

## POLITECNICO DI TORINO

### Esame di Stato per l'abilitazione all'esercizio della professione di Ingegnere

#### Ingegneria Gestionale – Vecchio Ordinamento

#### I Sessione 2009 – Tema n. 2

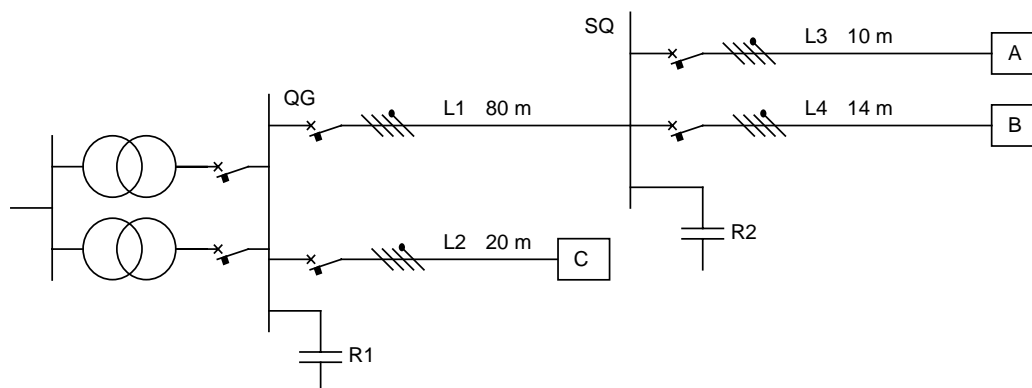
In uno stabilimento industriale si deve progettare l'impianto elettrico per l'alimentazione di tre nuovi centri di carico A, B e C. Le loro caratteristiche sono:

- A) Macchine utensili, con potenza totale assorbita 150 kW, fattore di potenza medio 0.8 e fattore di contemporaneità 0.85.
- B) Macchine utensili, con potenza totale assorbita 160 kW, fattore di potenza medio 0.8 e fattore di contemporaneità 0.75.
- C) N. 2 motori a induzione da 22 kW, rendimento 0.89, fattore di potenza 0.74, rapporto tra corrente di avviamento e corrente nominale 6.5, fattore di contemporaneità 0.9.

Tutti i carichi sono trifasi con tensione nominale di 400 V. Tutte le linee sono trifasi con neutro e il sistema di distribuzione è TN-S. La temperatura ambiente è di 30° per tutte le linee.

Le specifiche di progetto sono:

- Alimentazione in MT mediante cabina propria. La tensione di alimentazione MT è 20 kV e la potenza di cortocircuito nel punto di consegna è 250 MVA. Si può tuttavia trascurare l'impedenza della rete a monte nei calcoli dei circuiti di bassa tensione.
- Cabina MT/BT con due trasformatori in resina uguali in parallelo.
- In caso di fuoriservizio di uno dei due trasformatori, l'altro trasformatore deve avere potenza sufficiente per alimentare il carico C più uno degli altri due (A o B indifferentemente).



Progetto preliminare (vedi schema in figura):

- Il quadro generale di bassa tensione della cabina (QG) alimenta due linee in cavo  $L_1$  e  $L_2$ .
- La linea  $L_1$  alimenta il sottoquadro SQ.
- Da SQ partono due linee in cavo  $L_3$  e  $L_4$ , che alimentano rispettivamente i centri di carico A e B. Tra le due linee è previsto un coefficiente di contemporaneità 0.95.
- La linea  $L_2$  alimenta il centro di carico C.
- Una batteria di rifasamento centralizzato  $R_1$  è collegata al quadro QG e riduce la potenza reattiva al 50% di quella attiva.

- Una batteria di rifasamento distribuito  $R_2$  è collegata al quadro SQ e riduce la potenza reattiva al 50% di quella attiva.
- Le lunghezze delle quattro linee sono:  $L_1$  80 m,  $L_2$  20 m,  $L_3$  10 m,  $L_4$  14 m.
- Tutti i cavi sono di tipo unipolare con guaina, con conduttori in rame ed isolamento in gomma G7, disposti a trifoglio e posati in canaline. La temperatura ambiente è 30°C per tutte le linee. Il conduttore di neutro ha sezione pari a quella dei conduttori di fase. Il conduttore PE ha sezione pari a metà di quella dei conduttori di fase per sezioni di fase superiori a 35 mm<sup>2</sup>, altrimenti uguale a quella di fase.
- la caduta di tensione tra il quadro generale QG e i carichi non deve superare il 4%.

Il candidato stenda un progetto di massima dell'impianto comprendente:

- 1) Il calcolo della potenza attiva e reattiva assorbita da ogni centro di carico.
- 2) Il calcolo della potenza reattiva teorica richiesta per il rifasamento  $R_2$ . Scelga inoltre il numero e tipo di moduli necessari per realizzare la batteria di rifasamento.
- 3) Il calcolo della potenza attiva e reattiva assorbita sul quadro SQ, a monte del rifasamento.
- 4) Il calcolo della potenza reattiva teorica richiesta per il rifasamento  $R_1$ . Scelga inoltre il numero e tipo di moduli necessari per realizzare la batteria di rifasamento.
- 5) Il calcolo della potenza attiva e reattiva assorbita sul quadro generale QG, a monte del rifasamento.
- 6) La scelta dei trasformatori di cabina, tenendo conto delle esigenze di continuità di servizio indicate nelle specifiche di progetto.
- 7) Il calcolo delle correnti di impiego delle linee.
- 8) Il calcolo della sezione e della portata delle condutture e la scelta delle correnti nominali  $I_n$  degli interruttori, nel rispetto delle prescrizioni normative riguardanti la protezione contro i sovraccarichi. Nella scelta delle sezioni verificare il rispetto dei vincoli di caduta di tensione. Laddove non sia reperibile la sezione commerciale adeguata, considerare l'impiego di cavi in parallelo.
- 9) La verifica che, in caso di avviamento contemporaneo dei due motori del carico C, la caduta di tensione tra quadro QG e carico C non superi il 4%. In caso contrario prendere i provvedimenti adeguati.
- 10) Il calcolo della corrente di cortocircuito massima sul quadro QG e la scelta del potere di interruzione degli interruttori generali (scegliere interruttori scatolati conformi a CEI 17-5).
- 11) Il calcolo delle correnti di cortocircuito massima e minima di tutte le linee e la scelta del potere di interruzione degli interruttori (scegliere interruttori scatolati conformi a CEI 17-5).
- 12) La taratura della corrente di intervento magnetico  $I_m$  di ciascun interruttore, sapendo che saranno impiegati interruttori con rapporto  $I_m/I_n$  regolabile tra 7 e 10.
- 13) La verifica della protezione contro i contatti indiretti nelle linee  $L_2$ ,  $L_3$  e  $L_4$  per corrente di guasto fase-massa minima.

I componenti dell'impianto vanno scelti dai n. 6 allegati di documentazione tecnica e normativa. Il progetto deve essere redatto in forma di relazione tecnica che illustri le ipotesi progettuali, i calcoli effettuati e le soluzioni prescelte. L'ordine e la chiarezza della relazione costituiranno uno dei criteri di giudizio.

## Allegato 1

### TRASFORMATORI IN OLIO

Tensione nominale primaria 15 kV (oppure 20 kV), secondaria 400 V

Frequenza nominale 50 Hz

Regolazione di tensione (lato Media Tensione)  $\pm 5\%$

Gruppo Dyn11

Potenza nominale [kVA]	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3130
Perdite nel ferro [W]	210	300	425	510	610	740	860	1090	1100	1600	1700	2400	2500	3600
Perdite a carico (75°C) [W]	1475	2000	2750	3500	3850	4900	5400	7000	9500	10600	14000	16000	21000	25500
Tensione di cortocircuito %	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6
Corrente a vuoto %	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
Corrente di inserzione di cresta $I_e/I_n$	11.5	11	10.5	10	9.5	9	8	8	7.5	7.5	7.4	7.2	7.2	7
Costante di tempo [s]	0.07	0.08	0.08	0.1	0.12	0.14	0.15	0.18	0.2	0.22	0.25	0.27	0.3	0.35
Rendimento (carico 100%, $\cos\phi=1$ )	0.983	0.986	0.987	0.987	0.989	0.989	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.991	0.991	0.991
Rendimento (carico 100%, $\cos\phi=0.8$ )	0.979	0.982	0.984	0.984	0.986	0.986	0.987	0.987	0.987	0.988	0.988	0.988	0.988	0.989
Rendimento (carico 75%, $\cos\phi=1$ )	0.986	0.988	0.990	0.990	0.991	0.991	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992
Rendimento (carico 75%, $\cos\phi=0.8$ )	0.983	0.985	0.987	0.987	0.989	0.989	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.991	0.991	0.991

### TRASFORMATORI IN RESINA

Tensione nominale primaria 15 kV (oppure 20 kV), secondaria 400 V

Frequenza nominale 50 Hz

Regolazione di tensione (lato Media Tensione)  $\pm 2 \times 2.5\%$

Gruppo Dyn11

Potenza nominale [kVA]	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3130
Perdite nel ferro [W]	450	650	880	1030	1200	1400	1650	2000	2300	2800	3100	4000	5000	6300
Perdite a carico (75°C) [W]	1800	2300	3400	4000	4800	5700	6800	8200	9600	11500	14000	17500	20000	23000
Tensione di cortocircuito %	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7
Corrente a vuoto %	2.5	2.3	2.0	1.8	1.5	1.5	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0
Corrente di inserzione di cresta $I_e/I_n$	10.5	10.5	10.5	10	10	10	10	10	10	10	10	9.5	9.5	9.5
Costante di tempo [s]	0.10	0.13	0.18	0.20	0.25	0.25	0.26	0.30	0.30	0.35	0.40	0.40	0.50	0.60
Rendimento (carico 100%, $\cos\phi=1$ )	0.978	0.982	0.983	0.984	0.985	0.986	0.987	0.987	0.988	0.989	0.989	0.989	0.990	0.991
Rendimento (carico 100%, $\cos\phi=0.8$ )	0.973	0.978	0.979	0.980	0.982	0.983	0.984	0.984	0.985	0.986	0.987	0.987	0.988	0.989
Rendimento (carico 75%, $\cos\phi=1$ )	0.981	0.984	0.985	0.986	0.987	0.988	0.989	0.989	0.990	0.990	0.991	0.991	0.991	0.992
Rendimento (carico 75%, $\cos\phi=0.8$ )	0.976	0.980	0.982	0.983	0.984	0.985	0.986	0.986	0.987	0.988	0.989	0.989	0.989	0.990

# Serie CTM Condensatori trifase

CE



I condensatori trifase sono progettati per il rifasamento di impianti industriali in bassa tensione.

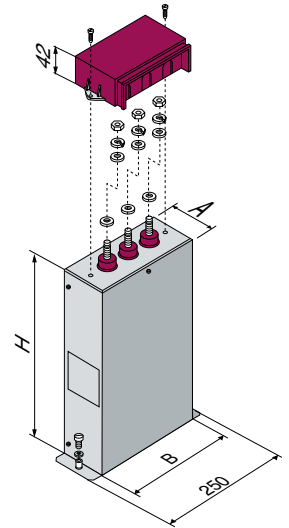
La custodia esterna è in lamiera d'acciaio indeformabile nel tempo ed in grado di assicurare una buona dissipazione termica.

Ogni unità capacitiva è realizzata in custodia metallica con incapsulamento dell'elemento avvolto in resina.

Gli isolatori passanti ed il coperchio di protezione sono in materiale isolante non propagante la fiamma.

## PRINCIPALI CARATTERISTICHE TECNICHE

<b>Dieletrico</b>	Polipropilene metallizzato (MKP)
<b>Esecuzione</b>	Dry Type (no P.C.B.)
<b>Tolleranza sulla capacità</b>	- 5% / +10%
<b>Alimentazione</b>	trifase + terra
<b>Frequenza di rete</b>	50 Hz / 60 Hz
<b>Fattore di Sovratensione in assenza di armoniche</b>	1,10 Un (max 8h su 24h)
<b>Categoria Termica</b>	- 25 / C
Massima temperatura ambiente	+50°C
Temperatura media nelle 24 ore	+40°C
Temperatura media in un anno	+30°C
<b>Grado di protezione con coperchio montato (CEI EN 60529)</b>	IP40 (CEI EN 60529)
<b>I condensatori sono realizzati in accordo con le normative:</b>	
	IEC 831-1 - CEI EN 60831-1
	IEC 831-2 - CEI EN 60831-2
<b>Tensione di prova tra terminale / terminale</b>	2,15 Un / 10 sec
<b>Tensione di prova tra terminale / custodia</b>	3000 Vac / 60 sec
<b>Perdite del dielettrico</b>	≤ 0,2 W / kvar
<b>Perdite totali del condensatore</b>	≤ 0,4 W / kvar
<b>Resistenze di scarica</b>	incluse (75V residui entro 3")
<b>Induttanze limitatrici del picco d'inserzione</b>	a cura dell'installatore
<b>Montaggio unità</b>	verticale
<b>Barrette di connessione parallelo</b>	non previste
<b>Tipo di servizio</b>	continuo per interno
<b>Massima variazione di corrente/capacità</b>	25A / μF



Questa serie di condensatori è provvista di un adeguato sistema interno di protezione.

Codice	Tipo	50Hz - Qn - Vn - In			60Hz - Qn - Vn - In			Capacità (μF)	Dimensioni (mm)			THD(I) max (*) %	Terminali	Peso (kg)
		kvar	V	A	kvar	V	A		A	B	H			
8352000	CTM	10	230	25	11	220	29	3 x 200	70	220	420	10	M8	7
8352015	CTM	15	230	38	16,5	220	43	3 x 400	140	220	420			9
8352100	CTM	20	230	50	22	220	57	3 x 500	140	220	420			12
8352300	CTM	30	230	75	33	220	86	3 x 600	140	220	420			16
8354000	CTM	20	400	29	21	380	33	3 x 133	70	220	420	10	M8	6
8354100	CTM	25	400	36	27	380	41	3 x 165	70	220	420			7,5
8354200	CTM	30	400	44	32,5	380	50	3 x 200	70	220	420			8
8354300	CTM	40	400	58	43,5	380	66	3 x 266	140	220	420			11
8354400	CTM	50	400	72	54	380	83	3 x 333	140	220	420			12
8354500	CTM	60	400	87	65	380	99	3 x 400	140	220	420			14
8356000	CTM	20	440	26	24	440	32	3 x 110	70	220	420	10	M8	6
8356100	CTM	25	440	33	30	440	40	3 x 138	70	220	420			7,5
8356200	CTM	30	440	40	36	440	47	3 x 165	70	220	420			8
8356300	CTM	40	440	53	48	440	63	3 x 220	140	220	420			11
8356400	CTM	50	440	66	60	440	79	3 x 275	140	220	420			12
8356500	CTM	60	440	79	72	440	95	3 x 330	140	220	420			14

(\*) THDI Max = massima distorsione armonica in corrente ammessa sui condensatori

Terminali a vite reoforo M8, massima torsione di serraggio 7Nm

*Nota: per realizzare batterie automatiche di rifasamento, occorre prevedere l'uso di adeguati sistemi di limitazione dei picchi di corrente all'inserzione, compatibilmente con le caratteristiche dei condensatori. Installare i condensatori lontani da fonti di calore ed in ambienti ben aerati. Verificare il corretto serraggio dei collegamenti elettrici dopo alcune ore dalla loro messa in servizio.*

**I condensatori della serie CTM, conformi alle direttive europee per la bassa tensione relative ai requisiti minimi di sicurezza CEE 73/23 e relativa modifica CEE 93/68, non sono modulari.**

### Allegato 3

## PORTATE DEI CAVI ELETTRICI PER BASSA TENSIONE

### Cavi isolati in PVC

Portate [A] per temperatura di esercizio di 70°C. Profondità di posa 80 cm per conduttori interrati.

Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Cavi unipolari		Cavi bipolari			Cavi tripolari		
	in aria libera [A]	entro tubi o canaline [A]	in aria libera [A]	entro tubi o canaline [A]	interrati [A]	in aria libera [A]	entro tubi o canaline [A]	interrati [A]
1.5	19.5	15.5	19.5	17.5	30	17.5	15.5	25
2.5	26	21	26	24	40	24	21	35
4	35	28	35	32	50	32	28	46
6	46	36	46	41	65	41	36	55
10	63	50	63	57	85	57	50	70
16	85	68	85	76	110	76	68	95
25	112	89	112	101	145	101	89	125
35	138	111	138	125	175	125	111	150
50	168	134	168	151	205	151	134	180
70	213	171	213	192	260	192	171	215
95	258	207	258	232	305	232	207	260
120	299	239	299	269	350	269	239	295
150	344	275	344	309	395	309	275	330
185	392	314	392	353	445	353	314	375
240	461	369	461	415	520	415	369	435

### Cavi isolati in gomma G7

Portate [A] per temperatura di esercizio di 90°C. Profondità di posa 80 cm per conduttori interrati.

Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Cavi unipolari			Cavi bipolari			Cavi tripolari		
	in aria libera [A]	entro tubi o canaline [A]	interrati [A]	in aria libera [A]	entro tubi o canaline [A]	interrati [A]	in aria libera [A]	entro tubi o canaline [A]	interrati [A]
1.5	25	20	31	25	23	35	23	20	29
2.5	34	27	39	34	31	45	31	27	37
4	46	36	51	46	41	58	41	36	48
6	60	48	63	60	54	72	54	48	60
10	83	65	83	83	74	96	74	65	80
16	111	88	106	111	99	124	99	88	103
25	147	116	136	147	132	159	132	116	132
35	181	143	162	181	163	190	163	143	158
50	219	174	191	219	197	225	197	174	187
70	280	221	233	280	251	275	251	221	229
95	339	267	278	339	304	329	304	267	274
120	393	310	316	393	351	375	351	310	311
150	451	357	353	451	404	419	404	357	348
185	514	406	399	--	--	--	460	406	394
240	605	478	461	--	--	--	541	478	454

**Allegato 4****RESISTENZE E REATTANZE PER UNITÀ DI LUNGHEZZA  
DEI CAVI ELETTRICI PER BASSA TENSIONE**

Cavi con conduttore in rame, isolamento in gomma o materiale termoplastico

Impiego in corrente alternata alla frequenza di 50 Hz

Temperatura caratteristica fino a 80°C

(da tabella UNEL 35023-70)

Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Cavi unipolari		Cavi bipolari e tripolari	
	Resistenza [mΩ/m]	Reattanza [mΩ/m]	Resistenza [mΩ/m]	Reattanza [mΩ/m]
1.5	14.8	0.168	15.1	0.118
2.5	8.91	0.155	9.08	0.109
4	5.57	0.143	5.68	0.101
6	3.71	0.135	3.78	0.0955
10	2.24	0.119	2.27	0.0861
16	1.41	0.112	1.43	0.0817
25	0.889	0.106	0.907	0.0813
35	0.641	0.101	0.654	0.0783
50	0.473	0.0965	0.483	0.0779
70	0.328	0.0975	0.334	0.0762
95	0.236	0.0939	0.241	0.0751
120	0.188	0.0928	0.191	0.0740
150	0.153	0.0908	0.157	0.0745
185	0.123	0.0902	0.125	0.0742
240	0.0943	0.0895	0.0966	0.0752

## Allegato 5

Coefficiente correttivo  $k_1$  per temperature ambiente diverse da 30 °C

Temperatura ambiente [°C]	Tipo di isolamento	
	PVC	EPR
10	1.22	1.15
15	1.17	1.12
20	1.12	1.08
25	1.06	1.04
30	1	1
35	0.94	0.96
40	0.87	0.91
45	0.79	0.87
50	0.71	0.82
55	0.61	0.76
60	0.50	0.71
65	--	0.65
70	--	0.58
75	--	0.50
80	--	0.41

Coefficiente correttivo  $k_2$  per cavi posati in fascio

Numero di circuiti o di cavi multipolari	Coefficiente $k_2$
2	0,80
3	0,70
4	0,65
5	0,60
6	0,57
7	0,54
8	0,52
9	0,50
12	0,45
16	0,41
20	0,38

## Allegato 6

### INTERRUTTORI AUTOMATICI PER BASSA TENSIONE

#### NORMATIVA SPECIFICA:

norma CEI 17-5 (EN 60947-2) per applicazioni industriali (interruttori regolabili, elevato Pdi)

norma CEI 23-3 (EN 60898) per applicazioni domestiche e del terziario (interruttori non regolabili)

#### CARATTERISTICHE:

*Corrente nominale*  $I_N$ . Viene scelta tra i valori unificati, tra cui: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 [A].

*Corrente di intervento magnetico*  $I_m$ . Le norme definiscono i valori minimi del rapporto  $I_m/I_N$  classificando gli interruttori in relazione al tipo di curva:

Curva	Norma CEI 17-5	Norma CEI 23-3	Impiego tipico per la protezione di:
B	$I_m = 3.2 \div 4.8 I_N$	$I_m = 3 \div 5 I_N$	circuiti prevalentemente resistivi o lunghe linee in cavo.
C	$I_m = 7 \div 10 I_N$	$I_m = 5 \div 10 I_N$	circuiti con apparecchi utilizzatori di tipo misto o circuiti normali (non prevalentemente induttivi).
D	$I_m = 10 \div 14 I_N$	$I_m = 10 \div 20 I_N$	circuiti con apparecchi utilizzatori prevalentemente induttivi con forti correnti di avviamento.

*Potere di interruzione* Pdi (o corrente di cortocircuito nominale). Per ogni corrente nominale, si distingue il livello di potere di interruzione:

N (normale), R (Pdi rinforzato), L (limitatore), LR (limitatore con Pdi rinforzato).

#### Interruttori automatici di tipo SCATOLATO

Conformi alle norme CEI 17-5.

Correnti nominali o di regolazione [A]								Potere di interruzione a 400 V [kA]
16÷100	16÷160	16÷250	400	630	800	1000	1250	
100 N	160	-	-	-	-	-	-	25
-	160 N	250 N	-	-	-	-	-	36
-	-	-	400 N	630 N	-	-	-	45
-	-	-	-	-	800 N	1000 N	1250 N	50
100 R	160 R	250 R	400 R	630 R	800 R	1000 R	-	70
-	-	-	-	-	-	-	1250 R	85
100 L	160 L	250 L	400 L	630 L	800 L	1000 L	-	150

#### Interruttori automatici di tipo MODULARE

Regolabili solo se conformi alle norme CEI 17-5, non regolabili se conformi alle norme CEI 23-3.

Correnti nominali [A]			Potere di interruzione a 400 V [kA]
6÷32	6÷63	10÷100	
32	-	-	4.5
32 N	63 N	-	6
32 R	63 R	100 N	10
32 L	63 L	-	15
32 LR	63 LR	-	20
-	-	100 L	25
-	-	100 LR	36