

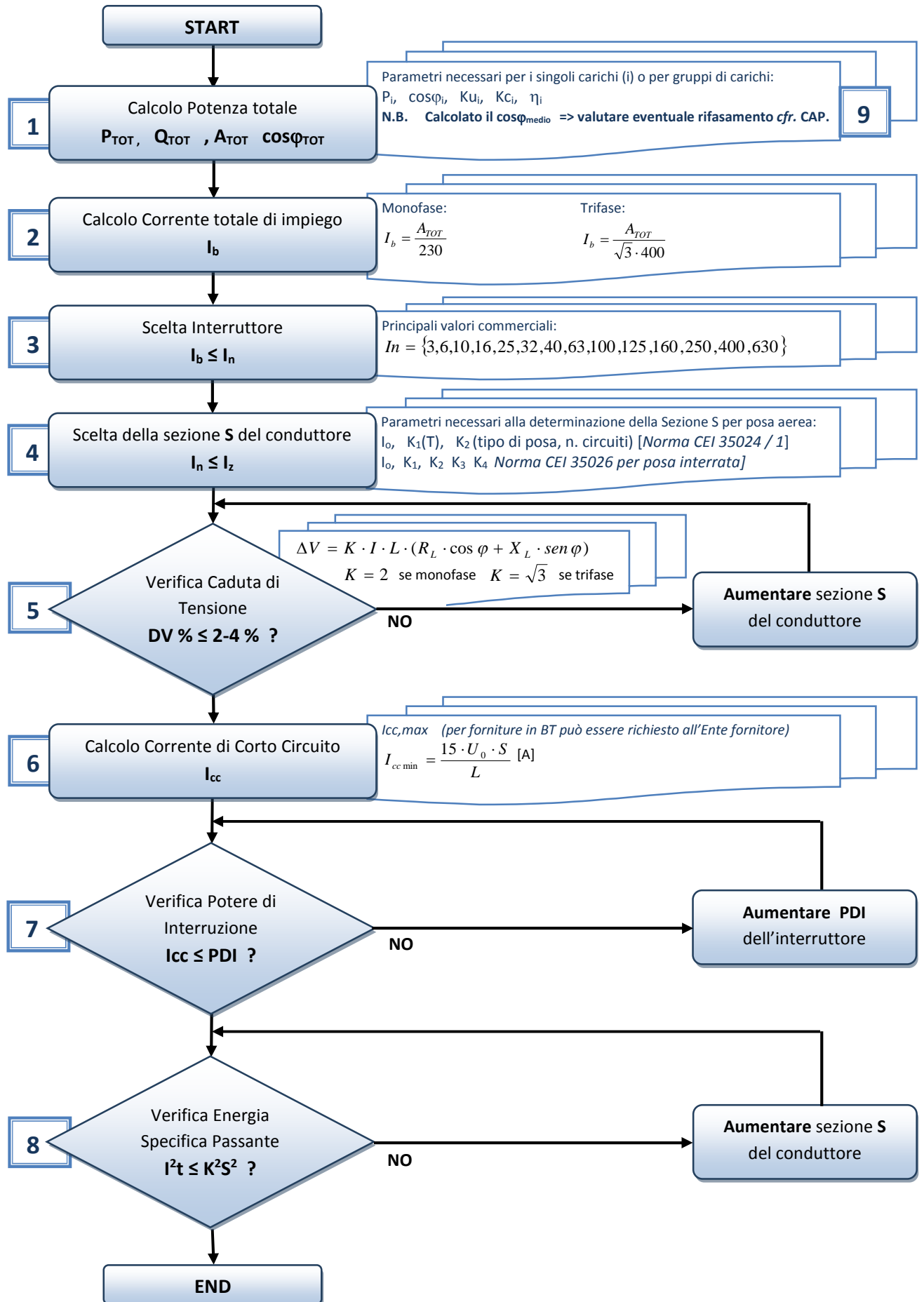
# APPUNTI DI TECNOLOGIE E TECNICHE DI INSTALLAZIONE E MANUTENZIONE

PARTE 1 di 3

Istituti Professionali  
Indirizzo M.A.T.

Ing. Enrico Cinalli  
Rev. 01/15

# SCHEMA DI FLUSSO PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE LINEE ELETTRICHE



Vengono di seguito proposti alcuni esercizi utili per il calcolo delle potenze.

**ESERCIZI**

1. **Determinare la potenza reattiva totale  $Q_{TOT}$  e la potenza apparente totale  $A_{TOT}$  dei seguenti carichi:**

$$P_1 = 5,5 \text{ kW}$$

$$P_2 = 5 \text{ kW}$$

$$P_3 = 8 \text{ kW}$$

$$V_1 = 400 \text{ V}$$

$$V_2 = 400 \text{ V}$$

$$V_3 = 400 \text{ V}$$

$$\cos \varphi_1 = 0,85$$

$$\cos \varphi_2 = 0,70$$

$$\cos \varphi_3 = 0,97$$

$$K_{u1} = 0,9$$

$$K_{u2} = 0,9$$

$$K_{u3} = 0,8$$

$$K_{c1} = 0,9$$

$$K_{c2} = 0,8$$

$$K_{c3} = 0,7$$

2. **Determinare la potenza reattiva  $Q$ , la potenza apparente  $A$  e la velocità di rotazione nominale (giri/min) del seguente M.A.T.**

$$P = 5,5 \text{ kW}$$

$$V = 400 \text{ V}$$

$$\cos \varphi = 0,85$$

$$\text{numero di poli } p = 4$$

$$\text{rendimento nominale } \eta_n = 0,85$$

$$\text{scorrimento } s_n = 0,04$$

3. **Determinare per ciascun M.A.T. la potenza reattiva  $Q$ , la potenza apparente  $A$  e la velocità di rotazione nominale (giri/min). Determinare inoltre la potenza reattiva totale  $Q_{TOT}$  e la potenza apparente totale  $A_{TOT}$ .**

$$P_1 = 6 \text{ kW}$$

$$V_1 = 400 \text{ V}$$

$$\text{numero di poli } p_1 = 4$$

$$\text{rendimento nominale } \eta_{n1} = 0,85$$

$$\text{scorrimento } s_{n1} = 0,04$$

$$\cos \varphi_1 = 0,82$$

$$K_{u1} = 0,8$$

$$K_{c1} = 0,8$$

$$P_2 = 10 \text{ kW}$$

$$V_2 = 400 \text{ V}$$

$$\text{numero di poli } p_2 = 8$$

$$\text{rendimento nominale } \eta_{n2} = 0,87$$

$$\text{scorrimento } s_{n2} = 0,03$$

$$\cos \varphi_2 = 0,89$$

$$K_{u2} = 0,7$$

$$K_{c2} = 0,8$$

ESERCIZI

4. Determinare, per ciascun carico dell'esercizio 1, le correnti di impiego ( $I_{b1}$  e  $I_{b2}$ ) e la corrente di impiego totale  $I_{bTOT}$ .
  
  
  
  
  
5. Determinare, per il carico dell'esercizio 2, la corrente di impiego  $I_b$ .
  
  
  
  
  
6. Determinare, per ciascun carico dell'esercizio 3, le correnti di impiego ( $I_{b1}$  e  $I_{b2}$ ) e la corrente di impiego totale  $I_{bTOT}$ .
  
  
  
  
  
7. Una linea trifase (400 V) alimenta i seguenti carichi:
  - a) Due carichi trifase con potenze attive pari a 9 kW e 12 kW entrambi con fattore di potenza pari a 0,86;
  - b) Due carichi monofase con potenze attive pari a 4 kW e 6 kW entrambi con fattore di potenza pari 0,9 collegati sulla fase R;
  - c) Tre carichi monofase con potenze attive pari a 4 kW, 3 kW e 3 kW tutti con fattore di potenza pari 0,88 collegati sulla fase S;
  - d) Due carichi monofase con potenze attive pari a 7 kW e 3 kW entrambi con fattore di potenza pari 0,87 collegati sulla fase T.

Determinare:

1. I moduli delle correnti sulle tre fasi;
2. I fattori medi di potenza riferiti alle tre fasi;
3. Il tipo di eventuale squilibrio delle correnti sulle tre fasi.

I principali valori di corrente nominale degli interruttori magnetotermici presenti in commercio sono:

$$I_n = \{3,6,10,16,20,25,32,40,50,63,80,100,125,160,200,250,400,630,800,1000,1250,1600,2000,2500,3200\}$$

Fino a valori di  $I_n$  pari a 125 A sono di tipo “modulare” mentre oltre tale valore sono di tipo scatolato.

*(Cfr. Cataloghi Commerciali)*

**Gli interruttori magnetotermici**

**Interruttori**

In relazione ai tempi di interruzione della corrente di cortocircuito gli interruttori possono essere classificati in:

- *limitatori*: limitano l'energia specifica lasciata passare;
- *rapidi*: l'interruzione avviene al primo o al secondo passaggio per lo zero della corrente;
- *selettivi*: l'interruzione è ritardata per consentire la selettività temporale delle protezioni a valle.

In relazione al numero di poli e al fatto che questi siano protetti (ossia dotati di relè di sovracorrente) si hanno interruttori: unipolari; bipolari con uno o entrambi i poli protetti; tripolari (con tutti i poli protetti); quadripolari con 3 oppure 4 poli protetti.

**Grandezze caratteristiche**

*Tensione nominale d'impiego*: valore di tensione, assegnato dal costruttore, al quale sono riferite le prestazioni dell'apparecchio.

*Corrente nominale ( $I_n$ )*: valore di corrente che l'interruttore deve poter portare in servizio ininterrotto ad una temperatura ambiente specificata; i valori preferenziali sono indicati nella tabella di pagina seguente.

*Corrente convenzionale di non intervento ( $I_{nt}$ )*: valore di corrente riferito alla corrente nominale che non provoca l'intervento del dispositivo per un tempo predeterminato.  $I_{nt} = 1,13 I_n$  con tempo  $t \geq 1$  ora per  $I_n \leq 63$  A e  $t \geq 2$  ore per  $I_n > 63$  A (vedere tabella).

*Corrente convenzionale di intervento ( $I_t$ ) del relè termico*: valore di corrente riferito alla corrente nominale che provoca l'intervento del dispositivo entro un tempo convenzionale.  $I_t = 1,45 I_n$  con tempo  $t < 1$  ora per  $I_n \leq 63$  A e  $t < 2$  ore per  $I_n > 63$  A (vedi tabella).

*Corrente di intervento istantaneo* (intervento del relè magnetico): minimo valore di corrente che provoca l'apertura automatica dell'interruttore senza ritardo intenzionale.

In relazione alla corrente di intervento istantaneo si identificano tre tipi di interruttori: *B, C, D*.

*Caratteristiche d'intervento*: descrivono il comportamento dell'interruttore, in termini di tempo d'intervento, tra l'apparire di una sovracorrente e l'intervento dell'interruttore stesso.

La scala delle correnti può essere espressa quale rapporto  $I/I_n$ , tra la corrente presunta ( $I$ ) che transita e la corrente nominale del-

*Corrente nominale e correnti convenzionali di non intervento  $I_{nt}$  e di intervento  $I_t$  (relè termico) degli interruttori*

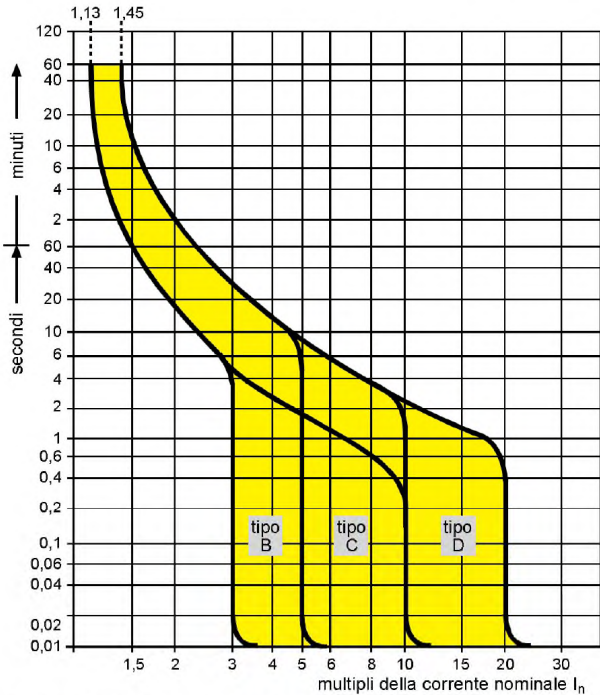
Corrente nominale $I_n$ (A)	Corrente convenzionale di non intervento $I_{nt}$ (A)	Corrente convenzionale di intervento $I_t$ (A)
6	6,8	8,7
10	11,3	14,5
13	14,7	18,9
16	18,1	23,2
20	22,6	29,0
25	28,3	36,3
32	36,2	46,4
40	45,2	58,0
50	56,5	72,5
63	71,2	91,4
80	90,4	116
100	113	145
125	141,2	181,2

l'interruttore ( $I_n$ ). Le caratteristiche, rappresentate con due curve indicanti le condizioni estreme (tolleranza di costruzione), sono talvolta fornite mediante una sola curva indicante i valori medi. Le tre caratteristiche tempo-corrente *B, C e D* si differenziano per la corrente di intervento istantaneo (relè magnetico), come è evidenziato nella tabella seguente mentre per quanto riguarda l'intervento termico i limiti delle caratteristiche sono comuni a tutte e tre i tipi (vedi figura di pagina seguente).

*Limiti della corrente di intervento istantaneo dello sganciatore magnetico.*

Tipo	Limiti della corrente di intervento		Applicazioni tipiche
	inferiore	superiore	
B	3 $I_n$	5 $I_n$	Circuiti con basse correnti di spunto
C	5 $I_n$	10 $I_n$	Circuiti ohmico-induttivi con medie correnti di spunto
D	10 $I_n$	20 $I_n$	Circuiti con elevate correnti di inserzione (alimentazione trasformatori, motori ecc.)





Caratteristiche di intervento degli interruttori automatici.

**Potere di cortocircuito:** valore efficace della corrente presunta che l'interruttore è in grado di stabilire, portare e interrompere sotto condizioni specificate.

La Norma identifica due livelli:

- il potere di cortocircuito di "servizio"  $I_{cs}$ ;
- il potere di cortocircuito "estremo" che corrisponde al potere di cortocircuito nominale  $I_{cn}$ .

Il potere di cortocircuito estremo è la più elevata corrente di guasto che l'interruttore è in grado di stabilire e di interrompere, restando idoneo a: sopportare la tensione del circuito (senza

rischio di cedimenti dell'isolamento), essere manovrabile in chiusura e in apertura (anche se può non essere più in grado di portare con continuità la sua corrente nominale e quindi di assicurare il servizio ordinario), poter effettuare la protezione di sovraccarico. I valori normalizzati di  $I_{cn}$  sono:

1,5 - 3 - 4,5 - 6 - 10 - 15 - 20 - 25 (kA).

Il potere di cortocircuito di servizio, corrisponde alla più elevata corrente di guasto che l'interruttore è capace di stabilire e di interrompere, restando idoneo ad assicurare sia i requisiti corrispondenti al potere di interruzione estremo sia il servizio ordinario (l'interruttore deve portare con continuità la propria corrente nominale).

Il rapporto tra i due poteri di interruzione  $I_{cs}$  e  $I_{cn}$ , che caratterizza gli interruttori è:

$I_{cn}$	$\leq 6$ kA	6 ÷ 10 kA	$> 10$ kA
$I_{cs}/I_{cn}$	1	0,75	0,5

Per gli interruttori con potere di interruzione maggiore di 6 kA laddove la continuità del servizio è importante è opportuno optare per un rapporto  $I_{cs}/I_{cn} = 1$ , quando invece la continuità di servizio sia meno sentita o il guasto di cortocircuito in prossimità dei morsetti dell'interruttore è meno probabile, si può scegliere un rapporto inferiore (0,75 o 0,5).

**Classi di energia specifica lasciata passare:** gli interruttori di tipo B e C, aventi corrente nominale fino a 32 A compresa e potere di cortocircuito di 3, 6 e 10 kA possono essere dichiarati appartenenti alla classe 1, 2 e 3 sulla base dell'energia specifica lasciata passare.

#### Impiego in circuiti alimentati in tensione continua

Gli interruttori possono essere utilizzati anche in circuiti alimentati in corrente continua per tensioni fino a 250 V. In tal caso i poteri di interruzione sono i seguenti:  
 4500 A per tensioni a 250 V;      6000 A per tensioni a 125 V.  
 Il valore d'intervento elettromagnetico in corrente continua risulta pari a circa 1,5 - 1,6 volte il corrispondente valore in corrente alternata.



La scelta della sezione del conduttore deve essere tale innanzitutto da rispettare la seguente condizione:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

La portata del cavo indicata con  $I_z$  viene determinata in funzione del tipo del tipo di posa (aerea o interrata) e quindi del tipo di isolante e di altri fattori.

**Caso a) Cavi non interrati in PVC o EPR [Norma CEI-UNEL 35024-1]**

$$I_z = I_0 \cdot K_1 \cdot K_2$$

Con:

$I_0$  = portata nominale del cavo a 30 °C

$K_1$  = fattore di correzione per temperature ambiente diverse da 30°C

$K_2$  = fattore di correzione per più circuiti installati in fascio e strato.

I valori di  $I_0$ ,  $K_1$  e di  $K_2$  si ricavano mediante tabelle riportate nella Norma CEI UNEL 35024-1 come di seguito sinteticamente riportate.

\*\*\*\*\*

**Osservazione:**

*Un gruppo di cavi è considerato di “cavi simili” quando il calcolo della portata per tutti i cavi è basato sulla stessa temperatura massima permessa di esercizio e quando la variazione della sezione dei conduttori risulta compresa entro tre sezioni adiacenti unificate (es. 10, 16, 25 mm<sup>2</sup>).*

*Il fattore di correzione, a favore della sicurezza, per un fascio di cavi contenente cavi non simili è il seguente:*

$$F = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

*Dove:*

*F = fattore di correzione che sostituisce il fattore K2*

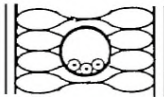

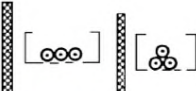
*n = numero di circuiti del fascio.*

*Il fattore di correzione ottenuto dalla espressione sopra riportata riduce il rischio di sovraccarico dei cavi aventi sezione minore ma può portare ad una sotto-utilizzazione dei cavi con sezione maggiore; questa sotto-utilizzazione può essere evitata se il fascio è costituito solo da cavi simili.*

\*\*\*\*\*

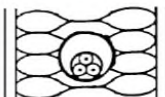
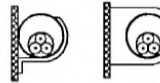
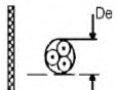

## CAPITOLO 4 – Scelta della sezione S del conduttore

Tab. I Cavi unipolari senza guaina (1)

Metodologia tipica di installazione	Altri tipi di posa Rif. Appendice A (4)	Tipo di isolamento	Numero cond. caricati	Portata (A)																			
				Sezione (mm <sup>2</sup> )																			
				(5) 1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630
 Cavi in tubo incassato in parete isolante	1-51-71 73-74	PVC (2)	2 3	- -	14,5 13,5	19,5 18	26 24	34 31	46 42	61 56	80 73	99 89	119 108	151 136	182 164	210 188	240 216	273 245	320 286	-	-	-	-
		EPR (3)	2 3	- -	19 17	26 23	36 31	45 40	61 54	81 73	106 95	131 117	158 141	200 179	241 216	278 249	318 285	362 324	424 380	-	-	-	-
 Cavi in tubo in aria	3-4-5-22 23-24-31-32- 33-34-41-42- 72	PVC (2)	2 3	13,5 12	17,5 15,5	24 21	32 28	41 36	57 50	76 68	101 89	125 110	151 134	192 171	232 207	269 239	309 275	353 314	415 369	-	-	-	-
		EPR (3)	2 3	17 15	23 20	31 28	42 37	54 48	75 66	100 88	133 117	164 144	198 175	253 222	306 269	354 312	402 355	472 417	555 490	-	-	-	-
 Cavi in aria libera in posizione non accessibile	18	PVC (2)	2 3	- -	19,5 15,5	26 21	35 28	46 36	63 57	85 76	112 101	138 125	168 151	213 192	258 232	299 269	344 309	392 353	461 415	-	-	-	-
		EPR (3)	2 3	- -	24 20	33 28	45 37	58 48	80 71	107 96	142 127	175 157	212 190	270 242	327 293	-	-	-	-	-	-	-	-

Continua

Tab. II Cavi multipolari

Metodologia tipica di installazione	Altri tipi di posa Rif. Appendice A (4)	Tipo di isolamento	Numero cond. caricati	Portata (A)																
				Sezione (mm <sup>2</sup> )																
				(1) 1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
 Cavo in tubo incassato in parete isolante	2-51-73-74	PVC (2)	2 3	- -	14 13	18,5 17,5	25 23	32 29	43 39	57 52	75 68	92 83	110 99	139 125	167 150	192 172	219 196	248 223	291 261	334 298
		EPR (3)	2 3	- -	18,5 16,5	25 22	33 30	42 38	57 51	76 68	99 89	121 109	145 130	183 164	220 197	253 227	290 259	329 295	386 346	442 396
 Cavo in tubo in aria	3A-4A-21- 22A-5A-21A- 25-33A-31- 34A-43-32	PVC (2)	2 3	13,5 12	16,5 15	23 20	30 27	38 34	52 46	69 62	90 80	111 99	133 118	168 149	201 179	232 206	258 225	294 255	344 297	394 339
		EPR (3)	2 3	17 15	22 19,5	30 26	40 35	51 44	69 60	91 80	119 105	146 128	175 154	221 194	265 233	305 268	334 300	384 340	459 398	532 455
 Cavo in aria libera, distanziato dalla parete/soffitto o su passerella	13-14-15-16- 17	PVC (2)	2 3	15 13,6	22 18,5	30 25	40 34	51 43	70 60	94 80	119 101	148 126	180 153	232 196	282 238	328 276	379 319	434 364	514 430	593 497
		EPR (3)	2 3	19 17	26 23	36 32	49 42	63 54	86 75	115 100	149 127	185 158	225 192	289 246	352 298	410 346	473 399	542 456	641 538	741 621
 Cavo in aria libera, fissato alla parete/soffitto	11-11A-52- 53	PVC (2)	2 3	15 13,5	19,5 17,5	27 24	36 32	46 41	63 57	85 76	112 96	138 119	168 144	213 184	258 223	299 259	344 299	392 341	461 403	530 464
		EPR (3)	2 3	19 17	24 22	33 30	45 40	58 52	80 71	107 96	138 119	171 147	209 179	269 229	328 278	382 322	441 371	506 424	599 500	693 576

(1) L'impiego dei cavi con sezione 1 mm<sup>2</sup> è limitato ai casi consentiti dalle relative norme CEI o CEI-UNEL

(2) Mescola termoplastica a base di polivinilcloruro (temperatura massima del conduttore = 70 °C).

(3) Mescola elastomerica reticolata a base di gomma etilenpropilenica o similari (temperatura massima del conduttore = 90 °C).

(4) Condizioni assunte dalla 3<sup>a</sup> edizione della Norma CEI 64-8 (Tabella 52C).

## CAPITOLO 4 – Scelta della sezione S del conduttore

Tab. III Fattore di correzione  $k_1$  per temperature ambiente diverse da 30 °C

Temp. ambiente	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
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

Tab. IV Fattori di correzione  $k_2$  per circuiti realizzati con cavi installati in fascio o strato

Appendice A			Numero di circuiti o di cavi multipolari												
	Articolo	Disposizione (cavi a contatto)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
Condizioni di posa non previste negli articoli 2-3-4-5-seguenti e nelle tabelle V e VI	1	Raggruppati a fascio, annegati	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	
	11-12-25	2	Singolo strato su muro, pavimento o passerelle non perforate	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Nessuna ulteriore riduzione per più di 9 circuiti o cavi multipolari		
	11A	3	Strato a soffitto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61			
	13	4	Strato su passerelle perforate orizzontali o verticali (perforate o non perforate)	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
	14-15 16-17	5	Strato su scala posa cavi o graffiato ad un sostegno	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

- (1) Questi fattori sono applicabili a fascio o strato di cavi simili, uniformemente caricati.
- (2) Dove le spaziature orizzontali fra cavi adiacenti, appartenenti a circuiti diversi, superano di due volte il diametro esterno del cavo di sezione maggiore, non è necessario applicare il fattore di correzione.
- (3) Sono applicabili gli stessi fattori per:
- circuiti di cavi unipolari;
  - cavi multipolari.
- (4) Se un sistema consiste sia di cavi bipolari sia tripolari, il numero di cavi è preso pari al numero dei circuiti e il corrispondente fattore è applicato alle tabelle per due conduttori caricati per i cavi bipolari e a quella per tre conduttori caricati per cavi tripolari.  
Esempio: un fascio di cavi multipolari installati su passerella, distanziati dalla parete, contiene 4 cavi bipolari da 25 mm<sup>2</sup> in PVC e 4 cavi tripolari da 35 mm<sup>2</sup> in PVC.  
Il numero totale di cavi (o circuiti) simili è pari a 8, a cui corrisponde un coefficiente di correzione di 0,52 (caso 1).  
Tale coefficiente si applica sia ai valori riportati relativi a cavi con 2 conduttori caricati da 25 mm<sup>2</sup> sia a 3 conduttori caricati da 35 mm<sup>2</sup> (119 e 126 A rispettivamente) ricavati dalla Tabella II.
- (5) Se un fascio o strato consiste di "n" cavi unipolari carichi, si possono considerare sia come n/2 circuiti bipolari per sistemi fase-fase o fase-terra, sia come n/3 circuiti tripolari per sistemi trifase.
- (6) I valori dati sono la media sulla gamma delle dimensioni dei conduttori e dei tipi di installazione. La tolleranza dei valori riportati è entro il 5%.



## CAPITOLO 4 – Scelta della sezione S del conduttore

### Caso b) Cavi interrati in PVC o EPR [Norma CEI-UNEL 35026]




$$I_z = I_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

Con:

- $I_0$  = portata nominale del cavo a 20 °C relativa al metodo di installazione previsto (Tab. I)
- $K_1$  = fattore di correzione per temperature del terreno diverse da 20°C (Tab. II)
- $K_2$  = fattore di correzione per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano (Tab. III)
- $K_3$  = fattore di correzione per profondità di interramento (Tab. IV)
- $K_4$  = fattore di correzione per resistività termica del terreno (Tab. V).

I valori di  $I_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  e di  $K_4$  si ricavano mediante tabelle riportate nella Norma CEI UNEL 35026 come di seguito sinteticamente riportate.

Tab. I

Metodologia tipica di installazione	Altri tipi di posa assimilabili Rif. norma CEI 64-8/5(3)	Tipo di isolamento	Numero cond. caricati	Portata (A) <sup>(1)</sup>																			
				Sezione (mm <sup>2</sup> )																			
				1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630	
 Cavi unipolari in tubi interrati a contatto (1 cavo per tubo) (p. 3.2)		PVC <sup>(1)</sup>	2	22	29	38	47	63	82	105	127	157	191	225	259	294	330	386					
			3	20	26	34	43	57	74	95	115	141	171	201	231	262	293	342					
			2	26	34	44	54	73	95	122	148	182	222	261	301	343	385	450	509	592	666	759	
		EPR <sup>(2)</sup>	3	23	31	40	49	67	85	110	133	163	198	233	268	304	340	397	448	519	583	663	
			2	21	27	36	45	61	78	101	123	153	187	222	256	292	328	385					
			3	18	23	30	38	51	66	86	104	129	158	187	216	246	277	325					
 Cavi unipolari in tubo interrato (p. 3.2)	61	PVC <sup>(1)</sup>	2	21	27	36	45	61	78	101	123	153	187	222	256	292	328	385					
			3	18	23	30	38	51	66	86	104	129	158	187	216	246	277	325					
			2	24	32	41	52	70	91	118	144	178	218	258	298	340	383	450	510	595	671	767	
		EPR <sup>(2)</sup>	3	21	27	35	44	59	77	100	121	150	184	217	251	287	323	379	429	500	565	645	
			2	19	25	33	41	56	73	94	115	143	175	208	240	273	307	360					
			3	16	21	28	35	47	61	79	97	120	148	175	202	231	259	304					
 Cavi multipolari in tubo interrato (p. 3.2)	61	PVC <sup>(1)</sup>	2	19	25	33	41	56	73	94	115	143	175	208	240	273	307	360					
			3	16	21	28	35	47	61	79	97	120	148	175	202	231	259	304					
			2	23	30	39	49	66	86	111	136	168	207	245	284	324	364	428					
		EPR <sup>(2)</sup>	3	19	25	32	41	55	72	93	114	141	174	206	238	272	306	360					
			2	19	25	33	41	56	73	94	115	143	175	208	240	273	307	360					
			3	16	21	28	35	47	61	79	97	120	148	175	202	231	259	304					

- 1) Mescola termoplastica a base di polivinilcloruro o similari (temperatura di riferimento del conduttore = 70 °C )
- 2) Mescola elastomerica reticolata a base di gomma etilenpropilenica o similari (temperatura massima del conduttore = 90 °C )
- 3) Condizioni assunte dalla 4ª ed. della suddetta Norma (Tabella 52C)
- 4) I valori di portata indicati si riferiscono alle seguenti condizioni di posa:
  - temperatura del terreno = 20 °C
  - profondità di posa = 0,8 m
  - resistività termica del terreno = 1,5 K•m/W

## CAPITOLO 4 – Scelta della sezione S del conduttore

Tab. II **Fattore di correzione per temperature del terreno diverse da 20 °C**

Temperatura del terreno (°C)	TIPO DI ISOLAMENTO	
	PVC	EPR
10	1,1	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,8
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	—	0,6
70	—	0,53
75	—	0,46
80	—	0,38

Tab. III **Fattori di correzione per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano**

**Tipo di posa: In tubi protettivi direttamente interrati**

Un cavo multipolare per ciascun tubo

Numero di cavi	DISTANZA FRA I CIRCUITI <sup>(a)</sup> (m)			
	a contatto	0,25	0,5	1
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90

**Tipo di posa: In tubi protettivi direttamente interrati**

Un cavo unipolare per ciascun tubo

Numero di circuiti	DISTANZA FRA I CIRCUITI <sup>(a)</sup> (m)			
	a contatto	0,25	0,5	1
2	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90

Cavi multipolari:



Cavi unipolari:



## CAPITOLO 4 – Scelta della sezione S del conduttore

Tab. IV **Fattori di correzione per differenti valori di profondità di posa**

Profondità di posa (m)	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5
Fattore di correzione	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94

Tab. V **Fattori di correzione per differenti valori di resistività termica del terreno**

### Cavi unipolari

Resistività del terreno (K•m/W)	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5
Fattore di correzione	1,08	1,05	1,00	0,90	0,82

### Cavi multipolari

Resistività del terreno (K•m/W)	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5
Fattore di correzione	1,06	1,04	1,00	0,91	0,84

**Cavi e designazioni**

**Elementi distintivi dei cavi**

**Tensione nominale dei cavi**

I cavi sono caratterizzati dalla tensione nominale di isolamento, indicata con la combinazione dei valori  $U_0/U$  (in volt o kilovolt):

$U_0$  - è il valore efficace della tensione tra uno qualsiasi dei conduttori e la terra;

$U$  - è il valore efficace della tensione tra due conduttori qualsiasi del cavo multipolare o di un sistema di cavi unipolari.

Tensione nominale	Simbolo	Tipi di cavo
$U_0/U \geq 100/100$ V $U_0/U < 300/300$ V	01	
$U_0/U = 300/300$ V $U_0/U = 300/500$ V	03 05	Per segnalazione e comando
$U_0/U = 450/750$ V	07	Per energia
$U_0/U = 0,6/1$ kV	1	Per energia (posa interrata o in ambienti bagnati)

**Temperature d'esercizio in relazione all'isolante**

Tipo di isolante	Temperature massime (°C)	
	di esercizio	in cortocircuito
Gomma naturale	60	200
Gomma siliconica	180	350
Polivinilcloruro (PVC)	70-90	150-160
Gomma etilenpropilenica (EPR)	90	250
Polietilene reticolato (XLPE)	90	250

**Colore delle anime dei cavi con  $U_0/U \leq 0,6/1$  kV**

Giallo-verde	Esclusivamente per i conduttori di terra e di protezione
Blu chiaro	Per il conduttore di neutro. In assenza del neutro può essere usato per altre funzioni
Nero, marrone, grigio	Per indicare i conduttori di fase

**Designazione dei cavi (Norma CEI 20-27)**

Riferimento norme	H A N	cavo armonizzato cavo nazionale riconosciuto altro tipo di cavo nazionale
Tensione nominale	03 05 07 1	$U_0/U = 300/300$ V $U_0/U = 300/500$ V $U_0/U = 450/750$ V $U_0/U = 0,6/1$ kV
Isolante	B E G9 N R S V X	gomma etilenpropilenica (EPR) polietilene elastomero reticolato speciale policloroprene (neoprene) gomma sintetica gomma siliconica polivinilcloruro polietilene reticolato
Rivestimenti metallici (se presenti)	C Z2 Z4 Z5	conduttore concentrico armatura in fili armatura in nastri armatura in fili di acciaio
Guaina		Materiali dello stesso tipo degli isolanti
Particolarità costruttive	.... H2 H5	cavo rotondo (nessun simbolo) cavi piatti non divisibili cavi con anime cordate a spirale visibile
Conduttore	U R K F H	a filo unico a corda rigida a corda flessibile per posa fissa a corda flessibile per posa mobile flessibilissimo
Composizione cavo	.... x G ....	numero anime senza conduttore di protezione con conduttore di protezione sezione del conduttore

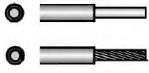
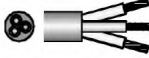
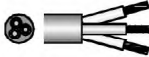
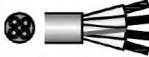
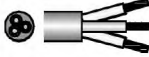


## CAPITOLO 4 – Scelta della sezione S del conduttore

### Designazione dei cavi (tabella UNEL 35011)

Composizione cavo	... x G ...	numero anime senza conduttore di protezione con conduttore di protezione sezione del conduttore
Conduttore	U R F FF	conduttore a filo unico conduttore a corda rigida conduttore a corda flessibile conduttore a corda flessibilissima
Isolante	R R7 G G4 G7 G8 G9 G10 M	PVC PVC per temperature fino a 90 °C mescola a base di gomma mescola a base di gomma siliconica gomma etilenpropilenica mescola a base di gomma etilenpropilenica per temperature fino a 85 °C mescola a basso sviluppo di fumi e di gas tossici e corrosivi mescola a basso sviluppo di fumi e di gas tossici e corrosivi isolante minerale
Forma del cavo	- O W	nessuno simbolo: cavo unipolare anime riunite in cavo rotondo anime parallele con un solco intermedio (cavi piatti divisibili)
Armatura	F N Z	filì d'acciaio nastri d'acciaio piattine d'acciaio
Guaina	R G M1/M2 E E4 K	PVC gomma naturale o sintetica materiali a basso sviluppo di fumi e gas tossici e corrosivi materiale termoplastico polietilene reticolato policloroprene (PCP)
Tensione nominale	03 05 07 1	tensione nominale $U_0/U = 300/300$ V tensione nominale $U_0/U = 300/500$ V tensione nominale $U_0/U = 450/750$ V tensione nominale $U_0/U = 0,6/1$ kV

### Esempi di designazione

Designazione	Descrizione	Rappresentazione
<b>In base alla norma CEI 20-27</b>		
H05V-U 1 x 0,5 H05V-K 1 x 0,5	Cavi armonizzati (H), per tensione nominale 300/500 V, isolati in PVC, senza guaina, con conduttore rigido (U), oppure flessibile per posa fissa (K) <sub>2</sub> unipolari, sezione 0,5 mm <sup>2</sup> .	
H07VV-F 3 x 2,5	Cavo armonizzato (H), per tensione nominale 450/750 V, isolato in PVC (V) guaina dello stesso materiale (V), flessibile (F), tripolare, sezione 2,5 mm <sup>2</sup> .	
N07VV-U 3 x 6	Cavo di tipo nazionale (N), tensione nominale 450/750 V, isolato in PVC (V) guaina dello stesso materiale (V), conduttore rigido a filo unico (U), tripolare, sezione 6 mm <sup>2</sup> .	
<b>In base alla tabella CEI - UNEL 35011</b>		
4G 1,5 FROR 300/500	Cavo costituito da 4 conduttori, compreso il conduttore di protezione (G), di sezione 1,5 mm <sup>2</sup> , a corda flessibile (F), isolati in PVC (R), con le anime riunite in cavo rotondo (O) e guaina in PVC (R), a tensione nominale 300/500 V.	
3 x 1,5 FG4OR 450/750	aCavo costituito da 3 conduttori, privo del conduttore di protezione (x), di sezione 1,5 mm <sup>2</sup> , a corda flessibile (F), isolati gomma siliconica (G4), con le anime riunite in cavo rotondo (O) e guaina in PVC (R), a tensione nominale 450/750 V.	

## CAPITOLO 4 – Scelta della sezione S del conduttore

### Caratteristiche minime dei cavi

Condizioni d'impiego		Caratteristiche minime del cavo
Tensione di esercizio	categoria 0	300/300 V
	categoria I per segnalazioni	300/500 V
	categoria I per energia	450/750 V
	categoria I per posa interrata	0,6/1 kV
Posa	in tubo incassato	senza guaina
	diretta nel terreno	con guaina
	in tubi protettivi interrati o cunicoli	con guaina
	a vista a parete o aereo	con guaina
	mobile	flessibile con guaina
Aggressività ambiente	presenza di olii	guaina in PVC con caratteristiche di resistenza agli olii
	presenza di acidi	guaina in PCP
	ozono	guaina in PVC o in PCP
Continuità di servizio	impianti d'emergenza, impianti di allarme	resistenti al fuoco o protezioni meccaniche e termiche adeguate
Ambienti a maggior rischio in caso di incendio	cavo posato singolarmente	non propaganti la fiamma
	fascio di cavi	non propaganti l'incendio
	luogo con macchine elettroniche	non emissione di cloro e bassa emissione di gas tossici e fumi
	luogo senza ventilazione (galleria)	

### Tipi di cavi di più comune impiego

Cavi per energia		
H07V-K	cavo unipolare isolato in PVC non propagante la fiamma	Per posa all'interno e all'esterno ma non interrata
N07V-K	cavo unipolare isolato in PVC non propagante l'incendio	
FROR 450/750 V	cavo multipolare con isolamento e guaina in PVC non propagante l'incendio	
N1VV-K	cavo unipolare o multipolare con isolamento e guaina in PVC non propagante l'incendio	Per posa all'interno e all'esterno anche interrata
FG7R 0,6/1 kV	cavo unipolare isolato con gomma di qualità G7 e guaina in PVC non propagante l'incendio	
FG7OR 0,6/1 kV	cavo multipolare isolato con gomma di qualità G7 e guaina in PVC non propagante l'incendio	
Cavi per circuiti di comando e di segnalazione		
H05V-K	cavo unipolare isolato in PVC	Adatti per posa anche insieme ai cavi di energia
H05RN-F	cavo multipolare flessibile isolato in gomma e con guaina in policloroprene	
FROR 300/500 V	cavo multipolare con isolamento e guaina in PVC	
H03VV-F	cavo multipolare flessibile con isolamento e guaina in PVC	Per circuiti a bassissima tensione e posa in tubi o canali separati
H03RN-F	cavo multipolare flessibile isolato in gomma e con guaina in policloroprene	

**ESERCIZI**

**1. Facendo uso, ove necessario, delle tabelle precedentemente riportate, risolvere i seguenti esercizi:**

- A. Determinare la portata di un cavo unipolare isolato in PVC di un circuito monofase della sezione di 10 mm<sup>2</sup> posato in tubo con altri due circuiti monofase simili in un ambiente a temperatura di 40 °C.

Iz =	
------	--

- B. Determinare la portata di un cavo unipolare isolato in EPR di un circuito monofase della sezione di 25 mm<sup>2</sup> posato in fascio con altri due circuiti monofase simili in un ambiente a temperatura di 35 °C.

Iz =	
------	--

- C. Determinare la portata di un cavo unipolare isolato in EPR di un circuito monofase della sezione di 25 mm<sup>2</sup> posato in tubo con altri due circuiti monofase non simili in un ambiente a temperatura di 35 °C.

Iz =	
------	--

- D. Crocettare a sinistra le condizioni che un interruttore termico di corrente nominale In deve rispettare per la protezione contro i sovraccarichi:

	$I_b \geq I_n \geq I_z$
	$I_n \geq I_b \leq I_z$
	$I_b \leq I_n$ e $I_n \leq I_z$

- E. Un cavo di sezione 10 mm<sup>2</sup> isolato in EPR ha una portata Iz di 70 A ed alimenta un carico che assorbe una corrente pari a 53 A. Crocettare a sinistra gli interruttori termici idonei alla protezione contro il sovraccarico.

	In = 63 A
	In = 100 A
	In = 50 A
	Nessuno degli interruttori sopra elencati

- F. Crocetta a sinistra tutte e unicamente le affermazioni corrette.

	Il sovraccarico si manifesta generalmente su impianti circuitalmente sani che vengono sfruttati oltre i parametri nominali
	Una sovracorrente si può manifestare in seguito a guasti sugli impianti o sugli utilizzatori dovuti generalmente a perdita di isolamento dei cavi
	Un corto circuito si manifesta generalmente in seguito a guasti sugli impianti o sugli utilizzatori
	Tutte le affermazioni sopra riportate sono corrette

## CAPITOLO 5 – Verifica della caduta di tensione

La caduta massima di tensione richiesta dalle norme è generalmente pari al 4%.

Per determinare la caduta di tensione di una linea elettrica si utilizza la seguente formula:

$$\Delta V = K \cdot I \cdot L \cdot (R_L \cdot \cos \varphi + X_L \cdot \sin \varphi)$$

$$\Delta V \% = \frac{\Delta V \cdot 100}{V}$$

con:

$K = 2$  se linea monofase oppure  $K = \sqrt{3}$  se linea trifase

$I =$  corrente di impiego della linea [A]

$L =$  lunghezza della linea [km]

$R_L =$  resistenza della linea [ $\Omega$ /km]

$X_L =$  reattanza della linea [ $\Omega$ /km]

$V = 230$  se linea monofase oppure  $V = 400$  se linea trifase

I valori di  $R_L$  e di  $X_L$  si ricavano dalle tabelle 1 e 2 della Norma CEI UNEL 35023 di cui di seguito è riportato un utile estratto.

*Estratto Tabella 1 per cavi in EPR*

Sezione nominale	Resistenza R a 90°C		Reattanza X (v. art. 3)	Reattanza X (v. art. 3)
	Corrente continua	Corrente alternata		
	$\Omega$ /km	$\Omega$ /km	$\Omega$ /km	$\Omega$ /km
1,5	16,96		0,144	0,100
2,5	10,17		0,132	0,094
4	6,31		0,122	0,087
6	4,21		0,114	0,083
10	2,44		0,105	0,078
16	1,54		0,098	0,075
25	0,99		0,093	0,074
35	0,71		0,089	0,072
50	0,49	0,49	0,085	0,071
70	0,35	0,35	0,084	0,070
95	0,26	0,26	0,083	0,069
120	0,21	0,21	0,080	0,069
150	0,16	0,17	0,080	0,069
185	0,14	0,14	0,080	0,069
240	0,10	0,11	0,078	0,069
300	0,082	0,085	0,076	0,068
400	0,060	0,067	0,076	0,068
500	0,047	0,053	0,074	
630	0,036	0,043	0,073	

**Nota:**

La colonna 4 è relativa ai cavi unipolari  
e la colonna 20 ai cavi tripolari

*Estratto Tabella 2 per cavi in PVC*

Sezione nominale	Resistenza R a 70°C		Reattanza X (v. art. 3)	Reattanza X (v. art. 3)
	Corrente continua	Corrente alternata		
	$\Omega$ /km	$\Omega$ /km	$\Omega$ /km	$\Omega$ /km
1,5	15,91		0,145	0,105
2,5	9,55		0,132	0,096
4	5,92		0,127	0,096
6	3,95		0,119	0,091
10	2,29		0,110	0,085
16	1,45		0,102	0,080
25	0,93		0,097	0,079
35	0,66		0,092	0,076
50	0,46	0,46	0,089	0,076
70	0,33	0,33	0,085	0,074
95	0,25	0,25	0,085	0,074
120	0,19	0,19	0,082	
150	0,15	0,16	0,082	
185	0,13	0,13	0,081	
240	0,096	0,099	0,080	

**Nota:**

La colonna 4 è relativa ai cavi unipolari  
e la colonna 20 ai cavi tripolari



### Determinazione della corrente di corto circuito

Il cortocircuito è il più pericoloso guasto che possa accadere in un impianto elettrico a causa di un difetto di isolamento. La corrente che percorre il circuito può infatti assumere valori molto elevati, causare danni notevoli ed essere innesco di incendi.

Per il dimensionamento dei dispositivi di protezione è necessario conoscere:

1. la massima corrente che si verifica quando il cortocircuito si manifesta subito a valle del dispositivo di protezione;
2. la minima corrente di cortocircuito che si verifica nel punto più lontano dal dispositivo di protezione.

Il valore della **corrente di cortocircuito massima** all'origine dell'impianto con fornitura in BT deve essere richiesto all'ente fornitore <sup>(1)</sup>.

I valori della corrente di cortocircuito minima devono essere calcolati tenendo conto delle impedenze dei conduttori e dei dispositivi interposti.

Per determinare la **corrente di cortocircuito minima** lungo una conduttura monofase <sup>(2)</sup> realizzata con conduttori in rame, quando l'impedenza di guasto è trascurabile (guasto franco) si può utilizzare, in prima approssimazione, la seguente formula:

$$I_{cc\ min} = \frac{15 \cdot U_0 \cdot S}{L} \quad [A]$$



con:

- $U_0$ : tensione [V] <sup>(1)</sup>;
- $S$ : sezione dei conduttori [mm<sup>2</sup>];
- $L$ : lunghezza semplice della conduttura [m].

#### Oss.

La formula è valida per sezioni fino a 90 mm<sup>2</sup> in quanto oltre tale sezione la reattanza della conduttura non è più trascurabile <sup>(3)</sup>.

<sup>1</sup> La Norma CEI 0-21 ammette di considerare i seguenti valori di  $I_{cc,max}$ :

- guasto monofase : 6 kA
- guasto trifase : 10 kA per forniture fino a 30 kW - 15 kA per forniture superiori a 30 kW.

<sup>2</sup> Per condutture trifase, si considera il guasto monofase, assumendo:

- in assenza di conduttore neutro: la tensione concatenata (fase-fase)  $U$ ;
- con conduttore neutro: la tensione di fase-neutro  $U_0$ .

Se il neutro ha sezione pari alla metà di quella del conduttore di fase, il valore di  $I_{cc,min}$  si ottiene moltiplicando per 0,67 il valore ottenuto dalla formula.

<sup>3</sup> Per sezioni superiori applicare i seguenti fattori di riduzione:

- 0,90 per 120 mm<sup>2</sup>
- 0,85 per 150 mm<sup>2</sup>
- 0,80 per 185 mm<sup>2</sup>
- 0,75 per 240 mm<sup>2</sup>.

## CAPITOLO 6 – Calcolo della corrente di corto circuito

### Approfondimento \*\*\*\*\*

Per conoscere l'esatto valore della corrente di corto circuito in un punto qualsiasi dell'impianto occorre calcolare le resistenze e reattanze nei singoli tratti dell'impianto.

Dopo aver determinato l'impedenza Z è possibile calcolare la corrente di corto circuito trifase con la seguente formula:

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n R_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}}$$

dove:

- U : tensione nominale [V];
- R<sub>i</sub> : resistenza del tratto i-esimo [mΩ];
- X<sub>i</sub> : reattanza del tratto i-esimo [mΩ];
- I<sub>cc</sub>: corrente di corto circuito presunta [kA]

Nella seguente tabella è riportato come si calcolano le R<sub>i</sub> e le X<sub>i</sub> dei singoli tratti.

COMPONENTI DELL'IMPIANTO	RESISTENZA [mΩ]	REATTANZA [mΩ]
Rete a monte	$R_1 = Z_1 \cdot \cos\varphi$ $Z_1 = (U/S_{cc}) \cdot 10^{-3}$ <i>cosφ = 0,15</i> <i>S<sub>cc</sub> = potenza di c.to c.to a monte del trasformatore in MVA</i>	$X_1 = Z_1 \cdot \sin\varphi$ <i>senφ = 0,98</i>
Trasformatore	$R_2 = (P_{cu} \cdot U^2)/S_n^2$ <i>P<sub>cu</sub> = perdite nel rame [kW]</i> <i>S<sub>n</sub> = potenza nominale del trasformatore [kVA]</i>	$X_2 = (Z_2 - S_n^2)^{0,5}$ $Z_2 = (U_{cc}/100) \cdot (U^2/S_n)$ <i>U<sub>cc</sub> = tensione di c.to c.to % [%]</i>
Interruttori	Trascurabile	Trascurabile
Collegamenti in cavo	$R_3 = \rho \cdot (L/S)$ <i>ρ = resistività del cavo [mm<sup>2</sup> · mΩ/m]</i> <i>L = lunghezza del cavo [m]</i> <i>S = sezione del cavo [mm<sup>2</sup>]</i>	<i>X<sub>3</sub> = valore di reattanza da desumere dalle tabelle dei costruttori per i casi generali o da calcolare per i casi particolari.</i>
Collegamenti in sbarre	$R_3 = \rho \cdot (L/S)$ <i>ρ = resistività del cavo [mm<sup>2</sup> · mΩ/m]</i> <i>L = lunghezza del cavo [m]</i> <i>S = sezione del cavo [mm<sup>2</sup>]</i>	<i>X<sub>3</sub> = valore di reattanza da desumere dalle tabelle dei costruttori per i casi generali o da calcolare per i casi particolari.</i>

\*\*\*\*\*

## CAPITOLO 7 - Verifica del Potere di Interruzione

Il potere di interruzione o di cortocircuito esprime la capacità da parte di un dispositivo di protezione contro le sovracorrenti di interrompere una corrente di cortocircuito.

Con gli interruttori conformi alla Norma CEI EN 60898-1 si parla di potere di cortocircuito mentre con gli interruttori rispondenti alla Norma CEI EN 60947-2 e i fusibili si parla di potere di interruzione.

Il termine in inglese per quanto riguarda gli interruttori automatici è invece lo stesso in entrambe le Norme sopra citate: "short-circuit breaking capacity". Nella traduzione in italiano hanno assunto terminologie differenti ma il significato è lo stesso.

Nella Norma CEI 64-8 si parla di potere di interruzione. I dispositivi che assicurano la protezione sia contro i sovraccarichi sia contro i cortocircuiti devono essere in grado di interrompere qualsiasi sovracorrente fino al valore della corrente di cortocircuito presunta nel punto in cui i dispositivi sono installati.

Il potere di interruzione o di cortocircuito non deve essere inferiore alla corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione. È tuttavia ammesso l'utilizzo di un dispositivo di protezione con potere di interruzione inferiore se a monte è installato un altro dispositivo avente il necessario potere di interruzione.

In questo caso le caratteristiche dei due dispositivi devono essere coordinate in modo che l'energia che essi lasciano passare non superi quella che può essere sopportata senza danno dal dispositivo situato a valle e dalle condutture protette da questi dispositivi: protezione di back-up.

In BT vi sono due norme che definiscono le caratteristiche degli interruttori:

- CEI 23-3 (EN 60898): tratta interruttori automatici di BT per scopi civili (domestici e terziario). In questa norma la  $I_{cu}$  viene detto potere d'interruzione nominale  $I_{cn}$ .
- CEI EN 60947-2: tratta interruttori di BT per scopi industriali

Le norme definiscono in BT due poteri d'interruzione:

- Potere d'interruzione estremo  $I_{cu}$ : è la massima corrente che è in grado di aprire. La sequenza che deve soddisfare è: O t CO. Dopo questo ciclo l'interruttore può essere danneggiato e non è garantito che sia in grado di portare la sua corrente nominale indefinitamente. Il tempo t non è ben codificato in quanto solitamente la manovra viene eseguita a "mano".
- Potere d'interruzione di servizio  $I_{cs}$ : deve soddisfare la sequenza: O t CO t CO. A fine ciclo l'interruttore deve garantire il servizio: deve essere in grado di tenere indefinitamente la corrente nominale  $I_n$ .

Viene definito inoltre il:

- Potere d'interruzione nominale  $I_{cn}$ : è il valore della massima corrente di cortocircuito assegnato dal costruttore che l'interruttore è in grado di interrompere per 2 volte (secondo il ciclo O-CO), sotto specifiche condizioni; queste non comprendono, dopo la prova, l'attitudine dell'interruttore a portare una corrente di carico. Un interruttore avente un dato potere di interruzione nominale di cortocircuito  $I_{cn}$  deve avere un corrispondente potere di cortocircuito di servizio  $I_{cs}$ , secondo la seguente tabella ricavata dalla Norma CEI 23-3 (EN 60898).

POTERI DI INTERRUZIONE IN KA								
$I_{cn}$	1,5	3	4,5	6	10	15	20	25
$I_{cs}$	1,5	4	4,5	6	7,5	7,5	10	12,5

La  $I_{cn}$  dell'interruttore **deve essere non inferiore** al valore calcolato della corrente  $I_{cc}$ .



## CAPITOLO 8 - Verifica Energia Specifica Passante

In caso di corto circuito le parti di un impianto interessate al guasto vengono sottoposte a sollecitazioni dinamiche e termiche che sono proporzionali al quadrato della corrente di guasto e al tempo impiegato dalle protezioni per interromperla. Durante la fase di eliminazione del guasto si sviluppa una certa quantità di energia che è lasciata passare dal dispositivo di protezione durante il suo intervento: questa energia si trasforma in calore che va a sollecitare le varie parti dell'impianto:

$$W = R \cdot I^2 \cdot t$$

Questa energia prende il nome di "energia specifica passante" chiamata *integrale di Joule*:

$$\int_0^t I^2 dt$$

o più semplicemente indicata col termine  $I^2 t$  [A<sup>2</sup>s].

Viene detta specifica in quanto è espressa per unità di resistenza dei vari elementi del circuito ed è la stessa per tutti i suoi componenti percorsi in serie dalla stessa corrente.

La conoscenza dell'energia specifica passante è fondamentale per il dimensionamento e la protezione delle varie parti dell'impianto ed inoltre per stabilire la protezione di sostegno (back-up) e la selettività fra interruttori.

Deve essere quindi verificata la condizione:

$$I^2 \cdot \Delta t \leq K^2 \cdot S^2$$

(Energia specifica passante ≤ Energia sopportata dal cavo)

dove:

$I^2 \cdot \Delta t$  espressa in [A<sup>2</sup>s], è l'energia specifica (per unità di resistenza) lasciata passare dall'interruttore;

$S$  è la sezione del cavo in mm<sup>2</sup>;

$K$  è una costante caratteristica dei cavi che dipende sia dal materiale del conduttore sia dal tipo di isolante secondo la seguente tabella;

Costante $K$		Tipo di conduttore	
		Rame	Alluminio
Isolante	PVC	115	74
	EPR / XLPE	135	87
	Gomma G2	143	87

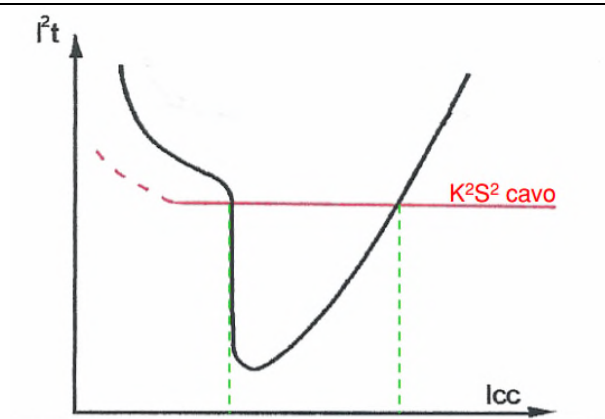
Il valore di ( $I^2 \cdot \Delta t$ ) deve essere fornito dal costruttore degli interruttori che normalmente mette a disposizione curve caratteristiche per ogni apparecchio

Nel caso di interruttori con intervento ritardato il valore di ( $I^2 \cdot \Delta t$ ) deve essere calcolato come prodotto del quadrato del valore efficace della corrente di cortocircuito per il tempo totale di apertura. I valori  $K$  sono stabiliti dalle Norme e sono validi per corto circuiti di durata non superiore a 5 secondi, entro i quali si assume che il riscaldamento dei conduttori avvenga in modo adiabatico, cioè senza trasmissione di calore all'isolante ed alle parti circostanti. La verifica grafica consiste nel confrontare le curve caratteristiche dell'energia passante del dispositivo, in funzione della corrente presunta di corto circuito, con l'energia specifica passante ( $K^2 S^2$ ) tollerabile dal conduttore.

L'energia specifica lasciata passare dall'interruttore durante il cortocircuito non deve superare quella sopportabile dal cavo.

Tale condizione si può verificare graficamente esaminando le curve a fianco riportate nel modo seguente:

- 1) individuare i punti 1 e 2;
- 2) se la curva del cavo ( $K^2 S^2$ ) rappresentata in rosso sta "al di sopra" della curva dell'interruttore (in colore nero) per tutti i valori compresi tra il punto 1 ed il punto 2 allora la condizione  $I^2 \cdot \Delta t \leq K^2 \cdot S^2$  è verificata.

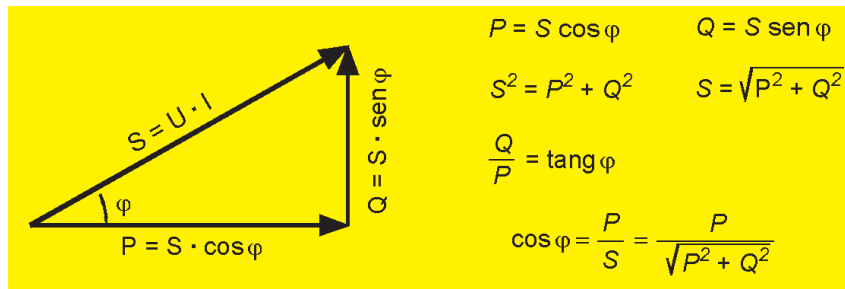


1  $I_{cc} \text{ minima di fondo linea} \geq I_m \text{ magnetica interruttore}$

2  $I_{cc} \text{ massima sopportabile dal cavo} \leq I_i \text{ interruttore}$

Gli impianti elettrici devono essere dimensionati in relazione alla potenza apparente  $S = U \cdot I$ .

In taluni utilizzatori (lampade ad incandescenza, forni a resistenza ecc.) tutta la potenza apparente assorbita è utilizzata come potenza attiva (**P**), mentre in altri utilizzatori (motori, saldatrici, lampade fluorescenti ecc.), parte della potenza apparente assorbita, detta potenza reattiva (**Q**), è utilizzata per eccitare i circuiti magnetici e non può quindi essere impiegata come potenza attiva per compiere lavoro. Il rapporto tra la potenza attiva e la potenza apparente esprime il *fattore di potenza  $\cos\varphi$* , ossia lo sfasamento esistente tra tensione e corrente quando l'utilizzatore assorbe potenza reattiva (vedi figura). Il fattore di potenza pertanto è uguale a 1 quando tutta la potenza apparente corrisponde alla potenza attiva ed è inferiore a 1 quando parte della potenza apparente è costituita da potenza reattiva e parte dalla potenza attiva.



Un apparecchio utilizzatore a basso fattore di potenza richiede alla rete più potenza apparente (e quindi più corrente) di quanta ne richiederebbe uno con fattore di potenza più elevato. Per contenere le cadute di tensione e le perdite, occorre dimensionare gli impianti a monte dell'utenza tenendo conto anche della maggior corrente dovuta al basso fattore di potenza, con conseguenti maggiori oneri. Per tali motivi gli Enti che forniscono l'energia elettrica prevedono maggiorazioni del prezzo dell'energia elettrica per basso fattore di potenza.

L'utente con fornitura dell'energia per usi diversi dall'abitazione è obbligato a rispettare le seguenti condizioni:

1. il fattore di potenza istantaneo in corrispondenza del massimo carico e quello medio mensile non devono essere inferiori a 0,9; in caso contrario per forniture con potenza impegnata oltre un certo limite l'utente deve pagare l'ulteriore energia reattiva assorbita;
2. se il fattore di potenza medio mensile risulta  $< 0,7$  l'utente deve modificare l'impianto per riportare il  $\cos\varphi$  medio almeno a 0,7;
3. in nessun caso l'impianto dell'utente deve erogare energia reattiva verso la rete dell'ente distributore.

Ne deriva che la quota di energia reattiva assorbita  $\leq 50\%$  dell'energia attiva prelevata (corrispondente ad un  $\cos\varphi > 0,9$ ) è gratuita, mentre per la quota parte successiva l'ente distributore effettua un addebito.

Oltre ad evitare maggiorazioni sul costo del kilowattora, con il rifasamento si migliora il funzionamento degli impianti:

- diminuzione della corrente nelle linee e nei trasformatori;
- minori perdite nelle linee e nei trasformatori;
- riduzione delle sezioni delle linee;
- migliore sfruttamento della potenza dei trasformatori.

#### Calcolo della potenza reattiva dei condensatori di rifasamento

$$Q_C = P \cdot (\tan \varphi_i - \tan \varphi_f)$$

dove:

P è la potenza attiva assorbita mentre  $\varphi_i$  è la fase iniziale cioè prima del rifasamento e  $\varphi_f$  è la fase finale che si vuole ottenere.

Il valore della capacità [F] del condensatore nel caso monofase è quindi dato dalla seguente formula:

$$C = \frac{Q_C}{\omega \cdot V^2}$$

Nel caso trifase il valore della capacità [F] dei condensatori varia in funzione del tipo di collegamento degli stessi:

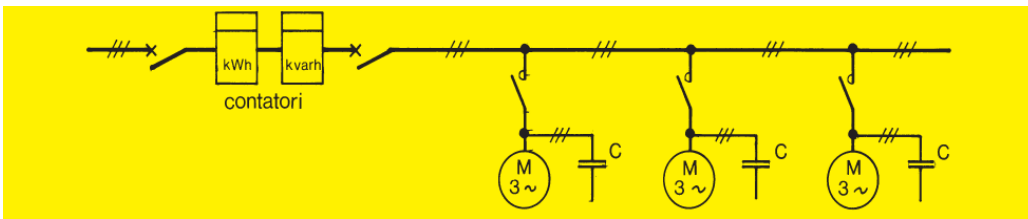
collegamento a stella dei condensatori: 
$$C = \frac{Q_c}{\omega \cdot V^2}$$

collegamento a triangolo dei condensatori: 
$$C = \frac{Q_c}{3 \cdot \omega \cdot V^2}$$

**Sistemi di rifasamento**

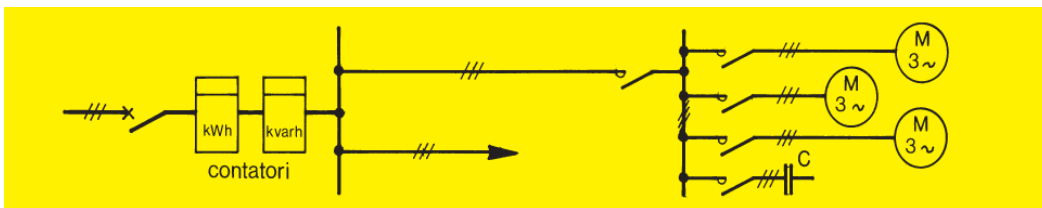
**1. Distribuito**

Consigliato per utilizzatori di grande potenza. Se il numero degli utilizzatori è elevato, può risultare poco economico.



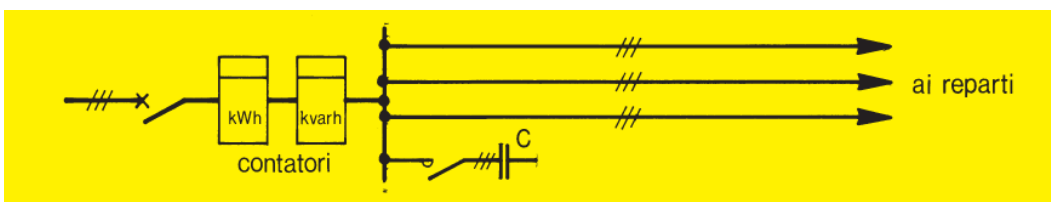
**2. Per gruppi**

Motori o utilizzatori di piccola o media potenza installati nello stesso reparto.



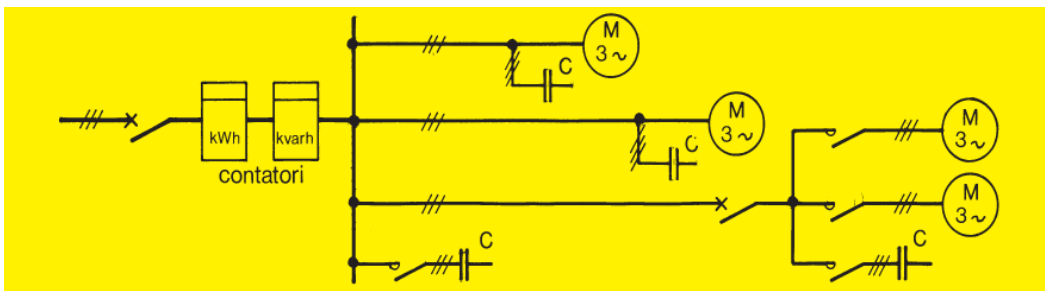
**3. Centralizzato**

Rifasamento globale dell'impianto. E' la forma più semplice, ma non riduce le cadute di tensione e le perdite nella parte di impianto a valle del punto di inserzione dei condensatori.



**4. Misto**

Rifasamento ripartito sugli utilizzatori di maggiore potenza ed in parte all'inizio di condutture che alimentano gruppi di utilizzatori.



## FORMULARIO

### MULTIPLI e SOTTOMULTIPLI

Denominazione	Simbolo	Potenza
pico	p	$10^{-12}$
nano	n	$10^{-9}$
micro	$\mu$	$10^{-6}$
milli	m	$10^{-3}$
kilo	k	$10^3$
Mega	M	$10^6$
Giga	G	$10^9$
Tera	T	$10^{12}$

### FORMULE IN C.C.

Denominazione	FORMULA	U.M.	Formule inverse	Note
Legge di Ohm	$V = R \cdot I$	Volt [V]		
Resistenze in serie	$R_{12} = R_1 + R_2$	Ohm [ $\Omega$ ]		
Resistenze in parallelo	$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$	Ohm [ $\Omega$ ]		
Partitore di tensione	$V_1 = \frac{V \cdot R_1}{R_1 + R_2}$ $V_2 = \frac{V \cdot R_2}{R_1 + R_2}$	Volt [V]		
Partitore di corrente	$I_1 = \frac{I \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ $I_2 = \frac{I \cdot R_1}{R_1 + R_2}$	Ampere [A]		
Potenza	$P = V \cdot I$ $P = R \cdot I^2$ $P = \frac{V^2}{R}$	Watt [W]		
Energia	$E = P \cdot t$	[kWh]		

# FORMULARIO

## FORMULE IN C.A.

Denominazione	FORMULA	U.M.	Note
Legge di Ohm	$\vec{V} = \vec{Z} \cdot \vec{I}$	Volt [V]	$\vec{Z} = R + Xj$ $X_C = -\frac{1}{\omega C}$ $X_L = \omega L$ $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ $f = \frac{1}{T}$
Impedenze in serie	$\vec{Z}_{12} = \vec{Z}_1 + \vec{Z}_2$	Ohm [Ω]	
Impedenze in parallelo	$\vec{Z}_{12} = \frac{\vec{Z}_1 \cdot \vec{Z}_2}{\vec{Z}_1 + \vec{Z}_2}$	Ohm [Ω]	
Partitore di tensione	$\vec{V}_1 = \frac{\vec{V} \cdot \vec{Z}_1}{\vec{Z}_1 + \vec{Z}_2}$ $\vec{V}_2 = \frac{\vec{V} \cdot \vec{Z}_2}{\vec{Z}_1 + \vec{Z}_2}$	Volt [V]	
Partitore di corrente	$\vec{I}_1 = \frac{\vec{I} \cdot \vec{Z}_2}{\vec{Z}_1 + \vec{Z}_2}$ $\vec{I}_2 = \frac{\vec{I} \cdot \vec{Z}_1}{\vec{Z}_1 + \vec{Z}_2}$	Ampere [A]	
Potenza	$\vec{A} = K \cdot \vec{V} \cdot \vec{I}$ $\vec{A} = P + Qj$ $P = K \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi =  A  \cdot \cos \varphi$ $Q = K \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi =  A  \cdot \sin \varphi$ $\frac{Q}{P} = \tan \varphi$ $\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{Q}{P} \right)$ $P = K^2 \cdot R \cdot I^2$ $Q = K^2 \cdot X \cdot I^2$	[VA] [W] [VAR]  [gradi]  [W] [VAR]	$K = 1$ se monofase $K = \sqrt{3}$ se trifase
Energia	$\vec{E} = \vec{A} \cdot t = E_a + E_r j$	[kVAh]	
Rifasamento	$Q_C = P \cdot (\tan \varphi_i - \tan \varphi_f)$ $C = \frac{Q_C}{\omega \cdot V^2}$	[VAR]  [Farad]	Valevole per monofase e per trifase con condensatori collegati a stella. Nel caso di collegamento a triangolo dividere per 3 il valore di C.
Resistenza di un cavo	$R_{cavo} \cong \frac{\rho \cdot L}{S}$ $\rho \cong 0,018 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$	L [metri] S [mm <sup>2</sup> ]	
Portata di un cavo (calcolo approssimato)	$I_o = a \cdot S^{0,625}$ $I_z = I_o \cdot K_1 \cdot K_2$ con $K_1$ dipendente dalla temperatura $K_1$ dipendente dal tipo di posa	$a = \begin{cases} 13,5 \\ 21 \\ 10,5 \\ 17 \end{cases}$	Monofase PVC Monofase GOMMA Trifase PVC Trifase GOMMA

## SCHEMA QUADRI ELETTRICI

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
A									
B									
C									
D	Utenza	DENOMINAZIONE							
		Sigla							
		Tipo [TT / TN-S]	Pot. Tot. [kW]						
		Ku*Kc	Pot. Conv. [kW]						
	cosφ		Ib [A]						
	Interruttore o sezionatore	Costruttore (Marca)							
		Tipo							
		N.POLI	In[A]						
		Ith [A]	Idn [A]						
		Im (o curva) [A]	Pdi [kA]						
Fusibile	Tipo								
	Calibro [A]								
Contattore	Tipo								
	In[A]	Pn[kW]							
E	Relè termico	Tipo							
		Taratura [A]							
F	Linea di potenza	Tipo di cavo							
		Formazione							
		Lunghezza [m]							
		Iz [A]							
		C.d.T. [%]							
	Icc min [kA]	Icc max [kA]							
	Numerazione morsettiere								
	Rev.	Modifica	Data	Progettista		Descrizione		Sigla schema	Numerazione
									Foglio
									di