

Dimensionamento dei cavi

OBIETTIVI CONTENUTI

- 1 Generalità
- 2 Criterio di dimensionamento dei conduttori con il metodo del bilancio termico
- 3 Criterio di dimensionamento dei conduttori con il metodo della massima caduta di tensione
- 4 Criterio di dimensionamento dei conduttori con il metodo della massima perdita di potenza
- 5 Cavi e criteri di scelta

Conoscenze

- I tipi di cavi in commercio
- Le relazioni per il dimensionamento dei conduttori e dei cavi

Abilità

- Saper consultare le norme specifiche
- Saper determinare il tipo di conduttore e di cavo da adottare
- Saper consultare i cataloghi forniti dalle aziende produttrici di materiale elettrico

1 Generalità

In questa unità si è ritenuto importante analizzare, seppure a grandi linee, i criteri generali che permettono di giungere alla scelta dei conduttori e dei cavi da utilizzare negli impianti elettrici.



Dimensionare un **conduttore** significa definirne la sezione in base all'intensità di corrente che lo percorre.

Criteri generali di dimensionamento

Il valore della sezione di un conduttore dipende sostanzialmente dal limite che si vuole imporre alle perdite di potenza e al limite che si vuole imporre alla caduta di tensione.

Il limite da imporre alle perdite di potenza è dovuto sia all'esigenza di mantenere il più alto possibile il valore del rendimento del sistema elettrico sia all'esigenza di dover contenere la temperatura massima del conduttore.

Il limite da imporre al massimo valore della caduta di tensione è dovuto all'esigenza di far funzionare le apparecchiature elettriche a valori di tensione prossimi a quelli di targa.

È opportuno sottolineare che un'alimentazione diversa da quella specificata dai dati di targa delle apparecchiature o dei componenti, sia elettronici che elettrici, può comportare o un malfunzionamento o addirittura la distruzione dell'apparecchiatura o del componente.

I vari metodi di calcolo adottati per il dimensionamento dei conduttori giungono tutti a un risultato di prima approssimazione per ottenere poi, con verifiche successive, il risultato ottimale. Qualunque sia il metodo di calcolo adottato, si sottolinea la necessità di passare dal valore di sezione calcolato al valore di sezione commerciale più opportuno, facendo riferimento alle tabelle compilate dall'UNEL, o dai costruttori, di cui alcune vengono di seguito riportate.

Tabella 1
Caratteristiche
di alcuni
conduttori nudi
di rame per
linee aeree

Sezione nominale [mm ²]	Formazione [n × d]	[ø] [mm]	Carico di rottura [N]	Resistenza a 20 °C [Ω/mm]	Portata massima [A]
16	1 × 4,50	4,50	6 040	1,14	73
25	7 × 2,10	6,30	8 750	0,747	98
40	7 × 2,70	8,10	14 470	0,45	135
63	19 × 2,10	10,5	23 260	0,28	182

Tabella 2
Sezioni
nominali di
alcune piattine
di rame nudo
o isolate per
avvolgimenti

	Spessore [mm]										
	0,80	1,00	1,25	1,60	1,80	2,00	2,50	2,80	3,55	4,00	5,00
2,00	1,463	1,785	2,285								
2,50	1,863	2,285	2,910	3,785	4,137						
3,15	2,383	2,935	3,723	4,825	5,307	5,937					
4,00	3,063	3,785	4,785	6,185	6,837	7,637	9,451	10,65			
5,00	3,863	4,785	6,035	7,785	8,637	9,637	11,95	13,45	17,20		
6,30	4,903	6,085	7,660	9,865	10,98	12,24	15,20	17,09	21,82	24,34	
8,00		7,785	7,785	12,59	14,04	15,64	19,45	21,85	27,85	31,14	39,14
9,00			11,04	14,19	15,84	17,64	21,95	24,65	31,40	35,14	44,14
10,00			12,29	15,79	17,64	19,64	24,45	27,45	34,95	39,14	49,14
11,20				17,71	19,80	22,04	27,45	30,81	39,21	43,94	55,14
12,50				19,79	22,14	24,64	30,70	34,45	43,83	49,14	61,64
14,00					24,84	27,64	34,45	38,65	49,15	55,14	69,14
16,00						31,64	39,45	44,25	56,25	63,14	74,14

La prima riga e la prima colonna rappresentano rispettivamente le dimensioni in [mm], in orizzontale e verticale, della piattina. Gli altri valori indicano la sezione del rame, che non coincide con il prodotto delle dimensioni in quanto esiste un bordo di isolante.

Tabella 3
Alcune
dimensioni di
barre di rame
e intensità
di corrente
ammissibile (A)

Larghezza e spessore [mm]	Sezione teorica [mm ²]	Intensità di corrente ammissibile [A]			
		1 barra	2 barre	3 barre	4 barre
10 × 2	20	85	—	—	—
15 × 2	30	115	—	—	—
10 × 3	30	105	—	—	—
20 × 3	60	200	—	—	—
30 × 3	90	280	—	—	—
20 × 4	80	235	—	—	—
30 × 4	120	300	—	—	—
40 × 4	160	385	—	—	—
20 × 5	100	280	515	710	895
30 × 5	150	365	635	940	1160
40 × 5	200	450	775	1140	1440
50 × 5	250	555	1020	1420	1780
80 × 5	400	380	1530	2125	2650
100 × 5	500	1035	1900	2650	3320
40 × 6	240	510	940	1315	1650

Tabella 4

Alcune dimensioni di fili di rame isolati con vernice

o nom. [mm]	Sez. nom. [mm ²]	Res. media a 20 °C [Ω/mm]	o max. su due strati di vernice [mm]
0,040	0,001256	13,75	0,05
0,050	0,001963	8,78	0,062
0,063	0,0031	5,531	0,085
0,071	0,0039	4,355	0,095
0,080	0,005	3,430	0,105
0,090	0,00635	2,710	0,117
0,100	0,00785	2,195	0,129
0,125	0,01226	1,405	0,159
0,150	0,01766	0,9756	0,180
0,200	0,0314	0,5488	0,245
0,250	0,04906	0,3512	0,301
0,300	0,07065	0,2439	0,355
0,400	0,12560	0,1372	0,462
0,500	0,19625	0,0878	0,569
0,600	0,28270	0,064	0,673
0,700	0,38465	0,0448	0,780
0,800	0,50240	0,0343	0,885
0,900	0,63585	0,0271	0,990
1,000	0,78500	0,0220	1,093
1,250	1,22656	0,0141	1,351
1,500	1,76625	0,0098	1,608
2,000	3,1400	0,0055	2,120
2,500	4,90625	0,0035	2,631
3,000	7,06500	0,0025	3,142

Tabella 5

Alcune dimensioni di barre di alluminio e intensità di corrente ammissibile (A)

Larghezza e spessore [mm]	Sezione teorica [mm ²]	Intensità di corrente ammissibile [A]			
		1 barra	2 barre	3 barre	4 barre
12 × 2	24	80	–	–	–
20 × 2	40	120	–	–	–
15 × 3	45	130	–	–	–
25 × 3	75	185	–	–	–
40 × 3	120	280	–	–	–
25 × 4	100	220	–	–	–
40 × 4	160	305	–	–	–
30 × 5	150	290	505	740	930
50 × 5	250	440	–	1125	1410
60 × 6	360	565	1040	1455	1830
50 × 8	400	560	1030	1445	1815
80 × 8	640	940	1730	2420	3050
60 × 10	600	745	1370	1900	2400

Forme commerciali di conduttori

Le forme commerciali più comuni sono:

- conduttori per avvolgimenti, in rame o alluminio nudi o verniciati, di sezione circolare o a piattina;
- conduttori per cablaggio, utilizzati nudi o isolati, per realizzare le connessioni rigide o flessibili tra le apparecchiature contenute nei quadri elettrici;
- conduttori per il trasporto e la distribuzione di energia elettrica, in rame, alluminio o leghe di alluminio, di sezione circolare e non isolati;
- conduttori per resistenze, di sezione circolare o a piattina.

2 Criterio di dimensionamento dei conduttori con il metodo del bilancio termico

Temperatura di regime

Dall'elettrotecnica, e da quanto visto nel modulo 1, è noto che un conduttore percorso da corrente si riscalda per effetto delle perdite Joule e raggiunge, dopo un certo tempo, con legge esponenziale, un valore costante di temperatura T_{\max} detta **temperatura di regime**. Tale temperatura si raggiunge quando la potenza P_j , dissipata per effetto Joule, uguaglia la potenza P_d , ceduta all'ambiente circostante.

La potenza dissipata all'interno di un conduttore per effetto Joule è data da:

$$P_j = R \cdot I^2 \quad 1$$

ed essendo:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

si ha:

$$P_j = \rho \frac{l}{s} I^2 \quad 2$$

in cui:

- P_j = potenza dissipata per effetto Joule in [W];
- ρ = resistività del materiale conduttore in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$;
- l = lunghezza del conduttore in [m];
- s = sezione del conduttore in [mm²];
- I = corrente che percorre il conduttore in [A].

La potenza termica ceduta dal conduttore all'ambiente circostante è data da:

$$P_d = \lambda \cdot A \cdot \Delta T \quad 3$$

in cui:

- λ = coefficiente di conducibilità termica dell'ambiente in $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$;
- A = area di scambio termico del conduttore in [m²];
- ΔT = differenza di temperatura tra il conduttore e l'ambiente circostante in [°C].

A regime dovrà essere:

$$P_j = P_d \quad 4$$

per cui:

$$\rho \frac{l}{s} I^2 = \lambda \cdot A \cdot \Delta T$$

ed essendo:

$$A = p \cdot l \quad 5$$

in cui:

- p = perimetro di base del conduttore in [m];
- l = lunghezza del conduttore in [m];

si ha:

$$\rho \frac{l}{s} I^2 = \lambda \cdot p \cdot l \cdot \Delta T$$

e semplificando:

$$\rho \frac{I^2}{s} = \lambda \cdot p \cdot \Delta T$$

6

Dalla relazione precedente, nota la forma geometrica del conduttore, è possibile calcolare la sezione.

Conduttori cilindrici

Per conduttori cilindrici, essendo:

$$p = 2\pi r$$

7

e:

$$s = \pi r^2$$

8

si ha:

$$\rho \frac{I^2}{\pi r^2} = \lambda \cdot 2\pi r \cdot \Delta T$$

oppure, esprimendo l'espressione in funzione del diametro del conduttore:

$$\rho \frac{I^2}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}} = \lambda \cdot \pi d \cdot \Delta T$$

da cui, con ovvi passaggi:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho \cdot I^2}{\pi^2 \cdot \lambda \cdot \Delta T}}$$

9

Volendo esprimere d in [mm] si ha:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho \cdot I^2 \cdot 10^3}{\pi^2 \cdot \lambda \cdot \Delta T}}$$

10

Conduttori a piattina

Se invece si vuole dimensionare un *conduttore a piattina* di lati a e b , dalla relazione:

$$\rho \frac{I^2}{s} = \lambda \cdot p \cdot \Delta T$$

essendo:

$$s = a \cdot b$$

11

e:

$$p = 2(a + b)$$

12

si avrà:

$$\rho \frac{I^2}{a \cdot b} = \lambda \cdot 2(a + b) \cdot \Delta T$$

13

Fissando uno dei valori delle dimensioni della piattina sarà possibile calcolare l'altro. I valori del coefficiente di conducibilità termica λ e della sovrالعlevatione di temperatura ΔT dipendono dal tipo di conduttore che si vuole dimensionare e dal tipo di raffreddamento. Per i cavi questi valori dipendono anche dal tipo di posa e dal tipo di isolante impiegato.

esempio

1 Si vuole dimensionare un conduttore in rame nudo, posto in aria libera, in grado di sopportare una corrente di 20 A supponendo una temperatura di regime pari a 55 °C.

Si assuma la temperatura ambiente $T_a = 20$ °C e si consideri il coefficiente di conducibilità termica praticamente uguale a quello dell'aria, che è $\lambda = 15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$.

La resistività del rame a 55 °C risulta:

$$\rho_{55} = \rho_{20} (1 + \alpha_{20} \Delta T)$$

in cui:

$$\rho_{20} = 0,0176 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\alpha_{20} = 0,00393 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta T = 55 - 20 = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

e, quindi:

$$\rho_{55} = 0,0176 (1 + 0,00393 \cdot 35) = 0,020 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

Dalla relazione:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \rho \cdot I^2 \cdot 10^3}{\pi^2 \cdot \lambda \cdot \Delta T}}$$

si ha:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0,020 \cdot 20^2 \cdot 10^3}{\pi^2 \cdot 15 \cdot 35}} = 1,83 \text{ mm}$$

Dalle tabelle di unificazione si sceglie il valore commerciale di 2 mm.

3 Criterio di dimensionamento dei conduttori con il metodo della massima caduta di tensione

Si consideri una linea, formata da due conduttori, che alimenta un carico il quale assorbe, alla tensione V_2 , una potenza attiva P_2 con un fattore di potenza $\cos \varphi_2$. Ogni conduttore è caratterizzato da una resistenza elettrica R_l e da una reattanza induttiva X_l .

Con riferimento alla **figura 1**, che riporta il circuito equivalente della linea considerata, la caduta di tensione, definita come caduta di tensione industriale, è esprimibile con la seguente espressione approssimata:

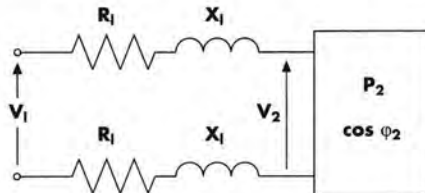
$$\Delta V = m (R_l I \cos \varphi_2 + X_l I \sin \varphi_2)$$

14

dove:

- $m = 2$ per corrente continua o corrente alternata monofase;
- $m = \sqrt{3}$ per corrente alternata trifase;
- R_l = resistenza di linea in $[\Omega]$;
- X_l = reattanza di linea in $[\Omega]$;
- I = corrente di linea in $[A]$;
- φ_2 = angolo di sfasamento tra tensione e corrente di linea.

Figura 1
Circuito
equivalente



Per linee in *corrente continua* o in *corrente alternata monofase*, con $\cos \varphi_2 = 1$, la relazione precedente diventa:

$$\Delta V = 2 \cdot R_l \cdot I \quad 15$$

ed essendo

$$R_l = \rho \frac{l}{s}$$

si ha:

$$\Delta V = 2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{s} \cdot I$$

e quindi:

$$s = \frac{2 \cdot \rho \cdot l \cdot I}{\Delta V} \quad 16$$

in cui:

- ρ = resistività del materiale dei conduttori alla temperatura di lavoro in $\frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$;
- l = lunghezza della linea in $[m]$;
- s = sezione dei conduttori in $[\text{mm}^2]$;
- ΔV = caduta di tensione in linea in $[V]$.

Di solito il calcolo viene effettuato fissando un valore percentuale di caduta di tensione che, approssimativamente, vale il 4% per linee che alimentano utenze civili e il 6% per linee che alimentano utenze industriali.

Si definisce *caduta di tensione percentuale* della linea il rapporto tra la caduta di tensione ΔV e la tensione V_2 moltiplicato per cento:

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_2} 100 \quad 17$$

Da tale espressione, noto il valore percentuale della caduta di tensione, è possibile calcolare il valore in volt:

$$\Delta V = \frac{\Delta V\% \cdot V_2^2}{100} \quad 18$$

esempio

2

Si vuole dimensionare una linea in rame nudo che alimenta, alla tensione continua di 220 V, un carico che, posto alla distanza di 200 m, assorbe una potenza di 10 000 W. La caduta di tensione in linea non deve superare il 4%.

Dalla relazione:

$$s = \frac{2\rho \cdot l \cdot I}{\Delta V}$$

essendo:

$$\rho = 0,0176 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$l = 200 \text{ m}$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{10000}{220} = 45,45 \text{ A}$$

$$\Delta V = \frac{\Delta V\% \cdot V}{100} = \frac{4 \cdot 220}{100} = 8,8 \text{ V}$$

si ha:

$$s = \frac{2 \cdot 0,0176 \cdot 200 \cdot 45,45}{8,8} = 36,36 \text{ mm}^2$$

Dalla precedente **tabella 1** di unificazione si sceglie un valore commerciale della sezione dei conduttori di 40 mm².

4

Criterio di dimensionamento dei conduttori con il metodo della massima perdita di potenza

Il metodo della massima perdita di potenza viene utilizzato principalmente per la determinazione della sezione dei conduttori per linee di trasporto dell'energia elettrica e viene condotto imponendo una perdita di potenza che, in generale, può essere contenuta entro il 2-4% della potenza trasportata o, comunque, entro valori tali per cui l'esercizio della rete sia economicamente conveniente.

Detta P_p la potenza che si ammette di perdere in linea, si ha:

$$P_p = n \cdot R \cdot I^2$$

in cui:

- n = numero dei conduttori;
- R = resistenza di un conduttore in $[\Omega]$;
- I = corrente di linea in [A].

Essendo:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{s}$$

$$I = \frac{P}{V}$$

(in corrente continua)

19

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos}$$

(in corrente alternata monofase)

20

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos}$$

(in corrente alternata trifase)

21

sostituendo nella precedente relazione, si ha:

$$s = \frac{n \cdot \rho \cdot l \cdot p^2}{P_p \cdot V^2} \quad (\text{in corrente continua}) \quad 22$$

$$s = \frac{n \cdot \rho \cdot l \cdot P^2}{P_p \cdot V^2 \cdot \cos^2} \quad (\text{in corrente alternata monofase}) \quad 23$$

$$s = \frac{n \cdot \rho \cdot l \cdot P^2}{3 \cdot P_p \cdot V^2 \cdot \cos^2} \quad (\text{in corrente alternata trifase}) \quad 24$$

in cui, oltre all'ovvio significato di alcuni simboli, si è indicato:

- P = potenza da trasportare in [W] o [kW];
- V = tensione nominale di linea in [V] o [kV].

esempio

- 3** Si vuole dimensionare una linea in rame nudo che alimenta, alla tensione continua di 220 V, un carico che, posto alla distanza di 150 m, assorbe una potenza di 7 000 W. La perdita di potenza in linea non deve superare il 3%.

Dalla relazione:

$$s = \frac{n \cdot \rho \cdot l \cdot P^2}{P_p \cdot V^2}$$

essendo:

- $n = 2$;
- $\rho = 0,0176 \text{ } (\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{m}$;
- $l = 150 \text{ m}$;
- $P = 7000 \text{ W}$;
- $V = 220 \text{ V}$;

e inoltre, poiché:

$$P_p = \frac{P_p \% \cdot P}{100} = \frac{3 \cdot 7000}{100} = 210 \text{ W}$$

si ha:

$$s = \frac{2 \cdot 0,0176 \cdot 150 \cdot 7000^2}{210 \cdot 220^2} = 25,45 \text{ mm}^2$$

Dalla precedente **tabella 1** di unificazione si sceglie una sezione commerciale di 40 mm².

5 Cavi e criteri di scelta

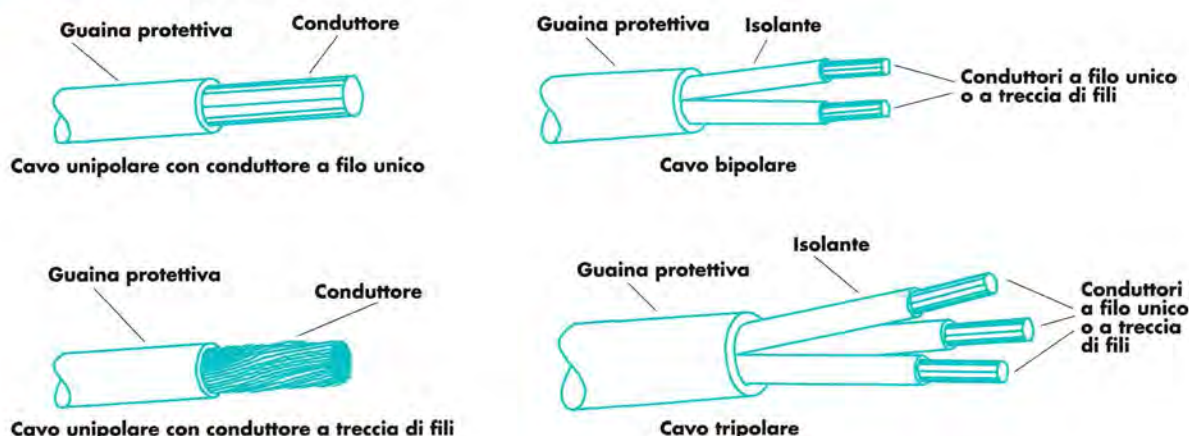


Per **cavo** si intende l'insieme di uno o più conduttori, di solito rame o alluminio, isolati tra loro in modo continuo e generalmente rivestiti da una guaina protettiva che ne assicura l'isolamento elettrico verso l'esterno.

Dal punto di vista costruttivo il più semplice tipo è il *cavo unipolare* costituito da un unico conduttore (a filo unico o a treccia di fili) coperto da materiale isolante; il *cavo bipolare* è invece costituito da due conduttori isolati tra loro e contenuti nella stessa

guaina protettiva; infine il *cavo multipolare* è realizzato con più conduttori isolati tra loro e raggruppati in un'unica guaina protettiva. Nella **figura 2** vengono riportati degli esempi di cavi con evidenziati gli elementi costitutivi.

Figura 2 Esempi di cavi



Classificazione

In base al loro uso i cavi possono essere classificati in:

- cavi per basse frequenze;
- cavi per alte frequenze;
- cavi per il trasporto di energia elettrica.

Cavi per bassa frequenza

I cavi utilizzati in apparati che lavorano in **bassa frequenza** sono costituiti da conduttori di rame elettrolitico ricotto, stagnato per prevenirne la corrosione, isolati tra loro e ricoperti da una guaina di materiale isolante. I materiali utilizzati per l'isolamento interno sono generalmente polimeri come il teflon (PTFE, FEP, PFA), il tefzel, il kapton, mentre per le guaine esterne si utilizza il poliuretano o il PVC.

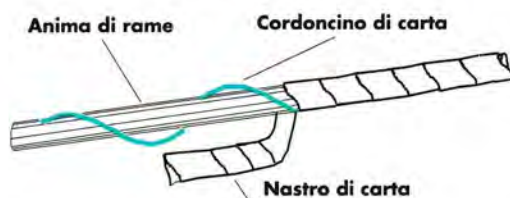
Cavi per alta frequenza

Nel campo delle **alte frequenze** vengono utilizzati i cavi per *telefonia urbana* e *interurbana* e i *cavi coassiali*.

I cavi impiegati nelle **linee telefoniche** presentano strutture diverse in funzione dell'uso. Si hanno cavi per linee aeree, per linee urbane, per linee interrate, per linee sottomarine ecc. Il materiale utilizzato per la costruzione dei conduttori dei cavi per linee aeree è generalmente il bronzo fosforoso, ottenuto aggiungendo al rame crudo l'1% di fosforo, in quanto presenta caratteristiche elettriche simili a quelle del rame ma proprietà meccaniche nettamente migliori.

Altri cavi utilizzati per linee telefoniche sono il cavo *Copperweld*, i cui conduttori sono costituiti da un'anima di acciaio ricoperta da uno strato di rame, e il cavo *Patterson*, in cui un conduttore di rame è avvolto da una spirale di filo di carta ritorta, a passo largo, su cui viene posato un nastro di carta avvolto con bordi sovrapposti.

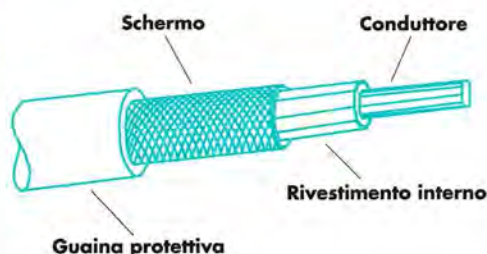
Figura 3
Cavo Patterson



La **figura 3** riporta un esempio di cavo Patterson.

Nel campo delle **radiofrequenze** o delle **microonde**, poiché oltre alle normali perdite si hanno anche dispersioni dovute a effetti di irradiazione elettromagnetica, si usano i **cavi coassiali**. Tali tipi di cavi sono realizzati con

Figura 4
Cavo
coassiale per
alta frequenza



un conduttore Copperweld ricoperto da un dielettrico di Teflon PTFE; tale dielettrico è a sua volta ricoperto da un conduttore tubolare (schermo) realizzato con sottili fili di rame intrecciati tra loro; il tutto viene infine racchiuso in una guaina esterna isolante (**figura 4**).

Cavi per il trasporto di energia

I cavi utilizzati per il **trasporto dell'energia elettrica**, che possono essere unipolari, bipolari, tripolari, quadripolari, si distinguono in base alla tensione di esercizio in:

- cavi per bassa tensione;
- cavi per media e alta tensione.

Si sottolinea che, anche se non sancito da alcuna norma, nella pratica corrente per bassa tensione si intende un sistema elettrico la cui tensione nominale è minore o uguale a 1000 V, per media tensione un sistema la cui tensione nominale è compresa tra 1000 V e 30000 V, per alta tensione un sistema la cui tensione nominale è superiore a 30000 V. Inoltre, in funzione del tipo di isolante, i cavi si possono dividere in:

- cavi isolati in gomma;
- cavi isolati con materiale termoplastico;
- cavi isolati in carta impregnata.

La struttura di un cavo per energia può essere piuttosto varia, a seconda del numero delle anime e della tensione di esercizio.

I **cavi per media e alta tensione** vengono utilizzati per il trasporto di grandi quantità di energia e interessano l'impiantistica elettrica.

I **cavi per bassa tensione**, che più interessano il campo a cui è rivolto il testo, sono generalmente realizzati con conduttori di rame (rigidi o a fili avvolti) protetti o con isolanti termoplastici a base di mescole di PVC (cloruro di polivinile) o con isolanti vulcanizzati a base di gomma o polietilene.

La guaina esterna può essere ancora in gomma o PVC.

Le **mescole termoplastiche** consentono temperature di esercizio relativamente basse, intorno a 70 °C, e sono poco resistenti alla termopressione. La loro plasticità, aumentando con la pressione e la temperatura, permette scorrimenti relativi fra le molecole dando luogo a deformazioni permanenti; a temperature di 100 °C le deformazioni sotto le normali sollecitazioni possono provocare una riduzione del 50% nello spessore isolante, mentre a 160 °C si possono rivelare delle fessurazioni che annullano completamente l'isolamento nei punti meccanicamente sollecitati.

Gli **isolanti vulcanizzati** presentano, invece, una temperatura di regime più elevata (85-90 °C) e una notevole resistenza alla termopressione; la deformazione plastica è irrilevante anche a temperature di oltre 200 °C. Un'ulteriore caratteristica degli isolanti è la igroscopicità, cioè il comportamento in presenza di umidità o di acqua.

In ambienti ordinari si utilizza PVC leggero, in ambiente bagnato la gomma o il PVC pesante, per interrimento policloroprene pesante.

Dal punto di vista della **resistenza al fuoco** i cavi si classificano in cinque categorie:

- cavi senza requisiti di resistenza al fuoco;
- cavi non propaganti la fiamma; si utilizzano isolanti autoestinguenti nel senso che bruciano se sottoposti a una piccola fiamma, ma la combustione si estingue entro un determinato periodo e non si propaga oltre una distanza prescritta quando la fiamma si spegne;

Resistenza al fuoco

- *cavi non propaganti l'incendio*; gli isolanti utilizzati sono autoestinguenti anche per cavi raccolti in fasci e sottoposti alla fiamma per lunghi periodi e con temperature elevate;
- *cavi non propaganti l'incendio e a basso sviluppo di fumi, di gas tossici e corrosivi*; gli isolanti, oltre ad avere le caratteristiche prima specificate, durante la combustione sviluppano modesti quantitativi di fumi o di gas tossici al fine di limitare le conseguenze alle persone, e danni agli impianti e alle apparecchiature;
- *cavi resistenti al fuoco*; gli isolanti utilizzati sono costituiti da materiale incombustibile (isolanti minerali).

Designazione dei cavi

Le *caratteristiche costruttive e funzionali* dei cavi per energia sono indicate con *sigle alfa-numeriche*; tali sigle sono stabilite dalle Norme CEI 20-27 in accordo con i documenti di armonizzazione del CENELEC (per i riferimenti normativi si rimanda al modulo 5). Le sigle sono composte da lettere e numeri secondo una sequenza prestabilita:

- **cifra 1: riferimento alle norme**
H : cavo armonizzato, conforme alle norme europee;
A : cavo nazionale autorizzato, che differisce in parte dalle Norme CENELEC;
N : cavo nazionale, non rientrante tra quelli armonizzati;
S : cavo conforme a capitoli speciali.
- **cifra 2: tensioni nominali U_0/U** (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 di un cavo multipolare o di un sistema con cavi unipolari)
00 : < 100 V;
01 : compresi tra 100 V e 300 V;
03 : 300/300 V;
05 : 300/500 V;
07 : 450/750 V.
- **cifra 3 e 4: materiale dell'isolante (cifra 3) e della guaina (cifra 4)**
V = polivinilcloruro (PVC);
R = gomma naturale;
S = gomma al silicone;
E = polietilene;
N = policloroprene;
T = treccia tessile;
J = treccia di fibra di vetro.
- **cifra 5 (eventuale): armatura metallica**
Z = armatura in acciaio;
Y = armatura in altri materiali o speciale.
- **cifra 6 (eventuale): riempitivi e fili portanti resistenti alla trazione**
D (D2-D3-D4-D5-D7-D8 secondo i tipi).
- **cifra 7 (eventuale): cavi con forma speciale**
H = cavi piatti divisibili;
H2 = cavi piatti non divisibili.
- **cifra 8: materiale del conduttore**
nessun simbolo = rame;
A = alluminio;
Z = materiale speciale.

- **cifra 9:** *forma del conduttore*
F = corda flessibile di un cavo flessibile;
H = corda molto flessibile di un cavo flessibile;
K = conduttore flessibile di un cavo per posa fissa;
U = filo unico;
R = a più fili.
- **cifra 10:** *numero e sezione dei conduttori*
numero delle anime;
X = senza conduttore di protezione (messa a terra);
G = con conduttore di protezione;
sezione del conduttore in mm².

Esempi di designazione:

- la sigla *H07RN-F 2G1,5* contrassegna un cavo armonizzato CENELEC (H), 450/750 V (07), isolato in gomma naturale o butilica (R), guaina in policloroprene (N), conduttore in rame a corda flessibile (F), 2 anime con sezione del conduttore 1,5 mm², con conduttore giallo-verde di protezione (2G1,5);
- la sigla *H05SJ-K1 × 2,5* contrassegna un cavo armonizzato CENELEC (H), tensione nominale 300/500 V (05), isolato in gomma siliconica (S), guaina in fibra di vetro (J), conduttore in rame a corda flessibile di un cavo per posa fissa (K), unipolare con sezione del conduttore 2,5 mm² (1 × 2,5);
- la sigla *H07RN-R3 × 50 + 1 × 25 + 1G25* contrassegna un cavo armonizzato CENELEC, tensione nominale 450/750, isolato in gomma naturale o butilica, guaina in policloroprene, conduttore in rame rigido cordato di un cavo rigido, 5 anime di cui 3 da 50 mm², 2 da 25 mm², di cui una giallo-verde per conduttore di protezione;
- la sigla *H07V-U1 × 2,5* contrassegna un cavo armonizzato CENELEC, tensione nominale 450/750, isolato in PVC, senza guaina, conduttore in rame a filo rigido unico, unipolare, sezione 2,5 mm².

Oltre alle sigle di designazione esistono ulteriori segni convenzionali come:

- **colori del rivestimento delle anime:**
marrone, grigio e nero per le fasi;
blu chiaro per il neutro;
giallo-verde per il conduttore di protezione (terra).
- **colori della guaina:**
nero per cavi BT (bassa tensione);
rosso per cavi MT (media tensione).
- **contrassegno IMQ** (marchio di qualità): è indicato dall'etichetta IMQ posta sulla guaina esterna.

▶ TEST DI RIEPILOGO

- 1 Quali sono le forme commerciali più comuni dei conduttori?
- 2 L'unità di misura della resistività ρ è:
 - a) $\frac{W \cdot mm^2}{m}$;
 - b) $\frac{\cdot mm^2}{m}$;
 - c) $\frac{J \cdot mm^2}{m}$;
 - d) $\frac{^{\circ}C \cdot mm^2}{m}$.
- 3 Che cosa esprime la caduta di tensione industriale?
- 4 Qual è l'espressione che indica la caduta di tensione per linee in corrente continua?
- 5 Quali sono i criteri generali per il calcolo della sezione dei conduttori per una linea alimentata in corrente alternata monofase?
- 6 Qual è la differenza tra cavo unipolare e cavo multipolare?
- 7 Qual è la differenza tra un cavo per linee a bassa frequenza e uno per linee ad alta frequenza?
- 8 Quali sono i materiali più utilizzati per realizzare la guaina protettiva di un cavo?
- 9 Qual è la differenza tra un cavo non propagante la fiamma e un cavo non propagante l'incendio?
- 10 Interpretare le seguenti sigle di cavi:
 - a) N07V-K;
 - b) N07V-R;
 - c) N1VC7V-K;
 - d) N1VCTV-U.
- 11 Quale colore è obbligatorio per il rivestimento delle anime di un cavo per indicare il neutro?
 - a) Marrone
 - b) Rosso
 - c) Blu chiaro
 - d) Giallo-verde