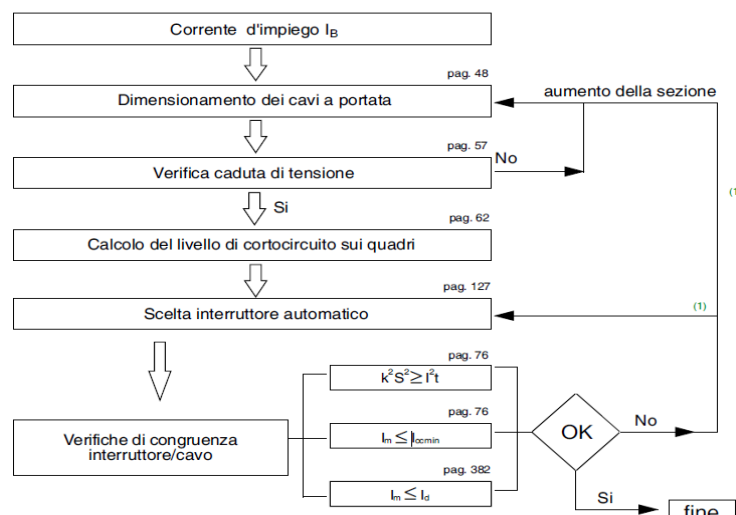


## Lezione 21/5 Dimensionamento impianti elettrici

Verrà usata come linea guida il documento della shneider. Il seguente dimensionamento è riferito ai componenti essenziali dell'impianto elettrico, ovvero cavi e protezioni elettriche; esclude tutti gli aspetti dell'impianto di terra e della sicurezza derivante dalle scariche atmosferiche. (correlate tra loro come già visto).

### Dimensionamento dei cavi

- 1) calcolo delle correnti d'impiego delle condutture. Per giungere alla determinazione di questi valori si parte da una prima analisi riguardante il censimento e la disposizione topografica dei carichi, come nella prima esercitazione.
  - 2) dimensionamento dei cavi a portata, tenendo conto delle modalità di posa e delle caratteristiche costruttive dei cavi;
  - 3) verifica della caduta di tensione ammessa, dopo decise le portate, dal punto di consegna al punto più lontano non deve avere una caduta di tensione superiore al 4% (da norma). Se così fosse, torno al passo precedente e prendo un cavo a sezione maggiore.
  - 4) calcolo della corrente di cortocircuito, e i relativi interruttori automatici.
  - 5) scelta degli interruttori automatici in base alla corrente d'impiego delle condutture da proteggere e al livello di cortocircuito nel punto in cui sono installati; la scelta degli interruttori automatici può anche essere influenzata da esigenze di selettività e filiazione (Per filiazione si intende l'associazione di interruttori che permette di installare, in un punto di un impianto, un interruttore di potere di interruzione (Pdi) inferiore alla Icc presunta in quel punto.;
  - 6) verifica della protezione contro i contatti indiretti; questa verifica cambia in funzione del modo di collegamento a terra (TT, TN e IT) e delle condizioni di installazione.
- Tutto può essere riassunto da questo diagramma, dove andrebbe aggiunto in testa della necessità del sistema contro le scariche atmosferiche.



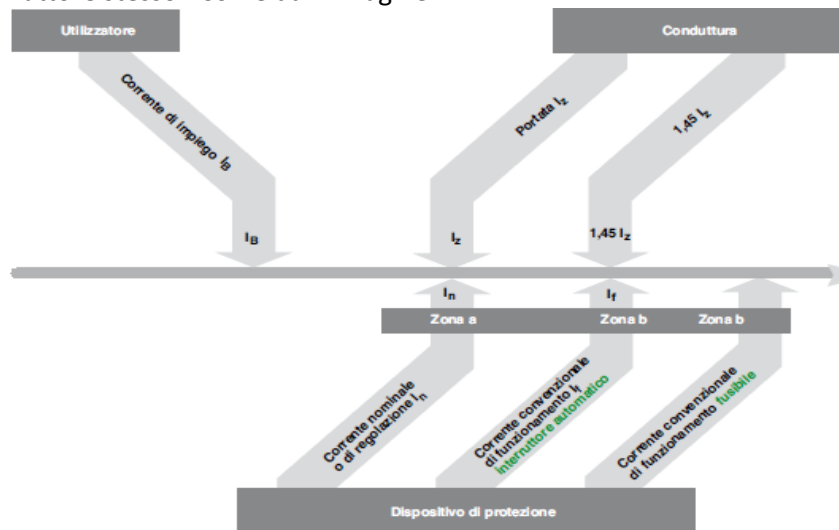
Dove nella verifica della congruenza troviamo

- verifica della protezione contro il cortocircuito massimo, confrontando l'energia specifica passante dell'interruttore automatico  $(I^2 t)$  con l'energia specifica ammissibile del cavo  $(K^2 S^2)$ ,
- verifica del cortocircuito minimo, cioè che la corrente di intervento del magnetico sia minore di quella di cortocircuito.
- verifica della protezione contro i contatti indiretti.

Operativamente la logica è in po' diversa:

La normativa diceva che affinché una linea sia protetta dai sovraccarichi dall' interruttore automatico, occorre che la corrente nominale dell'interruttore sia maggiore o uguale alla corrente di impiego della linea e minore o uguale alla portata al limite termico del cavo, e che la corrente di sicuro intervento

dell'interruttore sia minore e uguale 1,45 volte la  $I_z$ . Ma noi usiamo degli interruttori per cui questa condizione è ridondante, perché la corrente di sicuro intervento dell'interruttore è 1,45 volte la corrente nominale dell'interruttore stesso. Come da immagine



## I Cavi

C'è una normativa che regola le caratteristiche dei cavi, sul cavo ho una sigla che determina le sue prestazioni. Dal 2017 c'è stato un aumento delle caratteristiche dei cavi riguardo la resistenza a fuoco. Quindi per la scelta dei cavi, è importante non solo determinare la sezione, ma soprattutto le caratteristiche in base al luogo e il tipo di impiego. (comunque bisogna fare riferimento alla norma, con quella si è sicuri di rimanere nel range del inopinabile, almeno legalmente).

La norma determina la tipologia dei cavi anche in base alla modalità di installazione del cavo (interrato o non).

La guaina dei cavi, quindi il tipo di isolamento, si dividono in gomma, PVC e EPR.

Riportiamo i passi da seguire per determinare la sezione del cavo

Si applica un metodo che fa riferimento alla norma CEI-UNEL 35024/1. ( importante da aggiungere)

Il procedimento è il seguente:

- si determina un coefficiente correttivo  $ktot$  come prodotto dei coefficienti  $k1$  e  $k2$ , dove:

$k1$  è il fattore di correzione da applicare se la temperatura ambiente è diversa da  $30^\circ C$ , se varia la  $T$ , variano le sue caratteristiche (tabella T1A),  $k2$  è il fattore di correzione per i cavi a seconda della modalità di installazione (tabella T2),

o per i cavi installati in strato su più supporti secondo le modalità di posa;

- si divide il valore della corrente nominale dell'interruttore ( $I_n$ , non quella di impiego dell'impianto perché già determinata la corrente di impiego dell'impianto abbiamo preso di conseguenza una corrente per l'interruttore maggiore o uguale) per il coefficiente correttivo  $ktot$  trovando così il valore  $I_n'$  maggiore di  $I_n$  ( $I_r'$ ):  $I_n' = I_n / ktot$ , con  $ktot < 1$ .

(L'idea sarebbe quella di schivare verso destra la corrente a  $I_z'$  proporzionalmente quanto viene schivata  $I_n'$  rispetto a  $I_n$ )

Allora vado nella tabella delle sezioni in base alle correnti e prendo una sezione in riferimento a  $I_n'$  così ho anche dimensionato l'impianto rispetto alle correnti di sovraccarico

- la portata  $I_z'$  che rispetta la condizione  $I_z' \geq I_n'$ ,
- la corrispondente sezione del conduttore di fase.

La portata effettiva della conduttura si ricava come  $I_z' = I_z / ktot$ .

## Esempio:

Un cavo in rame trifase (quindi tripolare) isolato in EPR è posato su una passerella perforata in vicinanza di tre circuiti costituiti da:

- un cavo trifase (1° circuito);
- 3 cavi unipolari (2° circuito);
- 6 cavi unipolari (3° circuito).

Il circuito, costituito da 2 conduttori in parallelo per fase, è equivalente a 2 circuiti trifasi. Sulla passerella in totale si considerano perciò posati 5 circuiti. La temperatura ambiente è di 40°C. Il cavo deve trasportare una corrente di impiego I<sub>a</sub> di 23 A. La I<sub>b</sub> potrebbe essere un dato da calcolare con secondi dati.

La sezione del cavo si determina nel modo seguente:

- scelta dell'interruttore automatico:

l'interruttore deve avere una corrente nominale I<sub>n</sub> maggiore o uguale alla corrente di impiego della conduttura I<sub>a</sub>; utilizzando un interruttore modulare si avrà:

I<sub>n</sub> = 25 A; (preso dalla guida della scelta dell'interruttore a pag 124: **La Norma CEI EN 60898-1 fissa i valori preferenziali della corrente nominale:** 6-10-13-16-20-25(subito maggiore a I<sub>b</sub> quindi scelgo questo interruttore)-32-40-50-63-80-100-125 A.). Nelle abitazioni sono i classici C16 o C10

- determinazione del coefficiente correttivo k<sub>tot</sub>:

### tabella T1A - influenza della temperatura fattore k1

temperatura 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	0,5	0,71
65		0,65
70		0,58
75		0,5
80		0,41

### tabella T2 - circuiti realizzati con cavi installati in fascio o strato fattore k2

n° di posa CEI 64-8	disposizione	numero di circuiti o di cavi multipolari											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
tutte le altre pose	raggruppati a fascio, annegati	1	0,8	0,7	0,65	0,6	0,57	0,54	0,52	0,5	0,45	0,41	0,38
11/12/25	singolo strato su muro, pavimento o passerelle non perforate	1	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,7	nessuna ulteriore riduzione per più di 9 circuiti o cavi multipolari		
11A	strato a soffitto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61			
13	strato su passerelle perforate orizzontali o verticali (perforate o non perforate)	1	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
14-15-16-17	strato su scala posa cavi o graffiato ad un sostegno	1	0,87	0,82	0,8	0,8	0,79	0,79	0,78	0,78			

temperatura ambiente preso in tab T1: k<sub>1</sub> = 0,91, per t=40 gradi

posa ravvicinata preso in tab T2: k<sub>2</sub> = 0,75. Perché è su una passerella e dal numero dei circuiti attivi totali

Allora k<sub>tot</sub> = k<sub>1</sub> \* k<sub>2</sub> = 0,68;

- determinazione della minima portata teorica richiesta alla conduttura:

I<sub>n'</sub> = I<sub>a</sub>/k<sub>tot</sub> = 36,8 A; quindi sulla tabella delle portate vado a leggere una portata immediatamente superiore a questa per calcolare il nostro I<sub>z'</sub>:

### tabella T-B: cavi multipolari con isolamento in PVC o EPR (1)

metodologia tipica di installazione	altri tipi di posa della CEI 64-8	tipo di isolamento	numero cond. caricati	portata [A] sezione [mm²]																
				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		14,0	18,5	25	32	43	57	75	92	110	139	167	192	219	248	291	334
			3		13,0	17,5	23	29	39	52	68	83	99	125	150	172	196	223	261	298
		EPR	2		18,5	25,0	33	42	57	76	99	121	145	183	220	253	290	329	386	442
			3		16,5	22,0	30	38	51	68	89	109	130	164	197	227	259	295	346	396
cavo in tubo in aria	3A-4A-5A-21 22A-24A-25 33A-31-34A 43-32	PVC	2	13,5	16,5	23,0	30	38	52	69	90	111	133	168	201	232	258	294	344	394
			3	12,0	15,0	20,0	27	34	46	62	80	99	118	149	176	206	225	255	297	339
		EPR	2	17,0	22,0	30,0	40	51	69	91	119	146	175	221	265	305	334	384	459	532
			3	15,0	19,5	26,0	35	44	60	80	105	128	154	194	233	268	300	340	398	455
cavo in aria libera, distanziato dalla parete/soffitto o su passerella	13-14-15-16-17	PVC	2	15,0	22,0	30,0	40	51	70	94	119	148	180	232	282	328	379	434	514	593
			3	13,6	18,5	25,0	34	43	60	80	101	126	153	196	238	276	319	364	430	497
		EPR	2	19,0	26,0	36,0	49	63	86	115	149	185	225	289	352	410	473	542	641	741
			3	17,0	23,0	32,0	42	54	75	100	127	158	192	246	298	346	399	456	538	621
cavo in aria libera, fissato alla parete/soffitto	11-11A-52-53-12	PVC	2	15,0	19,5	27,0	36	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	392	461	530
			3	13,5	17,5	24,0	32	41	57	76	96	119	144	184	223	259	299	341	403	464
		EPR	2	19,0	24,0	33,0	45	58	80	107	138	171	209	269	328	382	441	506	599	693
			3	17,0	22,0	30,0	40	52	71	96	119	147	179	229	278	322	371	424	500	576

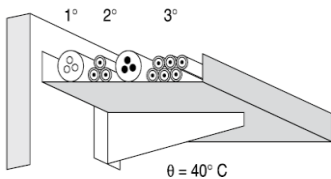
(1) PVC: miscela termoplastica a base di polivinilcloruro (temperatura massima del conduttore uguale a 70 °C).

EPR: miscela elastomerica reticolata a base di gomma etilenpropilenica o similari (temperatura massima del conduttore uguale a 90 °C).

- determinazione della sezione del conduttore di fase (tab T-B):

con n° posa: 13, isolante EPR, n° di conduttori attivi: 3, materiale conduttore: rame.

La sezione, con portata teorica  $I_z'$  immediatamente superiore alla minima portata teorica  $I_n'$ , è di  $4 \text{ mm}^2$  (42 A), come evidenziato nella tabella T-B.  
 Determinazione della portata effettiva della conduttura:  
 la portata effettiva  $I_z$  di un cavo da  $4 \text{ mm}^2$  nelle condizioni di posa considerate è pari a:  $I_z = I_z' \cdot k_{tot} = 28,5 \text{ A}$ . comunque maggiore della  $I_n$  nominale

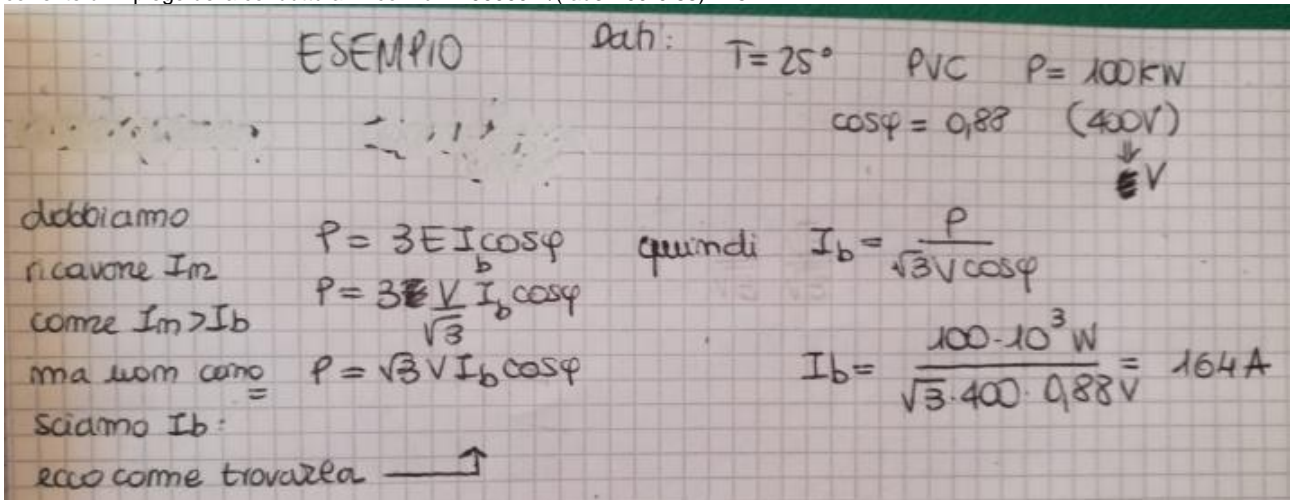


**Esempio:**

Dimensionamento di un circuito trifase in condotto interrato in terreno secco e alla temperatura di  $25^\circ\text{C}$ . Il cavo multipolare, isolato in PVC, alimenta un carico trifase da  $100 \text{ kW}$  ( $400 \text{ V}$ ) e fattore di potenza  $0,88$  ed è posato a contatto con un altro cavo multipolare.

La sezione del cavo si determina nel modo seguente:  
 - scelta dell'interruttore automatico:

l'interruttore deve avere una corrente nominale  $I_n$  maggiore o uguale alla corrente di impiego della conduttura  $I_b$ : con  $I_b = 100000\text{W}/(\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,88) = 164\text{A}$



sarà possibile utilizzare un interruttore Compact NSX da  $250 \text{ A}$  con sganciatore TM200D regolato a  $180 \text{ A}$ ; per il dimensionamento del cavo si potrà dunque considerare  $I_n = 180 \text{ A}$ ;

- determinazione del coefficiente correttivo  $k_{tot}$ :  
 temperatura del terreno:  $k_1 = 0,95$ ,

**tabella T5: influenza della temperatura del terreno fattore k1**

temperatura del terreno [°C]	tipo di isolamento	
	PVC	EPR
10	1,1	1,07
15	1,05	1,04
20	1	1
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85

-posa ravvicinata, 2 circuiti:  $k_2 = 0,85$ ;  
 profondità di posa  $0,8 \text{ m}$ :  $k_3 = 1$

natura del terreno: secco,  $k_4 = 1$ ,  $k_{tot} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 = 0,8$

- determinazione della minima portata teorica richiesta alla conduttura:

$I_n = I_n / k_{tot} = 225 \text{ A}$ ;

- determinazione della sezione del conduttore di fase (tab T-E):

**tabella T6: gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano fattore k2 un cavo multipolare per ciascun tubo**

n. circuiti	distanza fra i circuiti [m]			
	a contatto	0,25	0,5	1
2	0,85	0,9	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,9	0,95
4	0,7	0,8	0,85	0,9
5	0,65	0,8	0,85	0,9
6	0,6	0,8	0,8	0,9

**tabella T7: influenza della profondità di posa fattore k3**

profondità di posa [m]	0,5	0,8	1	1,2	1,5
fattore di correzione	1,02	1	0,98	0,96	0,94

isolante: PVC, n° conduttori attivi: 3, materiale conduttore: rame.

**tabella T-E : cavi unipolari con e senza guaina e cavi multipolari <sup>(1) (2)</sup>**

metodologia tipica di installazione	altri tipi di posa della CEI 64-8	tipo di isolam.	n. cond.	portata [A]																				
				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)		PVC	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						
			EPR	2	26	34	44	54	73	95	122	148	182	222	261	301	343	385	450	509	592	666	759	
		3	23	31	40	49	67	85	110	133	163	198	233	268	304	340	397	448	519	583	663			
		cavi unipolari in tubo interrato	61	PVC	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				
EPR	2				24	32	41	52	70	91	118	144	178	218	258	298	340	383	450	510	595	671	767	
3	21			27	35	44	59	77	100	121	150	184	217	251	287	323	379	429	500	565	645			
cavi multipolari in tubo interrato	61			PVC	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				
		EPR	2		23	30	39	49	66	86	111	136	168	207	245	284	324	364	428					
		3	19	25	32	41	55	72	93	114	141	174	206	238	272	306	360							

La sezione con portata teorica I<sub>z</sub> immediatamente superiore alla minima portata teorica I<sub>n</sub> è di 150 mm<sup>2</sup> (231 A), come evidenziato nella tabella T-E.

Determinazione della portata effettiva della condotta:

la portata effettiva I<sub>z</sub> di un cavo da 150 mm<sup>2</sup> nelle condizioni di posa considerate

è pari a: I<sub>z</sub> = I<sub>z</sub>. K<sub>tot</sub> = 184,8 A.

la condizione I<sub>b</sub> < I<sub>n</sub> < I<sub>z</sub> risulta verificata.

Caduta di tensione:

È importante considerare la corrente di avviamento dei motori, che al momento dell'avviamento superano di almeno 6 volte la corrente nominale del motore asincrono, questo mi comporta un'elevata caduta di tensione sulla linea che alimenta il motore, molto maggiore a quella di dimensionamento della linea; questa caduta di tensione mi diminuisce la coppia di avviamento (e quindi non parte il motore). Quindi nello scegliere la sezione di un cavo, se i carichi sono ordinari, la verifica sulla caduta di tensione la posso fare come solito, se ho un motore devo accertarmi che durante l'avviamento, la caduta di tensione che sicuramente supererà il 4%, rimanga comunque nel limite di tolleranza del motore (circa 10%), 5-6% in esercizio normale.

La formula è la seguente

$$\Delta U = k \cdot I_b \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)$$

ed in percentuale

$$\Delta u \% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100$$

dove:

I<sub>b</sub> [A] è la corrente nel cavo,

k è un fattore di tensione pari a 2 nei sistemi monofase e bifase e  $\sqrt{3}$  nei sistemi trifase,

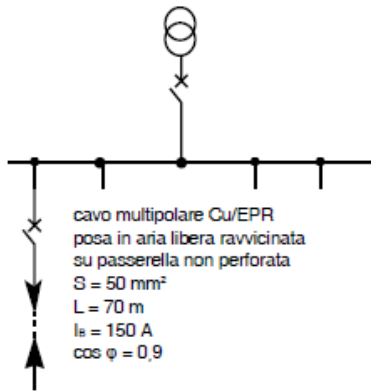
L [km] è la lunghezza della linea,

r [Ω/km] è la resistenza di un chilometro di cavo,

x [Ω/km] è la reattanza di un chilometro di cavo,

U<sub>n</sub> [V] è la tensione nominale dell'impianto,

cos φ è il fattore di potenza del carico.



#### Esempio

In un impianto del tipo in figura occorre effettuare una verifica della caduta di tensione della partenza in cavo, la cui sezione è stata dimensionata a portata. Il dimensionamento a portata ha condotto ad una sezione di  $50 \text{ mm}^2$ .

È imposta una caduta di tensione del 2%.

Dalla tabella della resistenza e reattanza specifica dei cavi si ha:

$S = 50 \text{ mm}^2$ , cavo multipolare,

$r = 0,483 \Omega/\text{km}$ ,

$x = 0,0779 \Omega/\text{km}$ .

Calcoliamo ora la caduta di tensione con la formula (NB: la lunghezza del cavo deve essere in km):

$$\Delta U = k \cdot I_b \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = 8,52 \text{ V}$$

Utilizzando quindi la formula della caduta di tensione percentuale si ottiene:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 = 2,13\%$$

essendo  $\Delta u\% >$  del 2% occorre scegliere una sezione superiore:

$S = 70 \text{ mm}^2$ , cavo multipolare,

$r = 0,334 \Omega/\text{km}$ ,

$x = 0,0751 \Omega/\text{km}$ .

Utilizzando questi dati otteniamo quindi:

$$\Delta U = k \cdot I_b \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = 6 \text{ V},$$

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 = 1,5\%$$

La caduta di tensione risulta verificata ( $< 2\%$ ).

La sezione adottata è dunque  $70 \text{ mm}^2$  in cavo multipolare.

Non ho scelto la caduta di tensione del 2%, perché è quella che avrei solo sulla linea a motore spento; quindi allora prendo una sezione maggiore **tc io abbia meno del 2%**.

Attenzione però, noi abbiamo variato la sezione del cavo, quindi la portata e quindi la scelta dell'interruttore; **potrei essere costretto a cambiare tipologia dell'interruttore.**