

Dimensionamento dei cavi e coordinamento con il dispositivo di protezione

Nel presente articolo viene esemplificata la **procedura di dimensionamento di una linea elettrica e del relativo interruttore di protezione** facendo riferimento ad un sistema TN.

La procedura vale anche per i sistemi TT (ad esclusione della verifica delle protezioni contro i contatti indiretti) con la sola differenza che la corrente di cortocircuito deriva dall'applicazione della Norma CEI 0-21 "Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica" (Norma disponibile gratuitamente per il download sul sito del CEI – Comitato Elettrotecnico Italiano). L'impostazione dell'esempio è di tipo pratico in quanto si trascurano le motivazioni teoriche che portano alle semplificazioni adottate.

In ogni caso il procedimento è valido nella generalità dei casi.

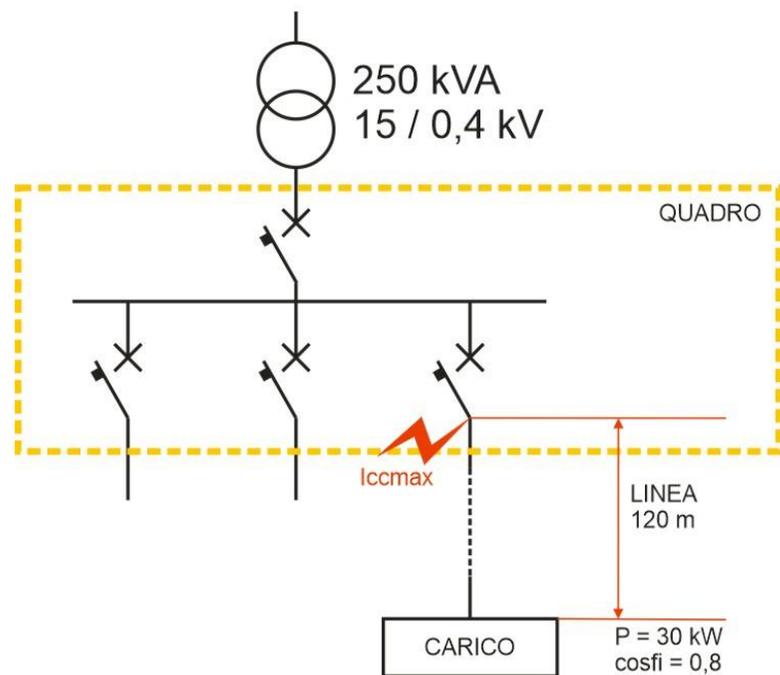


Figura 1 – L'impianto oggetto dell'articolo.

Caratteristiche dell'impianto

- Sistema di distribuzione TN a 5 conduttori (3 fasi + neutro + PE) – **TN-S**.
- Trasformatore di potenza $P_T = 250 \text{ kVA}$, tensione $15 \text{ kV}/400 \text{ V}$, tensione di cortocircuito percentuale di cortocircuito percentuale $V_{cc\%} = 4$, perdite nel rame $p_{cu\%} = 1,5$.
- Il carico assorbe una potenza $P_c = 30 \text{ kW}$ a $\cos\phi = 0,8$.
- Lunghezza della linea di alimentazione $l = 120 \text{ m}$.
- Caduta di tensione massima ammessa sulla linea: **3 %**.
- Ambiente di installazione con temperatura $t = 35^\circ\text{C}$.

1) Calcolo della corrente assorbita dal carico (**corrente di impiego I_B**):

$$I_B = \frac{P_c}{\sqrt{3} * U * \cos\phi} = \frac{30.000}{1,73 * 380 * 0,8} = 57 \text{ A}$$

2) Scelta del tipo di cavo

L'ambiente di installazione ed il tipo di posa adottato sono elementi che determinano il tipo di cavo da utilizzare.

Ipotizzando una posa in tubo isolante installato a vista si utilizzano cavi unipolari non propaganti la fiamma di tipo H07 V-K senza guaina.

3) Dimensionamento dei conduttori in base alla corrente di impiego

Tenuto conto che la posa è in tubo e che i conduttori attivi sono 3 (il neutro non è considerato purché il carico risulti equilibrato, ossia le correnti nelle tre fasi siano circa uguali), dalla tabella delle portate dei cavi (tabella CEI-UNEL 35024-70) si rileva la sezione dei conduttori, in relazione ad una portata che deve essere superiore alla corrente di impiego $I_B = 57 \text{ A}$.

Si sceglie una sezione $S = 16 \text{ mm}^2$ che consente una portata $I_Z = 68 \text{ A}$ (tabella delle portate dei cavi CEI-UNEL 35024-70).

In realtà la portata è inferiore in quanto la temperatura ambiente è superiore a 30°C (valore di riferimento in base al quale sono stati calcolati i valori di portata indicati in tabella).

Il coefficiente di riduzione della portata è rilevabile della tabella CEI-UNEL 35024. Risulterà pertanto:

$$I_Z = 68 \cdot 0,93 = 63,2 \text{ A}$$

comunque superiore alla corrente di impiego richiesta.

N.B. Qualora nel tubo fossero presenti altri cavi, la portata dovrebbe essere ulteriormente ridotta in base ai coefficienti di correzione riportati nella tabella correlata presente nello stesso documento normativo.

4) Verifica della caduta di tensione

Per il calcolo della caduta di tensione ΔU , se non si dispone di grafici del tipo indicato, si può utilizzare una tabella (Cadute di tensione unitarie (u) per cavi unipolari mostra tabella, bipolari e tripolari) che fornisce le cadute di tensione unitarie u (in millivolt), ossia riferite ad 1 m di conduttore e a 1 A di corrente di impiego.

La caduta di tensione effettiva si calcola determinando innanzitutto la caduta di tensione unitaria in relazione alla sezione e tipo di cavo (unipolare o tripolare), al sistema di distribuzione (monofase o trifase) ed al fattore di potenza. Tale valore va quindi moltiplicato per la lunghezza della linea, per la corrente di impiego e diviso per 1000 al fine di passare dai millivolt ai volt.

Nel nostro caso si avrà:

$$\Delta U = \frac{u \cdot L \cdot I_B}{1000} = \frac{2,07 \cdot 120 \cdot 57}{1000} = 14,17 \text{ A}$$

che percentualmente corrispondono al **3,37% di U**. Valore superiore al limite da noi arbitrariamente ammesso del **3%**.

La sezione del cavo deve essere quindi aumentata passando al valore superiore **S = 25 mm²** che assicura una portata teorica di 89 A (vedi tabella delle portate dei cavi CEI-UNEL 35024-70) e una portata effettiva a 35°C di:

$$IZ = 89 \cdot 0,93 = 83 \text{ A}$$

Per il conduttore di protezione si sceglie una sezione di 16 mm².

5) Scelta del dispositivo di protezione

Per la protezione del cavo il dispositivo preposto, un interruttore magnetotermico, deve presentare i seguenti requisiti:

- potere di interruzione inferiore alla corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione;
- deve assicurare la protezione contro i sovraccarichi ed avere quindi corrente nominale I_N tale da soddisfare la relazione:

$$IB < IN < IZ$$

- deve assicurare la protezione contro i cortocircuiti e quindi lasciar passare un'energia specifica inferiore a quella sopportabile dal cavo.

a) Determinazione del potere d'interruzione (PdI)

Si deve calcolare la massima corrente di cortocircuito I_{ccmax} ai morsetti dell'interruttore di protezione. Per semplicità ma a favore della sicurezza si ritiene che i conduttori di collegamento tra trasformatore e interruttore presentino impedenza nulla; per cui si deve pertanto scegliere un interruttore con **PdI = 10 kA**.

b) Protezione contro i sovraccarichi

Tenuto conto che la corrente di impiego è **IB = 57 A** e che la portata effettiva del cavo è **IZ = 83 A**, si sceglie un interruttore con corrente nominale **IN = 63 A** (curva B) che soddisfa la relazione sopra riportata:

$$57 < 63 < 83$$

Un interruttore con **IN = 80 A** consentirebbe di sfruttare quasi completamente la portata della conduttura ma qualora si verificassero frequenti sovraccarichi di breve durata, si avrebbe un precoce invecchiamento dei cavi.

c) Protezione contro i cortocircuiti

Dalla tabella "Valori dell'integrale di Joule (K^2S^2) per cavi in rame", che fornisce i valori di energia specifica (K^2S^2) ammessi dai cavi in relazione al tipo di isolante ed alla sezione del conduttore, si rileva che il cavo scelto sopporta un valore di $K^2S^2 = 8.265.000 \text{ A}^2\text{s}$ (tale valore è calcolabile con la relazione K^2S^2 in cui S è la sezione del conduttore e K è un coefficiente che dipende dal tipo di isolante e vale 115 per il PVC, 135 per la gomma naturale e 146 per la gomma etilenpropilenica e il polietilene reticolato).

Si deve verificare quindi, mediante le caratteristiche I^2t fornite dal costruttore dell'interruttore che il valore di energia specifica sopportata dal cavo sia superiore al valore I^2t lasciato passare dall'interruttore. In altri termini se sulle caratteristiche I^2t dell'interruttore si traccia la retta relativa al valore $K^2S^2 = 8.265.000$, tale retta deve risultare completamente sopra la caratteristica I^2t relativa all'interruttore con $IN = 63 \text{ A}$. Dal grafico (mostra figura – Verifica della protezione del cavo contro i cortocircuiti) si rileva che la protezione contro il cortocircuito è assicurata. Qualora la retta relativa al cavo intersecasse la curva I^2t dell'interruttore sarebbe necessario utilizzare un interruttore di tipo limitatore o un cavo di sezione superiore.

6) Verifica della protezione contro i contatti indiretti

In genere la protezione contro i contatti indiretti è realizzata mediante la messa a terra e l'interruzione automatica del circuito.

Si deve pertanto verificare che l'interruttore intervenga, per guasto a terra nei tempi stabiliti dalla Norma CEI 64-8, che, per i sistemi TN a tensione di 380 V, sono:

- 5 s per i circuiti di distribuzione o circuiti terminali che alimentano solo apparecchi utilizzatori fissi;
- 0,4 s per i circuiti terminali che alimentano uno o più prese alle quali possono essere collegati apparecchi mobili o trasportabili.

Nel caso in esame, essendo l'utilizzatore fisso il tempo di intervento del dispositivo di protezione non deve essere superiore a 5 s. Il controllo dell'intervento dell'interruttore può essere effettuato calcolando la corrente di guasto I_g che interessa la conduttura per guasto a massa in prossimità dell'utilizzatore.

Il calcolo dell'impedenza del circuito di guasto può essere talvolta laborioso per cui conviene utilizzare la tabella "Corrente di guasto minima per i cavi con conduttori in rame in funzione della lunghezza della linea" che consente di calcolare la corrente di guasto minima per contatto a massa all'estremità della conduttura.

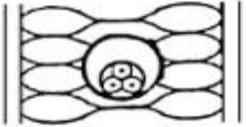
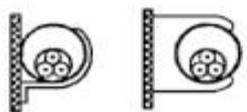
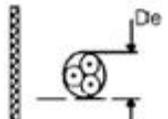
Nel caso in esame dalla tabella si rileva che la corrente minima è compresa tra 815 A (per $L = 100$ m) e 543 A (per $L = 150$ m). Interpolando si ottiene il valore di corrente in funzione della reale lunghezza della linea (120 m):

$$I_{CCMAX} = \frac{P_T}{\sqrt{3} * U_{cc\%} * U} * 100 = \frac{250.000}{1,73 * 4 * 380} = 9500 \text{ A}$$

Poiché il conduttore PE è di sezione inferiore al conduttore di fase, il valore di I_g deve essere moltiplicato per il coefficiente K rilevabile dalla tabella in relazione a $m = 25/16$ circa uguale a 1,6 ossia $K = 0,77$. Pertanto:

$$I_g = 679 \cdot 0,77 = 532 \text{ A.}$$

Come si può rilevare dalla caratteristica di intervento dell'interruttore questa corrente fa sicuramente intervenire l'interruttore entro 5 s. Qualora i tempi di intervento fossero superiori è necessario utilizzare un interruttore magnetotermico differenziale o verificare se con un contattore PE di sezione uguale al conduttore di fase il tempo di intervento si riduce entro 5 secondi.

Metodologia tipica di installazione	Altri tipi di posa Rif. Appendice A (4)	Tipo di isolamento	Numero cond. caricati	(1) Portata (A)																
				Sezione (mm ²)																
				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	<u>75</u> 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