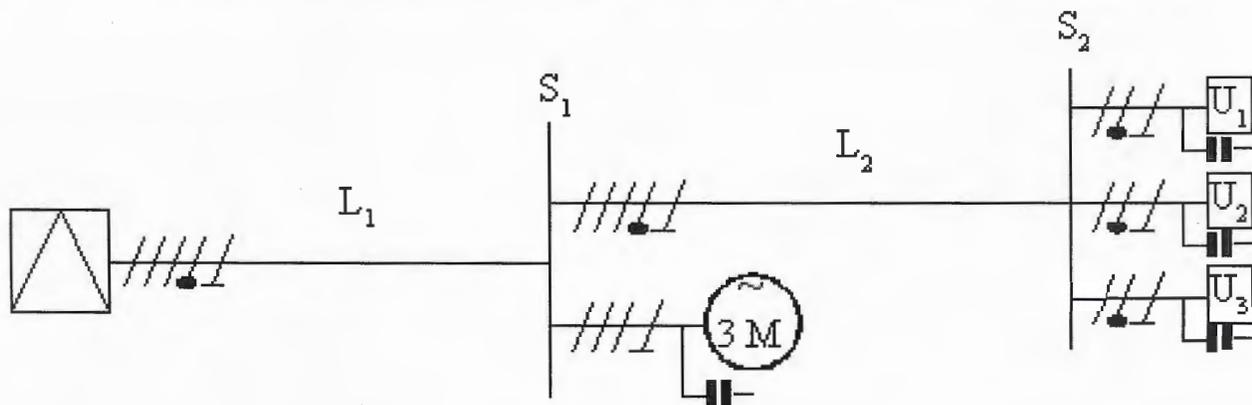


# RIFASAMENTO DELL'IMPIANTO E VERIFICA DELLA C.D.T.



## DATI DI PROGETTO

[ 1 kW = 1,36 CV = 1,34 hp ]

**Impianto** (dimensionato al limite per scopi didattici)

### **Consegna in BT**

$$U_n := 400 \cdot V \quad \cos\phi_r := 0.92 \quad f := 50 \cdot \text{Hz} \quad \phi_r := \arccos(\cos\phi_r) \quad \phi_r = 0.403 \text{ rad} \quad \omega := 2 \cdot \pi \cdot f$$

### **Linea 1 - Cavi unipolari in tubo interrato in EPR (3F+N+PE)**

$$S_1 := 25 \cdot \text{mm}^2 \quad I_z := 100 \cdot \text{A} \quad r_{11} := 0.889 \cdot \Omega \cdot \text{km}^{-1} \quad x_{11} := 0.106 \cdot \Omega \cdot \text{km}^{-1} \quad L_1 := 30 \cdot \text{m}$$

### **Linea 2 - Cavi unipolari in tubo interrato in EPR (3F+N+PE)**

$$S_2 := 10 \cdot \text{mm}^2 \quad I_z := 59 \cdot \text{A} \quad r_{12} := 2.24 \cdot \Omega \cdot \text{km}^{-1} \quad x_{12} := 0.119 \cdot \Omega \cdot \text{km}^{-1} \quad L_2 := 20 \cdot \text{m}$$

## Carichi alimentati dal sistema sbarre 1

### **Motore asincrono trifase (numero identificativo # 4)**

$$U_{n4} := 400 \cdot V \quad P_{n4} := 30 \cdot \text{kW} \quad \cos\phi_{n4} := 0.83 \quad \eta_4 := 0.917 \quad \text{CV} := 40$$

## Carichi alimentati dal sistema sbarre 2

### **Gruppo carichi monofase (Luce+F.M.) derivati tra F1-N (numero identificativo # 1)**

$$U_{n1} := 230 \cdot V \quad P_{n1} := 10 \cdot \text{kW} \quad \cos\phi_{n1} := 0.85$$

### **Gruppo carichi monofase (Luce+F.M.) derivati tra F2-N (numero identificativo # 2)**

$$U_{n2} := 230 \cdot V \quad P_{n2} := 10 \cdot \text{kW} \quad \cos\phi_{n2} := 0.85$$

### **Gruppo carichi monofase (Luce+F.M.) derivati tra F3-N (numero identificativo # 3)**

$$U_{n3} := 230 \cdot V \quad P_{n3} := 10 \cdot \text{kW} \quad \cos\phi_{n3} := 0.85$$

## CIRCUITO ELETTRICO EQUIVALENTE

**Motore asincrono trifase** (numero identificativo # 4)

Potenza attiva assorbita  $P_4 := \frac{P_{n4}}{\eta_4}$   $P_4 = 32.715 \text{ kW}$

$\phi_{n4} := \arccos(\cos\phi_{n4})$   $\phi_{n4} = 0.592 \text{ rad}$

Potenza reattiva assorbita  $Q_4 := P_4 \cdot \tan(\phi_{n4})$   $Q_4 = 21.985 \text{ kVAR}$

Corrente che il motore assorbe dalle sbarre 1 (corr. di linea)  $I_{n4} := \frac{P_4}{\sqrt{3} \cdot U_{n4} \cdot \cos\phi_{n4}}$   $I_{n4} = 56.892 \text{ A}$

Resistenza equivalente del motore con gli avvolgimenti collegati ad Y  $R_{4Y} := \frac{\frac{P_4}{3}}{I_{n4}^2}$   $R_{4Y} = 3.369 \Omega$

Modulo dell'impedenza equivalente del motore con gli avvolgimenti collegati ad Y  $Z_{4Y} := \frac{U_{n4}}{\sqrt{3} \cdot I_{n4}}$   $Z_{4Y} = 4.059 \Omega$

Reattanza equivalente del motore con gli avvolgimenti collegati ad Y  $X_{4Y} := \sqrt{Z_{4Y}^2 - R_{4Y}^2}$   $X_{4Y} = 2.264 \Omega$

... oppure  $X_{4Y} := \frac{Q_4}{I_{n4}^2}$   $X_{4Y} = 2.264 \Omega$

Corrente assorbita da ogni avvolgimento del motore (corr. di fase) si osservi che  $I_{n4} = \sqrt{3} \cdot J_{n4}$   $J_{n4} := \frac{\frac{P_4}{3}}{U_{n4} \cdot \cos\phi_{n4}}$   $J_{n4} = 32.847 \text{ A}$

Resistenza equivalente del motore con gli avvolgimenti collegati ad Y  $R_{4\Delta} := \frac{\frac{P_4}{3}}{J_{n4}^2}$   $R_{4\Delta} = 10.108 \Omega$

Modulo dell'impedenza equivalente del motore con gli avvolgimenti collegati ad Y  $Z_{4\Delta} := \frac{U_{n4}}{J_{n4}}$   $Z_{4\Delta} = 12.178 \Omega$

Reattanza equivalente del motore con gli avvolgimenti collegati ad Y  $X_{4\Delta} := \sqrt{Z_{4\Delta}^2 - R_{4\Delta}^2}$   $X_{4\Delta} = 6.792 \Omega$

... oppure  $X_{4\Delta} := \frac{Q_4}{J_{n4}^2}$   $X_{4\Delta} = 6.792 \Omega$

Verifica delle impedenze equivalenti del motore  $Z_{4Y} := R_{4Y} + j \cdot X_{4Y}$   $Z_{4Y} = 3.369 + 2.264i \Omega$

$Z_{4\Delta} := R_{4\Delta} + j \cdot X_{4\Delta}$   $Z_{4\Delta} = 10.108 + 6.792i \Omega$

$Z_{4Y} := \frac{Z_{4\Delta}}{3}$   $Z_{4Y} = 3.369 + 2.264i \Omega$

**Gruppo carichi monofase (Luce+F.M.) derivati tra F1-N (numero identificativo # 1)**

Potenza reattiva assorbita  $\phi_{n1} := \arccos(\cos\phi_{n1})$   $\phi_{n1} = 0.555 \text{ rad}$

$Q_{n1} := P_{n1} \cdot \tan(\phi_{n1})$   $Q_{n1} = 6.197 \text{ kVAR}$

Corrente che il gruppo 1 assorbe dalle sbarre 2 (corr. di linea)  $I_{n1} := \frac{P_{n1}}{U_{n1} \cdot \cos\phi_{n1}}$   $I_{n1} = 51.151 \text{ A}$

Resistenza equivalente del gruppo 1  $R_{10} := \frac{P_{n1}}{I_{n1}^2}$   $R_{10} = 3.822 \Omega$

Modulo dell'impedenza equivalente del gruppo 1  $Z_{10} := \frac{U_{n1}}{I_{n1}}$   $Z_{10} = 4.497 \Omega$

Reattanza equivalente del gruppo 1  $X_{10} := \sqrt{Z_{10}^2 - R_{10}^2}$   $X_{10} = 2.369 \Omega$

... oppure  $X_{10} := \frac{Q_{n1}}{I_{n1}^2}$   $X_{10} = 2.369 \Omega$

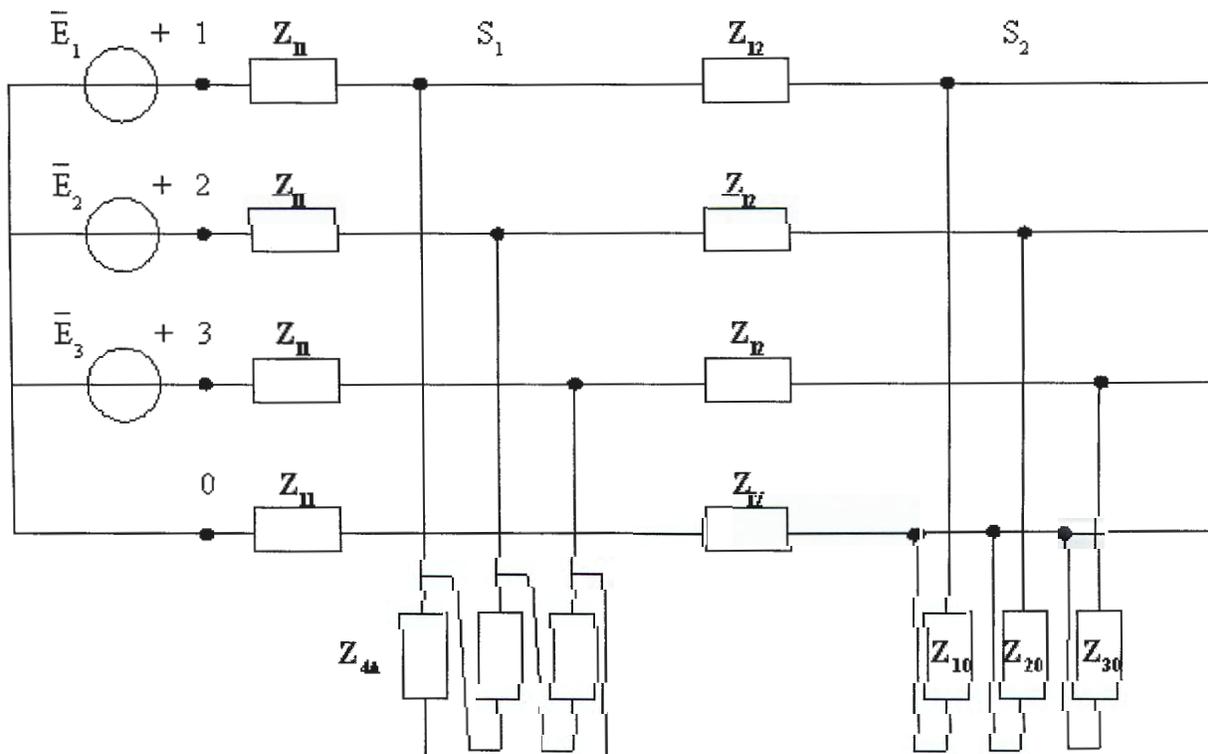
$Z_{10} := R_{10} + j \cdot X_{10}$   $Z_{10} = 3.822 + 2.369i \Omega$

**Gruppo carichi monofase (Luce+F.M.) derivati tra F2-N e tra F3-N (numeri identificativo # 2 e # 3)**

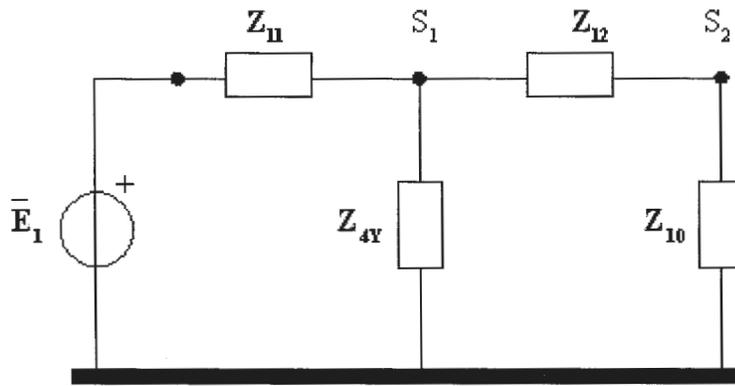
Essendo uguali al precedente gruppo # 1 si ha:

$\phi_{n2} := \phi_{n1}$   $Q_{n2} := Q_{n1}$   $I_{n2} := I_{n1}$   $R_{20} := R_{10}$   $Z_{20} := Z_{10}$   $X_{20} := X_{10}$   $Z_{20} := R_{20} + j \cdot X_{20}$

$\phi_{n3} := \phi_{n1}$   $Q_{n3} := Q_{n1}$   $I_{n3} := I_{n1}$   $R_{30} := R_{10}$   $Z_{30} := Z_{10}$   $X_{30} := X_{10}$   $Z_{30} := R_{30} + j \cdot X_{30}$



**Circuito trifase equivalente**



**Circuito monofase equivalente**

Ipotizzando una tensione applicata in partenza pari alla  $U_n = 400$  V posso ora studiare la rete elettrica facendo riferimento, per semplicità, al monofase equivalente.

Sistema trifase simmetrico diretto delle tensioni di fase	$\mathbf{E}_1 := j \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}}$	$\mathbf{E}_1 = 230.94i \text{ V}$
	$\mathbf{E}_2 := \mathbf{E}_1 \cdot e^{-j \cdot \frac{2}{3} \cdot \pi}$	$\mathbf{E}_2 = 200 - 115.47i \text{ V}$
	$\mathbf{E}_3 := \mathbf{E}_2 \cdot e^{-j \cdot \frac{2}{3} \cdot \pi}$	$\mathbf{E}_3 = -200 - 115.47i \text{ V}$
Impedenza della linea 1	$\mathbf{Z}_{11} := L_1 \cdot (r_{11} + j \cdot x_{11})$	$\mathbf{Z}_{11} = 0.027 + 3.18i \times 10^{-3} \Omega$
Impedenza della linea 2	$\mathbf{Z}_{12} := L_2 \cdot (r_{12} + j \cdot x_{12})$	$\mathbf{Z}_{12} = 0.045 + 2.38i \times 10^{-3} \Omega$
Impedenza equivalente vista dal generatore	$\mathbf{Z}_{eq} := \mathbf{Z}_{11} + \left( \frac{1}{\mathbf{Z}_{4Y}} + \frac{1}{\mathbf{Z}_{10} + \mathbf{Z}_{12}} \right)^{-1}$	$\mathbf{Z}_{eq} = 1.828 + 1.163i \Omega$
Corrente di linea (tratto 1)	$\mathbf{I}_{111} := \frac{\mathbf{E}_1}{\mathbf{Z}_{eq}}$	$\mathbf{I}_{111} = 57.208 + 89.925i \text{ A}$
Tensione di fase alla sbarra 1	$\mathbf{E}_{1s1} := \mathbf{E}_1 - \mathbf{Z}_{11} \cdot \mathbf{I}_{111}$	$\mathbf{E}_{1s1} = -1.24 + 228.36i \text{ V}$
Corrente di linea (tratto 2)	$\mathbf{I}_{112} := \frac{\mathbf{E}_{1s1}}{\mathbf{Z}_{10} + \mathbf{Z}_{12}}$	$\mathbf{I}_{112} = 26.084 + 43.062i \text{ A}$
Tensione di fase alla sbarra 2	$\mathbf{E}_{1s2} := \mathbf{E}_{1s1} - \mathbf{Z}_{12} \cdot \mathbf{I}_{112}$	$\mathbf{E}_{1s2} = -2.306 + 226.369i \text{ V}$
Modulo ed argomento delle tensioni di fase e delle correnti	$\mathbf{E}_{1s1} = -1.24 + 228.36i \text{ V} \quad  \mathbf{E}_{1s1}  = 228.363 \text{ V} \quad \arg(\mathbf{E}_{1s1}) = 90.311 \text{ deg}$	
	$\mathbf{E}_{1s2} = -2.306 + 226.369i \text{ V} \quad  \mathbf{E}_{1s2}  = 226.38 \text{ V} \quad \arg(\mathbf{E}_{1s2}) = 90.584 \text{ deg}$	
	$\mathbf{I}_{111} = 57.208 + 89.925i \text{ A} \quad  \mathbf{I}_{111}  = 106.58 \text{ A} \quad \arg(\mathbf{I}_{111}) = 57.536 \text{ deg}$	
	$\mathbf{I}_{112} = 26.084 + 43.062i \text{ A} \quad  \mathbf{I}_{112}  = 50.346 \text{ A} \quad \arg(\mathbf{I}_{112}) = 58.795 \text{ deg}$	
Potenza persa nelle due linee	$\mathbf{P}_{al1} := 3 \cdot \left[ \mathbf{Z}_{11} \cdot ( \mathbf{I}_{111} )^2 \right]$	$\mathbf{P}_{al1} = 0.909 + 0.108i \text{ kVA}$
	$\mathbf{P}_{al2} := 3 \cdot \left[ \mathbf{Z}_{12} \cdot ( \mathbf{I}_{112} )^2 \right]$	$\mathbf{P}_{al2} = 0.341 + 0.018i \text{ kVA}$

$$\text{Potenza persa in percentuale e rendimento dell'impianto} \quad \frac{\text{Re}(\mathbf{P}_{al1} + \mathbf{P}_{al2})}{3 \cdot \text{Re}(\mathbf{E}_1 \cdot \overline{\mathbf{I}_{111}})} \cdot 100 = 2.006 \quad 1 - \frac{\text{Re}(\mathbf{P}_{al1} + \mathbf{P}_{al2})}{3 \cdot \text{Re}(\mathbf{E}_1 \cdot \overline{\mathbf{I}_{111}})} = 0.98$$

$$\text{Cadute di tensioni nelle linee in valore assoluto e percentuale} \quad \Delta E_{11} := |\mathbf{E}_1| - |\mathbf{E}_{1s1}| \quad \Delta E_{11} = 2.577 \text{ V}$$

$$\Delta E_{12} := |\mathbf{E}_{1s1}| - |\mathbf{E}_{1s2}| \quad \Delta E_{12} = 1.983 \text{ V}$$

$$\Delta E := |\mathbf{E}_1| - |\mathbf{E}_{1s2}| \quad \Delta E = 4.56 \text{ V}$$

$$\Delta E_{\%} := \frac{\Delta E}{|\mathbf{E}_1|} \cdot 100 \quad \Delta E_{\%} = 1.974$$

$$\text{C.d.t. massima in valore assoluto} \quad \Delta U := \sqrt{3} \cdot \Delta E \quad \Delta U = 7.898 \text{ V}$$

$$\text{e in percentuale} \quad \Delta U_{\%} := \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta E}{U_n} \cdot 100 \quad \Delta U_{\%} = 1.974$$

### Rifasamento del carico:

- 1) Centralizzato alla partenza dell'impianto
- 2) Distribuito su ogni carico (monofase e/o trifase)
- 3) Per gruppi di carichi (e.g., alle sbarre)
- 4) Misto (i.e., centralizzato, per gruppi e distribuito)

#### 1) Centralizzato alla partenza dell'impianto

*Questa scelta soddisfa il vincolo imposto dalla società elettrofornitrice ma consente di beneficiare dei vantaggi del rifasamento (diminuzione sia delle perdite nelle linee - con il conseguente aumento del rendimento dell'impianto - che della c.d.t.). Occorre determinare la potenza attiva e reattiva assorbite dall'impianto (in generale dai carichi e dalle linee) e quindi il f.d.p. complessivo. E' la scelta peggiore da un punto di vista funzionale ma è anche la più economica e facile da realizzare.*

$$\text{Potenza totale assorbita dai carichi} \quad \mathbf{P}_{tot} := (P_4 + 3 \cdot P_{n1}) + j \cdot (Q_4 + 3 \cdot Q_{n1}) \quad \mathbf{P}_{tot} = 62.715 + 40.577i \text{ kVA}$$

$$P_{tot} := \text{Re}(\mathbf{P}_{tot}) \quad Q_{tot} := \text{Im}(\mathbf{P}_{tot}) \quad \phi_{tot} := \text{atan}\left(\frac{Q_{tot}}{P_{tot}}\right)$$

$$\cos\phi_{tot} := \cos(\phi_{tot}) \quad \cos\phi_{tot} = 0.84$$

$$\text{Potenza reattiva richiesta per il rifasamento} \quad Q_c := P_{tot} \cdot (\tan(\phi_r) - \tan(\phi_{tot})) \quad Q_c = -13.861 \text{ kVAR}$$

$$\text{Capacità del banco di condensatori di rifasamento collegate a stella} \quad C_Y := \frac{Q_c}{3 \cdot \omega \cdot (|\mathbf{E}_1|)^2} \quad C_Y = 275.747 \mu\text{F}$$

$$\text{Capacità del banco di condensatori di rifasamento collegate a triangolo} \quad C_{\Delta} := \frac{Q_c}{3 \cdot \omega \cdot U_n^2} \quad C_{\Delta} = 91.916 \mu\text{F}$$

$$\text{Passaggio da } \Delta \leftrightarrow Y \quad C_{\Delta} := \frac{C_Y}{3} \quad C_{\Delta} = 91.916 \mu\text{F}$$

$$Z_{C\Delta} = 3 \cdot Z_{CY} \quad \frac{1}{\omega \cdot C_{\Delta}} = 3 \cdot \frac{1}{\omega \cdot C_Y} \quad C_{\Delta} = \frac{C_Y}{3}$$

Potenza reattiva del banco di rifasamento commerciale	Banco trifase di rifasamento (da catalogo)	$Q_{ce} := -(15 \cdot \text{kVAR})$
Capacità effettiva dei condensatori del banco	$C_{\Delta re} := -\frac{Q_{ce}}{3 \cdot \omega \cdot U_n^2}$	$C_{\Delta re} = 99.472 \mu\text{F}$
Potenza reattiva richiesta alla rete	$Q_{re} := Q_{tot} + Q_{ce}$	$Q_{re} = 25.577 \text{kVAR}$
f.d.p. effettivo	$\cos\phi_{re} := \cos\left(\text{atan}\left(\frac{Q_{re}}{P_{tot}}\right)\right)$	$\cos\phi_{re} = 0.926$

## 2) Distribuito su ogni carico (monofase e/o trifase)

*Questa scelta soddisfa il vincolo imposto dalla società elettrofornitrice e consente di beneficiare dei vantaggi del rifasamento (diminuzione sia delle perdite nelle linee - con il conseguente aumento del rendimento dell'impianto - che della c.d.t.). Occorre conoscere la potenza attiva ed il f.d.p. di ciascun carico da rifasare. E' la scelta ottimale anche se economicamente più onerosa.*

<u>Motore trifase</u> : potenza reattiva richiesta per il rifasamento	$Q_{4c} := P_4 \cdot (\tan(\phi_r) - \tan(\phi_{n4}))$	$Q_{4c} = -8.048 \text{kVAR}$
Capacità del banco di condensatori di rifasamento collegate a triangolo	$C_{4\Delta} := -\frac{Q_{4c}}{3 \cdot \omega \cdot U_n^2}$	$C_{4\Delta} = 53.371 \mu\text{F}$
Potenza reattiva del banco di rifasamento commerciale	Banco trifase di rifasamento (da catalogo)	$Q_{4ce} := -(10 \cdot \text{kVAR})$
Capacità effettiva dei condensatori del banco	$C_{4\Delta re} := -\frac{Q_{4ce}}{3 \cdot \omega \cdot U_n^2}$	$C_{4\Delta re} = 66.315 \mu\text{F}$
Potenza reattiva richiesta alla rete	$Q_{4re} := Q_4 + Q_{ce}$	$Q_{4re} = 6.985 \text{kVAR}$
f.d.p. effettivo	$\cos\phi_{4re} := \cos\left(\text{atan}\left(\frac{Q_{4re}}{P_4}\right)\right)$	$\cos\phi_{4re} = 0.978$

<u>Gruppo di carichi # 1</u> : potenza reattiva richiesta per il rifasamento	$Q_{1c} := P_{n1} \cdot (\tan(\phi_r) - \tan(\phi_{n1}))$	$Q_{1c} = -1.937 \text{kVAR}$
Capacità del condensatore di rifasamento da collegare in parallelo	$C_{1Y} := -\frac{Q_{1c}}{\omega \cdot \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2}$	$C_{1Y} = 115.634 \mu\text{F}$

Potenza reattiva del condensatore di rifasamento commerciale Banco trifase di rifasamento (da catalogo)  $Q_{1ce} := -(2 \cdot \text{kVAR})$

Capacità effettiva del condensatore di rifasamento  $C_{1Yre} := \frac{Q_{1ce}}{\omega \cdot \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2}$   $C_{1Yre} = 119.366 \mu\text{F}$

Potenza reattiva richiesta alla rete  $Q_{1re} := Q_{n1} + Q_{1ce}$   $Q_{1re} = 4.197 \text{kVAR}$

f.d.p. effettivo  $\cos\phi_{1re} := \cos\left(\text{atan}\left(\frac{Q_{1re}}{P_{n1}}\right)\right)$   $\cos\phi_{1re} = 0.922$

Gruppo di carichi # 2:  
come gruppo # 1  $C_{2Yre} := C_{1Yre}$   $C_{2Yre} = 119.366 \mu\text{F}$   
 $Q_{2re} := Q_{1re}$   $Q_{2re} = 4.197 \text{kVAR}$   
 $\cos\phi_{2re} := \cos\phi_{1re}$   $\cos\phi_{2re} = 0.922$

Gruppo di carichi # 3:  
come gruppo #1  $C_{3Yre} := C_{1Yre}$   $C_{3Yre} = 119.366 \mu\text{F}$   
 $Q_{3re} := Q_{1re}$   $Q_{3re} = 4.197 \text{kVAR}$   
 $\cos\phi_{3re} := \cos\phi_{1re}$   $\cos\phi_{3re} = 0.922$

3) Per gruppi di carichi (e.g., alle sbarre)

4) Misto (i.e., centralizzato, per gruppi e distribuito)

*Sono scelte intermedie alle due precedentemente discusse che presentano, da un punto di vista tecnico-economico, vantaggi e svantaggi da valutare caso per caso in relazione alla reale situazione impiantistica. Per il calcolo si procede come illustrato nei due casi precedenti.*

### Verifica della c.d.t.:

- 1) Mediante il circuito elettrico equivalente
- 2) Mediante la formula approssimata

1) Mediante il circuito elettrico equivalente

*Questo metodo di stima della massima c.d.t. nell'impianto, che è qui proposto unicamente per scopi didattici, non è in genere impiegato nei calcoli di progettazione e/o verifica, anche se è alla base delle formule di pratico impiego. Si osservi che il rifasamento concentrato non ha effetto né sulle perdite né sulle c.d.t. delle linee, pertanto si farà riferimento ai risultati conseguiti con il rifasamento distribuito. Con riferimento al circuito monofase equivalente si ha*

Impedenza equivalente del carico monofase in parallelo con il condensatore di rifasamento  $Z_{10c} := \left[ \frac{1}{Z_{10}} + \frac{1}{j \cdot \left(\frac{1}{\omega \cdot C_{1Yre}}\right)} \right]^{-1}$   $Z_{10c} = 4.492 + 1.893i \Omega$

$C_{4Yre} := 3 \cdot C_{4\Delta re}$   $C_{4Yre} = 198.944 \mu\text{F}$

Impedenza del motore ad Y in parallelo con il condensatore di rifasamento  $Z_{4Yc} := \left[ \frac{1}{Z_{4Y}} + \frac{1}{j \cdot \left(\frac{1}{\omega \cdot C_{4Yre}}\right)} \right]^{-1}$   $Z_{4Yc} = 4.312 + 1.58i \Omega$

Impedenza equivalente vista dal generatore	$Z_{eq} := Z_{11} + \left( \frac{1}{Z_{4Yc}} + \frac{1}{Z_{10c} + Z_{12}} \right)^{-1}$	$Z_{eq} = 2.239 + 0.868i \Omega$
Corrente di linea (tratto 1)	$I_{111} := \frac{E_1}{Z_{eq}}$	$I_{111} = 34.767 + 89.675i \text{ A}$
Tensione di fase alla sbarra 1	$E_{1s1} := E_1 - Z_{11} \cdot I_{111}$	$E_{1s1} = -0.642 + 228.438i \text{ V}$
Corrente di linea (tratto 2)	$I_{112} := \frac{E_{1s1}}{Z_{10} + Z_{12}}$	$I_{112} = 26.205 + 43.008i \text{ A}$
Tensione di fase alla sbarra 2	$E_{1s2} := E_{1s1} - Z_{12} \cdot I_{112}$	$E_{1s2} = -1.714 + 226.449i \text{ V}$
Modulo ed argomento delle tensioni di fase e delle correnti	$E_{1s1} = -0.642 + 228.438i \text{ V}$	$ E_{1s1}  = 228.439 \text{ V}$ $\arg(E_{1s1}) = 90.161 \text{ deg}$
	$E_{1s2} = -1.714 + 226.449i \text{ V}$	$ E_{1s2}  = 226.455 \text{ V}$ $\arg(E_{1s2}) = 90.434 \text{ deg}$
	$I_{111} = 34.767 + 89.675i \text{ A}$	$ I_{111}  = 96.179 \text{ A}$ $\arg(I_{111}) = 68.809 \text{ deg}$
	$I_{112} = 26.205 + 43.008i \text{ A}$	$ I_{112}  = 50.363 \text{ A}$ $\arg(I_{112}) = 58.645 \text{ deg}$
Potenza persa nelle due linee	$P_{al1} := 3 \cdot [Z_{11} \cdot ( I_{111} )^2]$	$P_{al1} = 0.74 + 0.088i \text{ kVA}$
	$P_{al2} := 3 \cdot [Z_{12} \cdot ( I_{112} )^2]$	$P_{al2} = 0.341 + 0.018i \text{ kVA}$
Potenza persa in percentuale e rendimento dell'impianto	$\frac{\text{Re}(P_{al1} + P_{al2})}{3 \cdot \text{Re}(E_1 \cdot I_{111})} \cdot 100 = 1.74$	$1 - \frac{\text{Re}(P_{al1} + P_{al2})}{3 \cdot \text{Re}(E_1 \cdot I_{111})} = 0.983$
Cadute di tensioni nelle linee in valore assoluto e percentuale	$\Delta E_{11} :=  E_1  -  E_{1s1} $	$\Delta E_{11} = 2.501 \text{ V}$
	$\Delta E_{12} :=  E_{1s1}  -  E_{1s2} $	$\Delta E_{12} = 1.984 \text{ V}$
	$\Delta E :=  E_1  -  E_{1s2} $	$\Delta E = 4.485 \text{ V}$
	$\Delta E_{\%} := \frac{\Delta E}{ E_1 } \cdot 100$	$\Delta E_{\%} = 1.942$
C.d.t. massima in valore assoluto e in percentuale	$\Delta U := \sqrt{3} \cdot \Delta E$	$\Delta U = 7.768 \text{ V}$
	$\Delta U_{\%} := \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta E}{U_n} \cdot 100$	$\Delta U_{\%} = 1.942$

### 1) Mediante la formula approssimata

Potenza totale assorbita alla sbarra 2	$P_{s2} := P_{n1} + P_{n3} + P_{n3}$	$P_{s2} = 30 \text{ kW}$
	$Q_{s2} := (Q_{n1} + Q_{1ce}) + (Q_{n2} + Q_{1ce}) + (Q_{n3} + Q_{1ce})$	
		$Q_{s2} = 11.592 \text{ kVAR}$
f.d.p. complessivo alla sbarra 2	$\cos \phi_{s2} := \cos \left( \text{atan} \left( \frac{Q_{s2}}{P_{s2}} \right) \right)$	$\cos \phi_{s2} = 0.922$

	$\sin\phi_{s2} := \sin\left(\operatorname{atan}\left(\frac{Q_{s2}}{P_{s2}}\right)\right)$	$\sin\phi_{s2} = 0.387$
Modulo della corrente assorbita alla sbarra 2	$I_{12} := \frac{P_{s2}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\phi_{s2}}$	$I_{12} = 46.961 \text{ A}$
Stima della c.d.t. nella linea 2	$\Delta U_{12} := \sqrt{3} \cdot I_{12} \cdot L_2 \cdot (r_{12} \cdot \cos\phi_{s2} + x_{12} \cdot \sin\phi_{s2})$	$\Delta U_{12} = 3.435 \text{ V}$
Potenza totale assorbita alla sbarra 1	$P_{s1} := P_4 + P_{n1} + P_{n3} + P_{n3}$	$P_{s1} = 62.715 \text{ kW}$
	$Q_{s1} := (Q_4 + Q_{4ce}) + [(Q_{n1} + Q_{1ce}) + (Q_{n2} + Q_{1ce}) + (Q_{n3} + Q_{1ce})]$	$Q_{s1} = 24.577 \text{ kVAR}$
f.d.p. complessivo alla sbarra 1	$\cos\phi_{s1} := \cos\left(\operatorname{atan}\left(\frac{Q_{s1}}{P_{s1}}\right)\right)$	$\cos\phi_{s1} = 0.931$
	$\sin\phi_{s1} := \sin\left(\operatorname{atan}\left(\frac{Q_{s1}}{P_{s1}}\right)\right)$	$\sin\phi_{s1} = 0.365$
Modulo della corrente assorbita alla sbarra 1	$I_{11} := \frac{P_{s1}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\phi_{s1}}$	$I_{11} = 97.225 \text{ A}$
Stima della c.d.t. nella linea 1	$\Delta U_{11} := \sqrt{3} \cdot I_{11} \cdot L_1 \cdot (r_{11} \cdot \cos\phi_{s1} + x_{11} \cdot \sin\phi_{s1})$	$\Delta U_{11} = 4.377 \text{ V}$
C.d.t. massima in valore assoluto	$\Delta U := \Delta U_{11} + \Delta U_{12}$	$\Delta U = 7.812 \text{ V}$
e in percentuale	$\Delta U_{\%} := \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100$	$\Delta U_{\%} = 1.953$

**CONDENSATORI CILINDRICI MONOFASE**  
***SINGLE PHASE CAPACITORS***

**CONDENSATORI CILINDRICI TRIFASE**  
***THREE-PHASE CAPACITORS***

**CAP**

**3**

U <sub>e</sub>	Hz	U <sub>MAX</sub>
230V	50/60	250V
400V	50/60	440V
460V	50/60	500V
550V	50/60	600V
690V	50/60	750V
750V	50/60	825V
850V	50/60	900V

**Generalità**

- Custodia metallica con grado di protezione IP00 (altri a richiesta)
- Dispositivo di sicurezza interno a sovrappressione
- Impregnazione in olio o in resina

Tutti i componenti utilizzati sono conformi alle prescrizioni normative in materia di sicurezza.

**Generalities**

- Metallic case with protection degree IP00 (other on request)
- An inside overpressure protection system
- Resin or oil impregnation

All components inside these products are compliant with Safety Regulations.



CRM25  
CRM25 3In

**Caratteristiche tecniche**

Caratteristiche tecniche		Technical characteristics
Tensione nominale di impiego	U <sub>e</sub> = 230 ÷ 850V	Rated voltage
Frequenza nominale	50/60Hz	Rated frequency
Sovraccarico max I <sub>n</sub>	1.3xI <sub>n</sub> (serie CRM25) 3xI <sub>n</sub> (serie CRM25 3In)	Max current overload I <sub>n</sub>
Sovraccarico max V <sub>n</sub>	1.1xV <sub>n</sub>	Max voltage overload V <sub>n</sub>
Livello di isolamento	3/15kV U <sub>e</sub> ≤ 660V	Insulating voltage
Classe di temperatura	-25/D	Temperature range
Tolleranza di capacità	-5 ÷ +10%	Capacitance tolerance
Prova di tensione tra i terminali	2.15xV <sub>n</sub> per 10 sec.	Terminal voltage test
Tipologie costruttive	polipropilene metallizzato (serie CRM25) Carta bimetallizzata (serie CRM25 3In) metallized polypropylene (CRM25) Bimetalized paper (series CRM25 3In)	Structural typology
Norme di riferimento per i condensatori	CEI EN 60831-1/2	Capacitors standards

1,66 + 0,41 ≈ 2 kVAR

	CODICE CODE	TENSIONE NOM. RATED VOLTAGE U <sub>e</sub> (V)	TENSIONE MAX. MAX. VOLTAGE U <sub>MAX</sub> (V)	POTENZA POWER 50Hz (kvar)	POTENZA POWER 60Hz (kvar)	CAPACITÀ CAPACITANCE (µF)	DIM (CAP. 13) (CHAP. 13)
	CRM25	CRM25-11B-0,41-230	230	250	X 0.41	0.5	25
CRM25-11B-0,83-230		230	250	0.83	1	50	2
CRM25-11A-1,66-230		230	250	X 1.66	2	100	4
CRM25-11A-0,83-400		400	440	0.83	1	16.6	1
CRM25-11B-1,04-400		400	440	1.04	1.25	20.7	1
CRM25-11C-1,66-400		400	440	1.66	2	33.3	3
CRM25-11B-2,08-400		400	440	2.08	2.5	41.4	3
CRM25-11A-3,33-400		400	440	3.33	4	66.6	4
CRM25-11A-4,16-400		400	440	4.16	5	82.7	4
CRM25-11B-0,83-460		460	500	0.83	1	12.5	2
CRM25-11B-1,66-460		460	500	1.66	2	25	3
CRM25-11B-3,33-460		460	500	3.33	4	50	4
CRM25-11B-3,72-460		460	500	3.72	4.5	56	4
CRM25-11B-0,83-550		550	600	0.83	1	8.7	1
CRM25-11A-1,66-550	550	600	1.66	2	17.5	2	
CRM25-11A-3,33-550	550	600	3.33	4	35	4	
CRM25 3In	CRM25-11A-2,5-400	400	440	2.5	3	50	4
	CRM25-11A-2,5-460	460	500	2.5	3	37	4
	CRM25-11A-2,5-550	550	600	2.5	3	26	4
	CRM25-11A-2,5-690	690	750	2.5	3	16.7	4
	CRM25-11A-2,5-750	750	825	2.5	3	14.2	4
CRM25-11A-2,5-850	850	900	2.5	3	11	4	



# CONDENSATORI CILINDRICI TRIFASE THREE-PHASE CAPACITORS

SERIE  
SERIES

CRT

U <sub>e</sub>	H	U <sub>max</sub> <sup>1</sup>
230V	50/60	250V
400V	50/60	440V
415V	50/60	450V
440V	50/60	480V
460V	50/60	500V
525V	50/60	580V

**Generalità**

- Custodia metallica con grado di protezione IP20
- Dispositivo di sicurezza interno a sovrappressione
- Impregnazione in resina (in olio a richiesta)

Tutti i componenti utilizzati sono conformi alle prescrizioni normative in materia di sicurezza.

**Generalities**

- Metallic case with protection degree IP20
- An inside overpressure protection system
- Resin impregnation (oil impregnation on request)

All components inside these products are compliant with Safety Regulations.

CAP

3



CRT



CRT  
Reinforced Dielectric

**Caratteristiche tecniche**

Caratteristiche tecniche		Technical characteristics
Tensione nominale di impiego	U <sub>e</sub> = 230 ± 525V	Rated voltage
Frequenza nominale	50/60Hz	Rated frequency
Sovraccarico max I <sub>n</sub>	1.3xI <sub>n</sub>	Max current overload I <sub>n</sub>
Sovraccarico max V <sub>n</sub>	1.1xV <sub>n</sub>	Max voltage overload V <sub>n</sub>
Livello di isolamento	3/15kV U <sub>e</sub> ≤ 660V	Insulating voltage
Classe di temperatura	-25/D	Temperature range
Tolleranza di capacità	-5 ÷ +10%	Capacitance tolerance
Prova di tensione tra i terminali	≥ 1.5xV <sub>n</sub> per 10 sec.	Terminal voltage test
Dielettrico	polipropilene metallizzato metallized polypropylene	Dielectric
Norme di riferimento per i condensatori	CEI EN 60831-1/2	Capacitors standards

CODICE CODE	TENSIONE NOM. RATED VOLTAGE U <sub>e</sub> (V)	TENSIONE MAX. MAX. VOLTAGE U <sub>max</sub> (V)	POTENZA POWER		CAPACITÀ CAPACITANCE (μF)	DIM. (CAP.13) (CHAP.13)
			50Hz (kvar)	60Hz (kvar)		
CRT-78N-2.5-230	230	250	2.5	3	3x50	11
CRT-80N-5-230	230	250	5	6	3x100	13
CRT-81N-7.5-230	230	250	7.5	9	3x150	14
CRT-82N-10-230	230	250	10 <sup>1</sup>	12 <sup>1</sup>	3x200	15
CRT-78N-2.5-400	400	440	2.5	3	3x16.5	11
CRT-78N-5-400	400	440	5	6	3x33	11
CRT-79N-7.5-400	400	440	7.5	9	3x50	12
CRT-80N-10-400	400	440	10	12	3x66	13
CRT-81N-12.5-400	400	440	12.5	15	3x83	14
CRT-82N-15-400	400	440	15 <sup>1</sup>	18	3x100	15
CRT-82N-20-400	400	440	20	24 <sup>2</sup>	3x133	15
CRT-85N-25-400	400	440	25	30 <sup>2</sup>	3x166	16

<sup>1</sup> Massimo valore ammissibile secondo norma CEI EN 60831-1 art. 20.1  
<sup>2</sup> Classe di temperatura -40/8

<sup>1</sup> Maximum allowed value according to CEI EN 60831-1 art. 20.1  
<sup>2</sup> Temperature range -40/8

CODICE CODE	TENSIONE NOM. RATED VOLTAGE U <sub>e</sub> (V)	TENSIONE MAX. MAX. VOLTAGE U <sub>MAX</sub> (V)	POTENZA POWER 50Hz [kvar]	POTENZA POWER 60Hz [kvar]	CAPACITÀ CAPACITANCE [μF]	DIM [CAP.13] [CHAP.13]
CRT-78N-2.5-415	415	450	2.5	3	3x15.5	11
CRT-78N-5-415	415	450	5	6	3x31	13
CRT-79N-7.5-415	415	450	7.5	9	3x46	12
CRT-80N-10-415	415	450	10	12	3x62	13
CRT-81N-12.5-415	415	450	12.5	15	3x77	14
CRT-82N-15-415	415	450	15	18	3x92	15
CRT-82N-20-415	415	450	20	24 <sup>1</sup>	3x123	15
CRT-85N-25-415	415	450	25	30 <sup>2</sup>	3x154	16
CRT-86N-30-415	415	450	30	36	3x185	18
CRT-78N-2.5-440	440	480	2.5	3	3x14	11
CRT-78N-5-440	440	480	5	6	3x27.5	13
CRT-79N-7.5-440	440	480	7.5	9	3x41	12
CRT-80N-10-440	440	480	10	12	3x55	13
CRT-81N-12.5-440	440	480	12.5	15	3x68.5	14
CRT-82N-15-440	440	480	15	18	3x82	15
CRT-82N-20-440	440	480	20	24 <sup>1</sup>	3x110	15
CRT-85N-25-440	440	480	25	30 <sup>2</sup>	3x137	16
CRT-78N-5-460	460	500	5	6	3x12.5	11
CRT-79N-7.5-460	460	500	7.5	9	3x25	11
CRT-80N-10-460	460	500	10	12	3x37.5	12
CRT-81N-12.5-460	460	500	12.5	15	3x50	13
CRT-82N-15-460	460	500	15	18	3x63	14
CRT-82N-20-460	460	500	20	24 <sup>2</sup>	3x75	15
CRT-85N-25-460	460	500	25	30 <sup>2</sup>	3x100	15
CRT-78N-5-460	460	500	5	6	3x125.4	16
CRT-78N-2.5-525	525	580	2.5	3	3x9.5	11
CRT-78N-5-525	525	580	5	6	3x19	13
CRT-79N-7.5-525	525	580	7.5	9	3x29	12
CRT-80N-10-525	525	580	10	12	3x38.5	13
CRT-81N-12.5-525	525	580	12.5	15	3x48	14
CRT-82N-15-525	525	580	15	18	3x58	15
CRT-82N-20-525	525	580	20	24	3x77	15
CRT-85N-25-525	525	580	25	30	3x96	16
CRT-78N-2.5-415RD	415	450	2.5	3	3x15.5	11
CRT-78N-5-415RD	415	450	5	6	3x31	11
CRT-80N-7.5-415RD	415	450	7.5	9	3x46	13
CRT-81N-10-415RD	415	450	10	12	3x62	14
CRT-82N-12.5-415RD	415	450	12.5	15	3x77	15
CRT-85N-12.5-415RD	415	450	12.5	15	3x77	16
CRT-82N-15-415RD	415	450	15	18	3x92	15
CRT-85N-15-415RD	415	450	15	18	3x92	16
CRT-84N-20-415RD	415	450	20	24 <sup>2</sup>	3x123	17
CRT-86N-25-415RD	415	450	25	30 <sup>2</sup>	3x154	18