

Luca Lussorio

# Calcoli rapidi per gli impianti elettrici

**DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI,  
DEGLI IMPIANTI AUSILIARI, DEGLI IMPIANTI TELEFONICI  
E DI TRASMISSIONE DATI**

- **Calcolo della potenza necessaria ad un impianto**
- **Dimensionamento dei conduttori**
- **Dimensionamento degli impianti di illuminazione**
- **Dimensionamento del rifasamento**
- **Dimensionamento degli impianti speciali**  
Impianti di sicurezza (rivelazione incendi, antintrusione e TVCC)  
Impianti di servizio (telefonico, trasmissione dati, diffusione sonora)

**SOFTWARE INCLUSO**

FOGLI DI CALCOLO PER DETERMINARE L'INGOMBRO ED IL PESO DI UN FASCIO DI CAVI,  
LA CADUTA DI TENSIONE SU UNA LINEA E LA POTENZA DELL'IMPIANTO DI RIFASAMENTO



# SOMMARIO

<b>PREFAZIONE</b> .....	p.	1
<b>1. CONCETTI DI BASE DELL'ELETTROTECNICA</b> .....	"	3
1.1. Tensione.....	"	3
1.2. Corrente elettrica.....	"	4
1.3. Potenza.....	"	5
1.4. Energia.....	"	6
1.5. Legge di Ohm.....	"	7
1.6. Correlazione tensione, corrente, potenza.....	"	8
<b>2. DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA NEGLI IMPIANTI DI UTENTE</b> .....	"	9
2.1. Il circuito elettrico.....	"	9
2.2. Conduttori di fase e conduttore di neutro.....	"	10
2.3. Alimentazione monofase.....	"	10
2.4. Alimentazione trifase.....	"	10
2.5. Scelta della tipologia di alimentazione.....	"	11
<b>3. DIMENSIONAMENTO RAPIDO DEI CAVI ELETTRICI</b> .....	"	13
3.1. Caratteristiche costruttive di un cavo elettrico.....	"	13
3.2. Cavi in PVC e cavi in EPR.....	"	13
3.3. Riscaldamento dei cavi.....	"	15
3.4. Portata di un cavo.....	"	16
3.5. Calcolare la corrente assorbita da un carico.....	"	17
3.5.1. Corrente assorbita da un carico monofase.....	"	17
3.5.2. Corrente assorbita da un carico trifase.....	"	18
3.6. Caduta di tensione.....	"	19
3.7. Scelta della sezione di un cavo.....	"	21
3.7.1. Esempio 1 – utenza trifase.....	"	21
3.7.2. Esempio 2 – utenza monofase.....	"	22
3.8. Considerazioni finali.....	"	22
<b>4. DETERMINAZIONE DELLA POTENZA NECESSARIA</b> .....	"	24
4.1. Impianti di tipo residenziale.....	"	24
4.1.1. Metodo analitico.....	"	24

4.1.2.	Metodo parametrico .....	p.	27
4.1.3.	Metodo della potenza impegnabile .....	"	27
4.2.	Impianti terziari e industriali .....	"	27
4.2.1.	Metodo analitico .....	"	28
4.2.2.	Metodo parametrico .....	"	29
<b>5.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO RAPIDO DELLA PROTEZIONE DELLE PERSONE CONTRO I GUASTI A TERRA .....</b>	"	31
5.1.	Generalità sugli impianti di terra .....	"	31
5.1.1.	Definizione di massa .....	"	32
5.1.2.	Definizione di massa estranea .....	"	34
5.2.	Dispensore .....	"	35
5.3.	Conduttore di terra .....	"	38
5.4.	Collettore di terra .....	"	39
5.5.	Conduttore di protezione .....	"	40
5.6.	Collegamenti equipotenziali .....	"	41
5.6.1.	Perché si realizzano i collegamenti equipotenziali .....	"	41
5.6.2.	Collegamenti equipotenziali principali .....	"	43
5.6.3.	Collegamenti equipotenziali supplementari .....	"	44
5.7.	Coordinamento impianto di terra – protezioni differenziali .....	"	46
5.7.1.	Pericoli per la persona in seguito ad un guasto a terra .....	"	46
5.7.2.	Esempi di coordinamento .....	"	47
5.7.3.	Considerazioni aggiuntive sul valore di resistenza di terra riscontrato .....	"	47
5.8.	Impianti di terra condominiali – criticità .....	"	48
<b>6.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO RAPIDO DELLE PROTEZIONI CONTRO FULMINI E SOVRATENSIONI .....</b>	"	51
6.1.	Impianti di terra e parafulmini .....	"	51
6.2.	Impianto di terra a servizio dell'impianto parafulmine .....	"	51
6.3.	Dispensori di tipo A .....	"	51
6.4.	Dispensori di tipo B .....	"	52
6.5.	Dispensore tipo a o tipo B? .....	"	53
6.6.	Caratteristiche del dispersore .....	"	54
6.7.	Scaricatori di sovratensione .....	"	55
6.8.	Sovratensioni indotte .....	"	55
6.9.	Principio di funzionamento degli scaricatori di sovratensione .....	"	55
6.10.	Quando installare SPD .....	"	56
6.11.	Tipologia di SPD .....	"	56
6.12.	Posizionamento degli SPD .....	"	58
6.13.	Collegamento degli SPD .....	"	58
6.14.	Protezione degli SPD .....	"	59
6.15.	SPD e differenziali .....	"	60

<b>7. DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE .....</b>	<b>p.</b>	<b>61</b>
7.1. Flusso luminoso .....	"	61
7.2. Illuminamento .....	"	61
7.3. INTENSITÀ LUMINOSA.....	"	61
7.4. Temperatura di colore .....	"	62
7.5. Indice di resa cromatica .....	"	62
7.6. Efficienza luminosa.....	"	63
7.7. Calcolo dell'illuminamento medio di un ambiente.....	"	63
7.8. Illuminamento puntuale .....	"	64
7.9. Casi particolari di illuminamento di ambienti .....	"	65
7.10. Sorgenti luminose .....	"	66
7.10.1. Lampade ad alogeni con attacco a vite .....	"	68
7.10.2. Lampade fluorescenti lineari.....	"	69
7.10.3. Lampade fluorescenti compatte .....	"	70
7.10.4. Lampade ioduri metallici .....	"	70
7.10.5. Lampade sodio ad alta pressione (sap) .....	"	71
7.10.6. Sorgenti luminose a led.....	"	72
7.10.7. Schema riepilogativo sorgenti luminose .....	"	72
 <b>8. DIMENSIONAMENTO DELLE PROTEZIONI</b>		
<b>CONTRO LE SOVRACORRENTI .....</b>	"	<b>74</b>
8.1. Protezione dal sovraccarico .....	"	75
8.2. Protezione contro il cortocircuito .....	"	76
8.2.1. Calcolo della corrente di cortocircuito.....	"	76
8.2.2. Caratteristiche del dispositivo di protezione		
contro il cortocircuito.....	"	78
8.3. Dispositivi idonei alla protezione dalle sovracorrenti .....	"	81
8.4. Esempio .....	"	82
 <b>9. DIMENSIONAMENTO DELLE PROTEZIONI</b>		
<b>DEGLI APPARECCHI UTILIZZATORI .....</b>	"	<b>84</b>
9.1. La protezione dei motori.....	"	84
9.1.1. Necessità di protezione per un motore elettrico.....	"	84
9.1.2. Componenti costituenti un avviatore .....	"	84
9.1.3. Protezioni motore con avviamento diretto .....	"	85
9.2. La protezione dei circuiti di illuminazione .....	"	87
9.2.1. Generalità.....	"	87
9.2.2. Corrente assorbita dal carico.....	"	88
9.2.3. Scelta del relè.....	"	90
9.2.4. Esempio pratico.....	"	90
 <b>10. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI RIFASAMENTO .....</b>	"	<b>92</b>
10.1. Cenni teorici.....	"	92
10.2. Calcolo della potenza reattiva necessaria al rifasamento.....	"	93

10.3.	Rifasamento fisso dei trasformatori MT/BT .....	p.	97
10.4.	Rifasamento fisso dei motori .....	"	98
10.5.	Linee di alimentazione dei condensatori di rifasamento .....	"	99
10.6.	Variazione della capacità di un condensatore con la tensione .....	"	101
10.7.	Armoniche e rifasamento .....	"	102
<b>11.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DEL TRASFORMATORE AUSILIARI</b> .....	"	103
11.1.	Regola pratica di dimensionamento .....	"	103
11.2.	Esempio di dimensionamento .....	"	104
11.2.1.	Carichi da alimentare .....	"	104
11.2.2.	Determinazione della potenza necessaria .....	"	104
11.2.3.	Sceita della taglia del trasformatore ausiliari .....	"	104
11.2.4.	Protezione del trasformatore .....	"	104
<b>12.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DELLE CASSETTE DI DERIVAZIONE</b> .....	"	107
12.1.	Dimensionamento .....	"	108
12.2.	Caso reale .....	"	109
<b>13.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO</b>		
	<b>DI UNA RETE DI CABLAGGIO STRUTTURATO</b> .....	"	110
13.1.	Significato del termine "strutturato" .....	"	110
13.2.	Numero di postazioni di lavoro da prevedere .....	"	111
13.3.	Dotazione impiantistica di una postazione di lavoro .....	"	111
13.4.	Cavi di interconnessione .....	"	111
13.5.	Presa RJ45 .....	"	112
13.6.	Configurazione distributiva di un impianto di cablaggio strutturato .....	"	112
13.7.	Armadio di permutazione .....	"	113
13.7.1.	Dimensioni degli armadi di permutazione .....	"	114
13.7.2.	Componenti tipici e loro dimensioni .....	"	115
13.7.3.	Criteri di dimensionamento dell'armadio di permutazione .....	"	115
<b>14.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DI UN IMPIANTO</b>		
	<b>DI RILEVAZIONE INCENDI</b> .....	"	117
14.1.	Obbligatorietà degli impianti di rivelazione incendi .....	"	117
14.2.	Ambienti da monitorare .....	"	118
14.3.	Dimensionamento dell'impianto .....	"	118
14.3.1.	Limiti di applicabilità .....	"	118
14.3.2.	Rilevatori puntiformi di fumo .....	"	119
14.3.3.	Rilevatori puntiformi di calore .....	"	119
14.3.4.	Rilevatori lineari di fumo .....	"	120
14.3.5.	Impianti ad aspirazione .....	"	120
14.3.6.	Pulsanti manuali .....	"	121
14.3.7.	Targhe ottico acustiche .....	"	121
14.3.8.	Cavi di interconnessione .....	"	122

**15. DIMENSIONAMENTO**

<b>DI UN IMPIANTO ANTINTRUSIONE .....</b>	<b>p.</b>	<b>123</b>
15.1. Concetto di protezione .....	"	123
15.2. Componenti costituenti un impianto antifurto .....	"	123
15.2.1. Centrale .....	"	124
15.2.2. Avvisatori .....	"	124
15.2.3. Inseritori .....	"	124
15.2.4. Rilevatori di apertura .....	"	124
15.2.5. Rilevatori di effrazione .....	"	124
15.2.6. Rilevatori volumetrici .....	"	124
15.3. Criteri di dimensionamento degli impianti antintrusione .....	"	125
15.3.1. Unità abitativa non isolata con accessi praticabili posti ad un'altezza superiore a 4 m dal suolo .....	"	125
15.3.2. Unità abitativa non isolata con accessi praticabili posti ad un'altezza inferiore a 4 m dal suolo oppure all'ultimo piano .....	"	127
15.3.3. Unità abitativa isolata.....	"	128
15.4. Consigli di carattere pratico.....	"	129

**16. DIMENSIONAMENTO DI UN IMPIANTO TVCC .....** " 130

16.1. Area monitorata .....	"	130
16.2. Scelta dell'obiettivo .....	"	131
16.2.1. Focale .....	"	131
16.2.2. Iris .....	"	132
16.3. Scelta del cavo video .....	"	132

**17. DIMENSIONAMENTO RAPIDO**

<b>DI UN IMPIANTO DI DIFFUSIONE SONORA .....</b>	<b>"</b>	<b>134</b>
17.1. Determinazione della pressione sonora .....	"	135
17.2. Scelta dei diffusori di suono .....	"	136
17.3. Dimensionamento dell'amplificatore.....	"	137
17.4. Dimensionamento del cavo.....	"	138

**18. RAFFRESCAMENTO DEI LOCALI TECNICI.....** " 139

18.1. Metodi di raffrescamento.....	"	139
18.1.1. La ventilazione naturale .....	"	139
18.1.2. La ventilazione forzata.....	"	140
18.2. Raffrescamento del locale trasformatore MT/BT .....	"	141
18.2.1. Potenza dissipata da un trasformatore MT/BT.....	"	141
18.2.2. Raffrescamento per ventilazione naturale locale trasformatore.....	"	142
18.2.3. Raffrescamento per ventilazione forzata locale trasformatore.....	"	142
18.3. Raffrescamento del locale UPS .....	"	143

18.3.1.	Potenza dissipata da un gruppo di continuità.....	p.	143
18.3.2.	Raffrescamento per ventilazione naturale locale UPS .....	"	143
18.3.3.	Raffrescamento per ventilazione forzata locale UPS.....	"	144
18.3.4.	Raffrescamento locali UPS per servizi particolari.....	"	144
18.3.5.	Smaltimento dell'idrogeno rilasciato in fase di carica dal pacco batterie UPS .....	"	145
18.4.	Raffrescamento del locale quadri elettrici .....	"	146
<b>19.</b>	<b>INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO .....</b>	"	147
19.1.	Note sul software incluso.....	"	147
19.2.	Requisiti hardware e software.....	"	147
19.3.	Installazione ed attivazione del software .....	"	147
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....		"	149

## CONCETTI DI BASE DELL'ELETTROTECNICA

Anche chi non si occupa di impianti elettrici avrà certamente sentito parlare di concetti come tensione, corrente, potenza ed energia, in quanto termini di uso comune.

Tuttavia, come spesso avviene, usare un termine è ben diverso dal coglierne appieno il significato. Di seguito cercheremo di mettere in luce cosa queste grandezze rappresentino e che ruolo ricoprano nel dimensionamento degli impianti. Potrà capitare, a volte, di fare ricorso a termini di uso comune e non “formalmente” corretti.

Chiedo venia, ma ritengo utile, per lo scopo del presente volume, ricorrere a termini di uso comune in modo da rendere comprensibili a tutti gli argomenti trattati.

### 1.1. Tensione

Partiamo dalla definizione di *tensione*, detta anche *potenziale elettrico*. Wikipedia ci viene in soccorso:

---

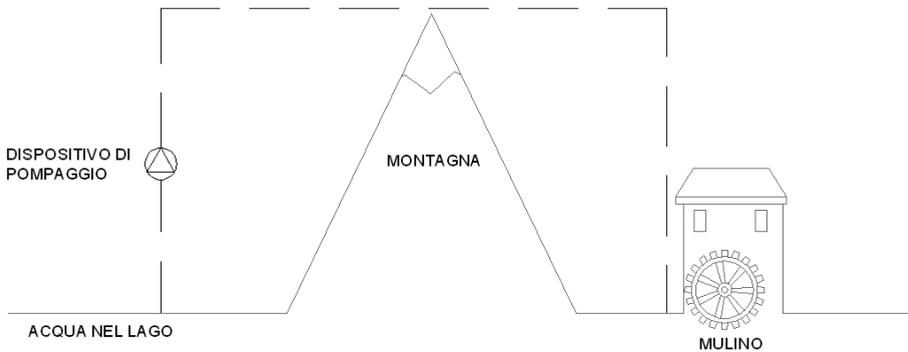
*«In fisica la **differenza di potenziale elettrico** o **tensione elettrica**, spesso abbreviata in **d.d.p.**, è definita come la differenza tra il potenziale di due punti dello spazio. Si tratta della differenza tra l'energia potenziale elettrica posseduta da una carica nei due punti a causa della presenza di un campo elettrico, divisa per il valore della carica stessa. In condizioni stazionarie è pari al lavoro compiuto per spostare una carica unitaria attraverso il campo da un punto all'altro, cambiato di segno».*

---

Certamente la definizione non aiuta a comprendere il significato del termine. Cerchiamo pertanto di estrarre almeno una parola significativa che ci consenta di comprendere il concetto fisico della tensione. Il termine che ci interessa è “lavoro”: quando fra due o più punti è presente una tensione, cioè una differenza di potenziale elettrico, fra quei due punti è possibile ottenere del lavoro elettrico. Esplicitiamo meglio questo concetto con un esempio idraulico. Supponiamo di avere un lago ai piedi di una montagna. L'acqua ferma nel lago non è in grado di compiere lavoro perché si trova tutta allo stesso potenziale. Se con una pompa portiamo l'acqua del lago in cima alla montagna, l'acqua sulla cima acquisterà un potenziale diverso da quello del lago. A questo punto, se indirizziamo l'acqua sulla vetta del monte all'interno di una condotta che scende lungo il pendio del monte stesso, l'acqua che scorre nel tubo, giunta in fondo alla discesa (cioè all'altezza del lago), sarà in grado, ad esempio, di movimentare la ruota di un mulino. Questa capacità di compiere un lavoro (far muovere la ruota) è proprio legata alla differenza di potenziale che si viene a creare fra l'acqua in cima alla montagna e quella del lago.

Ovviamente l'esempio riportato non ha alcuna valenza reale in quanto sarebbe alquanto poco intelligente spingere acqua in cima ad una montagna per poi rimandarla a valle e far

girare la ruota di un mulino, ma serve a comprendere che se fra due punti si riesce a instaurare una differenza di potenziale elettrico, questa differenza è in grado di compiere del lavoro. Inoltre (e questo aspetto tornerà utile più avanti quando parleremo di sicurezza delle persone), è importante evidenziare che la capacità di compiere un lavoro non è legata al potenziale in quanto tale, ma alla differenza di potenziale che assumono due punti. Se infatti l'acqua in cima al monte non venisse convogliata nella condotta, non potrebbe compiere alcun lavoro, sebbene si trovi ad un potenziale più alto di quello dell'acqua nel lago.



**Figura 1.1.** Analogia idraulica del concetto di tensione (differenza di potenziale)

Il simbolo utilizzato per rappresentare la tensione è una “V” maiuscola.

L'unità di misura della tensione è il Volt che si abbrevia con la lettera “V” maiuscola.

Lo strumento utilizzato per misurare una tensione elettrica viene definito “voltmetro”.

## 1.2. Corrente elettrica

Per quanto concerne il concetto di corrente elettrica, facciamo ricorso anche in questo caso a Wikipedia:

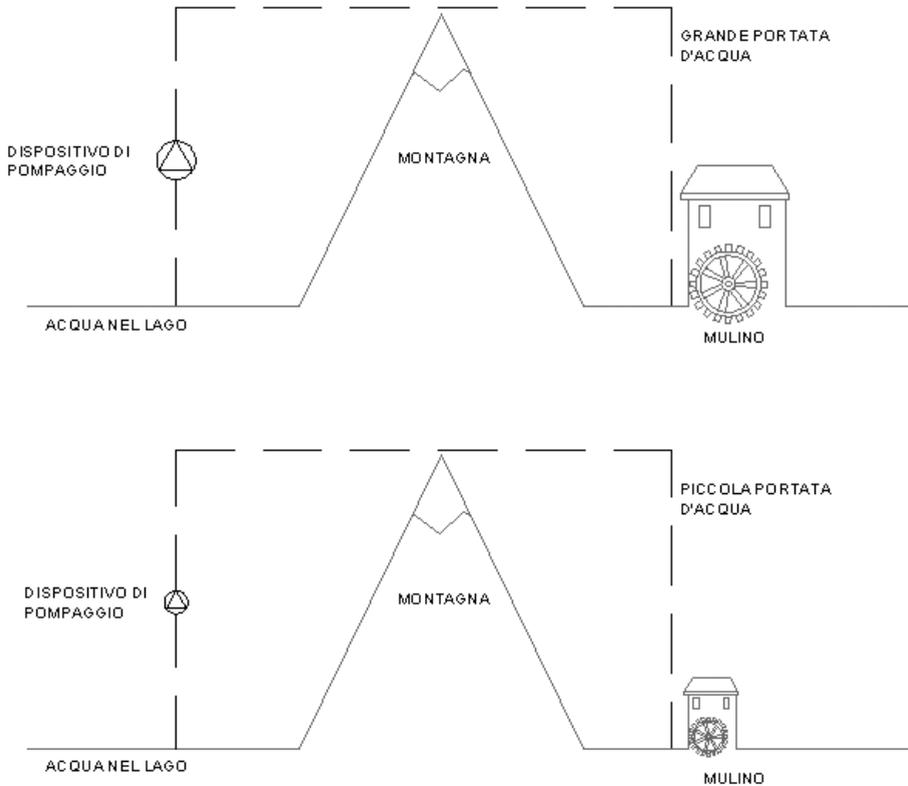
---

*«In fisica ed elettrotecnica la corrente elettrica è un qualsiasi moto ordinato di cariche elettriche, definito operativamente come la quantità di carica elettrica che attraversa una determinata superficie nell'unità di tempo.»*

---

Come già per la tensione, la definizione ci aiuta ben poco nel comprendere il concetto elettrotecnico della grandezza corrente. Proviamo pertanto a richiamare l'analogia idraulica vista in precedenza. È semplice intuire che, a seconda della quantità di acqua che si riesce a far scorrere nella condotta, varierà la dimensione della macina a valle che si è in grado di far ruotare. Grandi portate d'acqua potranno infatti movimentare una ruota molto grande, mentre piccole portate riusciranno a far ruotare solo piccoli organi. La corrente può essere assimilata alla portata d'acqua che scorre nella condotta. Per cui, mentre la differenza di potenziale fra due punti ci dice che fra quei due punti è possibile compiere un lavoro, la corrente ci dà il senso di *quanto* lavoro si sta svolgendo utilizzando la differenza di potenziale presente. È del tutto evidente che il lavoro che si è in grado di svolgere dipende sia dalla differenza di po-

tenziale presente che dalla corrente che fluisce. Tuttavia, a differenza di potenziale costante (come vedremo essere i più comuni sistemi elettrici civili e industriali), la quantità di lavoro svolta dipende unicamente dalla corrente che fluisce nel circuito.



**Figura 1.2.** Analogia idraulica del concetto di corrente

Il simbolo utilizzato per rappresentare la corrente elettrica è una “I” maiuscola. L’unità di misura della corrente è l’Ampere che si abbrevia con la lettera “A” maiuscola. Lo strumento utilizzato per misurare una tensione elettrica viene definito “amperometro”.

### 1.3. Potenza

---

*«In fisica, la **potenza** è definita operativamente come l’energia trasferita nell’unità di tempo. Viene anche utilizzata per quantificare l’energia prodotta o utilizzata da un sistema fisico».*

---

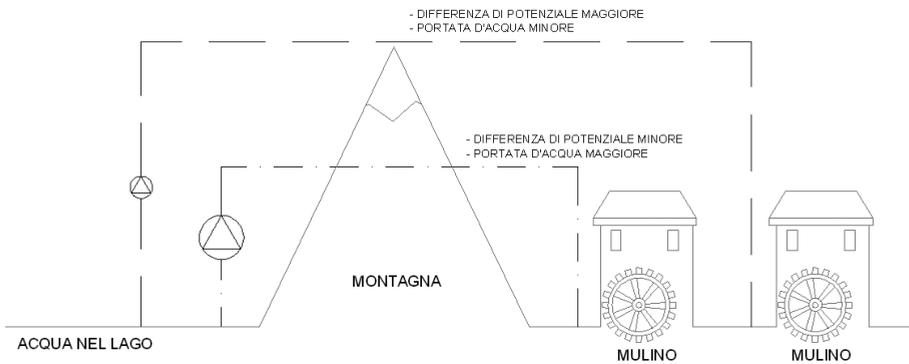
Analizzando la definizione di Wikipedia, questa volta più chiara, riusciamo ad estrapolare il concetto “quantificare l’energia prodotta o utilizzata”, il quale ci fa comprendere che anche la potenza identifica la quantità di lavoro che viene svolto. La differenza con la corrente con-

siste tuttavia nel fatto che la corrente ci dice quanto lavoro viene svolto a parità di differenza di potenziale, mentre la potenza ci fornisce una quantificazione della quantità di lavoro svolto in termini assoluti, legati cioè sia alla differenza di potenziale che alla corrente che fluisce.

Tornando al solito esempio idraulico potremmo ipotizzare di far girare la ruota del mulino in due condizioni distinte. La prima prevede di far scendere una certa portata d'acqua dalla vetta, la seconda di far scendere una quantità d'acqua maggiore, ma non dalla cima, bensì da metà montagna. Anche in questo in caso è intuitivo ipotizzare che le dimensioni della macina che si è in grado di far ruotare dipendono sia dall'altezza da cui parte l'acqua, sia dalla portata d'acqua considerata. Per cui si potrebbe ottenere la stessa quantità di lavoro in entrambe le condizioni (differenze di potenziali diverse) semplicemente variando la portata d'acqua (ovviamente con differenza di potenziale minore, la portata d'acqua dovrà essere maggiore).

Da quanto sinora esposto possiamo pertanto dedurre due cose fondamentali:

- 1) la potenza rappresenta quanto lavoro viene svolto;
- 2) la potenza dipende proporzionalmente da differenza di potenziale e da corrente elettrica.



**Figura 1.3.** *Analogia idraulica concetto di potenza*

Il simbolo utilizzato per rappresentare la potenza è una “P” maiuscola.

L'unità di misura della potenza è il Watt che si abbrevia con la lettera “W” maiuscola; in ambito elettrico tuttavia si ricorre solitamente al suo multiplo kilowatt che si abbrevia kW.

Lo strumento utilizzato per misurare una tensione elettrica viene definito “wattmetro”.

#### 1.4. Energia

Per quanto riguarda l'energia, ritengo utile non fare ricorso ad una definizione ufficiale in quanto si tratta di un concetto in realtà piuttosto semplice. L'energia, infatti, esprime per quanto tempo un lavoro viene compiuto, cioè per quanto tempo viene assorbita una certa potenza (richiamando gli esempi precedenti, per quanto tempo viene fatta ruotare la macina). Infatti, se noi abbiamo un utensile che assorbe una determinata potenza, per sapere quanta energia abbiamo consumato, è sufficiente moltiplicare quella potenza per il tempo in cui l'utensile è stato utilizzato. Da un punto di vista del dimensionamento degli impianti, l'ener-

gia è una grandezza poco significativa; tuttavia assume un aspetto fondamentale in termini economici poiché l'energia è la grandezza fisica con cui viene quantificata la nostra bolletta.

Il simbolo utilizzato per rappresentare l'energia elettrica è una "E" maiuscola.

L'unità di misura dell'energia è il kilowattora che si abbrevia con la sigla "kWh".

---

**NOTA** – In realtà l'unità di misura ufficiale dell'energia è il Joule, ma in ambito elettrotecnico si utilizza sempre il kWh (1 kWh corrisponde a 3,6 milioni di Joule).

---

È bene rimarcare il concetto che l'energia è data dal prodotto potenza per tempo, per cui, siccome la potenza si misura in kW e il tempo in ore (h), l'unità di misura rappresenta una moltiplicazione kW\*h. Scrivere, come peraltro fanno in molti, kW/h è un errore gravissimo.

Lo strumento usato per misurare l'energia è il "contatore (o integratore) di energia". Tutti noi lo conosciamo avendone certamente almeno uno in casa.



**Figura 1.4.** *Il più conosciuto fra i contatori di energia*

Facendo un esempio pratico di uso comune, supponiamo che il forno della nostra cucina assorba una potenza di circa 2000 W (2 kW) e che per cuocere un pollo sia necessario utilizzare il forno per un'ora e mezza (1,5 h).

A cottura terminata avremo consumato:

$$2 \text{ kW} * 1,5 \text{ h} = 3 \text{ kWh}$$

Ipotizzando un costo medio onnicomprensivo dell'energia elettrica ad uso domestico (valori in corso per l'anno 2015) pari a circa 0,2 € per ogni kilowattora consumato, la cottura del pollo ci sarà costata:

$$3 \text{ kWh} * 0,2 \text{ €/kWh} = 0,6 \text{ €}$$

## 1.5. Legge di Ohm

Diventa importante a questo punto correlare fra loro le grandezze sinora considerate. La più importante relazione che lega tensione e corrente viene chiamata "prima legge di ohm". Questa legge ci dice che:

$$V = R * I$$

dove:

$V$  = tensione;

$R$  = resistenza elettrica;

$I$  = corrente elettrica.

Pertanto, se in un circuito elettrico è presente una resistenza, la corrente che circolerà nel circuito sarà data dal rapporto  $V/R$ .

La “resistenza elettrica” rappresenta pertanto la grandezza fisica che descrive quanto un corpo si oppone al passaggio di corrente elettrica al suo interno. Se la resistenza elettrica di un materiale è così elevata da impedire la circolazione di corrente, questo materiale viene detto “isolante”; viceversa, se la resistenza elettrica che presenta un materiale è tale da favorire un buon passaggio di corrente, il materiale è detto “conduttore”. Solitamente tutti i metalli sono materiali conduttori; il rame (e a volte l’alluminio) è il materiale che abitualmente viene usato come conduttore negli impianti elettrici (cavi elettrici), perché presenta una bassa resistenza e un costo ragionevole (l’argento è migliore come conduttore, ma sicuramente molto più costoso).

### **1.6. Correlazione tensione, corrente, potenza**

Per quanto riguarda la legge fisica che correla le grandezze tensione, corrente e potenza, si rimanda al Capitolo 3 in quanto sono necessarie alcune considerazioni inerenti la tipologia di distribuzione elettrica utilizzata, che saranno affrontate solo più avanti.

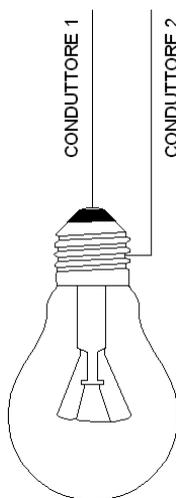
## DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA NEGLI IMPIANTI DI UTENTE

Nel capitolo precedente si è cercato di comprendere il significato “eletrotecnico” delle principali grandezze a cui fa riferimento l'impiantistica tradizionale. Ora analizzeremo invece come avviene la distribuzione dell'energia elettrica all'interno degli impianti di utente (case, uffici, stabilimenti industriali, ecc.). Le considerazioni riportate in seguito non valgono ovviamente per le linee elettriche dell'ente distributore, né tanto meno per particolari circuiti a corrente continua come gli impianti di trazione ferroviaria, per le quali vanno fatte considerazioni completamente diverse.

### 2.1. Il circuito elettrico

In base a quanto esposto al capitolo precedente, è possibile affermare che, per poter ottenere del lavoro mediante l'elettricità, occorre:

- disporre di una differenza di potenziale;
- disporre di conduttori su cui far circolare la corrente elettrica,
- disporre di un utilizzatore che usufruisca dell'energia elettrica.



**Figura 2.1.** *Circuito elettrico*

Nel circuito di figura 2.1, se si riesce a collegare conduttore 1 e conduttore 2 a due punti in cui sia presente una differenza di potenziale, si creerà una circolazione di corrente elettrica e la lampadina emetterà luce sfruttando energia elettrica.

## 2.2. Conduttori di fase e conduttore di neutro

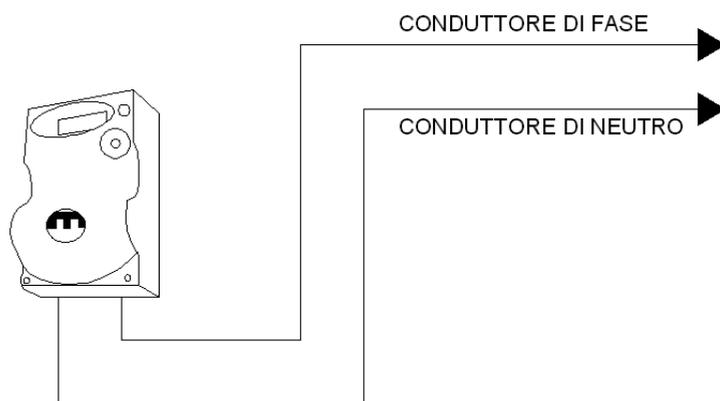
La differenza di potenziale necessaria al funzionamento elettrico di un impianto viene messa a disposizione dall'ente fornitore nel punto di consegna (rappresentato solitamente dal contatore di energia elettrica) mediante dei conduttori a cui collegarsi.

Questi conduttori presentano, fra di loro e/o verso il terreno, una differenza di potenziale che ci permette di alimentare le utenze elettriche dell'impianto (e conseguentemente poter ottenere del lavoro). I conduttori che presentano verso il terreno una tensione vengono definiti "conduttori di fase", mentre quelli che si trovano approssimativamente allo stesso potenziale del terreno vengono definiti "conduttori di neutro".

## 2.3. Alimentazione monofase

Quando la differenza di potenziale si ottiene mediante due soli conduttori, questa alimentazione viene definita "monofase". Come suggerisce il nome, è presente un solo conduttore di fase e un conduttore di neutro.

Solitamente il conduttore di fase viene chiamato semplicemente "fase", mentre il conduttore di neutro "neutro".



**Figura 2.2.** Alimentazione monofase

Una fornitura monofase presenta le seguenti caratteristiche:

- tensione fase – neutro: 230 V;
- tensione fase – terreno: 230 V;
- tensione neutro – terreno: circa 0 V.

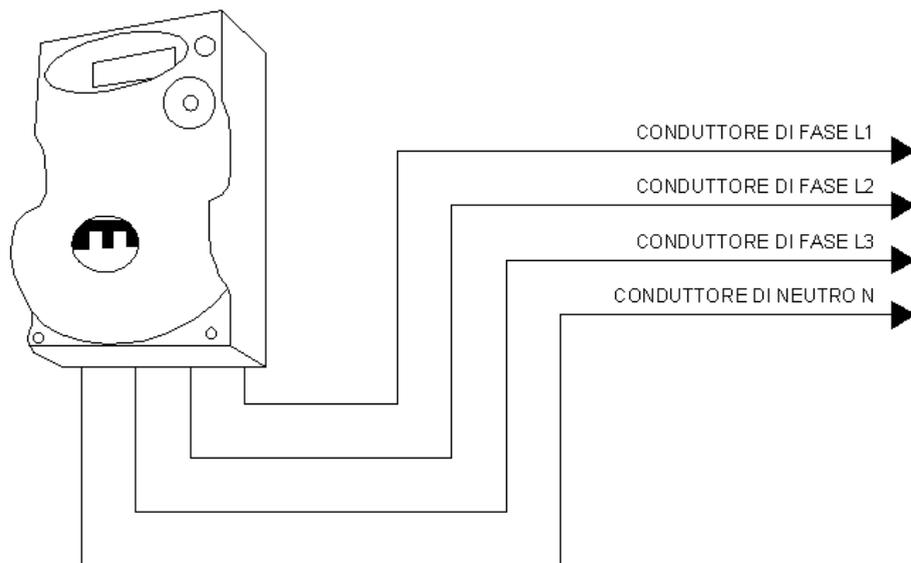
## 2.4. Alimentazione trifase

Quando la differenza di potenziale si ottiene mediante quattro conduttori, questa alimentazione viene definita "trifase". Come suggerisce il nome, sono presenti tre conduttori di fase e un conduttore di neutro.

Una fornitura trifase presenta le seguenti caratteristiche:

- tensione fase L1 – fase L2: 400 V;

- tensione fase L1 – fase L3: 400 V;
- tensione fase L2 – fase L3: 400 V;
- tensione fase L1 – neutro: 230 V;
- tensione fase L2 – neutro: 230 V;
- tensione fase L3 – neutro: 230 V;
- tensione fase L1 – terreno: 230 V;
- tensione fase L2 – terreno: 230 V;
- tensione fase L3 – terreno: 230 V;
- tensione neutro – terreno: circa 0 V.



**Figura 2.3.** Alimentazione trifase

Esiste anche una distribuzione trifase senza neutro (la classica alimentazione dei motori elettrici trifase) che utilizza solo 3 conduttori e non presenta la tensione 230 V, ma solo quella 400 V. Il distributore fornisce comunque sempre una fornitura trifase con neutro; resta a carico dell'utente decidere se distribuire all'interno del suo impianto il neutro.

### 2.5. Scelta della tipologia di alimentazione

La scelta dell'alimentazione monofase o trifase (con o senza neutro) dipende principalmente da due parametri:

- il livello di potenza di cui si necessita;
- le caratteristiche degli apparecchi utilizzati (se richiedono essi stessi di alimentazione trifase oppure monofase).

Per quanto riguarda il livello di potenza di cui si necessita, solitamente il distributore è in grado di predisporre una fornitura monofase fino a una potenza di 6 kW; per potenze superiori è necessario ricorrere ad una fornitura trifase.

Gli apparecchi utilizzatori che necessitano di alimentazione trifase sono solitamente i motori elettrici. Ove fossero presenti apparecchiature di questo tipo, bisognerà necessariamente attivare una fornitura trifase. In linea di principio, comunque, ove la potenza impegnata e le utenze lo consentono, è consigliabile ricorrere ad una fornitura monofase in quanto più vantaggiosa dal punto di vista economico e gestionale.

## DIMENSIONAMENTO RAPIDO DEI CAVI ELETTRICI

In questo capitolo si prenderà in considerazione il dimensionamento dei cavi elettrici, cioè come determinare la sezione che questi devono presentare affinché il carico possa essere correttamente alimentato.

### 3.1. Caratteristiche costruttive di un cavo elettrico

Un cavo elettrico è costituito da un'anima in materiale conduttore (solitamente rame) circondata da un materiale isolante. Il rivestimento con materiale isolante serve a impedire che il materiale metallico entri in contatto con altri materiali a potenziale diverso. Se infatti entrasse a contatto con materiali o altri conduttori a potenziale diverso si avrebbe o una dispersione o un "cortocircuito" indicando con questo termine un circuito di corrente che non fluisce attraverso un utilizzatore, ma solo attraverso dei cavi elettrici. Perché il materiale isolante conservi nel tempo le sue proprietà, è necessario che sia in grado di sopportare le sollecitazioni meccaniche, termiche e degli agenti atmosferici a cui è sottoposto.

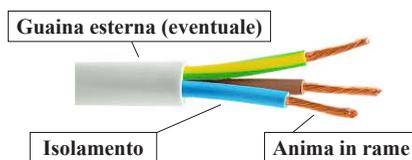


Figura 3.1. Esempio costruttivo di un cavo elettrico

In merito alle sollecitazioni meccaniche, è sufficiente che i cavi siano idoneamente protetti con tubazioni o canaline. Detti dispositivi rappresentano anche una buona protezione contro eventuali agenti atmosferici a cui il cavo potrebbe essere sottoposto, ad esempio raggi solari, pioggia, polveri aggressive, ecc..

Le sollecitazioni termiche possono dipendere invece dalla temperatura esterna e da quella che può raggiungere il conduttore di rame racchiuso dall'isolante. Prima di affrontare come proteggersi dalle sollecitazioni termiche, è tuttavia necessario capire quale temperatura il materiale isolante sia in grado di sopportare.

### 3.2. Cavi in PVC e cavi in EPR

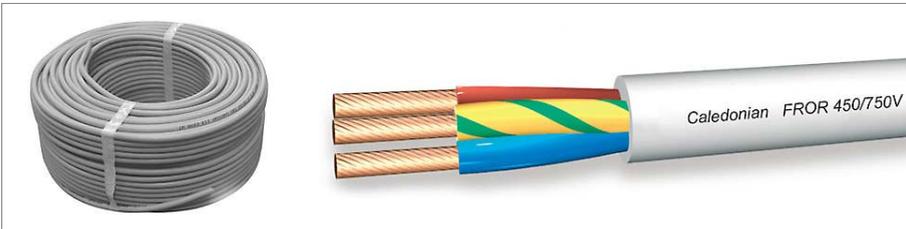
I materiali più comuni utilizzati come isolanti per i cavi elettrici sono il polivinilcloruro (PVC) e le gomme etilenpropileniche (EPR). La tipologia di materiale utilizzato è desumibile dalla sigla del cavo stesso.

I cavi che presentano isolamento in PVC sono fondamentalmente:

- N07 (cordine per impianti incassati);
- FROR (cavo multipolare per tensioni 450/750 V);
- N1VVK (cavo multipolare per tensioni 0,6/1 kV – attualmente poco usato);
- H07 (cavi flessibili multipolari per apparecchi utilizzatori).



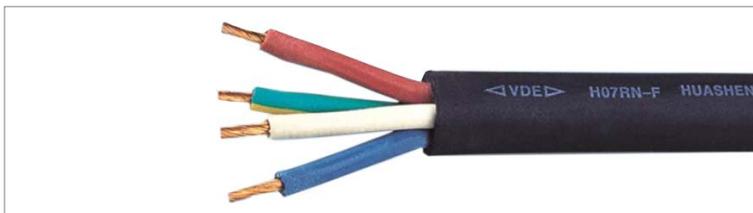
**Figura 3.2.** Cavi N07 (cordine con isolamento in PVC)



**Figura 3.3.** Cavo FROR (cavo con guaina esterna isolato in PVC)

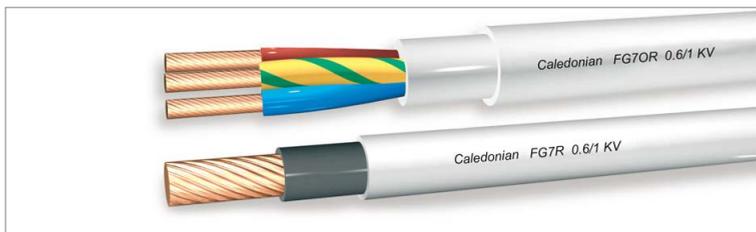


**Figura 3.4.** Cavo N1VVK (cavo con guaina esterna isolato in PVC, idoneo per tensioni nominali 0,6/1 kV)



**Figura 3.5.** Cavo H07RNF (cavo con guaina esterna isolato in PVC, flessibile per servizio mobile)

I cavi che presentano isolamento in gomma EPR sono principalmente i cavi FG7 (unipolari e multipolari) ed i cavi FTG10 (resistenti al fuoco).



**Figura 3.6.** Cavo FG7 (cavo con guaina esterna isolato in gomma EPR)



**Figura 3.7.** Cavo FTG10 (cavo con guaina esterna isolato in gomma EPR, resistente al fuoco)

L'isolamento in PVC non subisce deterioramento fino a temperature di 70 °C, la gomma EPR fino a 90 °C. Diventa perciò fondamentale fare in modo che né le superfici su cui i cavi poggiano, né il rame che costituisce l'anima del conduttore, raggiungano i sopraindicati valori. Per quanto riguarda le superfici di contatto, è sufficiente mantenere una distanza sufficientemente elevata da punti caldi in modo da evitare temperature esterne eccessive. Il problema significativo sta nel mantenere al di sotto di una certa temperatura il rame dei cavi.

### 3.3. Riscaldamento dei cavi

Come l'esperienza pratica insegna, un cavo percorso da corrente (che cioè alimenta un carico), si scalda. Questo perché il materiale da cui è composto il cavo (rame) presenta una resistenza elettrica interna (seppur minima) e, pertanto, una resistenza percorsa da corrente dissipa energia sotto forma di calore. Il calore dissipato contribuisce all'incremento della temperatura del cavo. Tutta la teoria sul dimensionamento dei cavi elettrici basa le proprie fondamenta sull'obiettivo di fare in modo che il rame percorso da corrente si mantenga ad una temperatura inferiore a quella che potrebbe inficiare le caratteristiche dielettriche dell'isolante che lo riveste (70°C se isolante in PVC, 90° se isolante in gomma). Poiché maggiore sarà la resistenza del cavo, maggiore sarà il calore che il rame produrrà, per limitare il quantitativo di calore prodotto (e quindi conseguentemente la temperatura raggiunta) è necessario mantenere al di sotto di un determinato valore la resistenza elettrica del conduttore. La resistenza elettrica di un conduttore dipende fondamentalmente dalla sua sezione (e dalla sua lunghezza, ma per quanto riguarda l'incremento di temperatura, ci interessa solo la sezione): a sezioni maggiori corrispondono resistenze elettriche minori.

In base a quanto finora esposto, avremo quindi che maggiore sarà la corrente che deve transitare nel conduttore, maggiore dovrà essere la sua sezione. Anche qui si può ricorrere

alla solita analogia con i sistemi idraulici: quando deve transitare una certa quantità di liquido in un condotto, è necessario che la tubazione presenti un diametro adeguato per evitare che venga danneggiata dalla pressione determinata dal fluido al suo interno. Allo stesso modo, quando in un cavo deve transitare corrente elettrica, è necessario che la sua sezione sia sufficiente a far sì che il calore prodotto non danneggi l'isolante che lo riveste.

### 3.4. Portata di un cavo

Viene definita “portata” di un cavo la corrente che può transitare nel cavo stesso senza determinarne un incremento di temperatura tale da inficiare le caratteristiche dell'isolamento. La portata di un cavo dipende da svariati fattori quali:

- le modalità di posa del cavo (che determina quanto il calore prodotto possa essere smaltito: un cavo posato in aria libera si scalderà meno di un cavo posato entro una tubazione);
- la temperatura esterna (a parità di corrente che lo attraversa, un cavo si scalderà meno a basse temperature ambiente);
- l'isolante del cavo (un cavo con isolamento in EPR ha una portata maggiore rispetto a un cavo con isolamento in PVC).

La buona tecnica ci dice che per dimensionare un cavo elettrico è necessario sempre prendere in considerazione tutti questi fattori. Tuttavia l'esperienza pratica ha evidenziato che:

- alcune condizioni al contorno (ad esempio la metodologia di posa) sono molto standard;
- alcune condizioni al contorno sono decisamente variabili e dipendenti da fattori non sempre prevedibili (ad esempio la temperatura ambiente);
- l'utilizzo dei cavi elettrici non è continuativo, ma a cicli giornalieri di qualche ora, in alcuni casi addirittura con andamento intermittente;
- la potenza indicata sui dati di targa delle apparecchiature (e conseguentemente la corrente assorbita) si riferisce solitamente alle condizioni massime di utilizzo che vengono raggiunte solo saltuariamente.

Tutto ciò premesso, per casi standard (temperatura ambiente fino a 30 °C, posa entro canaline e tubazioni) si può assumere una portata generica dei cavi pari ai valori riportati nella tabella seguente.

**Tabella 3.1.** *Portata approssimata dei cavi elettrici*

Sezione del cavo	Portata	Sezione del cavo	Portata
1,5 mm <sup>2</sup>	10 A	25 mm <sup>2</sup>	80 A
2,5 mm <sup>2</sup>	16 A	35 mm <sup>2</sup>	100 A
4 mm <sup>2</sup>	20 A	50 mm <sup>2</sup>	125 A
6 mm <sup>2</sup>	32 A	70 mm <sup>2</sup>	160 A
10 mm <sup>2</sup>	40 A	95 mm <sup>2</sup>	200 A
16 mm <sup>2</sup>	63 A	120 mm <sup>2</sup>	250 A

Prima di procedere oltre, è assolutamente necessario mettere in evidenza alcuni aspetti fondamentali:

- come si evince dalla tabella, le sezioni dei cavi reperibili in commercio sono unificate;
- nella tabella non sono riportate differenze sulla portata di un cavo in base all'isolamento in PVC ed EPR (sovradimensionamento a favore della sicurezza);
- per sezioni superiori ai 120 mm<sup>2</sup> (150 mm<sup>2</sup>, 185 mm<sup>2</sup>, 240 mm<sup>2</sup>), considerata l'importanza dei carichi alimentati e del costo dei cavi stessi, è sempre opportuno procedere a calcoli più precisi. Se si vuole comunque disporre di un'indicazione di massima, per sezioni così grandi, si può considerare una portata di circa 2 A ogni mm<sup>2</sup> (un cavo da 150 mm<sup>2</sup> presenta una portata di circa 300 A).

### 3.5. Calcolare la corrente assorbita da un carico

Al fine di determinare quale sia la sezione più idonea da adottare per un cavo elettrico, occorre conoscere quale sarà la corrente che fluisce al suo interno, cioè qual è la corrente assorbita dal carico che deve essere alimentato tramite quel cavo. La corrente assorbita da un carico è strettamente legata, come già anticipato al capitolo 2, alla potenza richiesta per l'alimentazione del carico stesso. Tuttavia, la corrente assorbita varia a seconda che l'alimentazione sia di tipo monofase oppure trifase.

#### 3.5.1. Corrente assorbita da un carico monofase

Nel caso di alimentazione monofase (vedi anche paragrafo 2.3), l'utenza è alimentata mediante due conduttori (fase e neutro) e la tensione nominale dell'apparecchiatura è 230 V.

POWER SOURCE		230V-1ph- 50 Hz		
MAX CURRENT	7.5A			
MAX POWER INPUT	1650W			
RATED CURRENT	COOLING	3.6A	HEATING	3.6A
RATED POWER INPUT	COOLING	722W	HEATING	718W

Figura 3.8. Esempio Dati di targa apparecchiatura monofase

La formula che lega potenza monofase con corrente assorbita è la seguente:

$$P = V * I * \cos\phi$$

dove:

$P$  = potenza assorbita espressa in W (watt);

$V$  = tensione nominale del carico espressa in V (volt), pari a 230 V;

$I$  = corrente assorbita dal carico espressa in A (ampere);

$\cos\phi$  = fattore di potenza del carico; per carichi monofase classici (apparecchi illuminanti, elettrodomestici, ecc.) assunto pari a 1.

Facendo l'operazione inversa ed assumendo  $\cos\phi = 1$ , avremo:

$$I = P / V$$

Negli impianti civili ed industriali, la tensione di alimentazione di un carico monofase è 230 V. Da ciò consegue che per ottenere la corrente assorbita è sufficiente dividere per 230 la potenza espressa in Watt, ovvero dividere per 0,23 la potenza espressa in kW (1 kW = 1.000 W). Volendosi spingere ancora più in là nella semplificazione dell'operazione, dividere per 0,23 equivale a moltiplicare per 4,3. Se poi, come solitamente accade, si vuole tener conto di un coefficiente maggiorativo pari a circa il 10-15%, possiamo genericamente affermare che in caso di alimentazione monofase:

$$I (A) = 5 * P (kW) \text{ per utenza monofase}$$

Ciò indica che la corrente assorbita da un carico monofase è pari a circa 5 volte la potenza di quel carico espressa in kW.

Supponiamo di voler calcolare la corrente assorbita da un'utenza di potenza 1,5 kW monofase. Sulla base di quanto sopra esposto avremo che la corrente assorbita è pari a  $1,5 * 5 = 7,5$  kW.

Analogamente un'utenza domestica di potenza 3 kW (il classico contatore ad uso civile per un appartamento o una piccola abitazione singola) assorbirà circa  $3 \text{ kW} * 5 = 15$  A.

Ovviamente i calcoli semplificati sopra esposti sono validi solo per il dimensionamento del cavo di alimentazione dell'utenza. Se è necessario individuare il consumo elettrico per quantificare l'esborso economico legato all'utilizzo di una determinata apparecchiatura, occorre procedere con calcoli più precisi effettuati sulla base delle formule esatte esposte all'inizio del paragrafo.

### 3.5.2. Corrente assorbita da un carico trifase

Nel caso di alimentazione trifase (vedi anche paragrafo 2.4), l'utenza è alimentata mediante tre conduttori (fase L1, fase L2 e fase L3) se l'utenza è sprovvista di neutro (ad esempio motori) oppure 4 conduttori (tre fasi e il neutro) nel caso in cui l'utenza necessiti anche del neutro (ad esempio forni elettrici). La tensione nominale di un'apparecchiatura trifase è 400 V.

La formula che lega potenza trifase con corrente assorbita è la seguente:

$$P = 1,73 * V * I * \cos\phi$$

dove:

$P$  = potenza assorbita espressa in W (watt);

$V$  = tensione nominale del carico espressa in V (volt), pari a 400 V;  
 $I$  = corrente assorbita dal carico espressa in A (ampere);  
 $\cos\phi$  = fattore di potenza del carico.

Nel caso di alimentazione trifase, il  $\cos\phi$  difficilmente risulta essere pari a 1 come nel caso di alimentazione monofase (a meno che non si tratti di carichi puramente resistivi come ad esempio forni elettrici), ma assume invece valori compresi solitamente fra 0,75 e 0,90.

Nel caso standard, cioè con  $\cos\phi$  uguale a 0,8 e tensione 400 V, avremo:

$$P \text{ (W)} = 554 * I \text{ (A)}$$

cioè:

$$I \text{ (A)} = P \text{ (kW)} / 0,55$$

Se anche in questo caso si vuole tener conto di un coefficiente maggiorativo pari a circa il 10-15%, possiamo genericamente affermare che in caso di alimentazione trifase:

$$I \text{ (A)} = 2 * P \text{ (kW)} \text{ per utenza trifase}$$

Se ipotizziamo quindi di voler calcolare la corrente assorbita da un'utenza trifase di potenza 4 kW, avremo una corrente di circa 8 A.

Valgono anche qui le considerazioni in merito alla validità dell'approssimazione utilizzata già esposte nella sezione relativa alla corrente assorbita dai carichi monofase.

### 3.6. Caduta di tensione

In base alla prima legge di Ohm, già analizzata al paragrafo 1.5, è possibile desumere che fra i capi di una resistenza percorsa da corrente è misurabile una differenza di potenziale (tensione). Poiché anche un cavo elettrico presenta una seppur minima resistenza, fra le sue estremità, se percorso da corrente, sarà misurabile una tensione. La differenza di potenziale che si presenta fra i capi di un cavo elettrico percorso da corrente viene definita "caduta di tensione".

La caduta di tensione su una linea può essere determinata attraverso la seguente formula:

$$dU = k * (R * \cos\phi + X * \sin\phi) * I$$

dove:

$dU$  = caduta di tensione in V/km o mV/m;  
 $k$  = 1,73 per linee trifasi; 2 per linee monofasi;  
 $R$  = resistenza per fase in ohm/km alla temperatura di regime;  
 $X$  = reattanza di fase a 50 Hz in ohm/km;  
 $\cos\phi$  = fattore di potenza dell'utilizzatore;  
 $\sin\phi$  = seno dell'angolo di sfasamento tra tensione e corrente;  
 $I$  = corrente di fase in A.

Poiché ogni apparecchiatura è costruita per funzionare alla propria tensione nominale, è necessario limitare la caduta di tensione a valori compatibili con il funzionamento dell'ap-

parecchiatura alimentata. Questa limitazione viene normativamente garantita limitando il valore di caduta di tensione al 4%. Questo valore percentuale si riferisce alla caduta di tensione complessiva fra il punto di fornitura dell'energia (contatore Enel) e l'utenza alimentata e, quindi, non solo al tratto di cavo che alimenta l'utenza (ad esempio in partenza da un quadro secondario).

Cerchiamo di dare un significato numerico al valore relativo 4%. Se la tensione nominale di una linea monofase è 230 V, il 4% di 230 V corrisponde a 9,2 V: questo significa che ai capi dell'utenza dovrà presentarsi una tensione non inferiore a  $230 - 9,2 = 220,8$  V. Se invece la tensione nominale è 400 V (alimentazione trifase), il 4% di 400 V corrisponde a 16 V: ai capi dell'utenza dovrà presentarsi una tensione fra le fasi non inferiore a  $400 - 16 = 384$  V.

In base alla legge di Ohm ( $V = R * I$ ), tanto maggiore sarà la resistenza che presenta il cavo, tanto maggiore sarà la differenza di potenziale che vedremo ai suoi capi. Poiché la resistenza di un cavo dipende in maniera direttamente proporzionale dalla sua lunghezza ed indirettamente proporzionale dalla sua sezione (maggiore lunghezza implica maggiore resistenza, maggiore sezione implica minore resistenza), per limitare la caduta di tensione (cioè limitare il valore di resistenza assunto dal cavo elettrico) dovremo, quando non è possibile limitarne la lunghezza, aumentarne la sezione.

Anche in questo caso, prima di procedere oltre, è importante evidenziare alcuni aspetti:

- La verifica della caduta di tensione è tanto più importante quanto minore è la tensione nominale del sistema.

Questo aspetto è facilmente comprensibile poiché si tratta di un valore percentuale. Infatti, il 4% di 400 V, come già visto, è pari a 16 V, ma il 4% di 24 V è pari a 0,96 V. A parità di corrente e sezione del cavo, quindi, la caduta di tensione percentuale su un circuito a 24 V è circa 16 volte maggiore che non su un circuito a 400 V.

- Richiamando il punto precedente, l'esperienza ha insegnato che nei circuiti con tensione nominale superiore ai 15.000 V (solitamente circuiti di distribuzione dell'ente distributore o di utenze con potenze assorbite molto significative), la verifica della caduta di tensione può essere omessa.
- Sulle utenze ad elevata corrente di spunto, come ad esempio i motori elettrici, è ammessa, durante l'avvio, una caduta di tensione anche del 10%.
- Sui circuiti ausiliari con tensione inferiore a 50 V, la caduta di tensione può essere aumentata ad un valore pari al 5%, essendo questa tipologia di circuiti idonea a sopportare sbalzi di tensione superiori.
- Poiché la caduta di tensione si riferisce alla tensione effettivamente presente sul carico, il valore del 4% è comprensivo anche del tratto a monte della linea che alimenta l'utenza (sino al punto di fornitura di energia).

Per questo motivo è opportuno limitare la caduta di tensione ad un 2% sulle dorsali principali e ad un 2% sulle linee terminali.

- Per tensioni nominali di 400 V, anche sulla base delle considerazioni sinora svolte, si può ragionevolmente utilizzare la regola pratica che consiste nell'aumentare il cavo di una sezione ogni 50 metri di linea.
- Idem come per il punto precedente, per tensioni nominali di 230 V si può ragionevolmente utilizzare la regola pratica che consiste nell'aumentare il cavo di una sezione ogni 30 metri di linea.

### 3.7. Scelta della sezione di un cavo

Sulla base di quanto sinora esposto, possiamo così riassumere la procedura per la scelta della sezione di un cavo:

- 1) calcolare la corrente che transiterà nel cavo sulla base delle caratteristiche del carico che si deve alimentare;
- 2) scegliere il cavo in modo che la sua portata (direttamente legata alla sua sezione) sia superiore alla corrente che deve transitare al suo interno;
- 3) verificare che la caduta di tensione ai capi del cavo sia accettabile.

#### 3.7.1. Esempio 1 – utenza trifase

Nel seguito analizzeremo un esempio pratico che utilizza le nozioni sinora esposte. Ipotizziamo di dover alimentare un'utenza elettrica che presenti le seguenti caratteristiche:

- tensione nominale 400 V – trifase con neutro;
- potenza elettrica: 15 kW;
- lunghezza linea di alimentazione: 60 m.

##### 1) *Calcolo della corrente per cui dovrà essere dimensionato il carico*

Per la determinazione della corrente elettrica assorbita da un carico trifase, è necessario moltiplicare la potenza espressa in kW per il fattore 2. Pertanto un'utenza con potenza 15 kW, assorbirà circa  $15 * 2 = 30$  A.

##### 2) *Identificare la sezione del cavo con portata superiore alla corrente assorbita dal carico*

Sulla base della tabella 3.1 (che si riporta nel seguito per comodità), avremo che il cavo con portata immediatamente superiore a 30 A è il 6 mm<sup>2</sup> che è in grado di sopportare una corrente di circa 32 A.

**Tabella 3.2.** Portata approssimata dei cavi elettrici

Sezione del cavo	Portata	Sezione del cavo	Portata
1,5 mm <sup>2</sup>	10 A	25 mm <sup>2</sup>	80 A
2,5 mm <sup>2</sup>	16 A	35 mm <sup>2</sup>	100 A
4 mm <sup>2</sup>	20 A	50 mm <sup>2</sup>	125 A
6 mm <sup>2</sup>	32 A	70 mm <sup>2</sup>	160 A
10 mm <sup>2</sup>	40 A	95 mm <sup>2</sup>	200 A
16 mm <sup>2</sup>	63 A	120 mm <sup>2</sup>	250 A

##### 3) *Verifica della caduta di tensione*

Verificare la caduta di tensione con la formula riportata al paragrafo 3.6 è tutt'altro che semplice. Esistono fortunatamente svariati software (anche gratuiti) per il calcolo di questo parametro. Adottando la regola pratica dell'aumento di sezione ogni 50 metri di linea, poiché in questo caso la lunghezza è di 60 m, andremo ad utilizzare una sezione di 10 mm<sup>2</sup> anziché la 6 mm<sup>2</sup>.

Se avessimo usato un software dedicato, avremmo ottenuto i seguenti risultati:

- caduta di tensione con cavo  $10 \text{ mm}^2 = 1,62\%$ ;
- caduta di tensione con cavo  $6 \text{ mm}^2 = 2,69\%$ .

Per cui, se il carico fosse stato alimentato direttamente a valle del punto di consegna, una sezione  $6 \text{ mm}^2$  sarebbe stata sufficiente, mentre se fosse stato alimentato da un quadro secondario sarebbe stata più opportuna la  $10 \text{ mm}^2$  (al fine di mantenere la caduta sulla linea interessata contenuta entro il 2%).

Questo esempio conferma pertanto la bontà della regola semplificativa che sovradimensiona talvolta leggermente il cavo a favore della sicurezza, ma restituisce comunque un valore idoneo.

### 3.7.2. Esempio 2 – utenza monofase

Ipotizziamo di dover alimentare un'utenza elettrica con le seguenti caratteristiche:

- tensione nominale 230 V – monofase,
- potenza elettrica: 3 kW;
- lunghezza linea di alimentazione: 130 m.

#### 1) *Calcolo della corrente per cui dovrà essere dimensionato il carico*

Per la determinazione della corrente elettrica assorbita da un carico monofase, è necessario moltiplicare la potenza espressa in kW per il fattore 5. Pertanto un'utenza con potenza 3 kW, assorbirà circa  $3 \cdot 5 = 15 \text{ A}$ .

#### 2) *Identificare la sezione del cavo con portata superiore alla corrente assorbita dal carico*

Sulla base della tabella 3.2 (già riportata al paragrafo precedente), avremo che il cavo con portata superiore a 15 A è il  $2,5 \text{ mm}^2$  che presenta una portata di circa 16 A.

#### 3) *Verifica della caduta di tensione*

Adottando la regola pratica dell'aumento di sezione ogni 30 metri di linea, poiché in questo caso la lunghezza è di 130 m, andremo ad aumentare 4 volte la sezione del cavo (primo aumento superati i 30 m, secondo aumento superati i 60 m, terzo aumento superati i 90 m, quarto aumento superati i 120 m). Aumentare quattro volte la sezione del cavo implica utilizzare un  $16 \text{ mm}^2$ . Andando a verificare anche in questo caso la caduta di tensione con un software dedicato avremo:

- caduta di tensione con cavo  $16 \text{ mm}^2 = 1,97\%$ ;
- caduta di tensione con cavo  $10 \text{ mm}^2 = 3,10\%$ ;
- caduta di tensione con cavo  $6 \text{ mm}^2 = 5,23\%$ ;

In base alle verifiche condotte, anche in questo caso la regola semplificata risulta corretta a favore della sicurezza.

## 3.8. Considerazioni finali

Onde evitare di incorrere in clamorose “gaffe” elettrotecniche, è importante ricordare che le regole sinora riportate non sono valide nel caso di motori elettrici. In particolare è bene

sapere che la potenza che solitamente viene indicata per un motore elettrico (ad esempio 5 kW) è la potenza meccanica all'albero del motore stesso e non quella elettrica assorbita. Per determinare la potenza elettrica e, conseguentemente, rendere valide le regole esposte sopra, è necessario dividere la potenza meccanica per il rendimento o, più semplicemente, fare ricorso a tabelle standard messe a disposizione dai costruttori. Detto aspetto verrà ampiamente trattato più avanti.

Un ulteriore aspetto va preso in considerazione per le linee di alimentazione trifase con neutro. In questo caso, se i cavi di fase presentano una sezione superiore a 35 mm<sup>2</sup>, è possibile ridurre la sezione del neutro a metà di quella dei conduttori di fase (ad esempio fase 50 mm<sup>2</sup>, neutro 25 mm<sup>2</sup>).