

premiato istituto Electra You
via WEB - 00042 Terra

3^ SIMULAZIONE DELLA SECONDA PROVA D'ESAME CLASSE: 5^ ITI

Data: _____ Alunno: _____ Voto: _____

M586 – ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

Indirizzo: ITET - ELETTRONICA ED ELETTROTECNICA
ARTICOLAZIONE ELETTROTECNICA

Tema di: TECNOLOGIE E PROGETTAZIONE DI SISTEMI ELETTRICI ED ELETTRONICI

L'Alunno svolge la prima parte della prova e risponde a due tra i quesiti proposti nella seconda parte.

PRIMA PARTE

In una stazione di sollevamento acque è presente un gruppo di pompaggio, costituito da tre elettropompe trifase, delle quali solo due funzionano contemporaneamente mentre la terza è di riserva per eventuali avarie di una delle altre due. Ciascuna delle elettropompe ha le seguenti caratteristiche:

- Potenza nominale $P_n = 22 \text{ kW}$
- Rendimento $\eta = 0,82$
- Fattore di potenza $\cos\varphi = 0,9$

Il quadro di avviamento e gestione delle elettropompe è collocato a 30 metri dal quadro generale.

L'impianto della stazione è alimentato con sistema TT con $I_{ccp} = 5,8 \text{ kA}$ e comprende, oltre al circuito per l'alimentazione delle tre elettropompe, un circuito per l'alimentazione dell'impianto di illuminazione e un circuito per le prese trifase di servizio, aventi le seguenti caratteristiche:

- Prese trifase: 9 kW
- Luci 2 kW

L'Alunno, fatte tutte le ipotesi aggiuntive che ritiene necessarie:

1. disegni lo schema unifilare del quadro generale e del quadro di distribuzione delle elettropompe;
2. dimensiona la linea di alimentazione del quadro delle elettropompe e la relativa protezione contro le sovracorrenti;
3. determini le caratteristiche del blocco di rifasamento di una elettropompa, al fine di portare il fattore di potenza a 0,95.
4. Dimensiona le caratteristiche dell'impianto di terra in maniera da assicurare la protezione contro i contatti indiretti.

Ciascuna delle scelte operate deve essere opportunamente giustificata, anche con riferimento a dati tecnici acquisiti dal Manuale, e commentata nelle sue linee essenziali.

SECONDA PARTE

1. Per l'impianto descritto nella prima parte, supponendo che il punto di consegna sia collocato a 50 metri dal quadro generale tramite linea interrata, si dimensiona tale linea imponendo che la caduta di tensione sia contenuta entro l'1%.
2. Per le elettropompe descritte nella prima parte, al fine di distribuire in maniera equilibrata le ore di lavoro di ciascuna elettropompa, si scriva un programma per PLC che consenta di:
 - Avviare e fermare le elettropompe (sia in condizioni normali sia in condizioni di emergenza);
 - Eseguire lo scambio a rotazione delle elettropompe, con intervallo di due ore
 - Segnalare, tramite gemme luminose su un pannello operatore, quali elettropompe sono in funzione, quale è ferma e se per qualcuna di esse è intervenuta la relativa protezione termica

Tale programma deve essere commentato nelle linee essenziali di funzionamento.

3. Per una linea trifase alimentata a tensione nominale $U_n = 400/230$ V, costituita da cavo unipolare in PVC, avente lunghezza di 60 metri, la corrente di corto circuito trifase ad inizio linea è $I_{ccA} = 12$ kA, con $\cos\varphi_{ccA} = 0,3$.
Si calcoli il valore della corrente di corto circuito trifase a fine linea, se $S = 16$ mm².
4. Per una cabina di trasformazione MT/BT alimentata a 15 kV, che alimenta un carico complessivo avente $P_c = 180$ kW e $\cos\varphi = 0,90$, si dimensiona il trasformatore, indicandone le caratteristiche essenziali, anche con riferimento ai dati contenuti nel Manuale Tecnico.

Durata massima della prova: 4 ore.

È consentito l'uso di manuali tecnici e di calcolatrice non programmabile.

È consentito l'uso del dizionario bilingue (italiano-lingua del paese di provenienza) per [gli alunni](#) di madrelingua non italiana.

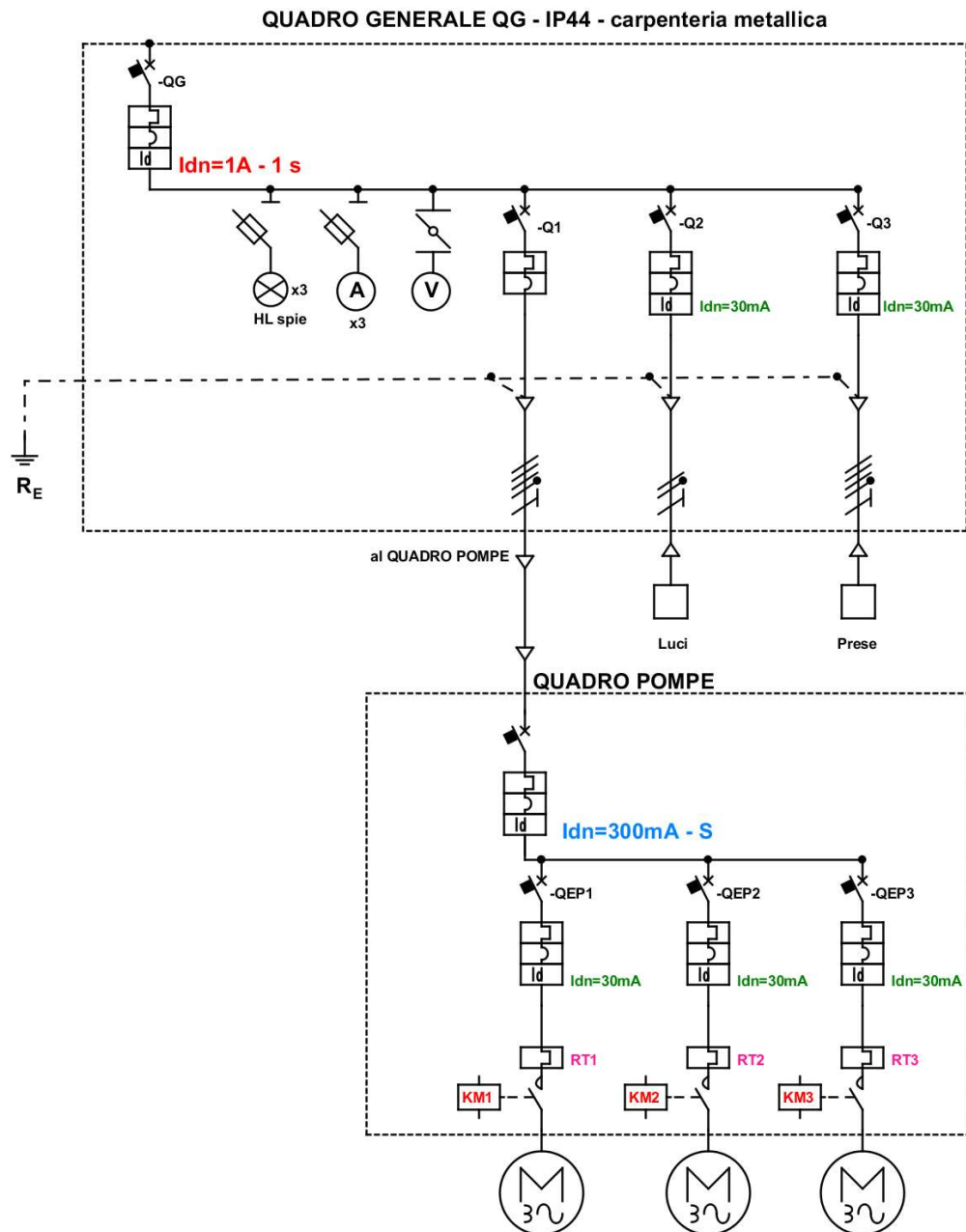
Non è consentito [consegnare la prova](#) prima che siano trascorse 2 ore dalla dettatura del tema.

IPOTESI DI SOLUZIONE

PRIMA PARTE

“...disegni lo schema unifilare del quadro generale e del quadro di distribuzione delle elettropompe...”

Un possibile schema potrebbe essere, nelle sue linee essenziali, il seguente:



Nello schema si notano:

- La selettività verticale per guasto verso terra, garantita dalla catena di sganciatori differenziali;
- La protezione termica delle elettropompe (diversa dalla protezione delle condutture);
- I contattori comandati dalle bobine KM, la cui eccitazione sarà demandata a un'automazione elettromeccanica o tramite PLC

“...dimensioni la linea di alimentazione del quadro delle elettropompe e la relativa protezione contro le sovracorrenti...”

Per poter procedere al dimensionamento occorre conoscere i dati del carico:

$$P_C = \left(\frac{P_n}{\eta}\right) \cdot n \cdot k_U \cdot k_C = \left(\frac{22}{0,82}\right) \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot \frac{2}{3} = 43 \text{ kW}$$

essendo:

- $n = 3$ il numero delle elettropompe;
- $k_U = 0,80$ il coefficiente di utilizzazione tratto dal Manuale Tecnico
- $k_C = 2/3$ il coefficiente di contemporaneità dedotto dal testo, considerato che solo due elettropompe su tre funzionano contemporaneamente.

Dal valore della potenza convenzionale si calcola il valore della corrente convenzionale di impiego della condotta:

$$I_B = \frac{P_C}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{43000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,90} = 69 \text{ A}$$

Occorre ora ipotizzare una tipologia di cavo e di posa:

- cavo unipolare in PVC tipo N07V-K
- posa entro tubo a parete (posa 3)
- temperatura ambiente $T_a = 30^\circ\text{C} \rightarrow k_1 = 1$ e n° circuiti raggruppati in fascio: 1 $\rightarrow k_2 = 1$
- lunghezza: 30 m (dato dedotto dal testo)
- caduta massima ammessa ipotizzata: 3%

Dalle tabelle del Manuale Tecnico si individua una portata teorica:

$$I_0 = 89 \text{ A} \text{ alla quale corrisponde una sezione } S = 25 \text{ mm}^2$$

Per tale cavo, la portata effettiva coincide con quella teorica:

$$I_Z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 89 \cdot 1 \cdot 1 = 89 \text{ A}$$

La verifica della portata è pertanto soddisfatta:

$$I_Z = 89 \text{ A} \geq 69 \text{ A} = I_B$$

La sezione individuata deve essere in grado di sostenere anche la verifica sulla caduta di tensione:

$$\Delta U_{\max\%} = 3\% \rightarrow \Delta U_{\max} = \frac{\Delta U_{\max\%}}{100} \cdot U_n = \frac{3}{100} \cdot 400 = 12 \text{ V}$$

Per la sezione $S = 25 \text{ mm}^2$ le tabelle del Manuale indicano un valore di caduta di tensione unitaria:

$$k_{\cos\varphi=1} = 1,54 \frac{\text{mV}}{\text{A}\cdot\text{m}} \quad e \quad k_{\cos\varphi=0,8} = 1,34 \frac{\text{mV}}{\text{A}\cdot\text{m}} \rightarrow k_{\cos\varphi=0,9} = \frac{k_{\cos\varphi=1} + k_{\cos\varphi=0,8}}{2} = \frac{1,54 + 1,34}{2} = 1,44 \frac{\text{mV}}{\text{A}\cdot\text{m}}$$

pertanto la caduta di tensione sul cavo sarà:

$$\Delta U_{\text{cavo}} = \frac{k \cdot I_B \cdot L}{1000} = \frac{1,44 \cdot 69 \cdot 30}{1000} = 3 \text{ V} \leq 12 \text{ V} = \Delta U_{\max}$$

La sezione scelta verifica dunque anche la caduta di tensione; formazione: 3(1x25) + 1N25 + 1G25

Per determinare le caratteristiche della protezione della condotta contro le sovracorrenti (sovraccarico e corto circuito), occorre rispettare le condizioni:

- | | |
|--|---|
| • Sovraccarico | Corto Circuito: |
| $\begin{cases} I_b \leq I_n \leq I_z \\ I_F \leq 1,45 \cdot I_z \end{cases}$ | $\begin{cases} I_b \leq I_n \\ I_{cn} \geq I_{ccp} \\ I^2 \cdot t \leq K^2 \cdot S^2 \end{cases}$ |

Valgono le considerazioni, espresse nella Norma CEI 64-8, che:

- Se si usano interruttori automatici conformi alle norme di prodotto, la seconda relazione delle protezioni contro il sovraccarico si considera già verificata;
- Se la condotta risulta protetta a monte anche contro il sovraccarico da uno stesso dispositivo, la prima e la terza verifica delle relazioni sul corto circuito (verifica all'energia passante) non sono necessarie.

Pertanto, individuando una protezione costituita da:

- Interruttore automatico magnetotermico 3P;
- caratteristica di intervento: C
- corrente nominale $I_N = 80 \text{ A}$
- potere di interruzione $I_{cn} = 6 \text{ kA}$

vengono soddisfatte le precedenti condizioni, in quanto:

Sovraccarico	Corto Circuito:
$69 \leq 80 \leq 89 \text{ A}$	$6 \geq 5,8 \text{ kA}$

“...determini le caratteristiche del blocco di rifasamento di una elettropompa, al fine di portare il fattore di potenza a 0,95...”

La potenza convenzionale assorbita da ciascuna elettropompa è:

$$P_C = \left(\frac{P_n}{\eta} \right) \cdot k_U = \left(\frac{22}{0,82} \right) \cdot 0,8 = 21,5 \text{ kW}$$

Occorre portare il fattore di potenza da 0,90 a 0,95 e pertanto:

- $\cos \varphi_{NR} = 0,90 \rightarrow \operatorname{tg} \varphi_{NR} = 0,484$
- $\cos \varphi_R = 0,95 \rightarrow \operatorname{tg} \varphi_R = 0,328$

e quindi la batteria di rifasamento si calcola con la:

$$Q_C = P \cdot [\operatorname{tg} \varphi_{NR} - \operatorname{tg} \varphi_R] = 21,5 \cdot [0,484 - 0,328] = 3,35 \text{ kvar}$$

Dalle tabelle dei valori commerciali del Manuale Tecnico, si individua una batteria:

$$Q_{Cn} = 5 \text{ kvar}$$

Ricalcolando il fattore di potenza complessivo:

- $Q_{TOT} = Q - Q_{Cn} = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_{NR} - Q_{Cn} = 21,5 \cdot 0,484 - 5 = 10,4 - 5 = 5,4 \text{ kvar}$
- $\operatorname{tg} \varphi_{eq} = \frac{Q_{TOT}}{P} = \frac{5,4}{21,5} = 0,251 \rightarrow \cos \varphi_{eq} = 0,97$

Non c'è dunque il rischio di una sovracompensazione.

La capacità dei condensatori di rifasamento, da collegarsi a triangolo, è data da:

$$C = \frac{Q_{Cn}}{3 \cdot 2\pi f \cdot U^2} = \frac{5000}{3 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 400^2} = 33,2 \mu F$$

“...Dimensioni le caratteristiche dell'impianto di terra in maniera da assicurare la protezione contro i contatti indiretti...”

In base alle indicazioni già fornite nello schema unifilare del punto 1), avendo un dispositivo di protezione ad intervento differenziale con $I_{dn} = 1$ A collocato nel quadro generale e considerando il luogo come “ordinario”, il coordinamento delle protezioni nei confronti dei contatti indiretti in un sistema TT richiede che sia soddisfatta la relazione:

$$R_E \leq \frac{U_L}{I_{dn}}$$

dove:

- R_E è il valore della resistenza dell'impianto di terra dell'utente;
- U_L è il valore della tensione limite di contatto, posto pari a 50 V;
- I_{dn} è il valore di corrente differenziale massima dell'impianto.

Pertanto dovrà risultare:

$$R_E \leq \frac{50}{1} = 50 \, \Omega$$

Ipotizzando che:

- Il terreno abbia una resistività $\rho = 100 \, \Omega \cdot m$;
- Il sistema disperdente sia costituito da una corda nuda in acciaio zincato o in rame da $25 \, mm^2$, lunga $L_C = 10$ m, posta in una trincea di scavo a 80 cm di profondità e ricoperta con terreno organico e ben compattato;

la resistenza R_E può essere calcolata con l'espressione:

$$R_E \leq \frac{2 \cdot \rho}{L_C} = \frac{2 \cdot 100}{10} = 20 \, \Omega$$

che appare idoneo anche riguardo alle variazioni stagionali.

A detto impianto di terra andranno collegati i conduttori di protezione PE provenienti da tutte le masse, preferibilmente in una specifica morsettiera collocata entro il quadro generale.

Da tale morsettiera si svilupperà la corda nuda, che andrà a costituire il dispersore artificiale

QUESITO N° 1

Per dimensionare la linea interrata dal punto di consegna al Quadro Generale occorre precisare la potenza totale convenzionale e il fattore di potenza:

$$P_{ctot} = P_{c\ pompe} + P_{prese} + P_{luci} = 43 + 9 + 2 = 54\ kW \quad \cos\varphi = 0,90$$

Si ipotizzano le condizioni della condotta:

- ➔ Cavo unipolare in EPR con guaina FG7R 0,6/1 kV
- ➔ temperatura del terreno: $T=20\ ^\circ\text{C}$ ($K_1=1$)
- ➔ posa singola ($K_2=1$)
- ➔ profondità di posa: 0,80 m ($K_3=1$)
- ➔ resistività termica del terreno: 1,5 Km/W ($K_4=1$)

Si calcola la corrente convenzionale di impiego:

$$I_B = \frac{P_{ctot}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{54000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,90} = 86\ A$$

Si individua la portata teorica, che coincide con quella effettiva, per la sezione $S = 25\ \text{mm}^2$:

$$I_Z = I_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 100 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 100\ A$$

La sezione individuata deve essere in grado di sostenere anche la verifica sulla caduta di tensione:

$$\Delta U_{\max\%} = 1\% \rightarrow \Delta U_{\max} = \frac{\Delta U_{\max\%}}{100} \cdot U_n = \frac{1}{100} \cdot 400 = 4\ V$$

Per la sezione $S = 25\ \text{mm}^2$ le tabelle del Manuale indicano un valore di caduta di tensione unitaria:

$$k_{\cos\varphi=1} = 1,54\ \frac{\text{mV}}{\text{A}\cdot\text{m}} \quad e \quad k_{\cos\varphi=,8} = 1,34\ \frac{\text{mV}}{\text{A}\cdot\text{m}} \rightarrow k_{\cos\varphi=0,9} = \frac{k_{\cos\varphi=1} + k_{\cos\varphi=0,8}}{2} = \frac{1,54 + 1,34}{2} = 1,44\ \frac{\text{mV}}{\text{A}\cdot\text{m}}$$

pertanto la caduta di tensione sul cavo sarà:

$$\Delta U_{cavo} = \frac{k \cdot I_B \cdot L}{1000} = \frac{1,44 \cdot 89 \cdot 50}{1000} = 6,4\ V$$

Poiché la caduta di tensione non rispetta il valore massimo indicato, occorre aumentare la sezione della linea passando a quella che assicura una caduta di tensione unitaria inferiore a:

$$k_{\max} = \frac{\Delta U_{\max} \cdot 1000}{I_B \cdot L} = \frac{4 \cdot 1000}{89 \cdot 50} = 0,899\ \frac{\text{mV}}{\text{A}\cdot\text{m}}$$

Dalla tabella delle cadute di tensione e delle portate si individua una sezione minima $S = 50\ \text{mm}^2$, avente:

- $k_{\cos\varphi=,9} = \frac{k_{\cos\varphi=} + k_{\cos\varphi=,8}}{2} = \frac{0,82 + 0,76}{2} = 0,79\ \frac{\text{mV}}{\text{A}\cdot\text{m}}$
- $I_Z = I_0 = 150\ A$

e pertanto la sezione è idonea a garantire entrambe le verifiche. Formazione: 3(1x50)+1N25+1G25

Si nota che la sezione del cavo di neutro e quella del conduttore di protezione può essere assunta pari alla metà di quella del conduttore di fase.

QUESITO N° 2

Prima di affrontare la stesura del programma è necessario individuare i componenti di campo e attribuire gli indirizzamenti I/O; con riferimento a un PLC Schneider TSX 3721, si pone:

sigla componente	descrizione	stato	indirizzo
SB0	Pulsante di emergenza a fungo	NC	%I1.0
SB1	Pulsante di stop	NC	%I1.1
SB2	Pulsante di avvio	NO	%I1.2
RT1	Relè Termico elettropompa 1	NC	%I1.3
RT2	Relè Termico elettropompa 2	NC	%I1.4
RT3	Relè Termico elettropompa 3	NC	%I1.5
HL0 - WH	Segnalazione ciclo in funzione		%Q2.0
KM1	Bobina teleruttore elettropompa 1		%Q2.1
KM2	Bobina teleruttore elettropompa 2		%Q2.2
KM3	Bobina teleruttore elettropompa 3		%Q2.3
HL1 - GN	Segnalazione elettropompa 1 in marcia		%Q2.4
HL2 - GN	Segnalazione elettropompa 2 in marcia		%Q2.5
HL3 - GN	Segnalazione elettropompa 3 in marcia		%Q2.6
HL4 - YE	Segnalazione intervento relè termico RT1		%Q2.7
HL5 - YE	Segnalazione intervento relè termico RT2		%Q2.8
HL6 - YE	Segnalazione intervento relè termico RT3		%Q2.9
HL7 - RD	Segnalazione elettropompa 1 ferma		%Q2.10
HL8 - RD	Segnalazione elettropompa 2 ferma		%Q2.11
HL9 - RD	Segnalazione elettropompa 3 ferma		%Q2.12

Poiché dal testo del quesito si deduce che si tratta di una sequenza che si ripete ciclicamente, appare opportuno utilizzare un programmatore ciclico (Drum) %DR0, con i seguenti parametri:

TB = 1 min passi = 3

%DR0	passi			output
	0	1	2	
bit	1	0	1	%M1
	1	1	0	%M2
	0	1	1	%M3

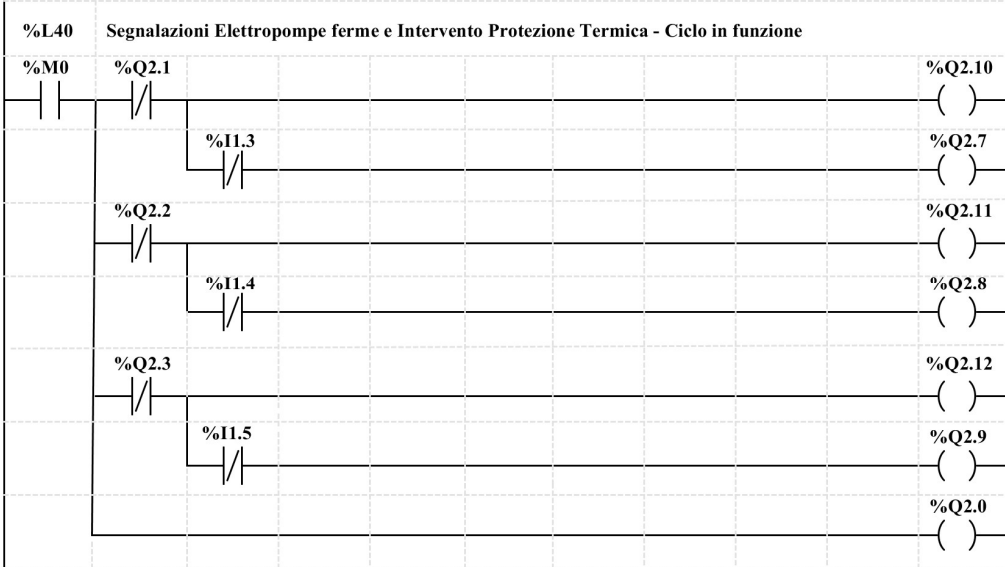
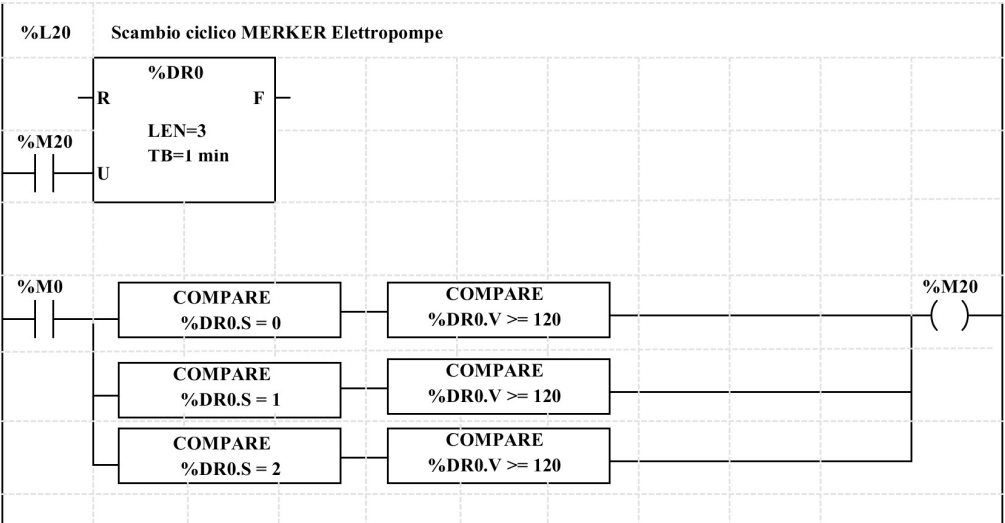
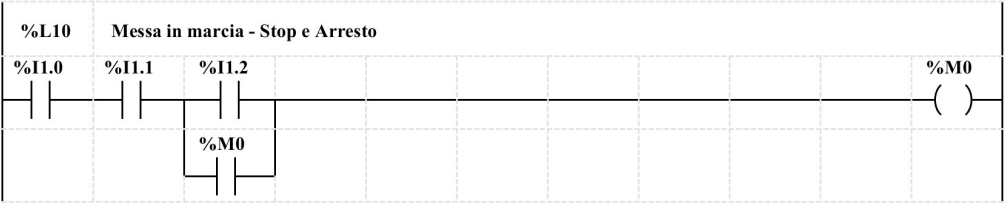
Il listato del programma ladder viene presentato di seguito.

Nella label 10, viene assegnato al merker %M0 lo stato logico 1 nel caso in cui il ciclo sia stato messo in marcia dal pulsante SB2; assumerà invece lo stato logico 0 se non è stato messo in funzione o se, a ciclo funzionante, è stato premuto il pulsante di stop o quello di emergenza.

La label 20 contiene il Drum, con le sequenze di step assegnate sopra, e le condizioni per la transizione da uno step all'altro, dettate dall'attivazione sul fronte di salita del merker %M20, il cui contatto è posizionato sull'ingresso di Up del Drum.

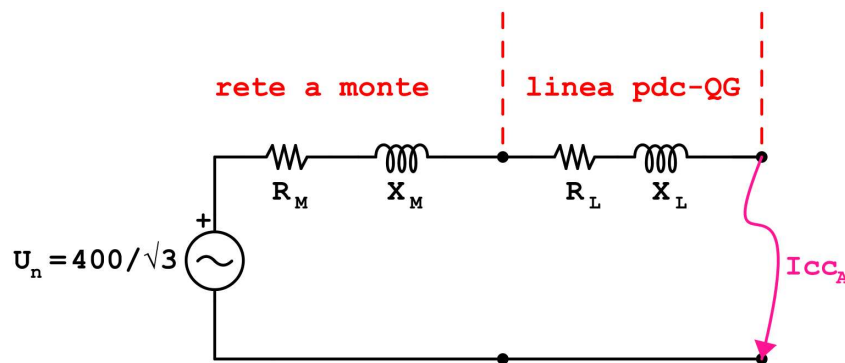
La label 30 assegna lo stato logico dei merker di appoggio, indicati nel Drum, alle uscite fisiche dei teleruttori e delle lampade di segnalazione di marcia.

Nella label 40 si assegna lo stato logico delle lampade di segnalazione di elettropompa ferma e la segnalazione di scattato relè termico. L'ultima riga di programmazione segnala l'attivazione del ciclo.



QUESITO N° 3

Occorre anzitutto valutare l'impedenza a monte, con riferimento al circuito equivalente monofase indicato in figura:



nel quale sono indicati:

- R_M : resistenza della rete a monte del punto di consegna;
- X_M : reattanza della rete a monte del punto di consegna;
- R_L : resistenza della linea in cavo;
- X_L : reattanza della linea in cavo.

I suddetti parametri vengono calcolati come di seguito:

➔ rete a monte:

$$z_M = \frac{\frac{U_n}{\sqrt{3}}}{I_{ccp}} = \frac{231}{12000} = 19,3 \text{ m}\Omega \rightarrow R_M = z_M \cdot \cos \varphi_{CC} = 19,3 \cdot 0,3 = 5,8 \text{ m}\Omega$$

$$X_M = z_M \cdot \sin \varphi_{CC} = 19,3 \cdot 0,95 = 18,3 \text{ m}\Omega$$

➔ conduttura:

si impone un valore per la resistività a 20 °C del rame: $\rho_{20^\circ C} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

da cui si ricava il valore della resistenza del tratto di linea da 16 mm² e lunga 60 metri:

$$R_L = \rho \cdot \frac{L}{S} = 0,0178 \cdot \frac{60}{16} = 0,06675 \Omega = 66,8 \text{ m}\Omega$$

mentre la reattanza si può desumere dalla Tabella CEI UNEL 35023:

$$X_L = 0,102 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0,060 \text{ km} = 0,00612 \Omega = 6,1 \text{ m}\Omega$$

(in alternativa, può essere utilizzato il valore approssimativo di reattanza unitaria $x = 0,1 \Omega/\text{km}$)

da cui si ricava la corrente di corto circuito trifase I_{cc} a fine linea:

$$I_{CCA} = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(5,8 + 66,8)^2 + (18,3 + 6,1)^2 \cdot 10^{-3}}} = 3015 \text{ A} \cong 3 \text{ kA}$$

Utilizzando le tabelle di individuazione rapida si individuerrebbe una corrente $I_{CCA} = 2,8 \text{ kA}$ che è un valore compatibile con quello calcolato.

Non bisogna confondere tale calcolo con quello della **corrente di corto circuito minima a fine linea**, per il caso di corto circuito fase-neutro (o fase-fase, se il neutro non è distribuito), che nel nostro caso vale:

$$I_{cc \text{ min}} = \frac{15 \cdot U \cdot S}{L} = \frac{15 \cdot 230 \cdot 16}{60} = 920 \text{ A}$$

Tale corrente non va usata per determinare il potere di interruzione della protezione a valle ma per l'eventuale verifica della lunghezza massima protetta nei confronti dell'energia passante.

QUESITO N° 4

Considerando la potenza attiva del carico e il valore del fattore di potenza, si dimensiona la taglia del trasformatore ipotizzando una riserva per futuri ampliamenti (e anche per ottimizzarne il rendimento) pari al 20%:

$$S_n = \frac{P_C + P_{\text{marg}}}{\cos\varphi} = \frac{180 + 0,20 \cdot 180}{0,9} = 240 \text{ kVA}$$

Si sceglie una taglia commerciale immediatamente superiore e si riportano le caratteristiche tecniche indicate nel Manuale o in catalogo del costruttore:

- potenza nominale: $S_n = 250 \text{ kVA}$
- tensioni nominali primaria e secondaria: $15 \text{ kV} - 400 \text{ V}$
- rapporto di trasformazione: $15/0,4$
- collegamenti degli avvolgimenti e gruppo orario: Dyn11
- tensione di corto circuito percentuale: $u_{cc\%} = 6\%$
- potenza a vuoto $P_0 = 880 \text{ W}$
- potenza di corto circuito: $P_{CC} = 3400 \text{ W}$
- tipologia: trasformatore a secco inglobato in resina, servizio continuo S1
- raffreddamento AN (aria naturale)

Se si ipotizza che la rete MT a monte del trasformatore abbia impedenza trascurabile (o, che è lo stesso, che la potenza di corto circuito della rete a monte sia infinita), si può calcolare approssimativamente anche la corrente di corto circuito sul lato BT:

$$I_{cc} = \frac{100 \cdot I_{2n}}{u_{cc\%}} = \frac{100 \cdot \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 400}}{6} \cong 6 \text{ kA}$$