

Scheda tecnica n. 33E - Rifasamento di motori elettrici di tipo distribuito presso la localizzazione delle utenze.

1. ELEMENTI PRINCIPALI

1.1 Descrizione dell'intervento

Categoria di intervento ¹ :	IND-E) Processi industriali: sistemi di azionamento efficienti (motori, inverter, ecc.), automazione e interventi di rifasamento
Vita Utile ² :	U = 5 anni
Vita Tecnica ² :	T = 15 anni
Settore di intervento:	Industriale
Tipo di utilizzo:	Rifasamento distribuito
Condizioni di applicabilità della procedura	
La presente scheda si applica a interventi di rifasamento distribuito su motori elettrici di potenza inferiore a 37 kW nel settore industriale. La scheda non è applicabile per rifasamento centralizzato (sulla stazione di trasformazione principale). L'intervento deve consentire il raggiungimento di un fattore di potenza almeno pari a 0,9.	

1.2 Calcolo del risparmio di energia primaria

Metodo di valutazione³	Valutazione standardizzata								
Unità fisica di riferimento (UFR)²	Motore elettrico sottoposto a rifasamento								
Risparmio Specifico Lordo (RSL) di energia primaria (tep/anno/motore) conseguibile per singola unità fisica di riferimento per diverse superfici di stabilimento e diverse tipologie di attività (turni).									
Si considerano quattro categorie di superficie "A" dello stabilimento:									
<table border="1"> <tr> <td>Caso A1</td> <td>$A < 1.000 \text{ m}^2$</td> </tr> <tr> <td>Caso A2</td> <td>$1.000 \text{ m}^2 \leq A < 10.000 \text{ m}^2$</td> </tr> <tr> <td>Caso A3</td> <td>$10.000 \text{ m}^2 \leq A < 100.000 \text{ m}^2$</td> </tr> <tr> <td>Caso A4</td> <td>$A > 100.000 \text{ m}^2$</td> </tr> </table>		Caso A1	$A < 1.000 \text{ m}^2$	Caso A2	$1.000 \text{ m}^2 \leq A < 10.000 \text{ m}^2$	Caso A3	$10.000 \text{ m}^2 \leq A < 100.000 \text{ m}^2$	Caso A4	$A > 100.000 \text{ m}^2$
Caso A1	$A < 1.000 \text{ m}^2$								
Caso A2	$1.000 \text{ m}^2 \leq A < 10.000 \text{ m}^2$								
Caso A3	$10.000 \text{ m}^2 \leq A < 100.000 \text{ m}^2$								
Caso A4	$A > 100.000 \text{ m}^2$								
La superficie "A" di riferimento dello stabilimento è misurata da planimetria catastale.									
La tipologia di attività viene così definita:									
<ul style="list-style-type: none"> - 1 turno: attività che si svolgono otto ore al giorno per cinque o sei giorni la settimana corrispondenti, considerate le fermate programmate, ad un numero di ore anno compreso tra 1760 e 2200. - 2 turni: attività che si svolgono in due turni giornalieri di otto ore ciascuno per cinque o sei giorni la settimana, corrispondenti ad un numero di ore anno compreso tra 3520 e 4400. - 3 turni: attività che si svolgono in tre turni giornalieri di otto ore ciascuno per sette giorni la settimana (non essendoci normalmente l'interruzione della domenica) corrispondenti ad un numero di ore anno pari a 7680. - Stagionale: attività che si svolgono per un periodo di tre mesi di lavoro continuato, per 24 ore di lavoro giornaliero, corrispondenti ad un numero di ore anno pari a 2160. 									
P = potenza attiva del motore rifasato (kW)									



Caso A1

Tipologia attività	RSL (tep/anno/motore)								
	P<4	4≤P<6	6≤P<8	8≤P<11	11≤P<14	14≤P<18	18≤P<22	22≤P<30	30≤P<37
1 turno	0,002	0,004	0,007	0,009	0,012	0,016	0,020	0,030	0,034
2 turni	0,004	0,008	0,015	0,017	0,020	0,035	0,040	0,060	0,068
3 turni	0,007	0,016	0,027	0,030	0,040	0,067	0,080	0,116	0,132
Stagionale	0,002	0,005	0,008	0,010	0,012	0,019	0,023	0,033	0,037

Caso A2

Tipologia attività	RSL (tep/anno/motore)								
	P<4	4≤P<6	6≤P<8	8≤P<11	11≤P<14	14≤P<18	18≤P<22	22≤P<30	30≤P<37
1 turno	0,006	0,013	0,023	0,021	0,032	0,053	0,065	0,094	0,108
2 turni	0,012	0,026	0,047	0,041	0,065	0,105	0,130	0,189	0,215
3 turni	0,023	0,051	0,080	0,090	0,125	0,195	0,235	0,366	0,418
Stagionale	0,006	0,014	0,025	0,023	0,035	0,055	0,070	0,103	0,118

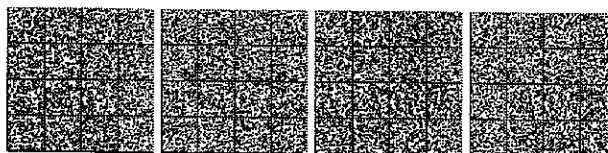
Caso A3

Tipologia attività	RSL (tep/anno/motore)								
	P<4	4≤P<6	6≤P<8	8≤P<11	11≤P<14	14≤P<18	18≤P<22	22≤P<30	30≤P<37
1 turno	0,013	0,029	0,052	0,046	0,072	0,112	0,124	0,211	0,241
2 turni	0,026	0,059	0,104	0,093	0,144	0,225	0,287	0,412	0,482
3 turni	0,051	0,114	0,182	0,215	0,280	0,420	0,580	0,818	0,934
Stagionale	0,014	0,032	0,055	0,061	0,079	0,133	0,135	0,230	0,263

Caso A4

Tipologia attività	RSL (tep/anno/motore)								
	P<4	4≤P<6	6≤P<8	8≤P<11	11≤P<14	14≤P<18	18≤P<22	22≤P<30	30≤P<37
1 turno	0,018	0,041	0,064	0,076	0,102	0,163	0,175	0,298	0,341
2 turni	0,037	0,083	0,127	0,155	0,204	0,346	0,350	0,596	0,681
3 turni	0,071	0,161	0,256	0,294	0,396	0,571	0,678	1,156	1,321
Stagionale	0,020	0,045	0,070	0,082	0,111	0,189	0,191	0,325	0,372

Coefficiente di addizionalità ²	$a = 100\%$
Coefficiente di durabilità ²	$\tau = 2,65$
Quote dei risparmi di energia primaria [tep/a] ² :	
Risparmio netto contestuale (RNc)	$RNc = a \cdot RSL \cdot N_{UFR}$
Risparmio netto anticipato (RNa)	$RNa = (\tau - 1) \cdot RNc$
Risparmio netto integrale (RNI)	$RNI = RNc + RNa = \tau \cdot RNc$
Tipi di Titoli di Efficienza Energetica riconosciuti all'intervento ⁴ Tipo I	

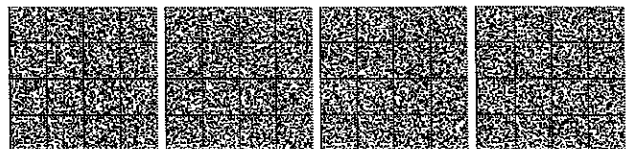


2. DOCUMENTAZIONE SUPPLEMENTARE DA CONSERVARE⁵

- Caratteristiche dei condensatori di rifasamento da inserire e documentazione comprovante l'acquisto.
- Planimetria con la disposizione dei condensatori di rifasamento.
- Nome, indirizzo e numero telefonico di ogni cliente partecipante.

Note

1. Tra quelle elencate nella Tabella 2 dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.
2. Di cui all'articolo 1, comma 1, dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.
3. Di cui all'articolo 3 dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.
4. Di cui all'articolo 17 dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.
5. Eventualmente in aggiunta a quella specificata all'articolo 14 dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11



Allegato alla scheda tecnica n. 33E: procedura per il calcolo del risparmio di energia primaria

Premessa

Con il termine rifasamento si intende l'immissione di potenza reattiva capacitiva in un certo punto di una rete elettrica, al fine di compensare la potenza reattiva induttiva richiesta e di aumentare il fattore di potenza della corrente erogata dall'alimentazione. I carichi induttivi, quali i motori elettrici e le lampade fluorescenti, determinano lo sfasamento della corrente rispetto alla tensione, con conseguenze quali:

- aumento della corrente circolante nei conduttori, che impone il loro sovradimensionamento e possibili problemi per surriscaldamento;
- cadute di tensione nella rete di distribuzione interna;
- riduzione della potenza attiva trasportabile lungo i cavi.

In sede di intervento per il rifasamento dei carichi può essere conveniente verificare la presenza di componenti armoniche della corrente al fine di intervenire in modo più organico e razionale. Gli effetti negativi dovuti al basso fattore di potenza si evitano anzitutto con l'inserimento di filtri e altri dispositivi, con un giusto dimensionamento dei componenti elettrici e con una corretta disposizione delle utenze.

Dal punto di vista tecnico, un impianto correttamente progettato può funzionare bene anche in presenza di un basso fattore di potenza; procedendo al rifasamento dei carichi si ottengono tuttavia una serie di interessanti vantaggi tecnici ed economici.

Finora l'attenzione si è concentrata sul rifasamento globale (legata alle penali che l'utilizzatore paga al distributore) che è dimensionato per il carico medio con una serie di condensatori in batteria che si inseriscono per evitare di finire in penale.

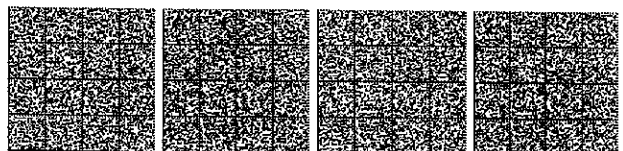
Qualora invece si abbiano distanze rilevanti e fattori di utilizzo elevati può diventare interessante il rifasamento direttamente sul carico che permette di ridurre le perdite nei cavi e permette anche di utilizzare gli stessi cavi per altri allacci, aumentando la potenza trasferibile sugli stessi cavi anche del 30%, e permettendo ampliamenti senza potenziare le linee.

La tecnologia

I principali mezzi per la produzione di potenza reattiva sono:

- condensatori: il condensatore immagazzina energia reattiva durante il ciclo di carica e la cede al circuito al quale è collegato durante la fase di scarica; su questo principio il condensatore viene impiegato base per la realizzazione di batterie di rifasamento e dei dispositivi statici di regolazione della potenza reattiva.
- alternatori sincroni, che forniscono potenza alle utenze finali attraverso i sistemi di trasmissione e di distribuzione. Intervenedo sull'eccitazione dell'alternatore si può regolare il valore della tensione generata e di conseguenza le iniezioni di potenza reattiva in rete; in questo modo si possono migliorare i profili di tensione del sistema e ridurre le perdite di potenza lungo le linee stesse.
- compensatori sincroni, ossia macchine elettriche che, ai fini del rifasamento, assorbono la potenza reattiva in eccesso o forniscono, a seconda dei casi, quella necessaria. Hanno rilevanti costi di installazione che ne giustifica l'utilizzo prevalentemente nella della rete di trasmissione per la regolazione della tensione e dei flussi di potenza reattiva. Sono talvolta sostituiti da sistemi basati sull'elettronica di potenza quali i TSC (thyristor switched capacitors) e i TCR (thyristor controlled reactors).

In base alle modalità di ubicazione dei condensatori i principali metodi di rifasamento sono:



- rifasamento per gruppi di utilizzatori;
- rifasamento centralizzato;
- rifasamento distribuito, ossia utilizzatore per utilizzatore.

La scelta del metodo da adottare va effettuata in relazione all'ubicazione e alle caratteristiche dei singoli utilizzatori e alla contemporaneità di funzionamento di più gruppi.

Dal punto di vista tecnico le caratteristiche di un impianto di rifasamento risulteranno migliori quanto maggiore sarà la suddivisione della potenza reattiva totale in singole batterie di potenza decentrate.

Il rifasamento singolo, oggetto della presente scheda, prevede l'installazione di un condensatore distinto per ogni utilizzatore da rifasare. La potenza reattiva necessaria viene in tal modo generata nello stesso punto di utilizzazione, senza interessare le linee di alimentazione interne all'edificio.

Nella scheda in oggetto si è fatto riferimento al rifasamento distribuito con impiego di condensatori.

Calcolo del risparmio di energia primaria conseguibile per singola unità fisica di riferimento

Per il calcolo del risparmio di energia primaria si è fatto riferimento alla scheda "Rifasamento delle linee elettriche del proponente", classificata con la sigla [IL] del testo "Domande di contributo in relazione alla legge 10/91" redatto da ENEA e pubblicato nel marzo 1993.

La formula per il calcolo del risparmio, con le adeguate correzioni rivolte al lavoro in oggetto, è:

$$R = \frac{17,8 \cdot L \cdot h \cdot \left[\left(\sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \cdot \frac{P}{\cos \varphi} \right)^2 - \left(\sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \cdot \frac{P}{\cos \varphi} - Q \right)^2 \right]}{S \cdot V^2} \cdot f_E$$

Dove:

$\cos \varphi$ = fattore di potenza attuale;

f_E = fattore di conversione pari a 0,187 tep/MWh, ai sensi della delibera EEN 3/08 dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas;

h = ore annue di funzionamento;

L = lunghezza del cavo in km;

Q = potenza dei condensatori inseriti in kVAR;

R = risparmio conseguibile in tep;

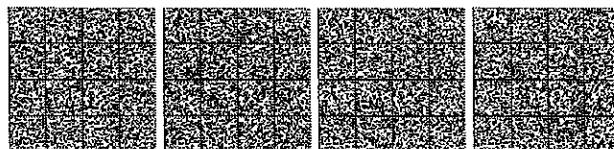
S = sezione del cavo misurata in mm²;

V = tensione pari a 400V;

I risparmi sono calcolati in funzione delle variabili L , h , P e S .

- La lunghezza L è stabilita a partire dalla superficie dello stabilimento. La superficie è stata legata alla lunghezza L nella seguente maniera: si è convenzionalmente assunta una superficie di un quadrato equivalente a quella dello stabilimento, di diagonale D . La lunghezza L è determinata come valore della semidiagonale: $L = D/2$.

	Stabilimento	
	lato superficie	L (lunghezza conduttore)
	lunghezza in m	lunghezza in km
S=1.000 m ²	31,6	0,02
S=10.000 m ²	100,0	0,07
S=50.000 m ²	223,6	0,16
S=100.000 m ²	316,2	0,22



Sono state proposte quattro categorie di superficie, e per ciascuna sono stati calcolati i risparmi. L'utilizzatore sceglie la superficie in base ai dati delle planimetrie catastali; ad ognuno dei quattro casi (A1-A2-A3-A4) è associata una tabella con i risparmi in fonti primarie.

Caso A1	$A < 1.000 \text{ m}^2$
Caso A2	$1.000 \text{ m}^2 \leq A < 10.000 \text{ m}^2$
Caso A3	$10.000 \text{ m}^2 \leq A < 100.000 \text{ m}^2$
Caso A4	$A > 100.000 \text{ m}^2$

– Le ore h sono stabilite sulla base dei turni di lavoro. Il riferimento è la scheda tecnica 11* "Installazione di motori a più alta efficienza". L'utilizzatore della scheda verifica in quale delle condizioni lavora il motore sottoposto a rifasamento:

- 1 turno: attività che si svolgono otto ore al giorno per cinque o sei giorni la settimana corrispondenti, considerate le fermate programmate, ad un numero di ore anno compreso tra 1760 e 2200.
- 2 turni: attività che si svolgono in due turni giornalieri di otto ore ciascuno per cinque o sei giorni la settimana, corrispondenti ad un numero di ore anno compreso tra 3520 e 4400.
- 3 turni: attività che si svolgono in tre turni giornalieri di otto ore ciascuno per sette giorni la settimana (non essendoci normalmente l'interruzione della domenica) corrispondenti ad un numero di ore anno pari a 7680.
- Stagionale: attività che si svolgono per un periodo di tre mesi di lavoro continuato, per 24 ore di lavoro giornaliera, corrispondenti ad un numero di ore anno pari a 2160.

Ai fini del calcolo dei risparmi, per il caso di 1 turno e 2 turni di lavoro, è stato assunto un numero di ore pari alla media degli estremi dell'intervallo considerato. Nel caso di 3 turni e nel caso di lavoro Stagionale le ore assunte nel calcolo sono rispettivamente 7680 e 2160.

– La potenza P è data sotto forma di intervallo. Gli intervalli di potenza Q sono determinati di conseguenza, prendendo come riferimento la tabella 6.5.3.1 del testo Olivieri-Ravelli "Fondamenti di Elettrotecnica", e procedendo a estrapolazioni laddove opportuno.

È da considerare che il rifasamento sul carico non prevede batterie di condensatori ad inserimento progressivo, per cui a carico ridotto si avrebbe una potenza reattiva in anticipo, cosa senz'altro da evitare.

Potenza nominale del motore P (kW)	4	6	8	11	14	18	22	30	40
Potenza nominale del condensatore (kvar)	2	3	4	5	6	8	10	12	13

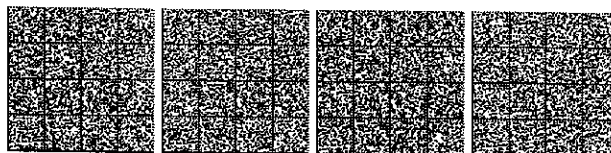
– Riguardo alla sezione S sono state seguite regole di base di dimensionamento. In particolare si è fatto riferimento alle curve che mettono in relazione la densità di corrente in funzione della sezione del conduttore, per dei cavi isolati in gomma (vedi figura seguente, fonte: G. Petrecca "Industrial Energy Management").

Sono state considerate quattro categorie di potenza:

$$P < 10 \text{ kW}, 10 < P < 20 \text{ kW}, 20 < P < 30 \text{ kW}, P > 30 \text{ kW}.$$

A ciascuna categoria sono stati associati dei valori di sezione cautelativi, calcolati come segue:

1) per ogni intervallo sono stati considerati, rispettivamente, i seguenti valori di potenza per definire le sezioni: 4 kW, 8 kW, 14 kW, 40 kW. I risultati ottenuti per queste potenze rappresentano i valori da associare all'intero intervallo.



- 2) per ciascuna potenza è stato calcolato il valore di corrente, data la tensione di riferimento di 400 V.
- 3) Partendo dalla curva "d" della figura seguente, che lega la densità di corrente alla sezione del conduttore (A/mm^2-mm^2), è stata prodotta una curva densità di corrente - corrente (A/mm^2-A), discretizzando l'intervallo delle sezioni per definiti valori.
- 4) Sono state confrontate le intensità di corrente calcolate al punto 2) con i nuovi valori della curva del punto 3) e, con ipotesi cautelative, scelte le sezioni sulla stessa curva 3).

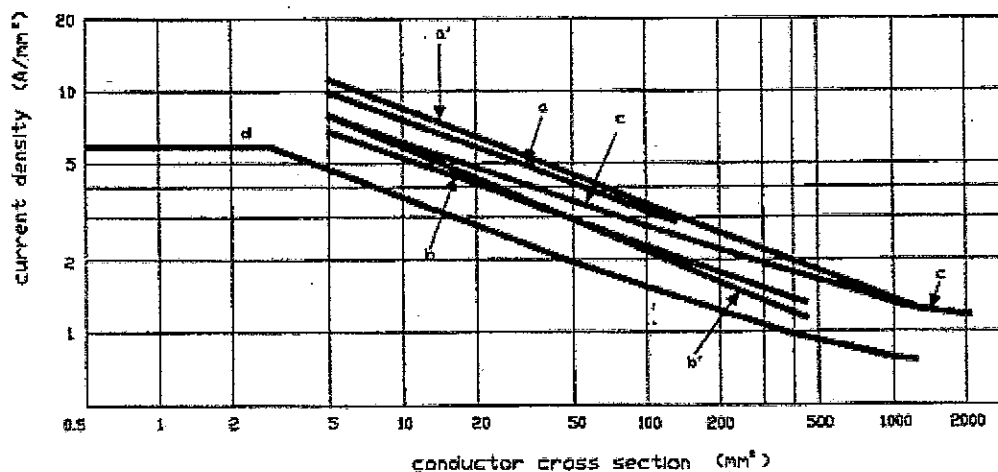


Fig. 7.2 Current density of different copper cables: (a) single-core paper insulated in air; (a') single-core paper insulated underground; (b) three-core paper insulated in air; (b') three-core paper insulated underground; (c) non-insulated conductor in air; (d) single-core rubber insulated cables

