

### Cable Maximum Voltage Rating and Mechanical Strength.

The maximum voltage depends on the material characteristics, the conductor insulation thickness and the outer sheath thickness. The insulation must be sufficiently resistant to prevent even accidental crushing situations, so different uses can have different requirements of project. Norms as UL and CSA (American), IEC (International) and EN (European) set values which are not always equal to each other and sometimes refer only to heavy employment, such as cables for power transmission.

For the transmission of signals inside industrial machinery, it is frequent to use reduced thickness which refers to commercial standards which are not supported by norms, such as cables LiYY and FROR. The advantage of using reduced thickness is particularly evident in the smaller volume occupied by bundles of cables. The reference nominal voltage is generally at least 300 V. On the market there are also low-cost cables in PVC, with extremely reduced thickness, which may not be compatible with the safety standards for specific applications; it is advisable to carefully evaluate the characteristics of the products.

The norm IEC 60204-1 (Machinery Safety) recommends the minimum section of the cables according to the application as well (see table 1). The norm allows smaller sections only if the mechanical protection is sufficiently guaranteed, for example with conduits.

### Current-carrying Capacity. Ambient Air and Cable Temperature.

The current flow in a connector and in its cable generates heat, thus a temperature rise. Any connector or cable insulating material has a maximum safety temperature that should never be exceeded to ensure the stability of their mechanical properties.

After verifying the insulating material quality and the working ambient air temperature, the maximum current-carrying capacity permitted in the connector can be calculated in function of the terminals size and the conductors section.

Table 2 shows the maximum current values for a pvc cable (quality 70°C) with 2 or 3 wires without metal sheath, with copper conductors, employed for normal use and inserted into cable tray. For open air applications a current about 10% higher is admitted.

The ambient air temperature is measured around the cable, for example inside the cabinet or close to the machine interspaces. The right ambient air temperature is found after the normal functioning of the machine, under full load for a sufficient period of time, without taking into account the variations of the temperature due to heating of the cable. If the use does not require a higher temperature project, the conventional value of 40°C (IEC 60204-1) must be considered.

The table takes into account that in most of the machines not all cables are used simultaneously for long periods. In special cases (many wires used at the same time or high ambient air temperatures), a reduction factor of between 0,3 and 0,9 must be used to reflect the overheating of cables in the same group, otherwise verify that the temperature remains within the limits allowed. Particular attention must also be paid to vertical and limited ventilation routes.

Values and comments refer to IEC 60204-1 (Machinery Safety, edition October 2005) and IEC 60364-5-52 (Wiring Systems Security).

### Current-carrying Capacity. Cable Voltage Drop.

Another important element of assessment is the length of the cable. Each meter of the cable causes a voltage drop proportional to the value of the current that runs through it, if  $\cos\phi = 1$  we have:  $V = I \times R$ .

$V$  = voltage drop,  $I$  = current,  $R$  = resistance of the cable. In the case of inductive loads (solenoid valves, motors, etc.) or with variable currents, the higher current peak must be considered to avoid even temporary loss of power, which could hinder the proper functioning of the equipment. The longer is the cable, the greater the voltage drop, the IEC allows maximum values drop from 3% to 5% of rated voltage. Greater values are admitted only for the current peaks (e.g.: engines starting), if they do not create functioning problems. To minimize the voltage drop the cable section should be increased. Here are some tables that can help to easily calculate the minimum theoretical cable section. See tables 3 and 4.

For example, an average continuous current 1 A with section 0,34 mm<sup>2</sup> and cable length 10 m generates a voltage drop of 1,3 V, which is approximately 5% of 24 V.

### Tensione di Esercizio Massima e Resistenza Meccanica del Cavo.

La tensione massima dipende dalle caratteristiche dei materiali, dallo spessore dell'isolante dei conduttori e dallo spessore della guaina esterna. L'isolamento deve essere sufficientemente robusto per prevenire anche situazioni di schiacciamento accidentale, quindi impieghi diversi possono avere esigenze diverse di progetto. Le norme come UL e CSA (Americane), IEC (Internazionali) ed EN (Europee) stabiliscono dei valori non sempre uguali tra loro e spesso fanno riferimento solo a impieghi gravosi, come ad esempio cavi per trasmissione di potenza.

Per la trasmissione di segnali, all'interno di macchine industriali, è frequente l'utilizzo di spessori ridotti che fanno riferimento a standard commerciali non supportati da norme, come i cavi LiYY e FROR. Il vantaggio dell'utilizzo di spessori ridotti è soprattutto evidente nel minor volume occupato dai fasci di cavi. La tensione nominale di riferimento è generalmente minimo 300 V. Sul mercato esistono anche cavi di basso costo in pvc, con spessori estremamente ridotti, che potrebbero non essere compatibili con le norme di sicurezza per applicazioni specifiche; è consigliabile valutare con attenzione le caratteristiche dei prodotti.

La norma IEC 60204-1 (Sicurezza Macchine) consiglia la sezione minima dei cavi anche in base all'applicazione (v. tabella 1). La norma permette sezioni più piccole solo se la protezione meccanica è garantita sufficientemente, per esempio con guaine.

### Portata di Corrente. Temperatura dell'Ambiente e del Cavo.

Il passaggio di corrente in un connettore e nel suo cavo genera calore e quindi un innalzamento di temperatura. Ogni materiale isolante del connettore e del cavo ha una temperatura massima di sicurezza che non deve mai essere superata per garantire la stabilità delle proprie caratteristiche meccaniche.

Dopo aver verificato la qualità del materiale isolante e la temperatura dell'ambiente di lavoro, la massima corrente ammessa nel connettore si può calcolare in funzione della dimensione dei contatti e della sezione dei conduttori.

La tabella 2 mostra i valori massimi per un cavo in pvc (qualità 70°C) con 2 o 3 fili, senza guaina metallica, con conduttori di rame, impiegato per uso normale e inserito in canalina. Per applicazioni in aria libera è ammessa una corrente superiore di circa il 10%.

La temperatura dell'ambiente è quella misurata intorno al cavo, per esempio all'interno dell'armadio o vicino alle intercapedini della macchina. La temperatura ambiente valida è rilevata dopo il normale funzionamento della macchina a pieno carico per un sufficiente periodo di tempo, senza tener conto delle variazioni di temperatura dovute al riscaldamento cavo stesso. Se l'utilizzo non richiede una temperatura di progetto più alta, si deve considerare il valore convenzionale di 40°C (IEC 60204-1).

La tabella tiene conto che nella maggior parte delle macchine non tutti i cavi sono utilizzati contemporaneamente per lunghi periodi. In casi particolari (parecchi fili utilizzati contemporaneamente o elevate temperature ambiente) si deve usare un fattore di riduzione compreso tra 0,3 e 0,9 per tenere conto del surriscaldamento dei cavi nello stesso gruppo, altrimenti verificare che la temperatura dell'isolante resti all'interno dei limiti permessi. Prestare inoltre particolare attenzione ai percorsi verticali e con limitata ventilazione.

I valori e i commenti fanno riferimento a IEC 60204-1 (Sicurezza Macchine edizione Ottobre 2005) e IEC 60364-5-52 (Sicurezza Impianti Elettrici).

### Portata di Corrente. Caduta di Tensione sul Cavo.

Un altro importante elemento di valutazione è la lunghezza del cavo. Ogni metro di cavo provoca una caduta di tensione proporzionale al valore della corrente che lo attraversa, se  $\cos\phi = 1$  si ha:  $V = I \times R$ .

$V$  = caduta di tensione,  $I$  = corrente,  $R$  = resistenza del cavo. Nel caso di carichi induttivi (elettrovalvole, motori, ecc.) o comunque con correnti variabili si deve considerare il picco di corrente più alto per evitare anche temporanee perdite di potenza che potrebbero impedire il corretto funzionamento dell'apparecchiatura. Più è lungo il cavo, maggiore è la caduta di tensione; le norme IEC ammettono valori massimi di caduta dal 3% al 5% della tensione nominale. Valori maggiori sono ammessi solo per le correnti di spunto (es.: accensione motori), se non creano problemi di funzionamento. Per ridurre la caduta di tensione si deve aumentare la sezione del cavo. Di seguito alcune tabelle possono aiutare a calcolare facilmente la sezione minima teorica del cavo. Vedere tabelle 3 e 4.

Per esempio con corrente continua media 1 A, sezione 0,34 mm<sup>2</sup> e lunghezza cavo 10 m si genera una caduta di tensione di 1,3 V, che è circa il 5% di 24 V.

**Table 1** – minimum cross section to ensure adequate mechanical strength, based on norm IEC 60204-1 – Machinery Safety  
**Tabella 1** – sezione minima per garantire resistenza meccanica adeguata, basata su norma IEC 60204-1 - Sicurezza Macchine

location luogo	application circuit circuito di applicazione	conductor or cable type tipo conduttore o cavo			
		single core unipolare	2 cores, shielded 2 poli, schermato	2 cores, no shielding 2 poli, senza schermo	over 2 cores oltre 2 poli
		mm <sup>2</sup>			
without enclosure senza involucro	power   potenza	1,0	0,75	0,75	0,75
	control   comando	1,0	0,20	0,50	0,20
	data   dati	--	--	--	0,08
enclosure protected protetto da involucro	power   potenza	0,75	0,75	0,75	0,75
	control   comando	0,20	0,20	0,20	0,20
	data   dati	--	--	--	0,08

**Table 2** – 2 or 3-wire pvc 70°C cables max current, for application on machinery (based on norm IEC 60204-1), if several circuits carry current at the same time, a reduction factor included between 0,3 and 0,9 must be used.

**Tabella 2** - corrente max nei cavi con 2 o 3 fili in pvc 70°C per applicazioni su macchinari (basato su norma IEC 60204-1), se molti circuiti portano corrente contemporaneamente, si deve applicare un coefficiente di riduzione compreso tra 0,3 e 0,9.

ambient air temperature temperatura ambiente		10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
nominal section sezione nominale	mm <sup>2</sup>	Ampere					
	0,128 mm <sup>2</sup> (AWG 26)	4,2	3,8	3,4	3,0	2,4	1,7
	0,14 mm <sup>2</sup>	4,4	4,1	3,6	3,2	2,6	1,8
	0,205 mm <sup>2</sup> (AWG 24)	5,6	5,1	4,6	4,0	3,2	2,3
	0,25 mm <sup>2</sup>	6,3	5,7	5,1	4,5	3,6	2,6
	0,34 mm <sup>2</sup> (AWG 22)	7,5	6,9	6,2	5,4	4,4	3,1
	0,50 mm <sup>2</sup> (AWG 20)	9,8	9,0	8,0	7,0	5,7	4,0
	0,75 mm <sup>2</sup>	12,2	11,2	10,0	8,7	7,1	5,0
	0,823 mm <sup>2</sup> (AWG 18)	12,8	11,7	10,5	9,1	7,4	5,2
	1,00 mm <sup>2</sup> (AWG 17)	14,6	13,4	12,0	10,4	8,5	6,0
	1,31 mm <sup>2</sup> (AWG 16)	17,1	15,7	14,0	12,2	9,9	7,0
	1,50 mm <sup>2</sup>	18,3	16,8	15,0	13,1	10,7	7,5
	2,50 mm <sup>2</sup> (AWG 13)	24,4	22,4	20,0	17,4	14,2	10,0
	4,00 mm <sup>2</sup> (AWG 11)	32,9	30,2	27,0	23,5	19,2	13,5

**Table 3** – max electrical resistance value of the cable (2 wires, back and forth) at the temperature in normal service in dc or ac with  $\cos\phi = 1$   
**Tabella 3** - valore resistenza max del cavo (2 fili, andata e ritorno) alla temperatura in servizio normale in cc o ca con  $\cos\phi = 1$

length - lunghezza		1 m	3 m	7 m	10 m	20 m	50 m
nominal section sezione nominale	mm <sup>2</sup>	Ohm					
	0,14 mm <sup>2</sup>	0,32	0,96	2,25	3,21	6,43	16,07
	0,25 mm <sup>2</sup>	0,18	0,54	1,26	1,80	3,60	9,00
	0,34 mm <sup>2</sup>	0,13	0,40	0,93	1,32	2,65	6,62
	0,50 mm <sup>2</sup>	0,09	0,27	0,63	0,90	1,80	4,50
	0,75 mm <sup>2</sup>	0,06	0,18	0,42	0,60	1,20	3,00
	1,00 mm <sup>2</sup>	0,05	0,14	0,32	0,45	0,90	2,25
	1,50 mm <sup>2</sup>	0,03	0,09	0,21	0,30	0,60	1,50
	2,50 mm <sup>2</sup>	0,02	0,05	0,13	0,18	0,36	0,90
	4,00 mm <sup>2</sup>	0,01	0,03	0,08	0,11	0,23	0,56

**Table 4.1** - cable voltage drop, in dc or ac with  $\cos\phi = 1$  and  $I = 0,20$  mA (for example: sensor)  
**Tabella 4.1** - caduta di tensione sul cavo, in cc o ca con  $\cos\phi = 1$  e  $I = 0,20$  mA (per esempio: sensore)

length - lunghezza		1 m	3 m	7 m	10 m	20 m	50 m
nominal section sezione nominale	mm <sup>2</sup>	Volt					
	0,14 mm <sup>2</sup>	0,006	0,019	0,045	0,064	0,129	0,321
	0,25 mm <sup>2</sup>	0,004	0,011	0,025	0,036	0,072	0,180
	0,34 mm <sup>2</sup>	0,003	0,008	0,019	0,026	0,053	0,132

**Table 4.2** - cable voltage drop, in dc or ac with  $\cos\phi = 1$  and  $I = 1$  A (for inductive loads consider the higher peak)  
**Tabella 4.2** - caduta di tensione sul cavo, in cc o ca con  $\cos\phi = 1$  e  $I = 1$  A (per carichi induttivi considerare il picco più alto)

length - lunghezza		1 m	3 m	7 m	10 m	20 m	50 m
nominal section sezione nominale	mm <sup>2</sup>	Volt					
	0,14 mm <sup>2</sup>	0,3	1,0	2,3	3,2	6,4	16,1
	0,25 mm <sup>2</sup>	0,2	0,5	1,3	1,8	3,6	9,0
	0,34 mm <sup>2</sup>	0,1	0,4	0,9	1,3	2,6	6,6
	0,50 mm <sup>2</sup>	0,1	0,3	0,6	0,9	1,8	4,5
	0,75 mm <sup>2</sup>	0,1	0,2	0,4	0,6	1,2	3,0
	1,00 mm <sup>2</sup>	0,0	0,1	0,3	0,5	0,9	2,3
	1,50 mm <sup>2</sup>	0,0	0,1	0,2	0,3	0,6	1,5
	2,50 mm <sup>2</sup>	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,9
	4,00 mm <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,6

**Table 4.3** - cable voltage drop, in dc or ac with  $\cos\phi = 1$  and  $I = 3$  A (for inductive loads consider the higher peak)  
**Tabella 4.3** - caduta di tensione sul cavo, in cc o ca con  $\cos\phi = 1$  e  $I = 3$  A (per carichi induttivi considerare il picco più alto)

length - lunghezza		1 m	3 m	7 m	10 m	20 m	50 m
nominal section sezione nominale	mm <sup>2</sup>	Volt					
	0,14 mm <sup>2</sup>	1,0	2,9	6,8	9,6	19,3	48,2
	0,25 mm <sup>2</sup>	0,5	1,6	3,8	5,4	10,8	27,0
	0,34 mm <sup>2</sup>	0,4	1,2	2,8	4,0	7,9	19,9
	0,50 mm <sup>2</sup>	0,3	0,8	1,9	2,7	5,4	13,5
	0,75 mm <sup>2</sup>	0,2	0,5	1,3	1,8	3,6	9,0
	1,00 mm <sup>2</sup>	0,1	0,4	0,9	1,4	2,7	6,8
	1,50 mm <sup>2</sup>	0,1	0,3	0,6	0,9	1,8	4,5
	2,50 mm <sup>2</sup>	0,1	0,2	0,4	0,5	1,1	2,7
	4,00 mm <sup>2</sup>	0,0	0,1	0,2	0,3	0,7	1,7