caso precedente avessimo voluto utilizzare un inverter per ascensori, con le caratteristiche riferite a una temperatura ambiente di 50°C, avremmo utilizzato una taglia di 15 kW.

Anche la frequenza di switching deve essere tale da garantire un funzionamento silenzioso del motore in qualunque condizione di carico; questa caratteristica risulta essere indispensabile negli impianti MRL nei quali vi sono rumori che si trasmettono a tutto il vano. Come si vede dagli esempi sopra riportati, esistono diverse taglie dello stesso inverter: è da X kW se usato a 40°C, è da Y kW se usato a 50°C, è da XX kW se usato a 40°C con frequenza switching 4KHz, è da XY kW se usato a 40°C con frequenza switching 8KHz ecc...

Per un non addetto ai lavori è difficile districarsi in questa giungla; suggerisco allora di chiedere al fornitore un inverter che possa funzionare a 50°C di temperatura ambiente, con una frequenza di switching tale da rendere silenzioso il motore, con una corrente di avviamento di 2 volte la nominale per almeno 2 secondi, per un numero di avviamenti orari e una intermittenza come richiesto.

È altresì ovvio che a parità di taglia, avendo correnti di avviamento maggiori, gli inverter per ascensori hanno un costo maggiore rispetto a quelli industriali. Con una simile scelta, non solo non si avranno problemi alla messa in marcia, ma sarà garantita una consistente durata di vita all'inverter (che altrimenti invecchia precocemente).

3.5.1 Problematiche dell'inverter alla luce delle nuove normative per le armoniche a bassa frequenza

La nuova norma sulla compatibilità elettromagnetica, oltre ai soliti limiti di emissione e immunità per i disturbi a radiofrequenza, impone limiti precisi alla emissione di armoniche in bassa frequenza.

Un normale inverter collegato alla rete, assorbe dalla stessa una corrente che non è sinusoidale (vedi fig. 3.3) ma è la somma di varie correnti armoniche che, oltre all'armonica fondamentale a 50Hz, comprende le armoniche di ordine 6 ± 1 , cioè la 5°, la 7°, la 11°, la 13°, ecc... (vedi Fig. 3.4).

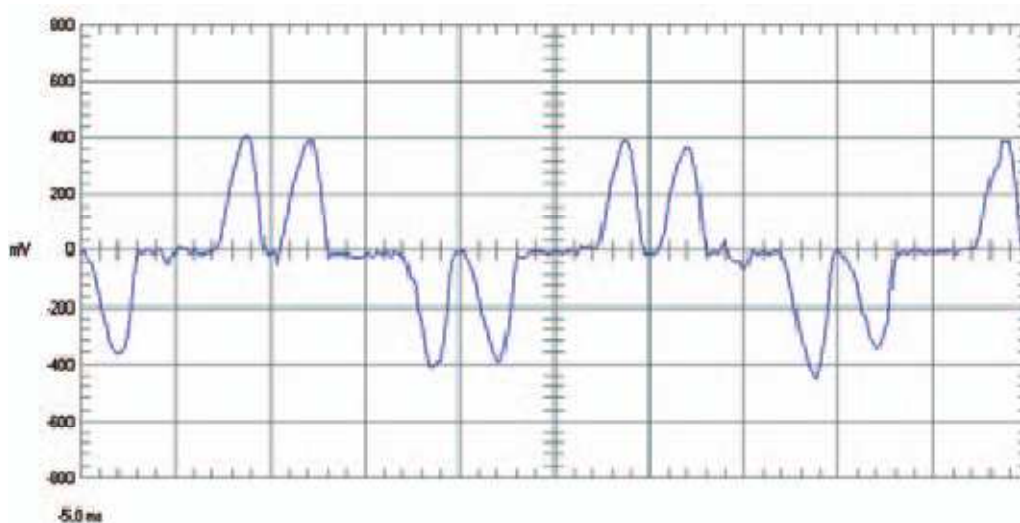


Figura 3.3 – Corrente in ingresso a pieno carico (20 A) senza induttanze: Forma d'onda

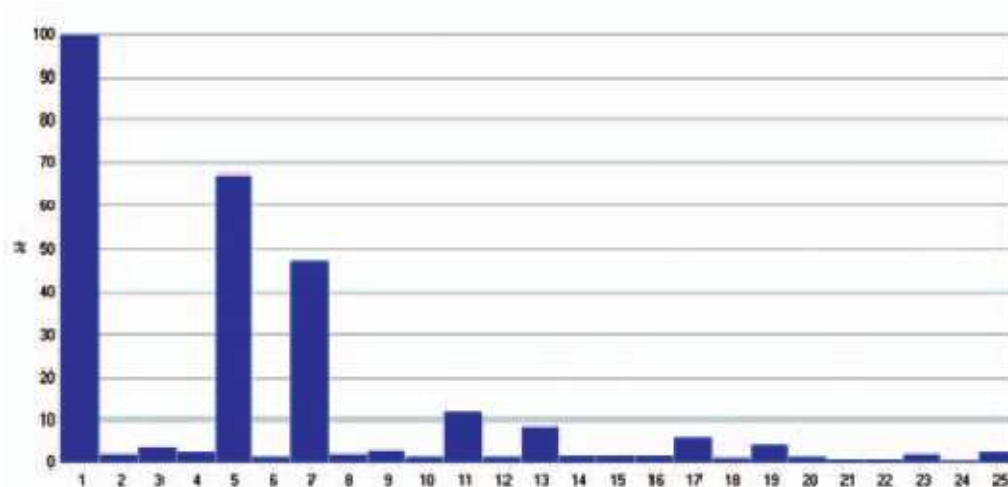


Figura 3.4 – Corrente in ingresso a pieno carico (20 A) senza induttanze: Spettro delle armoniche

Osservando lo spettro si vede che la 5° armonica è circa il 67% della fondamentale, la 7° armonica è il 47%, ecc... Queste armoniche circolano nella rete di alimentazione e possono provocare il surriscaldamento di trasformatori, cavi, motori, generatori e condensatori collegati alla rete stessa. Si possono quindi avere fenomeni non opportuni, quali lo sfarfallio dei display elettronici e dell'illuminazione, lo "scatto di interruttori", guasti ai computer ed errori di lettura degli indicatori di misura. Altro fenomeno pericoloso legato alle armoniche è la possibilità di far entrare in risonanza la rete; causando notevoli extratensioni e, di conseguenza, il fuori servizio di tutti gli inverter ed i computer.

La nuova norma impone limiti precisi alle armoniche: la 5°armonica, ad esempio, non deve superare il 30% della fondamentale, la 7° armonica il 18%, ecc... Per poter rientrare nei limiti previsti è necessario installare all'ingresso dell'inverter alcune induttanze, modificando così la forma d'onda della corrente di ingresso, come in Fig. 3.5.

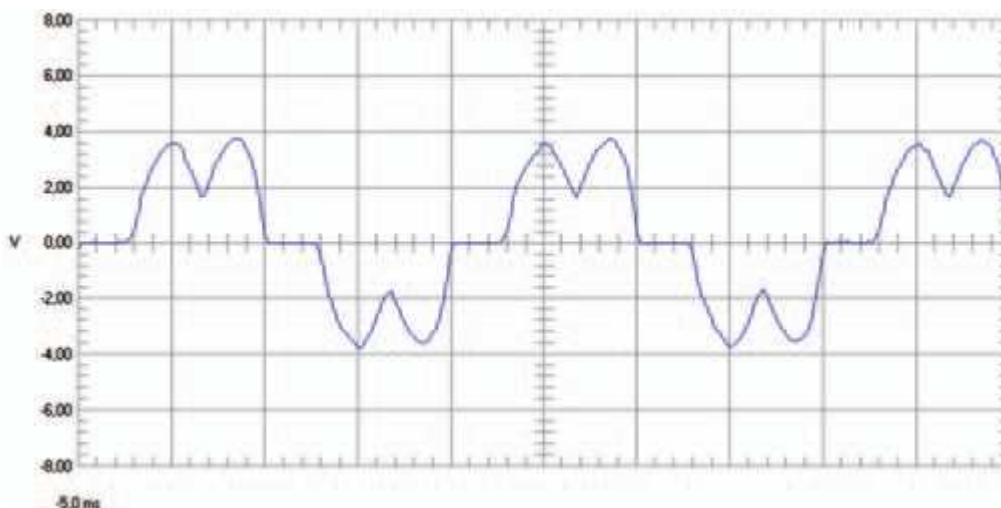


Figura 3.5 – Corrente in ingresso a pieno carico (20 A) con induttanza da 1,2 mH: Forma d'onda

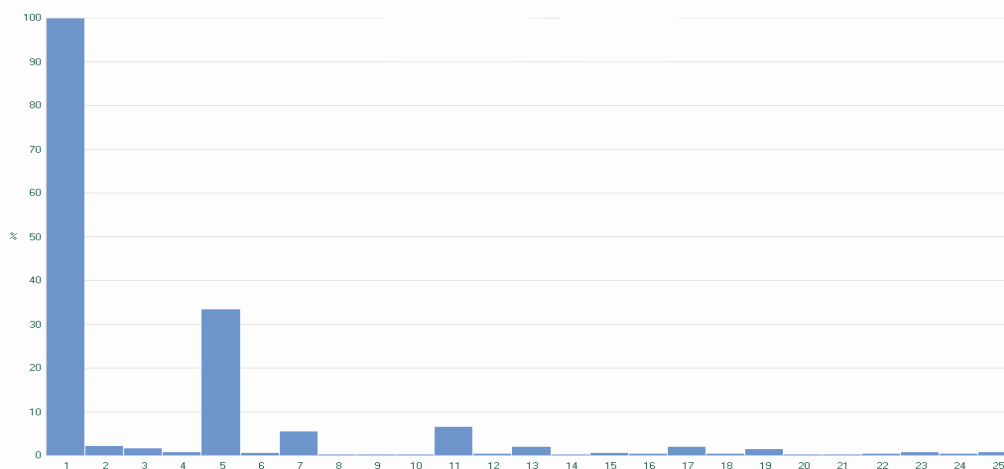


Figura 3.6 Corrente in ingresso a pieno carico (20 A) con induttanza da 1,2 mH: Spettro delle armoniche

Come si vede in figura, l'induttanza da 1,2 mH non è sufficiente a contenere la 5^a armonica al di sotto del 30%. Solo con una induttanza di valore più elevato (es. 1,5 mH) si ottiene quanto prescritto dalle normative.

Come si vede dalle figure 3.4 e 3.6, considerando che le prove sono state fatte nelle stesse condizioni di carico, il valore di picco della corrente d'ingresso è maggiore nel caso in cui non sia inserita l'induttanza in serie e, di conseguenza, le armoniche 5^a, 7^a, ecc. sono maggiori in questo caso.

La corrente armonica, generata dal sistema a ponte raddrizzatore trifase, presente con le armoniche di ordine $6xN \pm 1$ cioè 5^a e 7^a, 11^a e 13^a, 17^a e 19^a, ecc., non ha potenza, però è una corrente aggiuntiva nei cavi, a volte di valore uguale alla corrente a 50Hz, 1° armonica o fondamentale, che provoca i seguenti inconvenienti:

- diminuzione del fattore di potenza;
- sovraccarico e surriscaldamento nei conduttori;
- distorsione della tensione di rete;
- cattivo funzionamento nei sistemi di misura;
- interferenze, a volte gravi, con altre apparecchiature sincronizzate con la rete;
- surriscaldamento dei condensatori di rifasamento e spianamento;
- possibilità di risonanze elettriche gravi per l'intero sistema.
- intervento intempestivo degli interruttori differenziali;
- aumento dell'energia consumata;
- invecchiamento accelerato degli isolanti;
- errori di misura nei contatori di energia.

3.5.2 Limiti di un inverter e nuove possibilità

Il convertitore trifase di ingresso a ponte di diodi, è sicuramente una soluzione robusta ed economica, tuttavia presenta alcuni inconvenienti:

- Elevato contenuto armonico e di conseguenza fattore di potenza basso.
- Flusso di energia unidirezionale (cioè dalla rete all'inverter).
- Tensione di uscita limitata, che diminuisce, rispetto alla rete, quando sono inserite le impedenze di ingresso
- Motori con tensione di avvolgimento diversa dallo standard, 320 ÷ 350V anziché 400V per compensare le cadute sulle induttanze ed ottenere il massimo della coppia in fase di accelerazione.

Nella maggior parte delle applicazioni non ci sono particolari problemi (es. nella regolazione della velocità di pompe, compressori, ventilatori, ecc.). Negli impianti ascensoristici è richiesta anche la funzione di frenatura, in quanto il motore, trascinato dal carico, restituisce energia (ad esempio cabina vuota in marcia salita) l'energia generata dal motore deve essere dissipata da un resistore, comandato da un chopper, alimentato automaticamente dall'inverter quando la tensione del ramo in corrente continua supera un determinato valore di soglia.

Tale soluzione diventa precaria quando sono in gioco grosse potenze, oppure corse molto lunghe.

A titolo di esempio, notiamo che per un impianto con motore da 22kW, 400V, 70 m di corsa e velocità 1.6 m/s, per frenare la corsa della cabina vuota in salita occorre una resistenza di circa 15Ω con potenza 6kW, che rimane inserita per il tempo di corsa che è circa 45 secondi. Inoltre durante la fase di rallentamento e arrivo al piano si ha un picco di potenza di 10÷12kW con conseguente calore elevato da dissipare in locale macchina.

Un regolatore si dice a "quattro quadranti" quando è in grado di generare e ricevere energia da e verso il motore e da e verso la rete in entrambi i sensi di marcia; con un inverter tradizionale questo non è possibile.

Con alcuni accorgimenti si può rendere rigenerativo un inverter, cioè scaricare l'energia generata dal motore sulla rete anziché su un resistore. I metodi oggi usati sono i seguenti due:

- Usare come convertitore d'ingresso un doppio ponte total controllato a diodi controllati (SCR) anziché a diodi.
- Usare come convertitore d'ingresso un ponte attivo a IGBT.

Il ponte a SCR è una soluzione robusta ed economica che però presenta i seguenti inconvenienti:

- Contenuto armonico lato rete peggiore di un normale ponte a diodi.
- Il funzionamento rigenerativo richiede un autotrasformatore oppure un motore a tensione ridotta (max. 300V per una rete 400V) di conseguenza un motore con avvolgimento speciale.
- Nel funzionamento rigenerativo l'immunità ai disturbi verso rete è critica, per cui è necessario usare fusibili extrarapidi di protezione.

Il ponte ad IGBT con controllo vettoriale e modulazione PWM, supera tutti gli inconvenienti del ponte a SCR o a diodi e presenta i seguenti vantaggi:

- Funzionamento rigenerativo e recupero di energia in rete senza autotrasformatore né motore speciale.
- Contenuto armonico della corrente scambiata con la rete inferiore al 4% che consente la
- conformità alle norme più severe sul contenuto delle armoniche e quindi la corrente assorbita e ceduta alla rete è praticamente sinusoidale (vedi fig. 3.7).

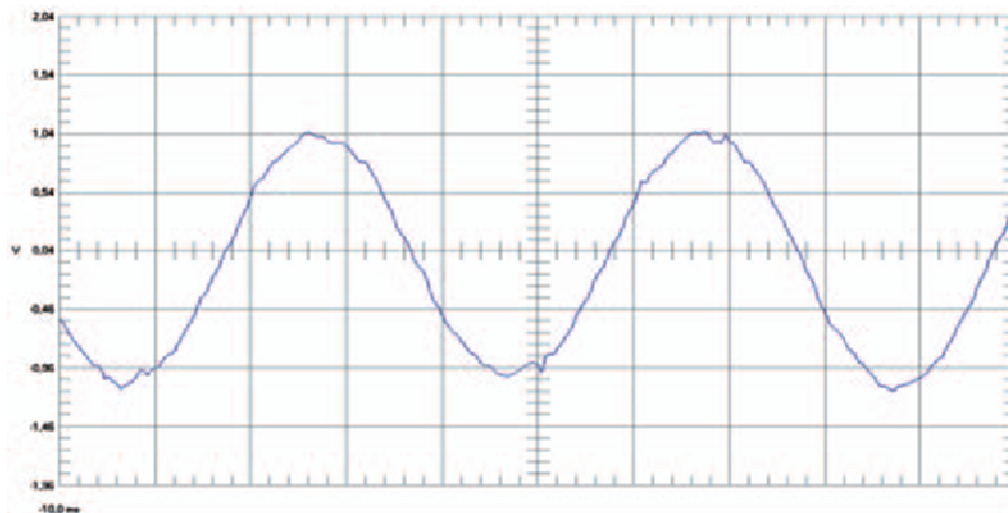


Fig.3.7 Corrente assorbita dalla linea con inverter rigenerativo (forma d'onda e spettro delle armoniche)

- L'alta dinamica di regolazione e il controllo ad anello chiuso della tensione sul ramo a corrente continua consentono di compensare sia lo sbilanciamento della tensione di rete che l'abbassamento della stessa.
- Il convertitore funziona con fattore di potenza unitario e quindi la rete « vede » minore corrente a parità di potenza, ma può funzionare anche come fattore di potenza capacitivo o reattivo consentendo il rifasamento d'altri carichi.
- La tensione del ramo in continua può essere regolata a valori superiori a quelli che si hanno con un normale ponte a diodi, in altri termini si può alimentare un motore a 500V partendo da una alimentazione di rete di 400V, con conseguente maggiore possibilità di correzioni dinamiche del controllo e minori correnti, in certi casi si può addirittura aumentare la potenza del motore.
- Possibilità di usare il sistema come filtro attivo, cioè in grado di eliminare le principali armoniche di disturbo di una rete di alimentazione in bassa tensione (3^a,5^a,7^a).
- Il basso contenuto armonico garantisce l'assoluta immunità di sistemi complessi alle pericolose risonanze che, inevitabilmente, sono presenti nei sistemi con molti inverter e con impianti di rifasamento a condensatori.

Nel campo ascensoristico, l'inverter con convertitore d'ingresso ad IGBT offre tanti vantaggi; il maggiore costo d'acquisto (unico svantaggio) , è facilmente ammortizzabile specie negli impianti con grandi portate, grandi corse e in batteria, con argani ad alto rendimento o Gearless; infatti l'energia generata da un motore in frenatura viene utilizzata dagli altri impianti o dalle altre utenze collegate allo stesso contatore d'energia elettrica. Inoltre, adottando la soluzione con unico ponte di ingresso per diversi ascensori, la differenza di costo iniziale rispetto a tanti singoli inverter tradizionali è estremamente contenuta.

Oltre al risparmio energetico, che rappresenta il beneficio immediato per l'utente, occorre notare che a livello normativo si stanno prendendo provvedimenti per contenere le armoniche e i loro negativi effetti sul sistema globale della rete elettrica.

La normativa europea riguardante la compatibilità elettromagnetica impone la 5^a armonica minore del 30% della fondamentale, la 7^a armonica minore del 18% della fondamentale, l'11^a armonica minore del 13% della fondamentale ecc., mentre la distorsione totale delle armoniche definita dalla formula:

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$$

cioè la sommatoria dei valori efficaci delle varie armoniche I_n riferiti al valore efficace della fondamentale I_1 deve risultare minore del 35%.

La conformità alla normativa si ottiene soltanto in 2 modi:

- con inverter tradizionali e grosse induttanze di ingresso (sul lato alternata o continua del ponte);
- con inverter rigenerativi.

Quest'ultima soluzione è la migliore risposta a queste problematiche in quanto il contenuto massimo delle armoniche è il 4%, di gran lunga inferiore a quello richiesto dalla normativa.

Già ora diverse industrie installano inverter rigenerativi non per il risparmio energetico, ma unicamente per la "pulizia " della corrente assorbita che elimina in modo globale qualunque problema di risonanza elettrica con altre apparecchiature alimentate dalla stessa rete.

Capitolo 4

Soluzioni per l'incremento dell'eco-efficienza con la modernizzazione degli ascensori

L'eco efficienza è la capacità di fornire a prezzi competitivi prodotti e servizi che soddisfino i bisogni umani e portino a una migliore qualità della vita, riducendo progressivamente l'impatto ecologico e l'uso di risorse naturali durante il ciclo di vita del prodotto ad un livello per lo meno in linea con la capacità di carico della terra. In breve, significa creazione di maggior guadagno con minor impatto.

4.1L'importanza del consumo in standby

Gli sviluppi nell'ambito della tecnologia microelettronica hanno anche iniziato ad essere utilizzati negli impianti ascensoristici dagli inizi degli anni 1980 e i sistemi di controllo su relè sono stati abbandonati e sostituiti con quadri di controllo elettronici. In tal modo, i problemi derivanti da impianti di controllo basati su relè come i guasti frequenti, la breve durata, le grandi dimensioni e i progetti non flessibili, risultano evitati.

I vantaggi derivati dal sistema di controllo elettronico hanno fatto trascurare il maggior utilizzo di energia durante lo stand-by. Con l'inizio dell'uso di sistemi di blocco delle porte e di azionamenti a velocità variabile, che sono stati sviluppati in periodi successivi, unitamente ai pulsanti illuminati, display all'interno e all'esterno della cabina sistemi di avviso e sicurezza e altri impianti elettronici simili per ascensori, i requisiti di energia durante lo stand-by sono aumentati per poter mantenere attivi tutti questi sistemi.

Parallelamente le unità di azionamento per ascensori a doppia velocità, che erano intensamente utilizzati nei periodi precedenti, hanno lasciato il posto ai sistemi di motori compatti con azionamento a velocità variabile (VSD)(motore elettrico + azionamento). Queste unità di azionamento sono diventate note perché erano utilizzate con gli ascensori machine room-less(MRL), dove i motori a induzione a magneti permanenti sono azionati principalmente da azionamenti VVVF (con tensione e frequenza variabili)(gli azionamenti VVVF sono spesso chiamati inverter). Con l'uso di questi sistemi nei MRL, il riduttore dell'argano è eliminato, la dimensione del motore ridotta, il confort di viaggio risulta aumentato e il consumo energetico ridotto fino a 50% rispetto agli ascensori a trazione tradizionali. Insieme ai MRL, gli inverter iniziarono anche a essere preferiti sugli ascensori a trazione tradizionali che dispongono di locale macchine e gruppo argano. Questa applicazione è utilizzata anche come alternativa efficiente a livello energetico.

Sebbene un ulteriore consumo di energia con gli inverter si sia verificato con consumo elettrico complessivo degli ascensori, le unità di azionamento con inverter sono state presentate come una soluzione energetica efficiente per tutti. Insieme alla maggior competizione sul mercato ascensoristico per edifici bassi, l'uso di unità ascensoristiche con inverter è diventato una moda. Questi sistemi sono stati poi imposti ai consumatori come uniche soluzioni efficienti a livello energetico indipendentemente dall'uso dell'ascensore. Poi, una nuova strategia di mercato ha sostenuto con discorsi impernianti sull'ecologia un aumento di vendite di unità ascensoristiche con inverter. E' stato sostenuto in una ricerca sostenuta dalla *Swiss Agency for Energy Efficiency*(SAFE) su 33 diversi ascensori, che la quantità di energia consumata dagli ascensori in modalità stand-by ha raggiunto l'80% circa del consumo totale di energia. Nella ricerca SAFE[6], viene anche indicato che su ascensori molto utilizzati

le soluzioni idrauliche con inverter hanno la stessa efficienza energetica degli MRL elettrici. La stessa conclusione è stata dedotta da Lees[7] nella sua tesi MSc. Questi risultati non supportano una conclusione generale che indica che gli ascensori idraulici consumano più energia degli MRL elettrici. Nello studio di Leeds si stabilisce anche che negli ascensori con scarso utilizzo, l'uso di inverter aumenta il consumo di energia durante lo stand-by e quindi, i tradizionali ascensori idraulici restano ancora una buona scelta. E anche stato notato che se un ascensore resta in modalità stand-by per l'80%, l'inverter consuma una quantità di energia pari a 222 kWh/ascensore per anno. Ciò significa che su ascensori di scarso uso, il consumo di energia aumenterebbe nonostante l'uso delle più recenti tecnologie ascensoristiche che mirano l'efficienza energetica. Un altro esempio simile potrebbe essere gli *impianti idraulici con accumulatori*. Nonostante questi sistemi non siano usati di frequente a causa dei costi iniziali, viene indicato che il sistema consumerebbe più energia in caso questi tipi di ascensori vengano usati continuamente con bassi carichi. Gli usi che influiscono sul consumo di energia in stand-by sono illustrati nella fig. 4.1. Come si può notare l'illuminazione in cabina sempre accesa e il sistema di chiusura delle porte indica i massimi utilizzi. Questi sono seguiti dal quadro di controllo elettronico e dall'inverter.

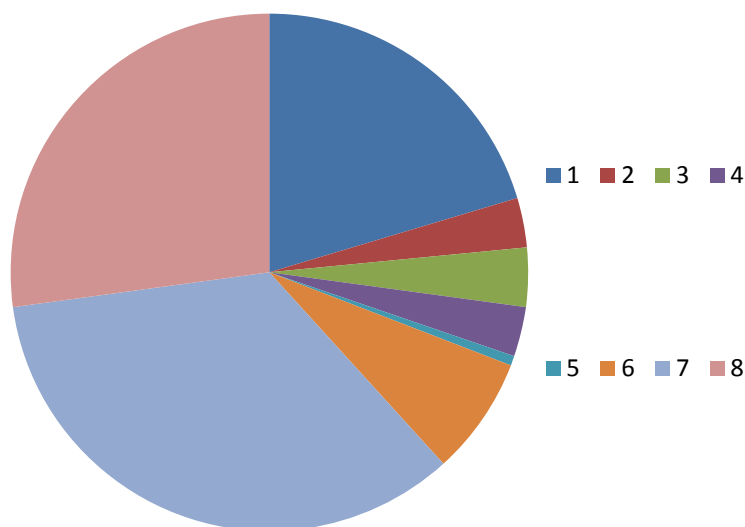


fig.4.1 Quantità di consumi energetici di un ascensore durante lo stand-by

- | | |
|---|----------------------------|
| 1- Quadro controllo elettronico | 6- Inverter |
| 2- Display di piano | 7- Illuminazione di cabina |
| 3- Pulsanti di piano | 8- Chiusura porte |
| 4- Pulsanti di cabina | |
| 5- Rete di fotocellule per la porta di cabina | |

Nel riferimento [6], il consumo standard di energia degli ascensori è calcolato con la seguente formula:

$$E = \frac{Z \times k1 \times k2 \times h_{max} \times P_m}{v \times 3600} [kWh/anno]$$

dove:

- E - Consumo energetico annuo
- $k2$ - Fattore altezza vano (due piani:1, altro:0,5)
- $k1$ - Fattore di carico medio (trazione:0,35; trazione + rigenerativo:0,21; idraulico:0,3)
- P_m - Potenza motore[kW]
- v - Velocità ascensore
- h_{max} -Altezza massima vano
- Z - Numero di cicli di corse annue

I consumi energetici durante l'esercizio e lo stand-by in rapporto al numero di cicli ascensoristici sono illustrati nella fig. 5.2

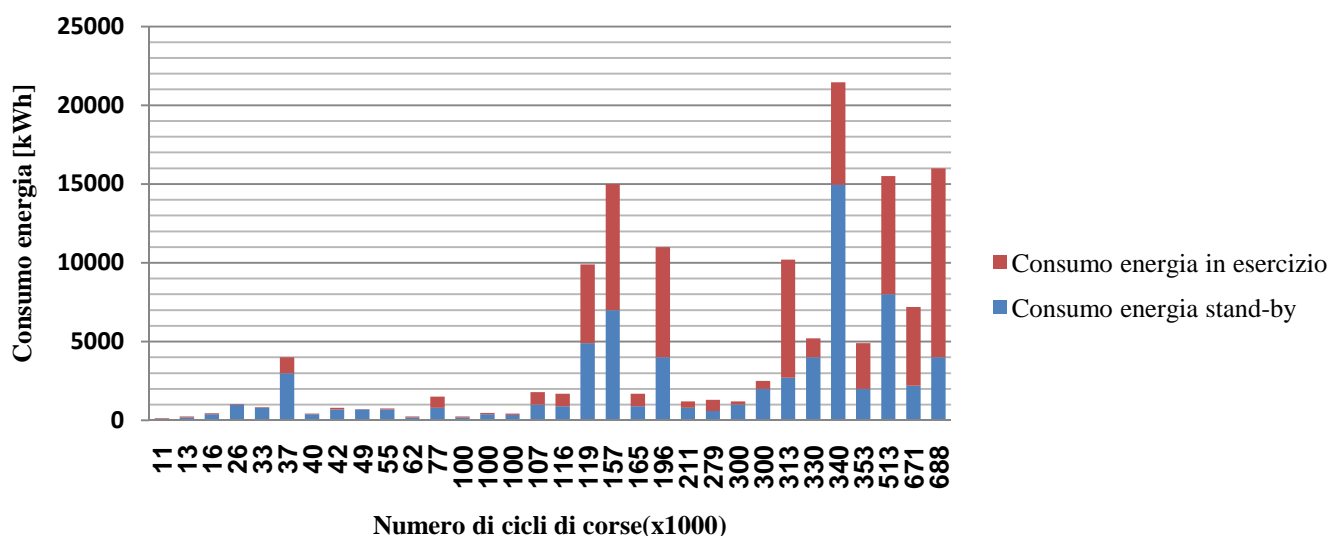


fig.4.2 Consumi di energia di esercizio e stand-by in base al numero di cicli di corse

Nella fig.4.3 i consumi energetici sono indicati in percentuali in base al tipo di edificio:

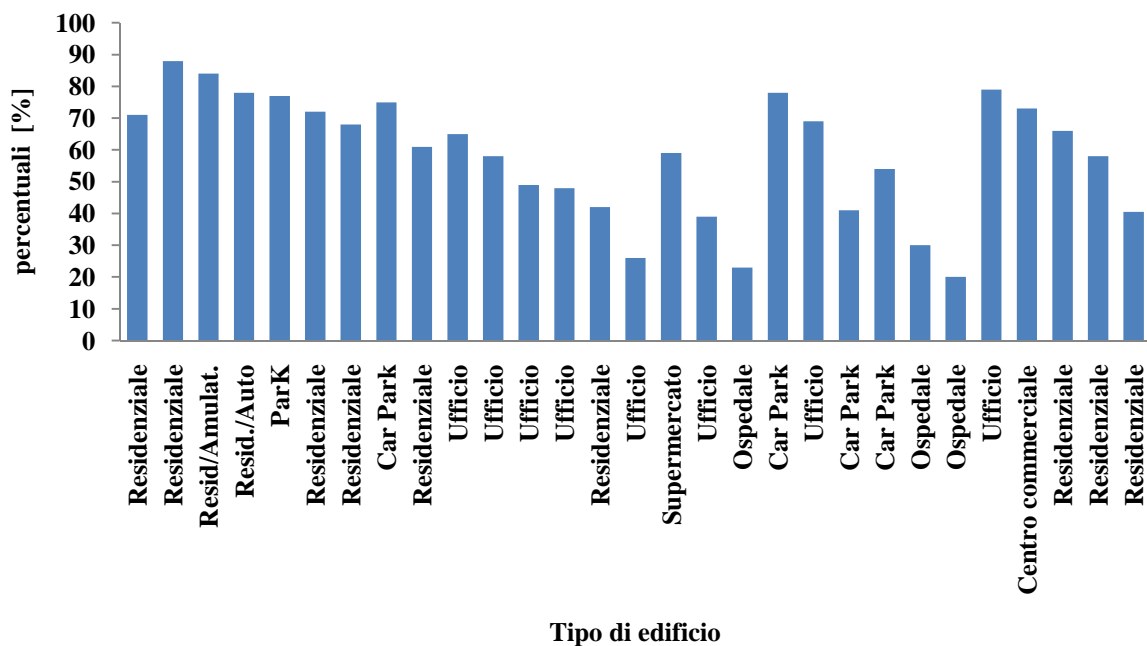


Fig.4.3 Percentuali di consumi stand-by in base al tipo di edificio

Si può notare che i consumi di energia in stand-by generalmente variano tra il 20% e l'85%

4.2 Soluzioni di risparmio energetico riguardanti l'illuminazione

Gli ascensori devono avere un sistema appropriato d'illuminazione della cabina. Il consumo energetico in relazione all'illuminazione degli ascensori può essere ridotto principalmente in due modi.



fig5.4 Illuminazione a LED

Il primo modo di riduzione del consumo energetico può essere compiuta tramite il sistema di accensione delle luci di cabina controllato dal movimento della stessa. In questa maniera durante lo stazionamento al piano l'intensità dell'illuminazione viene ridotta (la normativa ascensori non permettendo lo spegnimento). Viceversa, il movimento della cabina può controllare l'accensione della luce nell'immediata vicinanza dello sbarco; in questo modo non si ottiene una riduzione del consumo diretto dell'ascensore ma una riduzione del consumo generale dell'edificio.

Il secondo modo di riduzione del consumo energetico è quello di scegliere soluzioni di illuminazione a basso consumo (usando lampade a basso consumo) , efficienti , e duraturi. L'illuminazione tramite i LED al posto delle lampade alogene possono ridurre il consumo energetico dell'80%.

4.3 Soluzioni di risparmio energetico riguardanti la tipologia dell'impianto

Combinando un certo tipo di motore e un certo tipo di sistema di controllo si possono ottenere consistenti riduzioni per quanto riguardante il consumo energetico dell'ascensore rispetto al vecchio ascensore oleodinamico. Per esempio una soluzione rivoluzionaria consiste nel utilizzo del motore a magneti permanenti senza riduttore. Questa soluzione aumenta l'efficienza energetica di 40% rispetto il tradizionale impianto a trazione e di 60% rispetto all'impianto idraulico.

Ascensori oleodinamici versus ascensori elettrici.

Gli ascensori idraulici tendono ad essere la soluzione meno efficiente dal punto di vista energetico.

Negli impianti idraulici l'energia è immagazzinata come energia potenziale durante la fase di salita, e viene poi dissipata in calore nella discesa.

Il contrappeso negli impianti a trazione risparmia energia in quanto il macchinario non deve sollevare tutto il peso della cabina e del carico.

Azionamenti geared versus azionamenti gearless.

Il tipo di azionamento può essere con o senza riduttore. L'assenza del riduttore negli impianti più recenti comporta una riduzione delle dimensioni del macchinario e di conseguenza un aumento significativo dell'efficienza energetica. Inoltre la sostanziale riduzione delle vibrazioni conduce all'aumento del livello del comfort.

4.4. Il motore ed il sistema di controllo

L'efficienza del motore ha un effetto rilevante sull'efficienza energetica. I motori che possono essere usati negli impianti elevatori sono: motori in corrente continua, motori asincroni in corrente alternata e i motori sincroni a magneti permanenti.

I motori in corrente continua hanno delle buone caratteristiche di controllo, però sono costosi e producono dei disturbi nella rete di alimentazione.

I motori asincroni non hanno un buon fattore di potenza ma l'efficienza del motore è inferiore al 70%.

Dovuto anche allo sviluppo dei materiali magnetici, gli elevatori moderni cominciano a usare i *motori sincroni a magneti permanenti* di dimensioni ridotte. Dovuto alla bassa inerzia, sono più facili da controllare, e hanno in fattore di potenza molto alto.

4.5. Risparmio energetico con i sistemi rigenerativi

I sistemi rigenerativi consentono un ulteriore risparmio energetico in quanto trasformano in energia elettrica ogni frenata dell'impianto stesso. Questa energia può venire rimessa in rete oppure riutilizzata su un ascensore adiacente, nel caso di impianti multipli.

4.6 Sistema di controllo di un gruppo di ascensori (EGCS)

I sistemi di controllo dei gruppi di ascensori (EGCS's elevator group control systems) vengono implementati negli impianti ascensoristici degli edifici molto alti, e hanno la funzione di gestire, rendendo più efficiente, il traffico di più di tre ascensori.

La prestazione dell'EGCS viene misurata tramite alcuni criteri come il tempo medio di attesa dei passeggeri, la percentuale di passeggeri che aspettano più di 60 secondi, il *consumo energetico*. EGS's gestisce gli ascensori in modo da minimizzare i criteri di valutazione.

Le parti componenti del EGCS sono: pulsanti di piano, pulsanti di cabina, cabine degli ascensori ed il controller di gruppo.

Se un passeggero si deve spostare da un livello ad altro, preme il pulsante direzionale (di piano), aspetta l'arrivo della cabina, entra nella cabina e preme il pulsante di cabina del piano di destinazione. Il controller sceglie la cabina più adatta nel momento in cui il passeggero esegue la chiamata di piano. La difficoltà della selezione che deve eseguire il EGCS è dovuta per primo alla complessità del sistema (se il controller gestisce n cabine e assegna p chiamate di piano, risultano n^p casi). In secondo luogo il controller deve considerare anche le prossime chiamate che saranno effettuate. In terzo luogo il controller deve considerare una serie di fattori di incertezza come il numero di passeggeri che si trovano al piano nel momento in cui viene eseguita una chiamata. In quarto luogo si deve tener conto dalla strategia del manager di sistema che può essere una strategia di minimizzazione dei tempi di attesa dei passeggeri, oppure una di *riduzione del consumo energetico*.

La fig.4.5 presenta la struttura generale del EGCS.

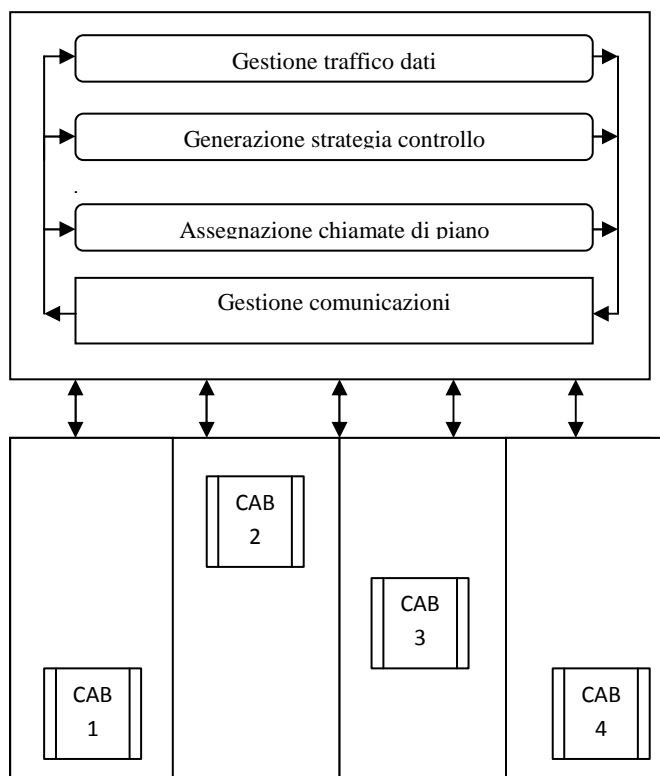


fig.4.5 Struttura generale del EGCS

Per ogni piano ci sono due pulsanti di chiamata di piano (salita e discesa).

Consideriamo un esempio per capire il funzionamento del EGCS.

- 1) Un passeggero che vuole andare dal secondo al 15° piano preme il pulsante di chiamata di piano.
- 2) Il segnale di chiamata di piano è trasmesso al EGCS.
- 3) Il EGCS sceglie la cabina che servirà la chiamata.
- 4) Il EGCS trasmette un messaggio alla cabina selezionata.
- 5) La cabina si sposta al secondo piano ed il passeggero sale in cabina.
- 6) Il passeggero preme il pulsante di cabina del 15° piano.
- 7) Dalla cabina viene trasmesso un messaggio al EGCS e la cabina si sposta al 15° piano.
- 8) La cabina arriva al 15° piano e il passeggero scende dalla cabina.

Questo processo, chiamato *assegnazione delle chiamate di piano*, viene ripetuto dal EGCS ad ogni chiamata. L'assegnazione delle chiamate di piano è molto importante e le sue prestazioni dipendono dal metodo di assegnazione. Uno dei metodi utilizzati è quello che segue la *logica Fuzzy* (*logica sfumata* o *logica sfocata* è una logica in cui si può attribuire a ciascuna proposizione un *grado di verità* compreso tra 0 e 1 - con *grado di verità* o *valore di appartenenza* si intende quanto è vera una proprietà: questa può essere, oltre che vera (= a valore 1) o falsa (= a valore 0) come nella logica classica, anche pari a valori intermedi - . È una logica polivalente, e pertanto un'estensione della logica booleana). Il sistema di controllo che usa il metodo Fuzzy viene chiamato *Sistema Fuzzy di controllo dei gruppi di ascensori (FEGCS)*.

Possiamo dedurre quindi che un EGCS che segue un buon metodo di assegnazione delle chiamate di piano, può avere un contributo importante all'aumento dell'efficienza energetica dell'impianto ascensoristico.

4.7 Soluzioni KONE Eco-efficient™

Il cuore pulsante delle soluzioni eco-efficienti implementate dalla nota multinazionale Kone è il sistema di sollevamento KONE EcoDisc®, che consente di risparmiare il 50% o più dell'energia consumata da un ascensore. Le soluzioni presentate dalla Kone consentono di risparmiare energia non solo quando l'ascensore è in movimento, ma anche di ridurre il consumo energetico in standby quando l'ascensore è fermo al piano. Abbinare insieme, queste soluzioni possono consentire un risparmio pari a tre quarti del consumo energetico totale dell'ascensore. Nell'arco della vita dell'ascensore, il risparmio energetico può arrivare a superare il costo iniziale dell'impianto.

- KONE ECODISC®· Macchinario di sollevamento sincrono a magneti permanenti



fig.4.5 Macchinario di sollevamento sincrono a magneti permanenti

- Consuma il 70% di energia in meno di un azionamento idraulico e il 50% in meno di un sistema a trazione
- Grazie agli azionamenti a frequenza variabile utilizzati nelle nostre soluzioni, la corrente di spunto all'avviamento è pari al 30–40% di quella delle unità a trazione o idrauliche equivalenti, riducendo così sia il consumo di energia che la dimensione dei fusibili
- Sottile e di peso contenuto, richiede meno materie prime e meno spazio rispetto ai macchinari di sollevamento tradizionali
- Risparmio energetico:
4000 kWh/anno rispetto a un ascensore idraulico
2000 kWh/anno rispetto a un ascensore a trazione a 2 velocità
- Riduzione dell'impronta di carbonio (in base al mix energetico elettrico OCSE):
2240 kg CO₂/anno rispetto a un ascensore idraulico
1120 kg CO₂/anno rispetto a un ascensore a trazione a 2 velocità

- SISTEMA RIGENERATIVO

- Consente di recuperare l'energia di frenata in eccesso e di convertirla ad esempio per l'illuminazione dell'edificio · Il contrappeso o la cabina dell'ascensore diventano il motore e KONE EcoDisc® diventa un generatore che trasforma la potenza in corrente
- Permette di recuperare fino al 25% dell'energia totale impiegata da un ascensore
- Produce energia pulita e sicura che non danneggia la rete
- Risparmio energetico:
13250 kWh/anno rispetto a un azionamento non rigenerativo
- Riduzione dell'impronta di carbonio:
6400 kg CO₂/anno rispetto a un azionamento non rigenerativo

- CAVI ESENTI DA ALOGENI

· I materiali plastici utilizzati per i cavi dell'elettrificazione non contengono alogeni

· In caso di incendio non sprigionano gas tossici e non producono acidi corrosivi

- LUCI A LED

- Durano fino a 10 volte di più delle lampade alogene
- Riducono fino all'80% il consumo energetico
- Risparmio energetico: 560 kWh/anno
- Riduzione dell'impronta di carbonio:
270 kg CO₂/anno rispetto ai faretto alogeni

- ATTENUAZIONE DELL'INTENSITÀ LUMINOSA DELLA SEGNALETICA

- Modalità di standby per la segnaletica: 15 minuti dopo l'ultima chiamata, la segnaletica comincia a passare automaticamente alla modalità di standby
- Si può ridurre il consumo energetico della segnaletica anche del 30%
- Risparmio energetico:
fino a 20 kWh/anno
- Riduzione dell'impronta di carbonio:
10 kg CO₂/anno

- CONTROLLO ILLUMINAZIONE CORRIDOIO

- Illuminazione automatica del pianerottolo quando la cabina si ferma.
- Riduzione del consumo energetico complessivo dell'edificio
- Risparmio energetico: dipende all'applicazione

- ILLUMINAZIONE AD ALIMENTAZIONE SOLARE

- Il consumo di energia delle luci led del celino di cabina, può essere ulteriormente ridotto con l'utilizzo dell'energia solare
- KONE fornisce un kit che collega le luci della cabina con un sistema indipendente di pannelli solari
- Il sistema di pannelli solari è composto da: pannelli solari, batteria e regolatore di carica

- CONTROLLO DELLA DESTINAZIONE

- Il sistema di controllo della destinazione KONE Polaris™ consente di risparmiare energia ottimizzando il traffico. Un gruppo di ascensori che utilizza il sistema KONE Polaris™ richiede meno dispositivi di trasporto rispetto a quelli che utilizzano un sistema di trasporto convenzionale.
- Gli ascensori possono servire più persone e più piani in un edificio.
 - Risparmio energetico: si possono usare meno ascensori o ascensori più piccoli, riducendo così i consumi di energia dell'edificio.

4.8 Otis Gen2 Comfort

Gen2 Comfort è la soluzione eco-efficiente del leader mondiale nel campo ascensoristico, Otis.

È l'ascensore senza locale macchina che assicura ineguagliabili livelli di comfort, affidabilità, sicurezza, efficienza energetica e rispetto dell'ambiente.

Utilizzando una cinghia piatta in acciaio rivestita di poliuretano unica nel suo genere - una tecnologia rivoluzionaria inventata e brevettata da Otis - il sistema Gen2 Comfort garantisce un'elevata efficienza energetica, rappresentando la soluzione più vantaggiosa sia per il mercato residenziale sia per quello commerciale.

Gen2 Comfort consente agli architetti una maggiore libertà nella progettazione, mentre i costruttori beneficiano di un sistema caratterizzato da un'interfaccia minima con l'edificio e da un processo di installazione più efficiente. Costruttori e proprietari possono gestire l'edificio in modo economicamente più vantaggioso ed inoltre beneficiano di una maggiore superficie commerciale.

I benefici di Otis Gen2 Comfort :

- La sostituzione della fune convenzionale in acciaio con la cinghia piatta in poliuretano con anima di acciaio consente una corsa più dolce e silenziosa.
- La macchina gearless controllata da un circuito chiuso a variazione di frequenza permette il raggiungimento di una corsa confortevole, con un'eccezionale precisione nel livellamento ai piani.
- La macchina gearless, caratterizzata da un'inerzia ridotta e dal motore sincrono a magneti permanenti, è sinonimo di risparmio energetico e di bassi costi di esercizio.
- Le cinghie e la macchina gearless con cuscinetti sigillati non richiedono olio o lubrificanti inquinanti, nel totale rispetto dell'ambiente.
- L'interazione della cinghia piatta rinforzata in acciaio con la superficie liscia della puleggia comporta una riduzione dell'usura e una conseguente lunga durata della cinghia stessa.
- La cinghia flessibile significa una macchina estremamente compatta che elimina la necessità del locale macchina e riduce i costi di costruzione.
- Il sistema "Pulse" brevettato da Otis monitora costantemente lo stato dei trefoli d'acciaio all'interno della cinghia, 24 ore su 24, 7 giorni su 7.
- Un sistema di ritorno automatico al piano a batterie assicura la sicurezza ed il rapido recupero dei passeggeri in caso di mancanza di elettricità.
- Grazie al fatto che la macchina è appoggiata sulle guide, a loro volta fissate in corrispondenza di ogni soletta di piano, i carichi sono trasferiti in fossa, consentendo di ridurre l'interfaccia con l'edificio ed i suoi costi strutturali.
- Gen2 Comfort assicura un processo di installazione rapido, sicuro e controllato

Le caratteristiche di Otis Gen2 Comfort:

1) Una macchina dall'efficienza elevata

Una cinghia piatta flessibile significa una macchina più compatta.

La macchina gearless a bassa inerzia, con cuscinetti sigillati senza manutenzione, è equipaggiata con un motore sincrono a magneti permanenti di costruzione radiale, estremamente efficiente. Il risultato è una macchina:

- il 50% più efficiente rispetto alle macchine con riduttore convenzionale.
- il 10% più efficiente delle macchine gearless convenzionali con motori ad induzione asincroni.
- il 15% più efficiente delle altre macchine a magneti permanenti di costruzione assiale.

2) Una qualità nella corsa senza eguali

La sostituzione della fune convenzionale di acciaio con le cinghie piatte e lisce consente una corsa più dolce e silenziosa.

La combinazione della cinghia piatta in acciaio rivestita in poliuretano e della macchina gearless a magneti permanenti, insieme al drive che si avvale della tecnologia della variazione di frequenza a circuito chiuso con controllo vettoriale, consente movimenti dolci e silenziosi, con un livello eccezionale di precisione di allineamento ai piani (+/- 3 mm ad ogni sbarco).

L'elevata qualità di marcia è ottenuta attraverso la combinazione di diversi fattori: la sezione della cinghia perfettamente piatta, l'interazione della cinghia piatta con la puleggia liscia e arrotondata ed il modo stesso in cui la cinghia viene impiegata (in particolare, non è richiesta una torsione di 180°).

Questi fattori, combinati insieme, hanno permesso ad Otis di ottenere una corsa più silenziosa, di ridurre l'usura aumentando così di gran lunga la durata della cinghia piatta. Con l'opportuna predisposizione delle pareti del vano, la silenziosa macchina gearless montata su cuscinetti in gomma isolanti riduce ai minimi termini le vibrazioni trasmesse all'edificio e mantiene il livello medio di rumore nelle stanze adiacenti al di sotto dei 30 dBA, in conformità alle rigide normative stabilite dall'unione europea.

3) Assenza di lubrificazione e maggiore efficienza energetica.

Sia le cinghie piatte, sia la macchina gearless con cuscinetti sigillati, non richiedono alcun tipo di lubrificazione. La macchina gearless a magneti permanenti, caratterizzata dalla bassissima inerzia, è governata da un drive con frequenza variabile a circuito chiuso con controllo vettoriale; ciò si traduce in:

- Un sostanziale risparmio dovuto al minor consumo di energia se confrontata con le più ingombranti macchine convenzionali.
- Una riduzione della potenza installata, con conseguenti minori costi di gestione.
- Una corrente più bassa sia allo spunto sia a regime, riducendo così la portata delle linee di alimentazione e i costi di installazione.

Inoltre, il drive a variazione di frequenza con il dispositivo di stand-by riduce ulteriormente il consumo energetico.

4) Affidabilità totale

La cinghia di acciaio rivestita in poliuretano di lunga durata, la puleggia liscia ed arrotondata e la riduzione delle parti in movimento nella macchina gearless a magneti permanenti hanno enormemente ridotto l'usura ed incrementato la durata. Affidabilità e sicurezza sono ulteriormente rafforzate dal sistema elettronico, brevettato da Otis, "Pulse", che effettua in maniera continua il monitoraggio dello stato delle cinghie 24 ore su 24.

Diversamente dalle attuali ispezioni visive delle funi convenzionali, il sistema Otis "Pulse" rileva ed informa automaticamente i tecnici Otis sullo stato dei trefoli in acciaio annegati all'interno della cinghia, così da eliminare i tempi di arresto dell'impianto e rafforzare enormemente l'affidabilità del controllo.

Impianto convenzionale con riduttore



FUNI D'ACCIAIO CONVENZIONALI.

La rigidità delle funi convenzionali d'acciaio rende necessario un ampio raggio di curvatura.



MACCHINA CONVENZIONALE.

L'ampio raggio di curvatura delle funi d'acciaio richiede una macchina di grosse dimensioni con una puleggia che generalmente ha un diametro di 50-60 cm.



IMPIANTO CON LOCALE MACCHINA.

In un impianto convenzionale, la macchina ed il sistema di controllo richiedono un apposito locale macchina, generalmente posizionato sopra il vano di corsa. Tutti i carichi sono supportati dalla struttura dell'edificio.

Nuova concezione dell'ascensore: GeN2



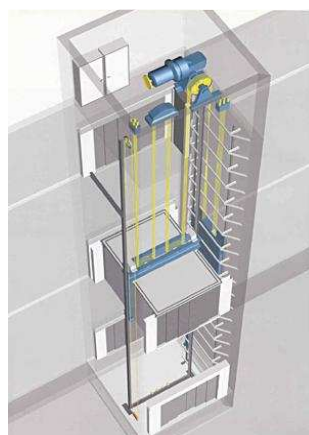
CINGHIE PIATTE FLESSIBILI RINFORZATE IN ACCIAIO.

La cinghia piatta in acciaio rivestita in poliuretano è il 20% più leggera e dura tre volte di più rispetto alle funi convenzionali. La sua flessibilità consente un raggio di curvatura estremamente ridotto.



LA MACCHINA COMPATTA GEARLESS (SENZA RIDUTTORE).

La puleggia di soli 8 cm di diametro ha permesso ad Otis di progettare una macchina del 70% più piccola rispetto alle macchine convenzionali.



SISTEMA SENZA LOCALE MACCHINA.

La macchina compatta gearless dell'impianto GeN2 non richiede un locale macchina e può essere facilmente posizionata sopra le guide della cabina e del contrappeso. Ciò consente di trasferire i carichi direttamente in fossa, così da ridurre i costi strutturali dell'edificio.

Bibliografia

- [1]**Al-Sharif, L., Peters R. and Smith, R:** "Elevator Energy Simulation Model", IAEE, Elevator Technology 14, April 2004.
- [2]Al-Sharif , L: "Lift and Escalator Energy Consumption", Section 13: CIBSE Guide D, Transportation Systems in Buildings (The Chartered Institution of Building Services Engineers)(2000) ISBN 1 903287 09 X
- [3]**Doolard D:** "A Energy Consumption of different types of lift drive system Elevator Technology Proceedings of ELEVCON 1992" (The International Association of Elevator Engineers) (1992)
- [4]**Schroeder J:** "The Energy Consumption of Elevators Elevator Technology 1", (Chichester: Ellis Horwood) (1986)
- [5]**Siikonen M :** "On Traffic Planning Methodology Elevator Technology 10, Proceedings of ELEVCON 2000" (The International Association of Elevator Engineers) (2000)
- [6]**J.Nipkow:** "Elektriztastverbrauch und Einspar-Potenziale bea Aufzugen". S.A.F.E.,2005, Zurich.
- [7]**G. Lees:** "A study of the actual power relative to the theoretical power consumption of a variable frequency drive hydraulic system and how it benefit the user", master dissertation, University College Northampton, April, 2005