

premiato istituto Electa You
via WEB - 00042 Terra

2^ 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 clinica medica per riabilitazione, alimentata con sistema TT in bassa tensione, è presente un Quadro Generale QG, in carpenteria metallica, che alimenta tre sottoquadri dei reparti, ai quali sono associati i seguenti dati:

- ➔ QR1: $P_1 = 15 \text{ kW}$ $\cos\varphi_1 = 0,84$
- ➔ QR2: $P_2 = 20 \text{ kW}$ $\cos\varphi_2 = 0,88$
- ➔ QR3: $P_3 = 12 \text{ kW}$ $\cos\varphi_3 = 0,92$

La corrente di corto circuito presunta I_{ccp} , nel punto di fornitura, è stimata in 8,5 kA.

Nel parco attorno alla clinica, è presente una linea di illuminazione esterna monofase, di lunghezza pari a 180 m, che alimenta i punti di illuminazione costituiti da corpi illuminanti, aventi ciascuno una potenza di 150 W e $\cos\varphi = 0,95$ e distanziati di 20 m.

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

1. determini la potenza totale convenzionale complessiva (attiva e reattiva) a servizio della clinica e il valore del fattore di potenza complessivo;
2. disegni lo schema unifilare del quadro generale, tenendo conto della necessità di assicurare la selettività di intervento per guasti verso terra;
3. dimensioni almeno una delle linee che alimentano i sottoquadri e la relativa protezione;
4. determini le caratteristiche dell'impianto di rifasamento automatico centralizzato per portare il fattore di potenza a 0,95.

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, a seguito di una misurazione della resistenza dell'impianto di terra sono stati rilevati i seguenti dati:

d [m]	0	0,5	1	2	3	4	5	6
R [Ω]	0	70	90	110	120	120	160	800

Si riportino i dati su un grafico cartesiano e, tenendo conto di quanto individuato nella prima parte, si valuti la correttezza del coordinamento delle protezioni nei confronti dei contatti indiretti e si indichino eventuali azioni correttive.

2. Si dimensionino la linea interrata a servizio dell'illuminazione esterna, descritta nella prima parte del problema, se ne calcoli la portata effettiva e si ipotizzi una protezione nei confronti delle sovracorrenti.
3. Calcolare la corrente di corto circuito a valle di un trasformatore avente le seguenti caratteristiche:
tipo Dyn11
A = 630 kVA
 $u_{cc}\%$ = 6 %
K = 20/0,4

Indicare quali condizioni devono essere rispettate per l'inserzione in parallelo di due trasformatori.

4. Nella linea di alimentazione di un motore asincrono trifase sono stati inseriti due wattmetri in Aron per le misure di potenza, ottenendo i seguenti risultati:
 - $W_{13} = 4300$ W
 - $W_{23} = 2000$ W

Sapendo inoltre che il motore, con due coppie polari e rendimento $\eta = 0,88$, lavora con uno scorrimento $s\%$ = 3%, calcolare:

- La potenza attiva e la potenza reattiva assorbite dal motore
- Il fattore di potenza del motore
- La potenza meccanica resa all'asse del motore
- La velocità di rotazione n in giri/min
- La coppia motrice C_m

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

1) Si determina anzitutto la potenza reattiva di ciascun reparto:

$$\begin{aligned} \rightarrow Q_1 &= P_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 && \text{ed essendo } \cos \varphi_1 = 0,84 \text{ si ricava:} \\ & && \operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg}(\arccos(0,84)) = 0,65 \text{ e dunque} \\ Q_1 &= P_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 15 \cdot 0,65 = 9,75 \text{ kvar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow Q_2 &= P_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 && \text{ed essendo } \cos \varphi_2 = 0,88 \text{ si ricava:} \\ & && \operatorname{tg} \varphi_2 = \operatorname{tg}(\arccos(0,88)) = 0,54 \text{ e dunque} \\ Q_2 &= P_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 = 20 \cdot 0,54 = 10,8 \text{ kvar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow Q_3 &= P_3 \cdot \operatorname{tg} \varphi_3 && \text{ed essendo } \cos \varphi_3 = 0,92 \text{ si ricava:} \\ & && \operatorname{tg} \varphi_3 = \operatorname{tg}(\arccos(0,92)) = 0,43 \text{ e dunque} \\ Q_3 &= P_3 \cdot \operatorname{tg} \varphi_3 = 12 \cdot 0,43 = 5,16 \text{ kvar} \end{aligned}$$

Le potenze totali saranno date pertanto da:

$$\begin{aligned} P_{\text{tot}} &= P_1 + P_2 + P_3 = 15 + 20 + 12 = 47 \text{ kW} \\ Q_{\text{tot}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 = 9,75 + 10,8 + 5,16 = 25,71 \text{ kvar} \end{aligned}$$

Si ipotizza che i reparti abbiano un funzionamento caratterizzato da fattori di utilizzazione e di contemporaneità pari a:

$$k_U = 0,90 \quad k_C = 0,90$$

il che equivale a porre un coefficiente globale $k_G = 0,90 \cdot 0,90 = 0,81$ ottenendo in tal modo le potenze convenzionali totali:

$$P_{\text{Conv}} = P_{\text{tot}} \cdot k_G = 47 \cdot 0,81 \approx 38 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{Conv}} = Q_{\text{tot}} \cdot k_G = 25,71 \cdot 0,81 \approx 21 \text{ kvar}$$

dalle quali si deduce il fattore di potenza complessivo:

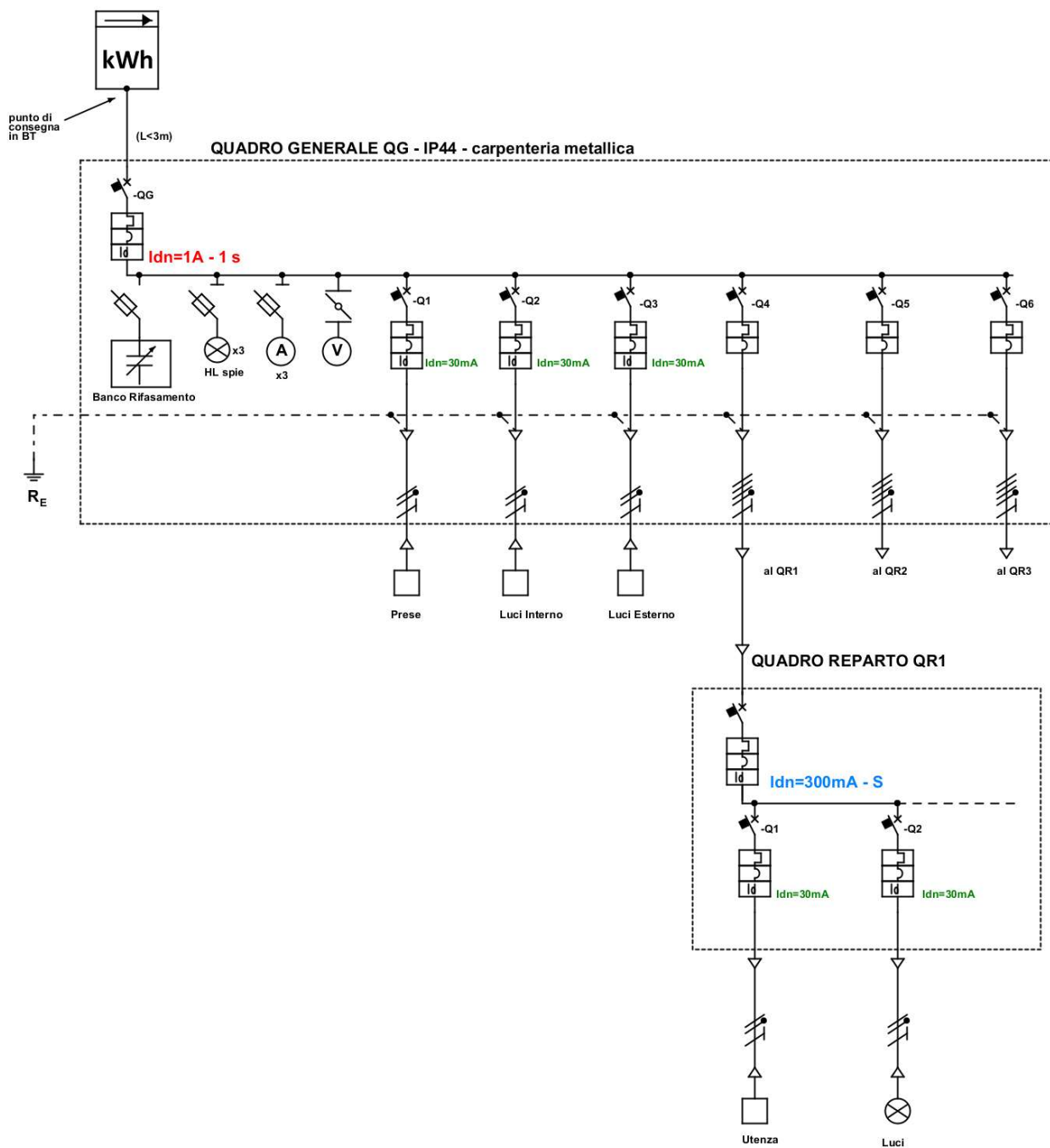
$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{Conv}} = \frac{Q_{\text{Conv}}}{P_{\text{Conv}}} = \frac{21}{38} = 0,553 \rightarrow \cos \varphi_{\text{Conv}} = 0,88$$

2) Nel disegno dello schema unifilare del Quadro Generale occorre tener presente che:

- avendo esso una carpenteria metallica, dovrà necessariamente disporre di un interruttore generale dotato di sganciatore differenziale;
- essendo richiesta una selettività di intervento nei confronti dei guasti verso terra, tale sganciatore dovrà necessariamente essere selettivo nei confronti dei dispositivi differenziali inseriti a valle, sia nello stesso Quadro Generale sia nei Quadri di Reparto.
- le linee terminali, in particolare quelle che alimentano prese a spina, avranno necessariamente una protezione differenziale con $I_{\text{dn}} = 30 \text{ mA}$;

- d) se i quadri di reparto avessero anch'essi carpenteria metallica, per assicurare tale selettività è opportuno che il dispositivo generale del quadro di reparto disponga di uno sganciatore differenziale selettivo rispetto alle sue linee terminali.

In base alle precedenti considerazioni, pertanto, si suppone una catena di selettività realizzata come nello schema seguente:



Si nota, in tale schema, che il dispositivo generale del reparto è selettivo rispetto alle protezioni derivate, mentre il generale dell'attività risulta selettivo rispetto ai generali di reparto.

Nel caso in cui la carpenteria dei quadri di reparto fosse ipotizzata in isolamento doppio, l'interruttore generale di reparto potrebbe essere anche un semplice magnetotermico.

3) Si sceglie di dimensionare la linea di alimentazione al reparto QR1. **I dati disponibili e quelli da ipotizzare sono riassunti come segue:**

- ➔ cavo tipo N07V-K (unipolare in PVC)
- ➔ posa in tubo in aria (posa 4: entro canale termoplastico a parete)
- ➔ temperatura ambiente $T_a = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ➔ raggruppamento in fascio: 3 circuiti
- ➔ potenza convenzionale $P_{1C} = 15 \cdot 0,90 = 13,5\text{ kW}$
- ➔ $\cos\varphi_1 = 0,84$
- ➔ lunghezza $L = 40\text{ m}$
- ➔ caduta di tensione massima percentuale ammessa $\Delta U_{\max\%} = 1,5\%$

Si ricava la corrente convenzionale di impiego:

$$I_b = \frac{P_C}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{13500}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,84} = 23,2\text{ A}$$

Si calcola la caduta di tensione massima:

$$\Delta U_{\max} = \frac{\Delta U_{\max\%}}{100} \cdot U_n = \frac{1,5}{100} \cdot 400 = 6\text{ V}$$

Si valuta la caduta di tensione unitaria massima:

$$k_{\max} = \frac{\Delta U_{\max} \cdot 1000}{I_b \cdot L} = \frac{6 \cdot 1000}{23,2 \cdot 40} = 6,47 \frac{\text{mV}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

Dalla tabella CEI UNEL 35023 (pag. X-77, tab. X.5.1) si individua una sezione $S = 6\text{ mm}^2$ (che presenta i valori di k inferiori, sia per $\cos\varphi=1$ sia per $\cos\varphi=0,8$) per la quale si calcola il valore di caduta di tensione unitaria interpolando i valori della tabella, approssimando il $\cos\varphi$ della linea a 0,85:

$$\text{a } \cos\varphi=0,9 \rightarrow k = \frac{6,42+5,28}{2} = 5,85 \frac{\text{mV}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

$$\text{a } \cos\varphi=0,85 \rightarrow k = \frac{5,85+5,28}{2} = 5,57 \frac{\text{mV}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

Per tale sezione si individua (pag. X-59, tab. X.4.23) una portata teorica $I_0 = 36\text{ A}$.

La portata effettiva dovrà considerare i coefficienti correttivi $k_1 = 1$ e $k_2 = 0,70$

$$I_z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 36 \cdot 1 \cdot 0,70 = 25,2\text{ A}$$

Procedendo alle verifiche si ottiene:

➔ portata:

$$I_z \geq I_b \rightarrow 25,2 \geq 23,2 \quad \text{il cavo è idoneo per la portata}$$

➔ caduta di tensione:

$$\Delta U_{cavo} \leq \Delta U_{\max} \rightarrow \Delta U_{cavo} = \frac{k \cdot I_b \cdot L}{1000} = \frac{5,57 \cdot 23,2 \cdot 40}{1000} = 5,2\text{ V} \leq 6\text{ V} \quad \text{cavo idoneo per caduta di tensione.}$$

La protezione (interruttore automatico magnetotermico) dovrà garantire l'intervento per sovraccarico e per corto circuito:

se si sceglie un interruttore automatico magnetotermico, con caratteristica C, avente corrente nominale $I_n = 25$ A e potere di interruzione $I_{cn} = 10$ kA, si verifica che entrambe le richieste sono rispettate.

Infatti:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \rightarrow 23,2 \leq 25 \leq 25,2 \quad \text{il cavo è protetto contro il sovraccarico}$$

$$I_{cn} \geq I_{ccp} \rightarrow 10 \geq 8,5 \quad \text{il cavo è protetto contro il corto circuito.}$$

Le altre verifiche riguardanti:

- per il sovraccarico, la corrente di funzionamento $I_F \leq 1,45 \cdot I_z$
- per il corto circuito, l'energia passante $I^2 \cdot t \leq K^2 \cdot S^2$

non sono necessarie, in quanto:

- per il sovraccarico, se l'interruttore automatico (come di fatto accade) è rispondente alle norme di prodotto (CEI 23-3 per quelli modulari ad uso domestico o similare, e CEI 17-5 per quelli ad uso industriale), la verifica della corrente di funzionamento I_F è automatica;
- per il corto circuito, se la conduttura è protetta a monte dallo stesso dispositivo usato per proteggerla dal sovraccarico, la Norma CEI 64-8 permette di non eseguire la verifica dell'energia passante.

In definitiva si ha:

- ➔ linea: N07V-K 3(1x6) + 1N6 + 1G6
- ➔ interruttore: C25 – 3P+N – 10 kA

4) Per calcolare i parametri dell'impianto di rifasamento automatico, riassumiamo i dati (v. punto 1):

$$P = 38 \text{ kW}$$

$$\cos \varphi_{NR} = 0,88 \rightarrow \tan \varphi_{NR} = 0,54 \quad ; \quad \cos \varphi_R = 0,95 \rightarrow \tan \varphi_R = 0,33$$

Si calcola la potenza della batteria di rifasamento:

$$Q_C = P \cdot (\tan \varphi_{NR} - \tan \varphi_R) = 38 \cdot (0,54 - 0,33) \cong 8 \text{ kvar}$$

Scegliendo una inserzione a triangolo delle batterie di condensatori, la capacità di ciascuna batteria sarà data da:

$$C = \frac{Q_C}{3 \cdot 2\pi f \cdot U^2} = \frac{8000}{3 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 400^2} = 53 \mu F$$

I condensatori dovranno essere dotati di un circuito di scarica che assicuri che la tensione residua dopo un minuto non sia superiore a 50 V. La costante di tempo τ è calcolabile con l'espressione:

$$\tau = \frac{t}{\ln\left(\frac{\sqrt{2} \cdot U_n}{U_{res}}\right)} = \frac{60}{\ln\left(\frac{\sqrt{2} \cdot 400}{50}\right)} = 24,7 \text{ s}$$

e collegando a triangolo anche i resistori di scarica si ottiene:

$$R = \frac{\tau}{C} = \frac{24,7}{0,000053} \cong 466 \text{ k}\Omega$$

La corrente nominale della batteria di rifasamento sarà data da:

$$I_{nc} = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{8000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 11,5 \text{ A}$$

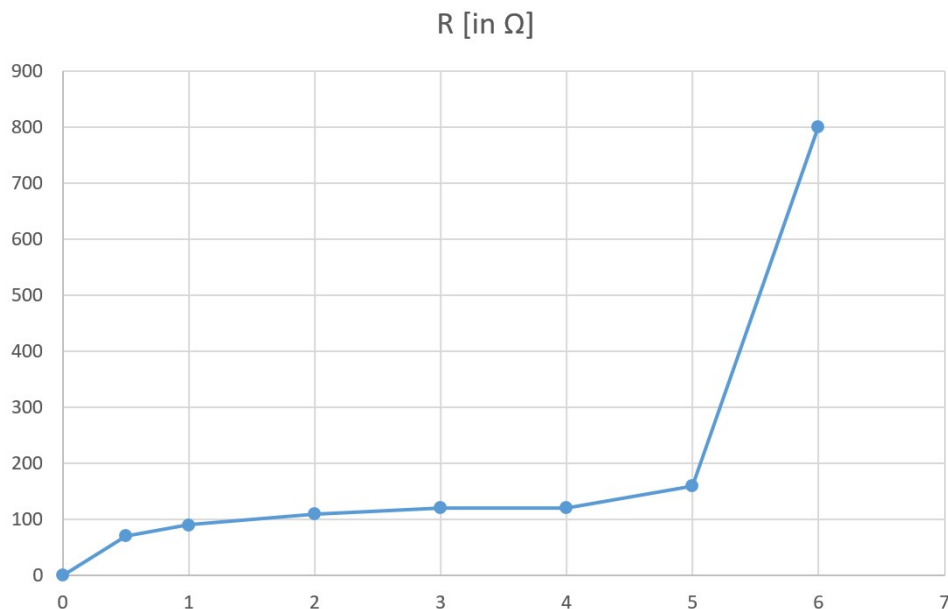
e la corrente dei fusibili di protezione:

$$I_n \geq 2,5 \cdot I_{nc} = 2,5 \cdot 11,5 = 28,75 \rightarrow I_n = 32 \text{ A}$$

SECONDA PARTE

QUESITO N° 1

Riportando su un grafico i valori tabellati si ottiene il seguente andamento:



In esso si può attribuire il punto di flesso intorno ai tre metri, con il valore conseguente di resistenza dell'impianto di terra pari a:

$$R_E = 120 \Omega \text{ (valore peraltro contenuto in tabella)}$$

Poiché si tratta di ambiente ad uso medico in un sistema TT e poiché la corrente massima di sganciatore differenziale è $I_{dn}=1 \text{ A}$ (interruttore generale del Quadro Generale), il valore della resistenza di terra dovrebbe rispettare la seguente relazione di coordinamento:

$$R_E \leq \frac{U_L}{I_{dn}} = \frac{25}{1} = 25 \Omega$$

Occorre dunque integrare il sistema disperdente esistente con ulteriori dispersori, ipotizzando che il terreno presenti una resistività $\rho = 200 \Omega \cdot \text{m}$

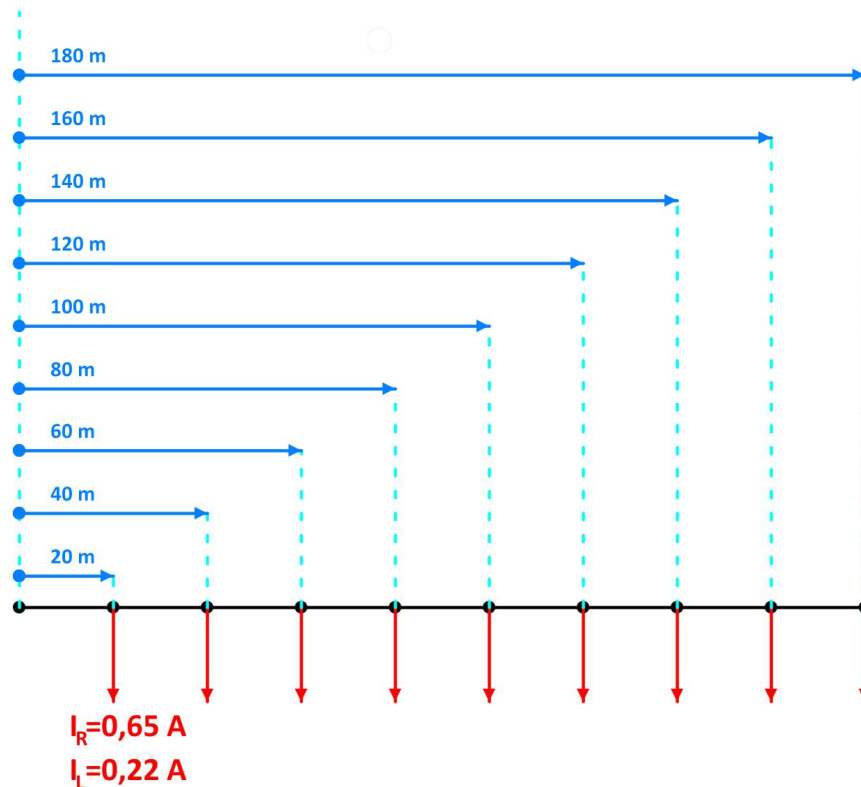
Utilizzando una corda nuda in acciaio zincato o in rame (da 25 mm^2) si ottiene:

$$R_c = \frac{2 \cdot \rho}{L_c} = \frac{2 \cdot 200}{25} = 16 \Omega$$

che, posta in parallelo ai dispersori esistenti, assicura il coordinamento cercato.

QUESITO N° 2

La linea di illuminazione presenta dei carichi distribuiti e viene schematizzata come in figura:



dove i valori di I_R e di I_L dei singoli carichi sono stati calcolati da:

$$I_b = \frac{P}{U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{150}{230 \cdot 0,95} = 0,69 \text{ A} \rightarrow I_R = I_b \cdot \cos\varphi = 0,65 \text{ A} ; I_L = I_b \cdot \sin\varphi = 0,22 \text{ A}$$

Si procede pertanto al calcolo dei Momenti Amperometrici:

$$M_R = 0,65 \cdot (20 + 40 + 60 + 80 + 100 + 120 + 140 + 160 + 180) = 585 \text{ Am}$$

$$M_L = 0,22 \cdot (20 + 40 + 60 + 80 + 100 + 120 + 140 + 160 + 180) = 198 \text{ Am}$$

Si stabilisce la caduta di tensione percentuale: $\Delta U\% = 4\%$ (non abbiamo altre linee da essa derivate)

Si calcola la caduta di tensione complessiva della linea monofase: $\Delta U = 0,04 \cdot 230 = 9,2 \text{ V}$

Si individua la caduta di tensione riferita alla fase: $\Delta E = \frac{\Delta U}{2} = \frac{9,2}{2} = 4,6 \text{ V}$

Si sceglie il cavo: FG7OR (cavo multipolare in EPR, idoneo per posa interrata)

Si calcola la resistività del rame riportata a 90 °C (temperatura dell'EPR) $[\rho_{20} = 0,0178 \text{ } \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}]$

$$\rho_{90} = \rho_{20} \cdot \frac{234,5 + 90}{234,5 + 20} = 0,0227 \text{ } \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Si ipotizza che la reattanza del cavo sia pari a $x = 0,0001 \frac{\Omega}{\text{m}}$

Si calcola infine la sezione teorica:

$$S = \frac{\rho \cdot M_R}{\Delta E - x \cdot M_L} = \frac{0,0227 \cdot 585}{4,6 - 0,0001 \cdot 198} = 2,89 \text{ mm}^2$$

Si sceglie la sezione commerciale immediatamente superiore: $S = 4 \text{ mm}^2$

Poiché è richiesta la verifica della portata, occorre ipotizzare alcuni parametri:

- ➔ tipo posa: multipolare entro tubo
- ➔ temperatura del terreno: $T=20 \text{ °C}$ ($K_1=1$)
- ➔ posa singola ($K_2=1$)
- ➔ profondità di posa: $0,80 \text{ m}$ ($K_3=1$)
- ➔ resistività termica del terreno: $1,5 \text{ Km/W}$ ($K_4=1$)

Si ricava la portata teorica, che coincide con quella effettiva, dalle tabelle per la posa interrata:

$$I_0 = I_z = 39 \text{ A}$$

valore che assicura il passaggio della corrente di impiego massima pari a $I_b = 9 \cdot 0,69 = 6,21 \text{ A}$

La conduttura avrà formazione: FG7OR 2x4.

Se infatti si ipotizza la linea e le apparecchiature costruiti in doppio isolamento non è necessario il conduttore di terra.

QUESITO N° 3

Per calcolare la corrente di corto circuito a valle di un trasformatore avremmo bisogno di altri dati, non forniti dal testo: la potenza di corto circuito sul lato MT, il fattore di potenza di corto circuito, il valore delle perdite nel rame del trasformatore, ecc.

In alternativa possiamo calcolare la I_{cc} mediante una formula approssimata, valutando preliminarmente la corrente nominale del secondario.

Essa risulta:

$$I_{2n} = \frac{A}{\sqrt{3} \cdot U_{20}} = \frac{630000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 909,3 \text{ A}$$

Da questo valore si può calcolare la corrente di corto circuito cercata con la formula:

$$I_{cc} = \frac{100 \cdot I_{2n}}{u_{cc}\%} = \frac{100 \cdot 909,3}{6} = 15155 \text{ A} = 15,1 \text{ kA}$$

La formula precedente è valida se si ritiene, a favore della sicurezza, che la rete a monte abbia impedenza trascurabile.

Infine, per poter inserire in parallelo due o più trasformatori, è necessario che essi posseggano alcune caratteristiche comuni:

- ➔ uguale tensione nominale primaria
- ➔ uguale rapporto di trasformazione a vuoto
- ➔ uguale tensione di corto circuito percentuale
- ➔ uguale valore di $\cos\phi_{cc}$
- ➔ appartenenza allo stesso gruppo orario di collegamento (11, nel nostro caso)

QUESITO N° 4

Dalle misure di potenza con inserzione Aron, ricaviamo il valore delle potenze attiva e reattiva assorbite dal motore:

$$P = W_{13} + W_{23} = 4300 + 2000 = 6300 \text{ W}$$
$$Q = \sqrt{3} \cdot (W_{13} - W_{23}) = \sqrt{3} \cdot (4300 - 2000) = 3894 \text{ var}$$

Da esse ricaviamo il valore di $\tan \varphi$ e quindi di $\cos \varphi$:

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} = \frac{3894}{6300} = 0,63 \rightarrow \cos \varphi = 0,84$$

La potenza meccanica resa all'asse del motore si valuta in base alla potenza attiva assorbita e al rendimento:

$$P_m = \eta \cdot P = 0,88 \cdot 6300 = 5544 \text{ W}$$

Per calcolare la velocità di rotazione del motore con scorrimento assegnato, occorre anzitutto calcolare la velocità di sincronismo:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$$

Si deduce quindi la velocità

$$n = n_0 - \frac{s\%}{100} \cdot n_0 = 1500 - \frac{3}{100} \cdot 1500 = 1455 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$$

Per poter ricavare la coppia motrice, occorre trasformare tale velocità esprimendola in rad/s:

$$\omega = n \cdot \frac{2\pi}{60} = 152,4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La coppia motrice sarà pertanto determinabile mediante la:

$$C_m = \frac{P_m}{\omega} = \frac{5544}{152,4} = 36,4 \text{ Nm}$$