

# Cavi di energia in BT

di

Benny Pascucci ®

Docente di Elettrotecnica e applicazioni I.S.I.S “A. Casanova” Napoli

Moderatore esperto in Impiantistica elettrica di PLCForum

In questa review tratteremo dei cavi di energia e al termine dovremo essere tutti quanti in grado di rispondere alle seguenti domande.

Cosa si intende per cavo di energia?

Come è fatto?

Come si designa?

In base a quali parametri si sceglie?

Come si dimensiona?

Armiamoci di santa pazienza e cominciamo col dire che, nella sua generalità, un cavo è costituito da elementi metallici (solitamente in rame, raramente in alluminio) e da elementi isolanti.

I conduttori servono a portare la corrente elettrica, gli isolanti a far sì che conduttori a potenziale differente non vengano a contatto.

Appare chiaro che l'elemento che rende diverso un cavo da un altro è il tipo di isolante.

Partiamo dal cavo più semplice, che è anche quello che viene maggiormente utilizzato negli impianti elettrici: l'N07V-K, noto in gergo col termine “cordina”, le cui caratteristiche e tabelle sono desumibili dal [Catalogo Prysmian](#) pagg. 12-15



Allo scopo di capire cosa si intenda con la sigla suddetta, utilizziamo la prima colonna della seguente [Tabella designazione dei cavi](#)

Si tratta di un cavo

di tipo nazionale non riconosciuto dall'IEC (**N**)

avente una tensione nominale 450/750 V (**07**)

isolato in polivinilcloruro di qualità comune (**V**)

flessibile per installazioni fisse (**K**)

Tali cavi hanno una temperatura di esercizio di 70 °C e **non sono adatti per posa all'esterno**.

La temperatura minima di posa è 5 °C.

Il grosso limite di questo cavo è costituito appunto dall'isolante!

Il PVC, infatti, presenta due problemi rilevanti.

- 1) In caso di incendio sviluppa HCl allo stato gassoso, che se inalato produce danni permanenti all'apparato respiratorio;
- 2) Presenta una elevata  $T_g$  (temperatura di transizione vetrosa), pertanto se la temperatura

ambiente scende al di sotto della  $T_g$ , l'isolante vetrifica e perde le caratteristiche isolanti. Il problema 1) limita l'utilizzo di questo cavo agli ambienti ordinari, mentre il problema 2) limita la posa ad ambienti interni.

L'omologo dell'N07V-K, nella versione multipolare è il cavo FROR 450/750 V, le cui caratteristiche e tabelle sono desumibili dal [Catalogo Prysmian](#) pagg. 16-17



Utilizzando la seconda colonna della seguente [Tabella designazione dei cavi](#)

Si desume che trattasi di un cavo:

a corda flessibile rotonda (**F**)

isolante in polivinilcloruro qualità T11 e T12 (temp. Caratt. 70°C) (**R**)

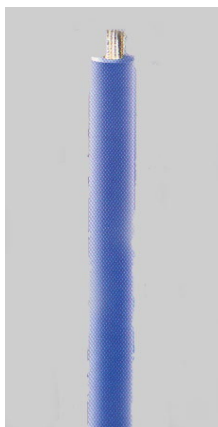
cavo a forma rotonda (**O**)

guaina di gomma naturale e/o sintetica qualità EM1 e Gy (**R**)

Tali cavi hanno una temperatura di esercizio di 70 °C e possono essere installati *in locali secchi o umidi e solo per impiego temporaneo o intermittente anche all'esterno*

La temperatura minima di posa è 0 °C.

Parliamo ora del cavo N07G9-K, le cui caratteristiche e tabelle sono desumibili dal [Catalogo Prysmian](#) pagg. 46-47



Dalla [Tabella designazione dei cavi](#)

si desume che trattasi di un:

Cavo di tipo nazionale non conforme a norme IEC (**N**)

tensione nominale 450/750 V (**07**)

isolante in elastomero reticolato di qualità G9 (**G9**)  
flessibile per installazioni fisse (**K**)

Tali cavi hanno una temperatura di esercizio di 90 °C non possono essere ambienti ove sia fondamentale garantire la massima sicurezza alle persone quali: uffici, scuole, alberghi, supermercati, cinema, teatri discoteche, metropolitane, edilizia residenziale, etc. non possono essere installati all'esterno e sono a bassa emissione di fumi e gas tossici.

La temperatura minima di posa è -15 °C.

Un altro tipo di cavo molto utilizzato in pratica è l'FG7 (O)R 0,6/1 kV, le cui caratteristiche e tabelle sono desumibili dal [Catalogo Prysmian](#) pagg. 22-25



Dalla [Tabella designazione dei cavi](#)

si desume che trattasi di un:

Cavo a corda flessibile rotonda (**F**)

Gomma etilenopropilenica ad alto modulo (temp. Caratteristica 85°C) (**G7**)

Cavo a forma rotonda (**O**)

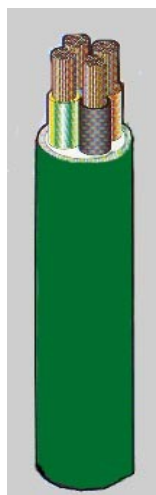
guaina in PVC speciale di qualità Rz, colore grigio

tensione nominale 0,6/1 kV

Tali cavi hanno una temperatura di esercizio di 90 °C sono utilizzati nell'industria, artigianato e edilizia residenziale. Sono adatti per posa fissa sia all'interno che all'esterno, su passerelle, in tubazioni, canalette e sistemi simili. Possono essere direttamente interrati.

La temperatura minima di posa è 0 °C.

La sua variante FG7(O)M1 0,6/1 kV, le cui caratteristiche e tabelle sono desumibili dal [Catalogo Prysmian](#) pagg. 50-53



Dalla [Tabella designazione dei cavi](#)

si desume che trattasi di un :

Cavo a corda flessibile rotonda (**F**)

Gomma etilenepropilenica ad alto modulo (temp. Caratteristica 85°C) (**G7**)

Cavo a forma rotonda (**O**)

guaina termoplastica speciale di qualità M1, colore verde

tensione nominale 0,6/1 kV

Tali cavi sono a bassissima emissione di fumi e gas tossici. Sono idonei in ambienti a rischio di incendio ove sia fondamentale garantire la salvaguardia delle persone e preservare gli impianti e le apparecchiature dall'attacco dei gas corrosivi (esempio: uffici, scuole, alberghi, supermercati, cinema, teatri discoteche, metropolitane, edilizia residenziale, etc.) Adatti per posa fissa su muratura e su strutture metalliche all'interno e all'esterno.

La temperatura minima di posa è -5 °C.

Infine parliamo del cavo H07RN-F, le cui caratteristiche e tabelle sono desumibili dal [Catalogo Prysmian](#) pagg. 18-20



Dalla [Tabella designazione dei cavi](#)

si desume che trattasi di un:

Cavo conforme a norme armonizzate (**H**)

tensione nominale 450/750 V (**07**)

isolante in gomma naturale di qualità EI4 (**R**)

guaina in policoprene (**N**)

flessibile per cavi per installazioni mobili (**F**)

guaina termoplastica speciale di qualità M1, colore verde

Le caratteristiche costruttive del cavo garantiscono una grande flessibilità, un'eccellente tenuta alle intemperie, agli oli e ai grassi, alle sollecitazioni meccaniche e termiche. Questi cavi possono essere utilizzati per immersioni permanenti fino a 10 bar di pressione.

E' usato per servizio mobile interno ed esterno e per servizio mobile di cantiere.

La temperatura minima di posa è -25 °C.

Per quanto concerne la designazione, in riferimento alla formazione del cavo:

- 3G16 designa un cavo multipolare a tre conduttori di sezione 16 mm<sup>2</sup>, di cui uno blu, uno giallo verde e uno di colore qualsiasi eccetto i primi due;
- 3x16 mm<sup>2</sup> designa un cavo a tre conduttori da 16 mm<sup>2</sup> di colore diverso dal blu e dal giallo/verde;
- 4G16 designa un cavo a 4 conduttori di cui uno necessariamente giallo/verde, gli altri di colore diverso dal blu
- 4x16 mm<sup>2</sup> designa un cavo a 4 conduttori di sezione 16 mm<sup>2</sup> di cui uno necessariamente di colore blu;

Talvolta si trova la sigla 3,5 x 35 mm<sup>2</sup>, che designa un cavo costituito da quattro conduttori, uno di colore blu e di sezione pari alla prima sezione commerciale superiore a 35/2, ossia 25 mm<sup>2</sup>, e tre conduttori di colore qualsiasi tranne il blu e il giallo/verde di sezione pari a 35 mm<sup>2</sup>.

L'utilizzo di tali cavi è giustificato per carichi non molto squilibrati e per carichi che durante il loro funzionamento non producano armoniche.

### **DIMENSIONAMENTO DI UNA CONDUTTURA ELETTRICA**

Per poter dimensionare correttamente un cavo occorre conoscere i parametri del carico che da questi sarà servito, in particolare, occorrerà sapere preventivamente il tipo di alimentazione:

- a) corrente continua
- b) corrente alternata monofase;
- c) corrente alternata trifase

Infatti, le formule da utilizzare per la potenza saranno rispettivamente:

- a)  $P = V \cdot I$
- b)  $P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$
- c)  $P = \sqrt{3} V \cdot I \cdot \cos \varphi$

da cui si può determinare la corrente di impiego  $I_b$  del carico:

- a)  $I_b = \frac{P}{V}$
- b)  $I_b = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi}$
- c)  $I_b = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi}$

si stabilisce il tipo di posa da utilizzare, ad esempio, in tubo in aria a 30°C e il tipo di cavo da utilizzare e si entra nella colonna corrispondente e si sceglie il cavo avente una  $I_z$  immediatamente maggiore della  $I_b$ , a cui corrisponde una data sezione.

Facciamo un esempio, prescindiamo per il momento dalla distanza della macchina dal punto di alimentazione, ossia dalla lunghezza del cavo.

Supponiamo che questa sia trifase con neutro,  $P=30$  kW,  $\cos \varphi=0,8$ .

Ipotizziamo un tipo di posa interna in tubo in aria, ciò ci consente di utilizzare cavi N07V-K

Dalla c) si ricava la corrente di impiego:  $I_b=54 \text{ A}$

Utilizzando il [Catalogo Prysmian](#) entrando nella tabella di pagina 15 e precisamente nella penultima colonna, occorrerà utilizzare il cavo avente una corrente di portata  $I_z=68 \text{ A}$ , che ha una sezione nominale  $S=16 \text{ mm}^2$ .

### **VERIFICA DELLA CADUTA DI TENSIONE A FONDO LINEA**

Supponiamo che la linea elettrica sia lunga  $L$  (m) e che presenti una resistenza  $R$  (ohm/km) e una reattanza di fase  $X$  (ohm/km).

La caduta di tensione vale:

$$\Delta V = \frac{K(R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \cdot I_b \cdot L}{1000}$$

ove:

$K=2$  per linee monofasi

$K=1,73$  per linee trifasi

posto:

$$C_t = K(R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)$$

si ha:

$$\Delta V = \frac{C_t \cdot I_b \cdot L}{1000}$$

I valori di  $C_t$  si ricavano dalle tabelle di pagina 187 del [Catalogo Prysmian](#)

Nella fattispecie, essendo la linea in PVC, unipolare, trifase occorre entrare nella tabella relativa al  $\cos \varphi=0,8$ , ossia nella settima colonna della prima tabella.

In corrispondenza di una sezione di  $16 \text{ mm}^2$  si ha un  $C_t=2,11 \text{ V/Akm}$

Supponiamo che la linea sia lunga  $L=170 \text{ m}$  e che la caduta di tensione ammissibile sia pari al 3%, ossia  $12 \text{ V}$ , il cavo da  $16 \text{ mm}^2$  in questione dà luogo ad una c.d.t. pari a :

$$\Delta V = 2,11 \cdot 54 \cdot 170 / 1000 = 19,37 \text{ V}$$

essendo:

$$\Delta V > \Delta V \text{ ammissibile}$$

occorrerà aumentare la sezione del cavo.

Si passa ad una sezione di  $25 \text{ mm}^2$ , a cui corrisponde un  $C_t=1,39 \text{ V/Akm}$  ricalcolando la c.d.t. si perviene a una

$$\Delta V = 1,39 \cdot 54 \cdot 170 / 1000 = 12,76 \text{ V}$$

anche in questo caso è:

$$\Delta V > \Delta V \text{ ammissibile,}$$

pertanto occorrerà passare alla sezione da  $35 \text{ mm}^2$ .

Dalla tabella si ha, in corrispondenza di tale sezione un  $C_t=1,01 \text{ V/Akm}$  e ricalcolando la c.d.t. si perviene a una:

$$\Delta V = 1,01 * 54 * 170 / 1000 = 9,27 \text{ V}$$

ed essendo finalmente

$$\Delta V < \Delta V \text{ ammissibile}$$

tale sezione è quella da scegliere.

Pertanto occorrerà acquistare una linea trifase con neutro tipo N07V-K, 3x1x35 mm<sup>2</sup> + 1x1x25 mm<sup>2</sup>(blu)+1x1x25 mm<sup>2</sup> (giallo/verde).

Ipotizziamo ora di utilizzare un cavo multipolare FG7(O)R quadripolare posato. su passerella.

Dalla pag 28 del catalogo, dalla tabella relativa al cavo a 4 conduttori e per posa in aria libera si avrebbe una sezione:

$$S = 4 \times 6 \text{ mm}^2$$

verifichiamo la c.d.t. a fondo linea.

In corrispondenza di un cavo 3x6

$$C_t = 5,91 \text{ V/Akm}$$

$$\Delta V = 5,91 * 54 * 170 / 1000 = 54,25 \text{ V}$$

$$\Delta V > \Delta V \text{ ammissibile,}$$

In corrispondenza di un cavo 3x10 mm<sup>2</sup>

$$C_t = 3,45 \text{ V/Akm}$$

$$\Delta V = 3,45 * 54 * 170 / 1000 = 31,67 \text{ V}$$

$$\Delta V > \Delta V \text{ ammissibile,}$$

In corrispondenza di un cavo 3x16 mm<sup>2</sup>

$$C_t = 2,21 \text{ V/Akm}$$

$$\Delta V = 2,21 * 54 * 170 / 1000 = 20,29 \text{ V}$$

$$\Delta V > \Delta V \text{ ammissibile,}$$

In corrispondenza di un cavo 3x25 mm<sup>2</sup>

$$C_t = 1,45 \text{ V/Akm}$$

$$\Delta V = 1,45 * 54 * 170 / 1000 = 13,31 \text{ V}$$

$$\Delta V > \Delta V \text{ ammissibile,}$$

In corrispondenza di un cavo 3x35 mm<sup>2</sup>

$$C_t = 1,05 \text{ V/Akm}$$

$$\Delta V = 1,05 * 54 * 170 / 1000 = 9,64 \text{ V}$$

$$\Delta V < \Delta V \text{ ammissibile,}$$

Pertanto il cavo da acquistare sarà un FG7(O)R 0,6/1 kV 5G35, che sarà costituito da 3 conduttori di sezione 35 mm<sup>2</sup>, un conduttore blu da 25 mm<sup>2</sup> e un conduttore giallo/verde da 25 mm<sup>2</sup>.

### **COEFFICIENTI DI RIDUZIONE DELLA PORTATA DI UNA CONDUTTURA**

La portata di un cavo  $I_z$  è la massima corrente che il cavo può sopportare sotto determinate condizioni, senza che i materiali isolanti che lo circondano possano subire danni apprezzabili.

Trascurando eventuali transitori dovuti a corto circuiti, si definisce la portata in regime permanente come il valore di corrente che un cavo è in grado di sopportare con continuità perché corrispondono all'assunzione di una temperatura di regime pari a quella di esercizio del materiale isolante a contatto con il conduttore: ad esempio il PVC ha una temperatura di esercizio di 70 °C e un cavo isolato in PVC è in condizioni di portata massima in regime permanente quando la corrente convogliata determina una temperatura costante del rame di 70 °C.

La temperatura di regime, assunta da un corpo riscaldato con una potenza costante, si determina quando è raggiunto l'equilibrio termico tra il calore prodotto e quello dissipato nell'ambiente. Appare del tutto evidente che questo equilibrio, a parità di potenza riscaldante, è raggiunto a temperatura tanto più bassa quanto migliori sono le condizioni di raffreddamento; per converso una temperatura di regime prefissata è determinata da una potenza riscaldante tanto maggiore quanto migliori sono le condizioni di raffreddamento. Ad esempio, se un cavo con sezione di 4 mm<sup>2</sup> raggiunge una temperatura di regime di 70 °C quando è attraversato da una corrente di 42 A, quando è posto in un tubo chiuso ed è circondato da altri 4 cavi caricati la raggiunge con soli 22 A.

Ciò ci fa capire che non esiste una ed una sola portata assegnabile ad un cavo, ma infinite portate dipendenti dalle condizioni di raffreddamento, ossia occorre definire le condizioni al contorno.

Le condizioni di raffreddamento dipendono:

- dal tipo di conduttura;
- dal numero di conduttori attivi;
- dalla temperatura ambiente;
- dalla temperatura di esercizio dell'isolante;
- dalla superficie disperdente del rame che dipende dalla sezione e dalla lunghezza del conduttore.

Le condizioni di riscaldamento sono, invece, molto più univoche, dipendendo unicamente dalla corrente e dalla resistenza del cavo, a sua volta funzione della sezione e della lunghezza del conduttore.

Si intuisce che la risoluzione del problema del calcolo della corrente di regime permanente di un cavo, posto in questi termini sarebbe alquanto ardua, poiché molteplici ed estremamente variabili sarebbero i parametri di cui tener conto.



Recentemente si sono fatti passi da gigante in termini di standardizzazione, raggruppando i moltissimi tipi di condutture (la norma CEI 64-8/5 ne distingue ben 81) in soli sette metodi di installazione.

Ad ogni modo di installazione corrisponde una tabella delle portate in regime permanente ed una seconda tabella di fattori di riduzione applicabili per più cavi raggruppati.

Un altro parametro che determina la corrente di portata in regime permanente di un cavo è, come già accennato, la temperatura ambiente.

Convenzionalmente si assume una temperatura di 30 °C e poiché la portata dipende dalle condizioni di raffreddamento, che a loro volta sono funzione della differenza di temperatura del cavo e quella dell'aria circostante, è evidente che al variare di quest'ultima varia in senso inverso la portata massima in regime permanente. Se la temperatura ambiente aumenta la portata del cavo diminuisce e viceversa.

Il coefficiente di correzione da apportare non dipende solo dalla temperatura ambiente, ma anche dal tipo di isolante e può essere desunto dalla tabella del [Catalogo Prysmian](#) a pag. 180.

La portata di un cavo posato in aria sarà quindi espressa dalla formula:

$$I_z = I_o \cdot k_1 \cdot k_2$$

ove:

- $I_o$  è la portata alla temperatura ambiente convenzionale di 30 °C, relativa al singolo cavo multipolare o all'insieme dei cavi unipolari che costituiscono il singolo circuito, per le diverse condizioni di posa;
- $k_1$  è un fattore di correzione da applicare se la temperatura ambiente effettiva è diversa da 30 °C; il suo valore è pari a 1 se la temperatura ambiente è pari a 30 °C;
- $k_2$  è un fattore di correzione ( $k_2 \leq 1$ ) da applicare quando vi sono più cavi o più circuiti raggruppati, in fascio o in strato, per tener conto dell'effetto di prossimità.  $k_2=1$  nel caso sia installato un solo cavo multipolare oppure due o tre cavi unipolari, rispettivamente per circuiti monofase o trifase; il neutro non va considerato, a meno che non sia fortemente caricato, come si verifica nei sistemi fortemente squilibrati.

La portata di un cavo nel caso di posa interrata si calcola con la formula:

$$I_z = I_o \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4$$

ove:

- $I_o$  è la portata relativa a una determinata sezione, a un certo tipo di isolante e a un determinato modo di installazione; essa è pari a  $I_z$  quando tutti i fattori sono unitari, ossia la temperatura del terreno è pari a 20 °C, è installato un solo circuito formato da cavi unipolari o da un solo cavo multipolare, la profondità di posa è 0,8 m e la resistenza termica del terreno è 1,5 K m /W.

## **SINTESI**

Per il dimensionamento di una condotta occorre conoscere i parametri del carico (tipo di alimentazione monofase o trifase, potenza e  $\cos\varphi$ ) da cui si determina la corrente di impiego  $I_b$ . Nota questa, a seconda dell'ambiente di installazione della condotta si sceglie il tipo di cavo e riferendosi alle tabelle corrispondenti si ricava la portata del cavo, che va opportunamente ridotta utilizzando la prima o la seconda delle formule della  $I_z$ , a seconda che il cavo sia posato in aria o interrato. Infine, nota la lunghezza della linea si verifica che la caduta di tensione della condotta a fondo linea sia minore della  $\Delta V$  ammissibile. Qualora tale verifica non vada a buon fine si aumenta la sezione fino al soddisfacimento di tale condizione.

### Nota

Questo documento può essere liberamente scaricato e utilizzato per soli fini didattici, la proprietà intellettuale resta dell'autore. Non è consentito invece commercializzarlo, né includerlo in siti diversi da PLCForum, a cui l'autore l'ha concesso in licenza gratuita.