

premiato istituto Electro You  
via web - 00042 Terra

## 1^ 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 svolga la prima parte della prova e risponda a due tra i quesiti proposti nella seconda parte.*

#### PRIMA PARTE

In una azienda zootecnica di allevamento pollame è presente un fabbricato (adibito a uffici, vano appoggio e locali di vendita) e un capannone dove vengono allevate galline ovaiole (razza autoctona “puddhas crijolas”). Il titolare dell'attività (sig. dott. prof. cav. B.P.) intende ristrutturare l'impianto elettrico dell'attività e in particolare del capannone.

A tal fine si fa presente che:

- La potenza contrattuale dell'intera attività è fissata in  $P_{\text{contr.}} = 50 \text{ kW}$
- Il quadro elettrico generale è collocato nel fabbricato, e presenta un interruttore generale magnetotermico differenziale con corrente differenziale nominale  $I_{\text{dn}} = 1 \text{ A}$
- Dal quadro generale parte una linea interrata, lunga 40 m, che va ad attestarsi sul quadro elettrico QC a servizio delle utenze del capannone
- Il capannone ha le dimensioni di un rettangolo avente lati  $a = 20 \text{ m}$  e  $b = 100 \text{ m}$
- Nel capannone sono presenti i seguenti carichi:
  - Illuminazione, per una potenza complessiva  $P = 9 \text{ kW}$ ;
  - Prese trifase da 16 A
  - N° 4 ventilatori, ciascuno dei quali ha una potenza  $P = 6 \text{ kW}$  trifase con  $\cos\varphi = 0,8$ ; tali ventilatori, alimentati da un'unica conduttura e disposti in derivazione sulla stessa, sono collocati sul lato lungo del capannone, il primo a distanza di 10 m da quadro QC e i restanti distanziati di 32 m;
  - N° 2 generatori di aria calda, ciascuno della potenza  $P = 4 \text{ kW}$  trifase con  $\cos\varphi = 0,90$  collocati sul lato opposto a quello del quadro QC, posto a metà del lato corto.

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

- determini la potenza complessiva (attiva e reattiva) a servizio del capannone
- dimensioni la linea della conduttura interrata di alimentazione del capannone;
- disegni lo schema unifilare del quadro del capannone;
- dimensioni le condutture e le relative protezioni;

Ciascuna delle scelte operate deve essere opportunamente giustificata, anche con riferimento a dati tecnici acquisiti dal Manuale.

## SECONDA PARTE

1. Tenendo conto di quanto indicato nella prima parte, si dimensiona l'impianto di terra a servizio dell'intera attività, supponendo che il terreno abbia una resistività media di  $150 \Omega\text{m}$ . Si indichi il numero e tipo dei dispersori e la loro collocazione planimetrica giustificando le scelte effettuate.
2. Ipotizzando di collocare un quadro di rifasamento a servizio esclusivo del capannone, se ne dimensiona la potenza e le relative protezioni, si indichi la modalità di collegamento delle batterie e se ne calcoli la capacità.
3. Poiché nel tipo di attività è necessario mantenere una temperatura costante entro un certo intervallo (pena la prematura dipartita delle preziosissime *puddhas*), i ventilatori e i generatori di aria calda funzionano in base ai dati forniti da un sistema di misura di temperatura che fornisce a un PLC due ingressi di tipo on-off, uno di segnalazione di temperatura bassa (che fa azionare i generatori di aria calda) e l'altro di segnalazione di temperatura alta (che fa azionare i ventilatori).  
L'alunno ipotizzi una soluzione dell'automatismo, mediante una programmazione in linguaggio ladder per PLC Tsx Micro, tenendo conto che non è ammesso che i generatori e i ventilatori funzionino contemporaneamente.
4. Nel fabbricato adibito a vano appoggio, è presente una linea monofase in cavo unipolare in pvc, posata in tubazione sotto intonaco, di sezione da  $2,5 \text{ mm}^2$ , per la quale è stata calcolata una corrente di impiego  $I_b = 22 \text{ A}$ . Il cavo si trova nelle condizioni di:
  - Temperatura ambiente:  $30^\circ\text{C}$
  - Raggruppamento in fascio: 3 circuiti.La conduttura è protetta da un interruttore magnetotermico da  $25 \text{ A}$ .  
Sulla base dei dati precedenti, stabilire se la conduttura è idonea per portata e se la protezione nei confronti di un sovraccarico è efficace.

---

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

Occorre anzitutto ipotizzare tutti i dati mancanti del problema, riassumibili nella tabella seguente:

| linea                 | P    | K <sub>U</sub> | K <sub>C</sub> | cosφ | sinφ   | P <sub>C</sub> | Q <sub>C</sub> | I <sub>b</sub> |
|-----------------------|------|----------------|----------------|------|--------|----------------|----------------|----------------|
| ILLUMINAZIONE         | 9,0  | 1              | 1              | 0,90 | 0,44   | 9,0            | 4,4            | 14,4           |
| PRESE TRIFASE 16 A    | 10,0 | 1              | 0,9            | 0,90 | 0,44   | 9,0            | 4,3            | 16,0           |
| VENTILATORI           | 24,0 | 0,75           | 0,7            | 0,80 | 0,60   | 12,6           | 9,5            | 32,5           |
| GENERATORI ARIA CALDA | 8,0  | 0,75           | 0,7            | 0,90 | 0,44   | 4,2            | 2,0            | 9,6            |
|                       |      |                |                |      | TOTALI | <b>34,8</b>    | <b>20,2</b>    |                |

I valori di K<sub>U</sub> e K<sub>C</sub> sono stati ipotizzati per carichi simili, e sono tratti dal Manuale Tecnico (tab. X.2.1 e X2.2)

I valori dei fattori di potenza cosφ, ove non indicati dal testo, sono stati ipotizzati.

Dai risultati della tabella precedente si deduce che:

$$\cos\varphi_{eq} = \cos(\arctan(\frac{Q_C}{P_C})) = \cos(\arctan(\frac{20,2}{34,8})) = 0,87$$

Di conseguenza, la corrente convenzionale di impiego della linea di alimentazione del quadro QC sarà data da:

$$I_b = \frac{P_C}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{34800}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,87} = 57,7 \text{ A}$$

Per dimensionare la linea interrata a servizio del capannone, oltre al dato precedente del fattore di potenza equivalente, occorre fare ipotesi aggiuntive:

- Tipo di cavo: **multipolare in EPR (tipo FG7OR 0,6/1 kV)**
- Temperatura del terreno: 20 °C (→ coefficiente correttivo K<sub>1</sub>=1)
- Tipo di posa: cavo unico entro tubo protettivo (→ coefficiente correttivo K<sub>2</sub>=1)
- Profondità di posa: 80 cm (→ coefficiente correttivo K<sub>3</sub>=1)
- Resistività termica del terreno: 1,5 K·m/W (→ coefficiente correttivo K<sub>4</sub>=1)

I valori dei coefficienti correttivi sono tratti dalle tab. X.4.30-31-32-33 del Manuale.

Si sceglie la procedura di individuare la sezione in base alla portata e verificarla per la caduta di tensione, che **viene ipotizzata pari a ΔU<sub>max</sub>%=1%**.

Si ha dunque:

→ **Linea interrata fabbricato-capannone:**

$$I_{0 \min} = \frac{I_b}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4} = \frac{57,7}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1} = 57,7 \text{ A}$$

e dunque scegliendo per il cavo multipolare in EPR occorre (tab. X.4.29, pag.X.68 del manuale) una sezione S = 16 mm<sup>2</sup> con una portata teorica I<sub>0</sub> = 72 A si ottiene la portata effettiva:

$$I_z = I_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 72 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 72 \text{ A}$$

La caduta di tensione massima ammessa risulta:

$$\Delta U_{max} = \frac{\Delta U_{max\%}}{100} \cdot U_n = \frac{1,0}{100} \cdot 400 = 4 \text{ V}$$

Il cavo in questione presenta una caduta di tensione calcolabile come segue:

$$\Delta U_{cavo} = m(r \cdot \cos\varphi + x \cdot \sin\varphi) \cdot I_b \cdot \frac{L}{1000} = \sqrt{3}(1,43 \cdot 0,87 + 0,0817 \cdot 0,49) \cdot 57,7 \cdot \frac{40}{1000} = 5,13 \text{ V}$$

(valori tratti dalla tabella delle cadute di tensione CEI UNEL 35023-70)

E' necessario pertanto **aumentare la sezione, passando a quella da 25 mm<sup>2</sup>** :

$$I_z = I_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 93 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 93 \text{ A}$$

Ricalcolando la caduta di tensione si ha:

$$\Delta U_{cavo} = m(r \cdot \cos\varphi + x \cdot \sin\varphi) \cdot I_b \cdot \frac{L}{1000} = \sqrt{3}(0,907 \cdot 0,87 + 0,0813 \cdot 0,49) \cdot 57,7 \cdot \frac{40}{1000} = 3,31 \text{ V}$$

**Pertanto la linea avrà la formazione:**

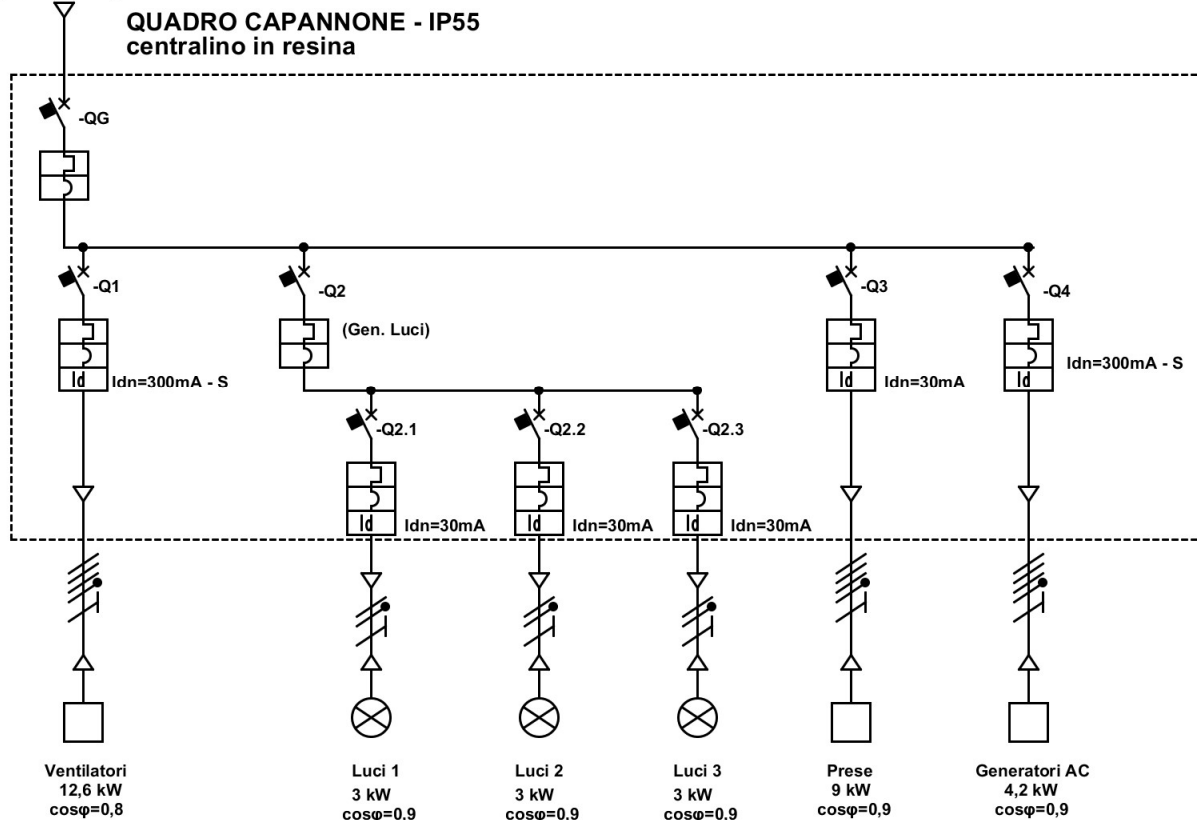
**FG7OR 0,6/1 kV  
5G25**

Nel campo tra corrente di impiego (57,7 A) e portata (93 A) è possibile individuare l'opportuna protezione contro il sovraccarico (63 A oppure 80 A per la corrente nominale della protezione contro il sovraccarico).

Lo schema elettrico unifilare del quadro del capannone potrà essere quello rappresentato nella figura seguente, sotto le seguenti ipotesi e osservazioni:

- 1) Si suppone un grado di protezione IP55, nell'ipotesi che:
  - a. Le polveri presenti, dovute anche a particolari mangimi, possano essere di diametro abbastanza piccolo
  - b. le operazioni di pulizia possano svolgersi anche con getti d'acqua abbastanza forti
- 2) la carpenteria del quadro sia in resina (e in doppio isolamento), cosa che consente di evitare uno sganciatore differenziale come dispositivo generale
- 3) le linee di alimentazione dei ventilatori e dei generatori si attestino su eventuale apposito quadro di automazione
- 4) le linee di illuminazione non richiedano particolari accorgimenti se non la semplice ripartizione fra le fasi
- 5) la linea delle prese trifase potrà attestarsi su appositi quadretti prese, che contengano sia l'attacco monofase sia quello trifase.

da Quadro Generale QG  
(linea interrata)



Il dimensionamento delle linee sarà effettuato con riferimento ai dati della tabella iniziale sulla valutazione dei carichi e riportati sullo schema precedente, aggiungendo le ipotesi necessarie linea per linea.

Poiché è richiesto anche il dimensionamento delle protezioni, è tuttavia necessario valutare la corrente di corto circuito presunta nel punto in cui esse verranno installate, ovvero il quadro del capannone, posto al termine della linea di alimentazione dal quadro generale, dimensionata prima.

Siccome la potenza contrattuale prevista è pari a 50 kW, secondo quanto previsto dalla Norma CEI 0-21 dovremmo ipotizzare una corrente di corto circuito nel punto di consegna  $I_{CCP} = 15 \text{ kA}$  con  $\cos\varphi_{CC} = 0,3$  (CEI 0-21, pag. 23) e pertanto, con riferimento a un circuito equivalente monofase:

➔ rete a monte:

$$Z_M = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_{CCP}} = \frac{230}{15000} = 15,3 \text{ m}\Omega \rightarrow$$

$$R_M = Z_M \cdot \cos\varphi_{CC} = 15,3 \cdot 0,3 = 4,6 \text{ m}\Omega$$

$$X_M = Z_M \cdot \sin\varphi_{CC} = 15,3 \cdot 0,95 = 14,5 \text{ m}\Omega$$

➔ conduttura:

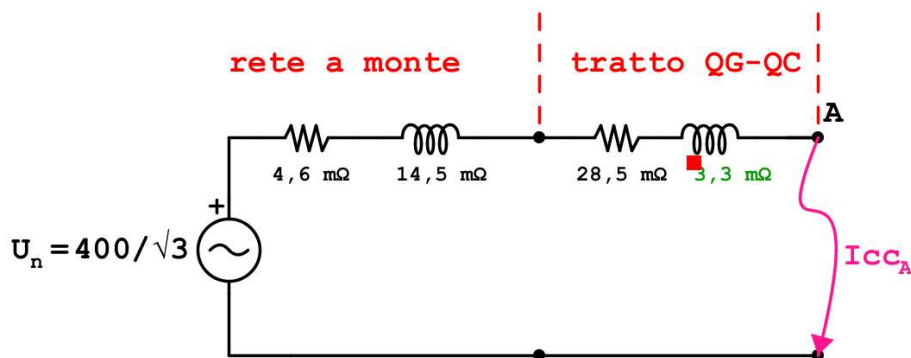
si impone un valore per la resistività a 20 °C del rame:  $\rho_{20^\circ\text{C}} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$   
da cui si ricava il valore della resistenza del tratto di linea:

$$R_C = \rho \cdot \frac{L}{S} = 0,0178 \cdot \frac{40}{25} = 0,0285 \Omega = 28,5 \text{ m}\Omega$$

mentre la reattanza si può desumere dalla Tabella CEI UNEL 35023-70:

$$X_C = 0,0813 \frac{\Omega}{km} \cdot 0,040 km = 0,0033 \Omega = 3,3 m\Omega$$

Costruendo il circuito equivalente si ottiene:



Da cui si ricava la corrente di corto circuito  $I_{CCA}$  sul quadro QC del capannone:

$$I_{CCA} = \frac{\frac{U_n}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(4,6 + 28,5)^2 + (14,5 + 3,3)^2 \cdot 10^{-3}}} = 6146 A = 6,15 kA$$

Si procede dunque al dimensionamento delle linee (in base alla portata e alla caduta di tensione) e delle protezioni (contro il sovraccarico e il corto circuito), tenendo presente che:

a) per il dimensionamento occorre verificare che:

- $I_b \leq I_z$  e  $\Delta U_{cavo} \leq \Delta U_{max}$

b) Per le protezioni occorre verificare che:

- Sovraccarico

Corto Circuito:

$$\begin{cases} I_b \leq I_n \leq I_z \\ I_F \leq 1,45 \cdot I_z \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_{cn} \geq I_{ccp} \\ I^2 \cdot t \leq K^2 \cdot S^2 \end{cases}$$

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

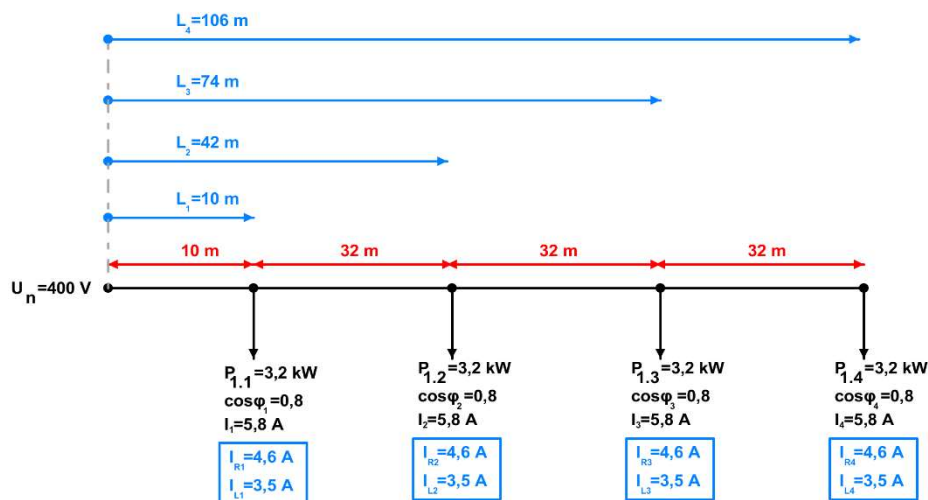
- Se si usano interruttori automatici conformi alle norme di prodotto, la seconda relazione delle protezioni contro il sovraccarico si considera già verificata;
- Se la conduttura risulta protetta a monte anche contro il sovraccarico da uno stesso dispositivo, la prima e la terza verifica delle relazioni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

## → Linea W1: Ventilatori

$P_C = 12,6 kW$  –  $\Delta U_{max} \% = 3,0\%$  (il restante 1% è stato impegnato nella linea interrata in arrivo dal fabbricato)

→ a ciascun ventilatore si attribuisce una  $P_C = 12,6/4 \approx 3,2 kW$  e  $\cos\varphi = 0,8$  (linea unica,  $T_a = 30^\circ C$ )

Poiché nel testo è stabilito che la conduttura sia costituita da un'unica linea con carichi in derivazione a distanze assegnate, si ha la seguente disposizione:



Si procede dunque al calcolo dei Momenti Amperometrici:

$$M_R = \sum_1^4 I_{Ri} \cdot L_i = I_{R1} \cdot L_1 + I_{R2} \cdot L_2 + I_{R3} \cdot L_3 + I_{R4} \cdot L_4 = 4,6 \cdot 10 + 4,6 \cdot 42 + 4,6 \cdot 74 + 4,6 \cdot 106 = 974 \text{ Am}$$

$$M_L = \sum_1^4 I_{Li} \cdot L_i = I_{L1} \cdot L_1 + I_{L2} \cdot L_2 + I_{L3} \cdot L_3 + I_{L4} \cdot L_4 = 3,5 \cdot 10 + 3,5 \cdot 42 + 3,5 \cdot 74 + 3,5 \cdot 106 = 812 \text{ Am}$$

Si definisce la caduta di tensione massima:

$$\Delta U_{max} = \frac{\Delta U_{max\%}}{100} \cdot U_n = \frac{3,0}{100} \cdot 400 = 12 \text{ V}$$

Si valuta la caduta di tensione per fase:

$$\Delta E = \frac{\Delta U_{max}}{\sqrt{3}} = \frac{12}{\sqrt{3}} = 6,9 \text{ V}$$

Si stabilisce la resistività del rame a 20 °C:

$$\rho_{20^\circ\text{C}} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

Supponendo di usare un **cavo unipolare in PVC**, si calcola il valore a 70 °C:

$$\rho_{70^\circ\text{C}} = 0,0178 \cdot \frac{234,5 + 70}{234,5 + 20} = 0,0213 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

Si ipotizza che la reattanza del cavo sia pari a:

$$x = 0,1 \frac{\Omega}{\text{km}} = 0,1 \cdot 10^{-3} \frac{\Omega}{\text{m}} = 0,0001 \frac{\Omega}{\text{m}}$$

Si calcola la sezione teorica:

$$S = \frac{\rho \cdot M_R}{\Delta E - x \cdot M_L} = \frac{0,0213 \cdot 974}{6,9 - 0,0001 \cdot 812} = 3,02 \text{ mm}^2$$

Si adotta la sezione commerciale immediatamente superiore:

$$S = 4 \text{ mm}^2$$

Si verifica la portata (tab. X.4.23 del manuale, posa in tubo in aria):

$$I_0 = 28 \text{ A} \rightarrow I_z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 28 \cdot 1 \cdot 1 = 28 \text{ A}$$

Poiché la corrente complessiva più elevata si ha nel primo tratto ed è pari a:

$$I_{tot} = \sqrt{(I_{R1} + I_{R2} + I_{R3})^2 + (I_{L1} + I_{L2} + I_{L3})^2} = 23,2 \text{ A}$$

la sezione scelta va bene (anche valutando che occorra proteggere la linea contro il sovraccarico, risultano disponibili protezioni con corrente nominale compresa fra 23,2 A e 28 A).

Pertanto la linea W1 avrà la formazione:

**N07V-K**  
**3(1x4)+1G4**

La protezione -Q1 sarà caratterizzata da:

$$23,2 \leq I_n = 25 \text{ A} \leq 28$$

**Caratteristica: C**

**3P**

$$I_{cn} = 10 \text{ kA} \geq 6,15$$

## ➔ Linea W2.1: 1^ Linea Illuminazione

P=9 kW - K<sub>U</sub>=1 - ΔU<sub>max</sub>% = 3,0% - cosφ=0,9 - L=50 m (distanza per carico equivalente posto a metà tratta)  
Viene suddivisa in tre linee monofase, da 3 kW ciascuna, poste tutte nella medesima tubazione (k<sub>2</sub>=0,70)

$$I_b = \frac{P \cdot K_U}{E \cdot \cos\varphi} = \frac{3000 \cdot 1}{230 \cdot 0,9} = 14,5 \text{ A}$$

$$\text{da cui si individua } I_{0 \min} = \frac{I_b}{k_1 \cdot k_2} = \frac{14,5}{1 \cdot 0,7} = 21 \text{ A}$$

e dunque scegliendo un cavo unipolare in PVC occorre (tab. X.4.23, pag. X.59 del manuale) una **sezione non inferiore a S = 2,5 mm<sup>2</sup> con una portata teorica I<sub>0</sub> = 24 A** da cui si ottiene la portata effettiva:

$$I_z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 24 \cdot 1 \cdot 0,70 = 16,8 \text{ A}$$

La caduta di tensione massima ammessa risulta:

$$\Delta U_{max} = \frac{\Delta U_{max\%}}{100} \cdot U_n = \frac{3,0}{100} \cdot 230 = 6,9 \text{ V}$$

Il cavo in questione presenta una caduta di tensione unitaria (tab.X.5.1 a pag. X.77 del manuale) pari al valore medio fra  $k=17,8 \text{ mV/Am}$  (a  $\cos\varphi=1$ )  $k=14,4 \text{ mV/Am}$  (a  $\cos\varphi=0,8$ ), ovvero  $k=16,1 \text{ mV/Am}$  e dunque la caduta di tensione effettiva sarà data da:

$$\Delta U_{cavo} = \frac{k \cdot I_b \cdot L}{1000} = \frac{16,1 \cdot 14,5 \cdot 50}{1000} = 11,6 \text{ V}$$

Poiché tale valore risulta maggiore del valore massimo occorre dunque aumentare la sezione, individuando il

$$k_{max} = \frac{\Delta U_{max} \cdot 1000}{I_b \cdot L} = \frac{6,9 \cdot 1000}{14,5 \cdot 50} = 9,51 \frac{\text{mV}}{\text{Am}}$$

da cui, cercando il valore medio per il cavo da  $4 \text{ mm}^2$ , si ricava una caduta di tensione unitaria:

$$k_{cavo} = \frac{11,1 + 9,08}{2} = 10,1 \frac{\text{mV}}{\text{Am}}$$

che risulta ancora insufficiente, mentre per la **sezione da  $6 \text{ mm}^2$**  si ha:

$$k_{cavo} = \frac{7,41 + 6,10}{2} = 6,76 \frac{\text{mV}}{\text{Am}}$$

che consentirà di ottenere:

$$\Delta U_{cavo} = \frac{k \cdot I_b \cdot L}{1000} = \frac{6,76 \cdot 14,5 \cdot 50}{1000} = 4,9 \text{ V}$$

con una portata

$$I_z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 41 \cdot 1 \cdot 0,70 = 28,7 \text{ A}$$

Pertanto la linea W2.1 (e similmente varrà anche per le altre due linee di illuminazione) avrà la formazione:

**N07V-K  
2(1x6)+1G6**

La protezione –Q2.1 sarà caratterizzata da:

$14,5 \leq I_n = 16 \text{ A} \leq 28,7$   
**Caratteristica: C**  
**1P+N**  
 **$I_{cn} = 10 \text{ kA} \geq 6,15$**

### → Linea W3: Prese

Utilizzando sempre la stessa tipologia di conduttura (cavo unipolare in PVC, posa in tubo in aria,  $T_a=30 \text{ °C}$  e raggruppamento 2 circuiti, con  $k_2=0,80$ ), si ha:

$$I_b = \frac{P \cdot K_U}{E \cdot \cos\varphi} = \frac{10000 \cdot 0,9}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 14,5 \text{ A}$$

da cui si individua  $I_{0 \min} = \frac{I_b}{k_1 \cdot k_2} = \frac{14,5}{1 \cdot 0,8} = 18 \text{ A}$

si può ipotizzare che le prese siano disposte a metà tratta del lato lungo del capannone ( $L=50 \text{ m}$ ) e pertanto, essendo le condizioni le stesse del caso precedente, si valuta anche per tale linea l'adozione di una **sezione da  $6 \text{ mm}^2$** :

$$\begin{aligned} I_z &= I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 36 \cdot 1 \cdot 0,80 = 28,8 \text{ A} \\ \Delta U_{max} &= \frac{\Delta U_{max\%}}{100} \cdot U_n = \frac{3,0}{100} \cdot 400 = 12 \text{ V} \\ k_{cavo} &= \frac{6,42 + 5,28}{2} = 5,85 \frac{\text{mV}}{\text{Am}} \\ \Delta U_{cavo} &= \frac{k \cdot I_b \cdot L}{1000} = \frac{5,85 \cdot 14,5 \cdot 50}{1000} = 4,24 \text{ V} \end{aligned}$$

Pertanto la linea W3 avrà la formazione:

**N07V-K  
3(1x6)+1N6+1G6**

La protezione –Q3, considerando che **occorre proteggere anche le prese da 16 A**, sarà caratterizzata da:

$14,5 \leq I_n = 16 \text{ A} \leq 28,8$   
**Caratteristica: C**  
**3P+N**  
 **$I_{cn} = 10 \text{ kA} \geq 6,15$**

## → Linea W4: Generatori Aria Calda

Utilizzando sempre la stessa tipologia di conduttura (cavo unipolare in PVC, posa in tubo in aria,  $T_a=30\text{ }^{\circ}\text{C}$  e raggruppamento 2 circuiti, con  $k_2=0,80$ ), si ha:

$$I_b = \frac{P \cdot K_U}{E \cdot \cos\varphi} = \frac{8000 \cdot 0,75}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 9,6 \text{ A}$$

Il testo del problema indica che i generatori sono disposti sul lato corto del capannone, in posizione opposta a quella del quadro QC. Si tratta pertanto di una lunghezza importante ( $L=120\text{ m}$ ) e dunque appare più rapida la scelta di dimensionare in base alla caduta di tensione unitaria.

$$\Delta U_{max} = \frac{\Delta U_{max\%}}{100} \cdot U_n = \frac{3,0}{100} \cdot 400 = 12 \text{ V}$$
$$k_{max} = \frac{\Delta U_{max} \cdot 1000}{I_b \cdot L} = \frac{12 \cdot 1000}{9,6 \cdot 120} = 10,4 \frac{\text{mV}}{\text{Am}}$$

che è un valore interpolabile come valore medio (a  $\cos\varphi = 0,9$ ) per la **sezione di 4 mm<sup>2</sup>** (tab. X.5.1 del Manuale):

$$k_{cavo} = \frac{9,65 + 7,87}{2} = 8,76 \frac{\text{mV}}{\text{Am}}$$

da cui:

$$\Delta U_{cavo} = \frac{k \cdot I_b \cdot L}{1000} = \frac{8,76 \cdot 9,6 \cdot 120}{1000} = 10,1 \text{ V}$$

Tale sezione ha una portata teorica  $I_0 = 28\text{ A}$ , alla quale corrisponde una **portata effettiva**

$$I_z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 28 \cdot 1 \cdot 0,80 = 22,4 \text{ A}$$

Pertanto la linea W4 avrà la formazione:

**N07V-K**  
**3(1x4)+1G4**

La protezione –Q4 sarà caratterizzata da:

$$9,6 \leq I_n = 20 \text{ A} \leq 22,4$$

**Caratteristica: C**

**3P**

$$I_{cn} = 10 \text{ kA} \geq 6,15$$

## QUESITI

- 1) Poiché l'impianto di terra è a servizio dell'intera attività e poiché nel quadro generale è presente un interruttore generale magnetotermico differenziale con corrente differenziale nominale  $I_{dn}=1$  A, trattandosi di sistema TT si ha il seguente coordinamento:

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

e pertanto, considerando che in ambienti agro-zootecnici la tensione limite  $U_L = 25$  V, la resistenza di terra dovrà essere:

$$R_E \leq \frac{25}{1} = 25 \Omega$$

Non pare opportuno, vista anche la resistività del terreno, realizzare l'impianto con dispersori verticali (picchetti), e non è possibile sfruttare i ferri dei plinti di fondazione, in quanto l'edificio è già costruito.

Si valuta pertanto la scelta di installare una corda nuda di acciaio zincato (da  $25 \text{ mm}^2$ ), di lunghezza pari a 30 metri, come dispersore orizzontale, valutando la resistenza complessiva con la formula:

$$R_E = \frac{2 \cdot \rho}{L_c} = \frac{2 \cdot 150}{30} = 10 \Omega$$

Tale valore consente anche di avere un buon margine di sicurezza, per tener conto anche di variazioni stagionali della resistività del terreno.

La sua disposizione potrà essere prevista in corrispondenza al fabbricato principale.

La posa interrata dovrà essere realizzata con cura, in particolar modo compattando adeguatamente il terreno della trincea di scavo, utilizzando materiale idoneo (terreno organico o calcareo).

- 2) Poiché dai dati calcolati precedentemente risulta che il capannone assorbe:

$$\begin{cases} P = 34,8 \text{ kW} \\ Q = 20,2 \text{ kvar} \end{cases} \quad a \quad \cos \varphi = 0,87 \quad (\tan \varphi = 0,567)$$

e si ipotizza di rifasare portando il  $\cos \varphi = 0,95$  ( $\tan \varphi = 0,328$ ), la potenza della batteria di rifasamento è data da:

$$Q_C = P \cdot [\tan \varphi_{NR} - \tan \varphi_R] = 34,8 \cdot [0,567 - 0,328] = 8,3 \text{ kvar}$$

Considerato che il testo del quesito parla di un sistema di rifasamento a servizio del capannone, si può ipotizzare un rifasatore automatico, dal valore commerciale (cfr. Tab. X.11.13 del Manuale) di potenza rifasante di 12,5 kvar, il che porterebbe a:

$$Q_{eq} = Q_{NR} - Q_{cn} = 20,2 - 12,5 = 7,7 \text{ kvar}$$

da cui

$$\tan \varphi_{eq} = \frac{Q_{eq}}{P_{tot}} = \frac{7,7}{34,8} = 0,221 \quad \rightarrow \quad \cos \varphi_{eq} = 0,98$$

Il sistema sarà dotato di automatismo per l'inserzione e la disinserzione dei moduli (da 2,5 kvar ciascuno). Sarà costituito da batterie trifase di condensatori, collegate a triangolo e protette da una terna di fusibili con:

$$I_n \geq 2,5 \cdot I_{nc} = 2,5 \cdot \frac{Q_{cn}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 2,5 \cdot \frac{12500}{\sqrt{3} \cdot 400} = 45,1 \text{ A} \quad \rightarrow \quad I_n = 50 \text{ A}$$

La capacità complessiva della batteria di rifasamento è calcolabile con la seguente espressione:

$$C_d = \frac{Q_{cn}}{3 \cdot 2\pi \cdot f \cdot U_n^2} = \frac{12500}{3 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 400^2} = 0,000249 \text{ F} \approx 250 \mu\text{F}$$

- 3) Per esaminare il problema è opportuno inquadrare il contesto e fare **eventuali** ipotesi aggiuntive: Innanzitutto si può ipotizzare che il sistema di rilevamento temperatura e automazione faccia capo a un quadro di comando nel quale siano collocati **almeno**:

- un pulsante di messa in funzione dell'automatismo;
- un pulsante di stop dell'automatismo;
- un pulsante di emergenza

Tale quadro potrebbe essere integrato da eventuali luci di segnalazione, comprese quelle derivanti dal sistema di misura della temperatura e dallo stato di funzionamento delle apparecchiature. Il sistema inoltre potrebbe prevedere anche un avvio/spegnimento manuale delle macchine.

Per procedere alla programmazione per PLC è necessario esaminare passo per passo i punti fondamentali.

a) Descrizione del funzionamento essenziale:

- premendo il pulsante di marcia il sistema automatico di regolazione viene messo in funzione;
- al contrario, una pressione sul pulsante di stop o di emergenza deve porre l'intero sistema in stato di fermo;
- se il sistema è stato messo in funzione, il segnale proveniente dal sistema di misura della temperatura che indica una temperatura inferiore al valore minimo mette in funzione i generatori di aria calda;
- in tale situazione i ventilatori devono rimanere spenti
- al venir meno del segnale di temperatura bassa, i generatori di aria calda devono spegnersi (eventualmente anche con una temporizzazione, per permettere di contrastare l'inerzia termica)
- se il sistema di misura della temperatura rileva un valore eccessivo, devono entrare in funzione i ventilatori, inibendo il funzionamento eventuale dei generatori;
- al venir meno del segnale di temperatura alta, i ventilatori devono spegnersi (eventualmente anche con una temporizzazione, per permettere di contrastare l'inerzia termica)

Nota: sarebbe opportuno che i sensori di temperatura fossero dotati di zona neutra di intervento, onde evitare un continuo accendi/spegni delle macchine

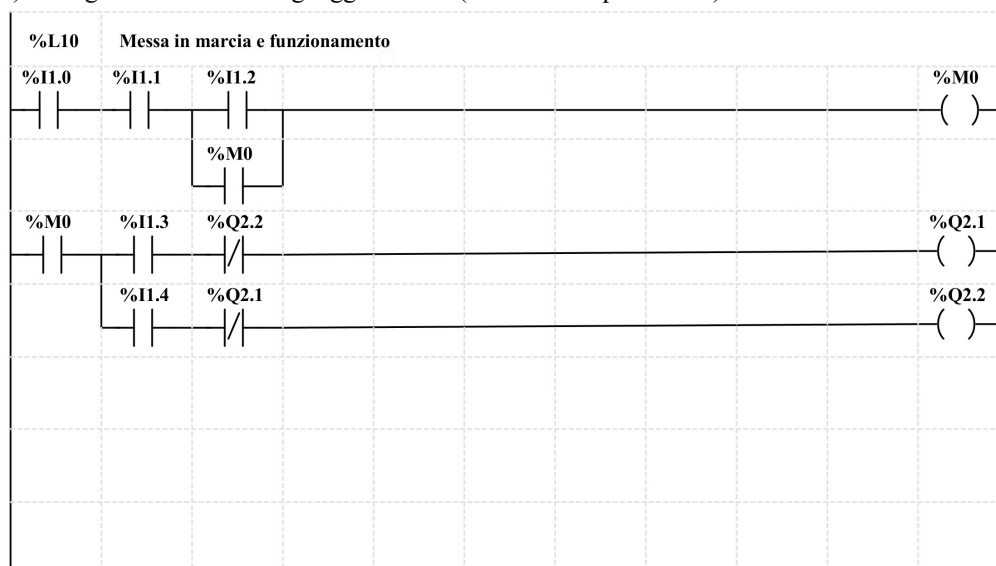
b) Rilevamento dei componenti di campo:

- Pulsante di emergenza → SB0 - NC
- Pulsante di Stop → SB1 - NC
- Pulsante di Marcia → SB2 - NO
- Sensore temperatura bassa → ST1 - NO
- Sensore di temperatura alta → ST2 - NO
- Teleruttore avvio ventilatori → KV
- Teleruttore avvio generatori → KG

c) Indirizzamento Input/Output al PLC

- INPUT
  - ✓ SB0 → %I1.0
  - ✓ SB1 → %I1.1
  - ✓ SB2 → %I1.2
  - ✓ ST1 → %I1.3
  - ✓ ST2 → %I1.4
- OUTPUT
  - ✓ KV → %Q2.1
  - ✓ KG → %Q2.2

d) Programmazione in linguaggio ladder (a titolo esemplificativo)



- alla pressione del pulsante di marcia %I1.2 il merker %M0 assume lo stato logico 1;
- l'intervento di uno dei due sensori di temperatura attiva il funzionamento della relativa macchina, a patto che l'altra non sia già in funzione (interblocco tra %Q2.1 e %Q2.2).

Come detto il programma potrebbe essere completato con le segnalazioni luminose del funzionamento, ma anche con una segnalazione di errore per contemporanea segnalazione dei due sensori (e conseguente blocco e allarme remoto), o con una temporizzazione delle accensioni.

- 4) In base alle indicazioni fornite dal testo, la linea in questione presenta una portata teorica  $I_0 = 24 \text{ A}$  (tab. X.4.23) e nelle condizioni di posa, temperatura ambiente ( $k_1 = 1$ ) e raggruppamento in fascio ( $k_2 = 0,70$ ) la sua portata effettiva è:

$$I_z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 24 \cdot 1 \cdot 0,70 = 16,8 \text{ A}$$

Tale portata, a fronte della corrente di impiego  $I_b = 22 \text{ A}$ , è chiaramente insufficiente.

La protezione contro il sovraccarico dovrebbe inoltre prevedere una corrente nominale  $I_n$  della protezione compresa fra la corrente di impiego  $I_b$  e la portata  $I_z$  ma in queste condizioni tale coordinamento non è garantito: la conduttura, attraversata dalla sua stessa corrente di impiego risulterebbe sovraccaricata ma la protezione non interverrebbe.

Una sezione di  $4 \text{ mm}^2$  (con portata teorica  $I_0 = 32 \text{ A}$ ), avrebbe una portata  $I_z = 22,4 \text{ A}$  e pertanto sarebbe idonea nei confronti della portata ma la protezione sarebbe ancora inefficace a proteggere contro il sovraccarico (per esempio una sovracorrente di  $24 \text{ A}$  alla lunga danneggerebbe la conduttura ma non innescherebbe l'intervento della protezione da  $25 \text{ A}$ ).