

Luca Lussorio

Calcoli rapidi per gli impianti elettrici

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

- Calcolo della potenza necessaria ad
- 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)



**PRONTO
GRAFILL**

Clicca e richiedi di essere contattato
per informazioni e promozioni

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

PREFAZIONE	p.	1
1. CONCETTI DI BASE DELL'ELETTROTECNICA	"	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
2. DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA NEGLI IMPIANTI DI UTENTE	"	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
3. DIMENSIONAMENTO RAPIDO DEI CAVI ELETTRICI	"	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
4. DETERMINAZIONE DELLA POTENZA NECESSARIA	"	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
5.	DIMENSIONAMENTO RAPIDO DELLA PROTEZIONE DELLE PERSONE CONTRO I GUASTI A TERRA	"	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
6.	DIMENSIONAMENTO RAPIDO DELLE PROTEZIONI CONTRO FULMINI E SOVRATENSIONI	"	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

7. DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE	p.	61
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
 8. DIMENSIONAMENTO DELLE PROTEZIONI		
CONTRO LE SOVRACORRENTI	"	74
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
 9. DIMENSIONAMENTO DELLE PROTEZIONI		
DEGLI APPARECCHI UTILIZZATORI	"	84
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
 10. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI RIFASAMENTO	"	92
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
11.	DIMENSIONAMENTO DEL TRASFORMATORE AUSILIARI	"	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
12.	DIMENSIONAMENTO DELLE CASSETTE DI DERIVAZIONE	"	107
12.1.	Dimensionamento	"	108
12.2.	Caso reale	"	109
13.	DIMENSIONAMENTO		
	DI UNA RETE DI CABLAGGIO STRUTTURATO	"	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
14.	DIMENSIONAMENTO DI UN IMPIANTO		
	DI RILEVAZIONE INCENDI	"	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		
DI UN IMPIANTO ANTINTRUSIONE	p.	123
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		
DI UN IMPIANTO DI DIFFUSIONE SONORA	"	134
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
19.	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO	"	147
19.1.	Note sul software incluso.....	"	147
19.2.	Requisiti hardware e software.....	"	147
19.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione.....	"	147
19.4.	Installazione ed attivazione del software	"	147
	BIBLIOGRAFIA	"	149

PREFAZIONE

Non nascondo che quando mi è stato proposto di realizzare un volume dal titolo “*Calcoli rapidi per gli impianti elettrici*” ho esitato ad accettare l’incarico. La motivazione della mia titubanza va ricercata principalmente nel timore che il titolo spingesse un lettore distratto a pensare che chiunque possa progettare e dimensionare impianti elettrici semplicemente facendo ricorso a qualche formuletta e ad alcune considerazioni pratiche. Questa presunta semplicità è assai lontana dalla realtà che viviamo quotidianamente. Tuttavia è innegabile che la progettazione elettrica, specialmente nel settore industriale, è quanto di più approssimato possa esserci in ambito ingegneristico.

Probabilmente qualcuno, nel leggere queste parole, strabuzzerà gli occhi inorridito. Ma provate a pensare quanto sono incerti i dati che vengono utilizzati tutti i giorni nel progettare un impianto elettrico: macchine operatrici che presentano dati di targa con indicata una determinata potenza e, una volta messe in servizio, ne assorbono la metà; coefficienti di contemporaneità altamente variabili che portano un impianto ad essere molto sfruttato in determinate fasce orarie e praticamente spento in altre; cicli di lavorazione aleatori e imprevedibili a priori. Si potrebbe andare avanti all’infinito nel citare esempi di questo tipo. Ed è proprio per questo motivo che alla fine ho accettato la proposta: cercare di spiegare come calcoli estremamente precisi e raffinati che accompagnano certi progetti siano quasi ridicoli. Nessuno di noi penserebbe di pesare le patate che acquistiamo dal fruttivendolo con un bilancino da orefice, eppure qualcuno indica, per la corrente assorbita da un carico di qualche decina di kW, anche i valori decimali. Inoltre, chi si spinge a livelli così dettagliati di calcolo, paradossalmente, perde molte volte la sensibilità di cosa sta dimensionando, poiché si affida ciecamente al risultato fornito da un software impiantistico.

Resta del tutto evidente e sottointeso che svolgere calcoli approssimati e semplici è cosa ben diversa dal non valutare attentamente il dimensionamento che si sta facendo o dal farlo con trascuratezza.

Mi preme evidenziare che le metodologie riportate nei capitoli seguenti sono finalizzate a restituire risultati talvolta sovrabbondanti, ma che sono sempre sufficientemente corretti, specialmente per impianti di piccole dimensioni. La necessità di disporre di queste modalità operative è principalmente legata a quei casi in cui sia necessario disporre in tempi brevissimi di una risposta alle richieste della committenza (la classica telefonata ricevuta mentre si è in vacanza “Sono in cantiere e ho fretta! Che cavo metto per alimentare 3 kW monofase su una linea di 60 m?”).

Va da sé che per impianti importanti o molto estesi (e quindi molto costosi) diventa significativo svolgere calcoli più dettagliati, al fine di poter attuare considerevoli risparmi (anche economici) legati all’ottimizzazione dei componenti, specialmente per quanto riguarda i cavi elettrici.

Un particolare ringraziamento va infine a chi ha collaborato alla stesura del presente volume fornendo utili consigli nonché ai webmasters del sito www.elektro.it che hanno gentilmente acconsentito ad utilizzare le figure da loro realizzate e pubblicate.

Luca Lussorio

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 quella 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.

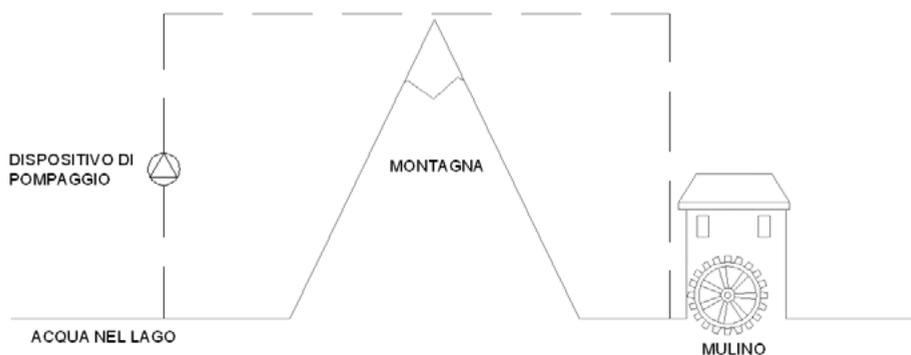


Figura 1.1. Analogia idraulica del concetto di tensione (differenza di potenziale)

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.

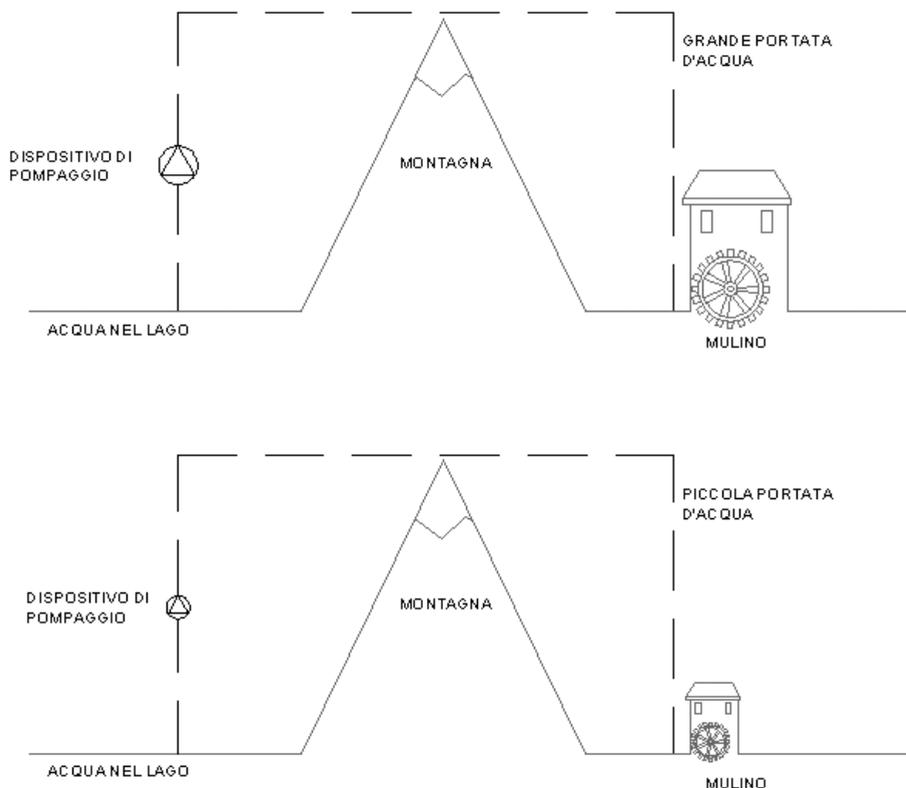


Figura 1.2. Analogia idraulica del concetto di corrente

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.

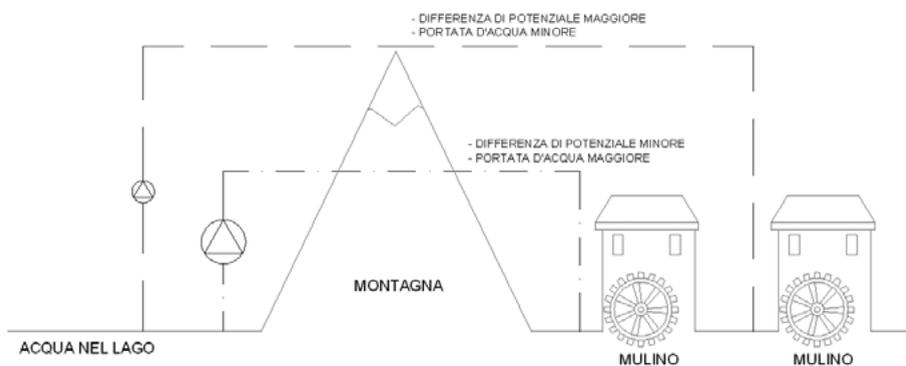


Figura 1.3. Analogia idraulica concetto di potenza

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 “elettrotecnico” 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.

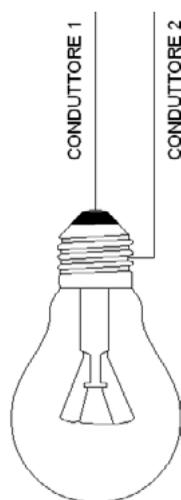


Figura 2.1. *Circuito elettrico*

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".

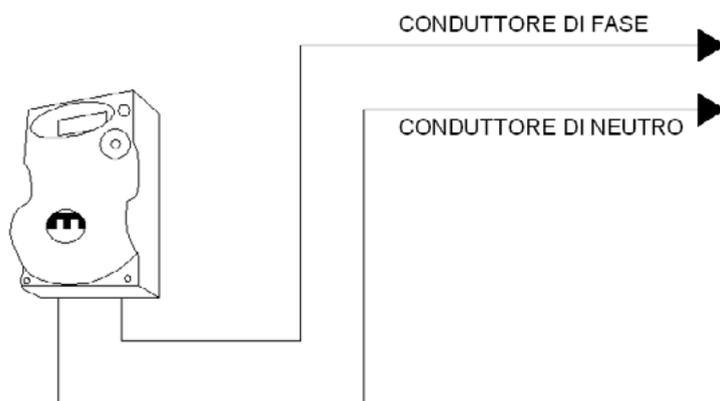


Figura 2.2. Alimentazione monofase

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.

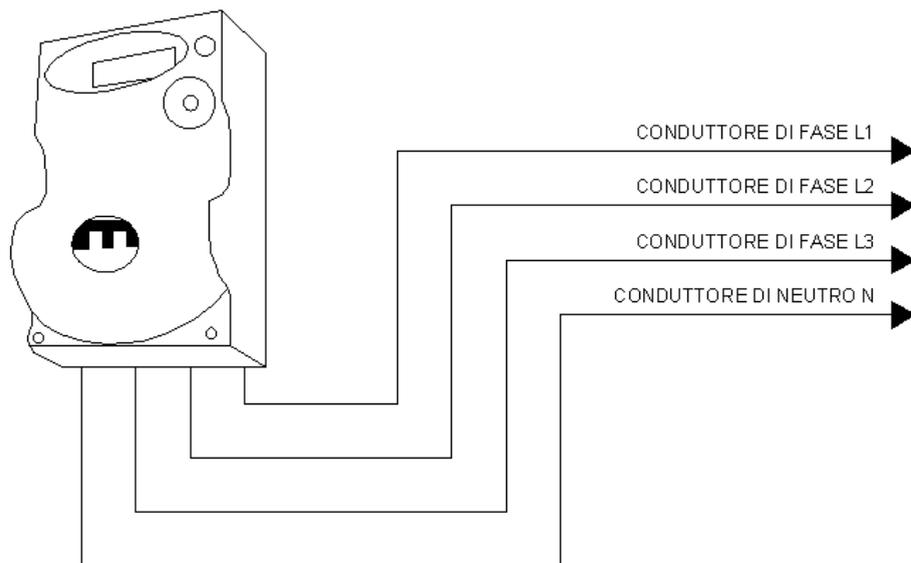


Figura 2.3. Alimentazione trifase

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.

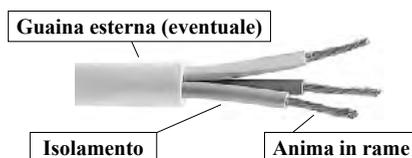


Figura 3.1. Esempio costruttivo di un cavo elettrico

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)

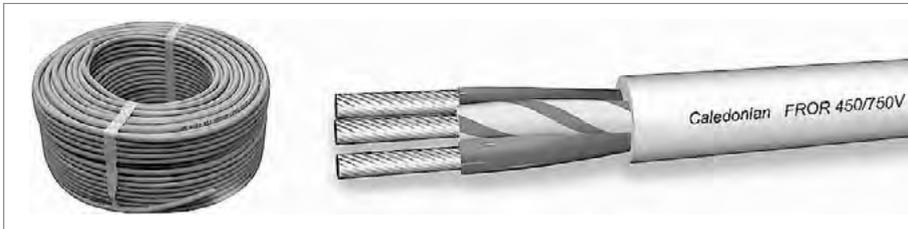


Figura 3.3. Cavo FROR (cavo con guaina esterna isolato in PVC)



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 ²	10 A	25 mm ²	80 A
2,5 mm ²	16 A	35 mm ²	100 A
4 mm ²	20 A	50 mm ²	125 A
6 mm ²	32 A	70 mm ²	160 A
10 mm ²	40 A	95 mm ²	200 A
16 mm ²	63 A	120 mm ²	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 mm² (150 mm², 185 mm², 240 mm²), 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 mm² (un cavo da 150 mm² 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.

TENSIONE DI ALIMENTAZIONE				
CORRENTE ASSORBITA				
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
POTENZA				

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 mm² 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 ²	10 A	25 mm ²	80 A
2,5 mm ²	16 A	35 mm ²	100 A
4 mm ²	20 A	50 mm ²	125 A
6 mm ²	32 A	70 mm ²	160 A
10 mm ²	40 A	95 mm ²	200 A
16 mm ²	63 A	120 mm ²	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 mm² anziché la 6 mm².

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 mm^2 sarebbe stata sufficiente, mentre se fosse stato alimentato da un quadro secondario sarebbe stata più opportuna la 10 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 sovradi-mensiona talvolta leggermente il cavo a favore della sicurezza, ma restituisce comun-que 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 nec-cessario moltiplicare la potenza espressa in kW per il fattore 5. Pertanto un'utenza con potenza 3 kW, assorbirà circa $3 * 5 = 15 \text{ A}$.

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 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 cor-retta 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 mm², è possibile ridurre la sezione del neutro a metà di quella dei conduttori di fase (ad esempio fase 50 mm², neutro 25 mm²).

DETERMINAZIONE DELLA POTENZA NECESSARIA

In fase di progettazione un aspetto molto importante è rivestito dalla determinazione della potenza assorbita dall'impianto che si andrà a realizzare. Purtroppo molte volte non è possibile conoscere con esattezza i carichi presenti e bisogna adottare criteri approssimativi di valutazione. Nel seguito vengono riportati le metodologie principali per una quantificazione preliminare.

Prima di procedere è tuttavia bene ricordare che spesso, nel tempo, le esigenze elettriche possono aumentare. Per tenere conto di future espansioni è bene quindi dimensionare gli impianti con una certa generosità, maggiorando le potenze installate (es. con margini del 20-30 %) e/o progettando in modo tale da facilitare la successiva installazione di nuovi componenti per fare fronte a nuove esigenze.

4.1. Impianti di tipo residenziale

A differenza degli impianti di tipo industriale e terziario che presentano utenze molto variabili e quindi risultati più aleatori, in ambito residenziale, i tre metodi proposti (metodo analitico, metodo parametrico, metodo della potenza impegnabile) restituiscono valori analoghi ampiamente confermati dall'esperienza.

4.1.1. Metodo analitico

Le utenze a servizio di un appartamento sono pressoché standard e perciò facilmente prevedibili. In particolare:

- forno elettrico: 1,5 kW;
- frigorifero: 0,3 kW;
- lavatrice: 2,2 kW;
- lavastoviglie: 2,4 kW;
- piccole utenze (TV, PC, caldaia, ecc.): 0,5 kW/utenza;
- eventuale cucina ad induzione: 1,5 kW.

Per quanto riguarda l'impianto di illuminazione, la potenza assorbita è chiaramente proporzionale, oltre che alla tipologia di sorgenti luminose utilizzate, alla superficie dell'abitazione. Si può pertanto ricorrere ad un indice parametrico che considera una necessità di potenza pari a circa 10 W/m² (per un appartamento di 100 m² è ad esempio necessaria una potenza per l'illuminazione pari a 1.000 W). Analogo discorso vale per la potenza necessaria al condizionamento degli ambienti (ove questo non sia di tipo centralizzato). L'indice parametrico del condizionamento è più variabile di quello legato all'illuminazione e va da 20 a 35 W/m².

È del tutto evidente che la potenza convenzionale richiesta per alimentare un gruppo di utenze è di regola inferiore alla somma delle potenze nominali delle singole utenze in quanto non vengono tutte utilizzate contemporaneamente. L'effetto riduttivo della non contemporaneità è tanto maggiore quanto maggiore è il numero delle utenze non contemporanee. Per tenere conto della non contemporaneità dei picchi di carico, si introduce il fattore di contemporaneità K_c . Per fattore di contemporaneità di un gruppo di carichi si intende il fattore che applicato alla somma delle potenze di dimensionamento dei carichi afferenti ad un nodo dà la potenza di dimensionamento sufficiente ad alimentare il nodo.

Poiché, inoltre, in molti casi si installano componenti che assorbono una potenza variabile durante il loro ciclo di funzionamento e solo in poche fasi pari alla nominale (ad esempio una lavatrice), è necessario introdurre un ulteriore coefficiente riduttivo denominato "di utilizzazione" e indicato con la sigla K_u . In definitiva, ai fini della determinazione della potenza di dimensionamento, un carico, anche se variabile, viene approssimativamente rappresentato come un carico costante di potenza convenzionale uguale alla potenza nominale ridotta del coefficiente di utilizzazione.

Tabella 4.1. Coefficienti K_u tipici

Tipo di utilizzatore	K_u
Apparecchi illuminanti	1
Motori da 0.5 a 2 kW	0,7
Motori da 2 a 10 kW	0,75
Carichi resistivi (forni, stufe elettriche, ecc.)	1

Pertanto, la potenza necessaria all'alimentazione di un complesso generico (e non solo di un'abitazione o di un appartamento) può essere stimata come:

$$P = K_c * (K_{u1} * P_{N1} + K_{u2} * P_{N2} + \dots + K_{un} * P_{Nn})$$

dove:

P = potenza necessaria;

K_c = coefficiente di contemporaneità;

K_{ux} = coefficiente di utilizzazione della singola utenza (utenze che vanno da 1 a n);

P_{Nx} = potenza nominale della singola utenza (utenze che vanno da 1 a n).

Valutare gli effetti del tipo di ciclo di lavoro e della contemporaneità spetta al progettista. In assenza di migliori indicazioni, per tipologie di carico si può fare ricorso ai valori tipici previsti dalle Norme (CEI 11-35 app. B) e riportati nella tabella seguente.

Tabella 4.2. Coefficienti K_c tipici

	Unità abitative individuali (villette)	Edifici civili uso abitazione (appartamenti)
Illuminazione	0,66	0,75

[segue]

	Unità abitative individuali (villette)	Edifici civili uso abitazione (appartamenti)
Cucine	1 – 0,3	1 – 0,8 – 0,6
Scaldabagni	1	1
Prese	1 – 0,2	1 – 0,2

Laddove in una cella della tabella compaiono diversi valori, si intende che, per quel tipo di utenza, il primo valore è applicato al campione di maggiore potenza, il secondo valore al secondo campione più grande e l'ultimo a tutti gli altri campioni. Ad es. per le utenze di una cucina di un appartamento, all'utenza più grande si applica il coefficiente di contemporaneità $K_C = 1$, alla seconda 0,8 ed a tutte le altre 0,6.

Particolare attenzione deve essere posta ai K_C delle prese, per i quali possono essere a volte più sensati valori molto più ridotti (es. 0,05 – 0,1): infatti spesso la proliferazione delle prese è principalmente dovuta a comodità di predisposizione in punti diversi, più che a necessità di potenza.

Applicando quanto sopra ad un appartamento di circa 100 m² dotato di 2 televisori, un personal computer, una caldaia e privo di cucina ad induzione, avremo:

- potenza necessaria per illuminazione: 1000 W (determinata col coefficiente parametrico);
- potenza complessivamente installata: 8,5 kW;
- massima potenza assorbita dalle utenze collegate alle prese: 2,4 kW (lavastoviglie);
- potenza assorbita dal carico maggiore tenendo conto di K_u pari a 0,75: 1,8 kW (lavastoviglie = motore da 2 a 10 kW);
- carichi rimanenti collegati alle prese: 6,1 kW di cui il forno elettrico (1,5 kW) a $K_u = 1$ (carico resistivo) e tutti gli altri elettrodomestici (4,6 kW) a $K_u = 0,7$ (motori di potenza fino a 2 kW);
- potenza assorbita dai carichi rimanenti collegati alle prese tenendo conto di K_u : 4,7 kW;
- potenza assorbita dalle utenze collegate alle prese (su base della tabella) = $(1,8 * 1) + (4,7 * 0,2) = 2,8$ kW;
- Potenza necessaria = Potenza luce + Potenza prese = 1 kW + 2,8 kW = 3,8 kW.

NOTA – Utilizzando il K_C indicato per le cucine nella tabella 4.6 anziché quello indicato per le prese si sarebbe determinata una potenza leggermente superiore.

In base all'analisi svolta sarebbe pertanto necessario disporre di una fornitura di energia elettrica avente potenza contrattuale pari a 4,5 kW (i valori standard contrattuali per utenze domestiche monofase sono 1,5 – 3 – 4,5 – 6 kW). In realtà per un appartamento come quello considerato, solitamente viene stipulato un contratto con l'azienda distributrice di soli 3 kW. Questo perché viene demandata all'utente la riduzione del coefficiente di contemporaneità dei carichi (tutti sanno che con lavatrice in funzione non si devono utilizzare il forno o la lavastoviglie) al fine di evitare il distacco dell'energia elettrica da parte del limitatore del gruppo di misura (si ricorda che è consentito un esubero di potenza pari al 10% di quella

contrattuale senza che intervenga il distacco automatico da parte del sistema di limitazione del gruppo di misura).

NOTA – Esistono anche sistemi di distacco automatico dei carichi che, in caso di assorbimento di potenza maggiore di quello impostato, procedono a disalimentare le utenze con scarsa priorità (lavatrice, lavastoviglie, forno e così via) lasciando alimentate quelle ad alta priorità (frigorifero, congelatore, ecc.).

4.1.2. Metodo parametrico

In alternativa al metodo analitico, per la determinazione della potenza necessaria si può fare riferimento ad indici specifici che tengono già conto dei coefficienti di utilizzazione e di contemporaneità. Questi indici sono largamente approssimativi e vanno usati con estrema cautela.

La tabella seguente riporta gli indici specifici di tipo superficiale W/m^2 più comunemente usati per l'edilizia residenziale e terziaria.

Tabella 4.3. *Potenze parametriche tipiche*

Tipo di utenze	W/m ²
Illuminazione	10-15
FM generica	15-30
Condizionamento	20-35

Considerando l'esempio dell'appartamento di 100 m² indicato nel paragrafo relativo al metodo analitico (v. precedente paragrafo 4.1.1.), avremo una potenza necessaria di valore compreso fra 2,5 kW e 4,5 kW.

4.1.3. Metodo della potenza impegnabile

Il capitolo 37 della norma CEI 64-8 richiede infine che l'impianto sia dimensionato per una potenza impegnabile (massima potenza che l'impianto è in grado di alimentare) pari a:

- 3 kW, se la superficie interna calpestabile dell'unità abitativa, esclusi cantina, box e soffitta, è inferiore a 75 m²;
- 6 kW, se la superficie interna calpestabile dell'unità abitativa, esclusi cantina, box e soffitta, è superiore a 75 m².

Per l'appartamento di 100 m² dei casi precedenti è necessario pertanto considerare una potenza di 6 kW.

4.2. Impianti terziari e industriali

Come già anticipato all'inizio del capitolo, la determinazione della potenza necessaria ad impianti di natura industriale o del settore terziario è molto più aleatoria rispetto al settore residenziale. Esistono anche per queste tipologie il metodo analitico ed il metodo parametrico (il metodo della potenza impegnabile è valido solo per il settore residenziale).

4.2.1. Metodo analitico

Valgono le considerazioni già svolte per impianti residenziali in merito ai coefficienti K_u e K_C . In merito al coefficiente di utilizzazione, è possibile far riferimento alla seguente tabella 4.4.:

Tabella 4.4. Coefficiente K_u

Utilizzatore	K_u
Lampade	1
Resistori	1
Motori	0,8
Compressori	0,85
Ventilatori	1
Pompe	0,8
Forni	1

In merito al coefficiente di contemporaneità, è possibile far riferimento alla seguente tabella 4.5.:

Tabella 4.5. Coefficiente K_C

Tipo impianto	Uffici e magazzini	Alberghi e ospedali	Industrie
Illuminazione	90% potenza installata	75% potenza installata	90% potenza installata
Condizionamento e riscaldamento	100% utilizzatore maggiore 75% utilizzatori rimanenti	100% utilizzatore maggiore 80% secondo utilizzatore 60% utilizzatori rimanenti	100% utilizzatore maggiore 75% utilizzatori rimanenti
Cucine		100% utilizzatore maggiore 80% secondo utilizzatore 60% utilizzatori rimanenti	
Motori	100% utilizzatore maggiore 80% secondo utilizzatore 60% utilizzatori rimanenti	100% utilizzatore maggiore 80% secondo utilizzatore 60% utilizzatori rimanenti	100% utilizzatore maggiore 50% utilizzatori rimanenti

[segue]

Tipo impianto	Uffici e magazzini	Alberghi e ospedali	Industrie
Ascensori e montacarichi	100% utilizzatore maggiore 80% secondo utilizzatore 60% utilizzatori rimanenti	100% utilizzatore maggiore 80% secondo utilizzatore 60% utilizzatori rimanenti	
Prese	50% fino a 5 prese 25% prese rimanenti	60% fino a 5 prese 30% prese rimanenti	50% fino a 5 prese 25% prese rimanenti
Altri utilizzatori	100% utilizzatore maggiore 50% utilizzatori rimanenti	100% utilizzatore maggiore 50% utilizzatori rimanenti	100% utilizzatore maggiore 50% utilizzatori rimanenti

In figura 4.1, tratta dalla guida CEI 99-4, è rappresentato un esempio di dimensionamento analitico preliminare per la determinazione della potenza elettrica necessaria ad alimentare un piccolo centro industriale.

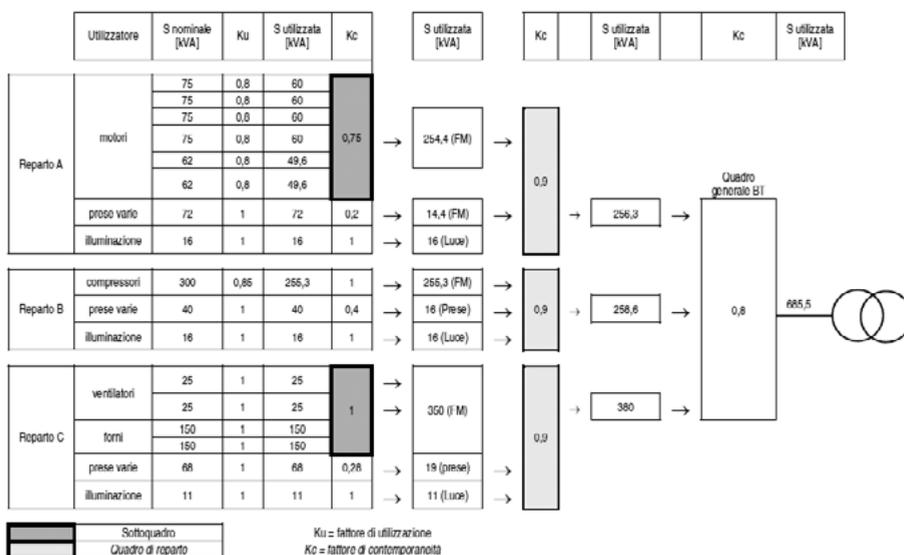


Figura 4.1. Esempio di dimensionamento analitico preliminare

4.2.2. Metodo parametrico

Qualora non siano disponibili dati sulla tipologia ed il numero dei carichi, si può ricorrere ad una valutazione di tipo parametrico secondo i criteri esposti in seguito, sempre ricordando che i valori riportati sono puramente indicativi e, in casi particolari, potrebbero discostarsi anche molto dalla realtà. In base ai valori citati in tabella, è possibile risalire alla

potenza necessaria semplicemente moltiplicando i W/m^2 per la superficie effettiva degli ambienti considerati.

Tabella 4.6. *Valori parametrici W/m^2*

Ambiente	W/m^2
Uffici condizionati	100-150
Uffici non condizionati	50-80
Laboratori condizionati	100-200
Industrie chimiche	300-500
Industrie tessili	30-150
Officine meccaniche	100-350
Falegnamerie	70-100
Alberghi condizionati	70-120

DIMENSIONAMENTO RAPIDO DELLA PROTEZIONE DELLE PERSONE CONTRO I GUASTI A TERRA

5.1. Generalità sugli impianti di terra

Come già indicato al capitolo 3, fra conduttori attivi e terreno è presente una differenza di potenziale. Capire perché sia presente questa differenza di potenziale esula dagli scopi del presente volume (si rimanda pertanto ai classici volumi di elettrotecnica e di impiantistica); tuttavia la presenza di una differenza di potenziale evidenzia fondamentalmente due cose:

- 1) il terreno si comporta come un conduttore elettrico;
- 2) poiché il corpo umano si trova, in condizioni ordinarie, a contatto del terreno, qualora venga in contatto con un conduttore attivo (una “fase” dell’impianto elettrico), esso sarà sottoposto a una differenza di potenziale e pertanto percorso da corrente.

Il passaggio di corrente elettrica attraverso il corpo umano è molto pericoloso, per cui è assolutamente indispensabile limitare il valore della corrente che fluisce ed il tempo per cui fluisce. Lo scopo di un impianto di terra (che abbia funzione di protezione) è fondamentalmente quello di agevolare l’interruzione del circuito affetto da guasto (limitando quindi il tempo per cui la corrente fluisce attraverso il corpo umano) e di equipotenzializzare il più possibile tutte le superfici con cui una persona può entrare in contatto (limitando quindi il valore di corrente che fluisce attraverso il corpo umano). Si rimanda per ulteriori approfondimenti al paragrafo “5.6. *Collegamenti equipotenziali*”.

Quando si parla di impianti di terra, generalmente è possibile identificare i componenti che verranno riassunti nei paragrafi successivi.

Gli elementi posati intenzionalmente a diretto contatto col terreno allo scopo di disperdere le correnti di guasto sono denominati **dispersori intenzionali** (elemento 1 in figura 5.1) e sono solitamente realizzati con picchetti, puntazze, piastre oppure corde nude interrato orizzontalmente. Se si vuole poter ispezionare questi dispersori è necessario prevedere idonei **pozzetti** (elemento 6 in figura 5.1); si ricorda comunque che l’ispezionabilità del dispersore non è obbligatoria.

Esistono poi strutture metalliche interrato come ferri d’armatura e tubazioni metalliche dell’acqua che non vengono ovviamente realizzate con lo scopo di disperdere le correnti di guasto nel terreno, ma possono contribuirvi in molti casi meglio degli elementi posati intenzionalmente. Per questo motivo vengono chiamati **dispersori di fatto** (elemento 2 in figura 5.1).

Il nodo, inteso come punto su cui convergono tutti gli elementi costituenti l’impianto di terra, si chiama **collettore di terra** (elemento 4 in figura 5.1) ed è solitamente realizzato mediante una sbarra o una morsettiera.

Il conduttore che collega i dispersori fra loro e al collettore di terra si chiama **conduttore di terra** (elemento 3 in figura 5.1) e gli eventuali tratti di corda nuda a contatto col terreno devono essere considerati parte del dispersore.

Le masse estranee entranti nell'edificio (proseguendo la lettura si vedrà meglio di cosa si tratta, ma è possibile individuarle genericamente come tubazioni dell'acqua, del gas, ecc.) sono collegate al collettore di terra mediante i cosiddetti **collegamenti equipotenziali principali** (elemento 5 in figura 5.1).

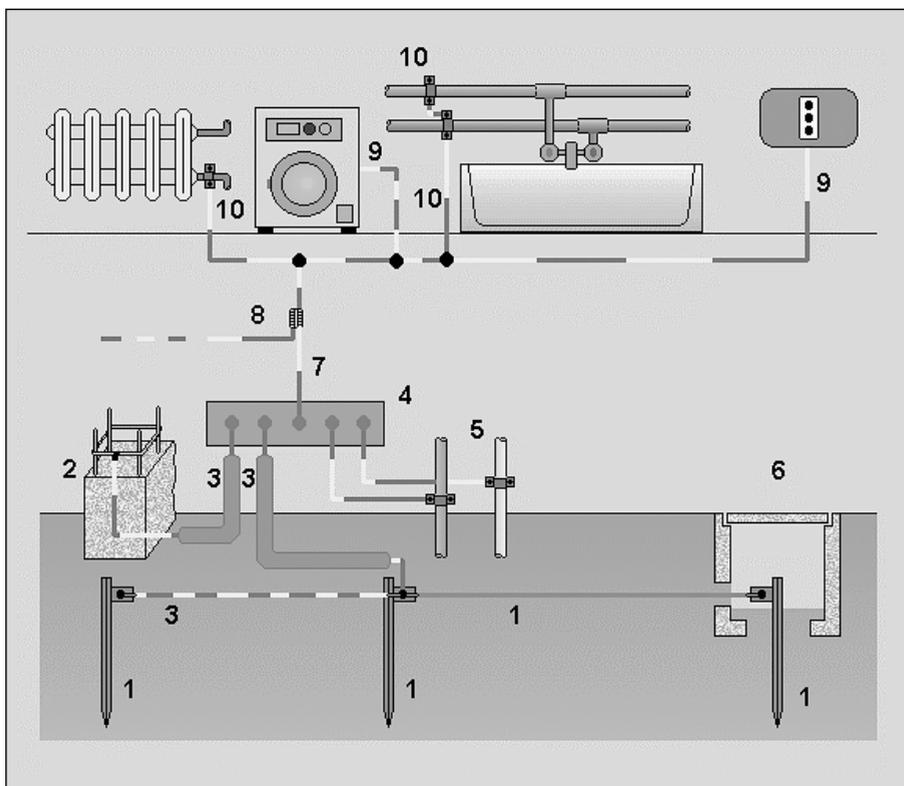


Figura 5.1. Elementi costituenti un impianto di terra

Le masse (anche in questo caso verranno analizzate meglio nel seguito della trattazione, ma si possono genericamente identificare come le carcasse metalliche di elettrodomestici e lampadari) sono collegate al collettore di terra mediante il **conduttore di protezione**.

Nei locali a maggior rischio elettrico (come i locali da bagno), per migliorare ulteriormente la sicurezza, vengono realizzati **collegamenti equipotenziali supplementari** che hanno lo scopo di collegare le masse estranee locali (ad esempio tubazioni metalliche dell'acqua e del riscaldamento) fra loro e con l'impianto di terra.

5.1.1. Definizione di massa

Si definisce massa una parte conduttrice, facente parte dell'impianto elettrico, che può essere toccata e che non è in tensione in condizioni ordinarie di isolamento, ma che può andare in tensione in caso di cedimento dell'isolamento principale.

È fondamentale spiegare meglio il significato della definizione.

- **Parte conduttrice**

Una massa è necessariamente una parte metallica.

- **Facente parte dell'impianto elettrico**

Si può genericamente affermare che se una parte metallica è separata da conduttori attivi tramite un isolamento principale, questa parte è sicuramente una massa. Se fosse chiesto di fare un esempio di massa, molti risponderebbero probabilmente la carcassa della lavatrice. Questo perché la carcassa è parte integrante dell'apparecchiatura ed è separata dai conduttori attivi da un semplice isolamento.



Figura 5.2. *Massa non in tensione*



Figura 5.3. *massa in tensione*

- **Che può essere toccata**

Per prima cosa è bene chiarire che il termine “può essere toccata” è ben diverso dal dire “a portata di mano”. Un oggetto a portata di mano si trova genericamente sotto i 2,5 metri dal piano di calpestio, mentre quando si afferma che una parte può essere toccata, ci si riferisce al fatto che non è racchiusa da un involucro isolante. La struttura metallica di un lampadario posto ad oltre 2,5 m dal pavimento può essere toccata inavvertitamente da un operatore che sta lavorando nell'ambiente usando una scala. Quindi è da considerare una massa anche se è fuori portata di mano.



Figura 5.4. *Le parti metalliche del lampadario sono masse*

– **Cedimento dell'isolamento principale**

Se il componente elettrico presenta un doppio isolamento, la sua carcassa non è una massa e non va quindi collegata a terra.

5.1.2. Definizione di massa estranea

Per massa estranea si intende una parte conduttrice non facente parte dell'impianto elettrico, ma che è in grado di introdurre nell'impianto un potenziale. Un esempio tipico di masse estranee sono le tubazioni metalliche di acqua e gas entranti nell'edificio. Poiché la massa estranea può introdurre un potenziale, toccando contemporaneamente una massa ed una massa estranea, si potrebbe essere sottoposti a una differenza di potenziale pericolosa. Per ovviare a questo inconveniente, le masse estranee devono essere collegate all'impianto di terra all'ingresso nell'edificio mediante un collegamento equipotenziale definito "principale".

Inoltre, negli ambienti a maggior rischio elettrico (ad es. locali contenenti bagni e docce, piscine, locali ad uso medico, ecc.), le masse estranee devono essere rese equipotenziali anche localmente con collegamenti definiti "supplementari".



Figura 5.5. Collegamento equipotenziale principale

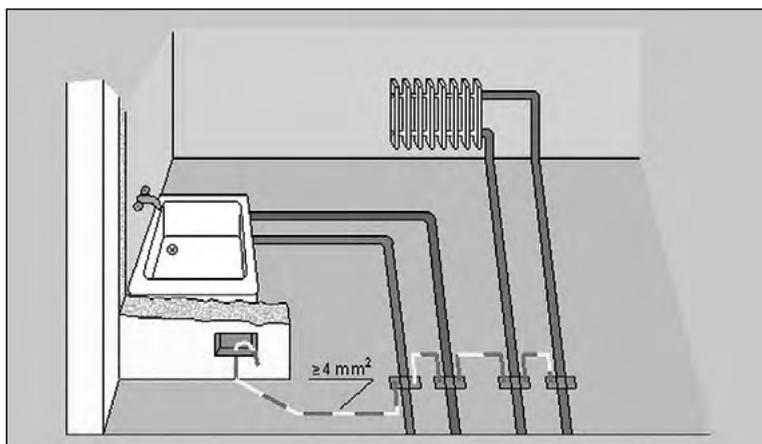


Figura 5.6. Collegamento equipotenziale supplementare

Mentre nel caso tubazioni metalliche si è praticamente sempre certi che si tratti di masse estranee, per altre parti metalliche quali, ad esempio, canali dell'aria, serramenti, scale, ecc. non è così semplice definire se si tratti di masse estranee oppure no.

La norma afferma che si devono considerare masse estranee le parti metalliche aventi resistenza verso terra inferiore a 1000 ohm per gli ambienti ordinari e 200 Ohm per quelli a maggior rischio elettrico (vedi figura 5.7).

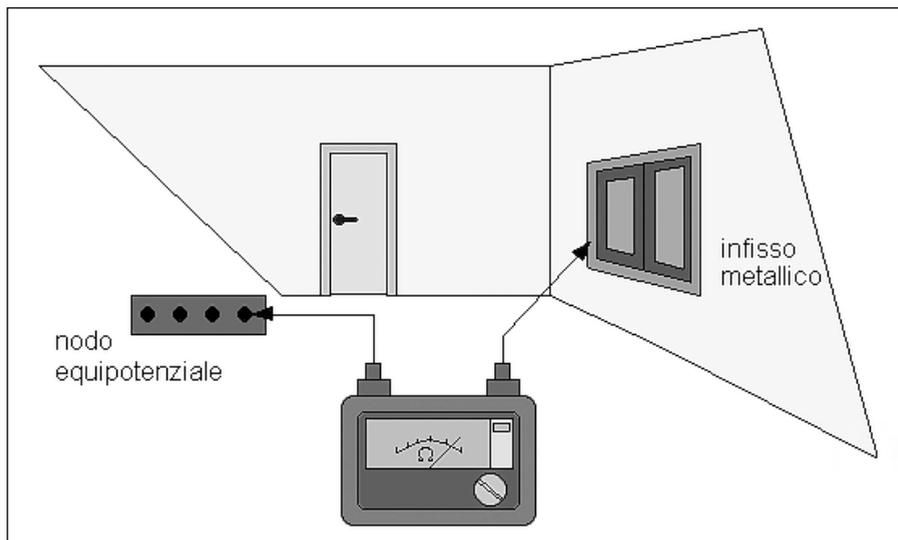


Figura 5.7. Come valutare se una parte metallica è una massa estranea

5.2. Dispensore

Il dispersore è un elemento o un insieme di elementi metallici a contatto col terreno atto a disperdere le correnti di guasto.

Un classico esempio di dispersore sono le puntazze, i picchetti, le piastre, ecc.. Quando una corda in rame nudo interconnette fra loro dei picchetti, la corda diventa anch'essa un dispersore.

Nel progettare e realizzare un dispersore occorre tenere presente che questo dovrà essere:

- idoneamente dimensionato per sopportare le sollecitazioni termiche dovute a eventuali correnti di guasto che lo attraversino;
- idoneamente dimensionato o protetto per sopportare le sollecitazioni meccaniche a cui viene sottoposto;
- idoneamente dimensionato per evitare effetti di corrosione.

Per quanto riguarda le sollecitazioni termiche, è esperienza comune che se il dispersore è idoneo per sopportare le sollecitazioni meccaniche e chimiche (effetti di corrosione), lo è anche per sopportare le sollecitazioni termiche. La norma stabilisce pertanto le dimensioni minime per i dispersori intenzionali al fine di assicurare una sufficiente resistenza alle sollecitazioni meccaniche e alla corrosione.

Queste dimensioni sono riportate in figura 5.8.

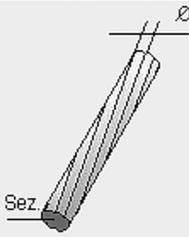
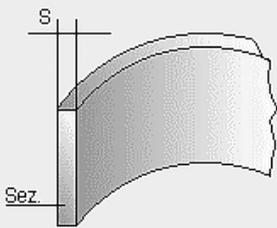
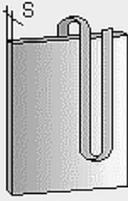
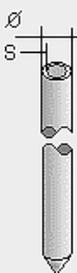
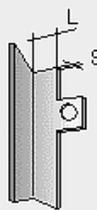
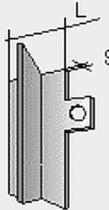
			
CONDUTTORE CORDATO	TONDINO O CONDUTTORE MASSICCIO	NASTRO	PIASTRA
- acciaio zincato Sez. = 50 mm ² Ø = 1,8 mm	- acciaio zincato Sez. = 50 mm ² Ø = 1,8 mm	- acciaio zincato Sez. = 100 mm ² S = 3 mm	- acciaio zincato S = 3 mm
- rame Sez. = 35 mm ² Ø = 1,8 mm	- rame Sez. = 35 mm ² Ø = 1,8 mm	- rame Sez. = 50 mm ² S = 3 mm	- rame S = 3 mm
			
PICCHETTO A TUBO	PICCHETTO MASSICCIO	DISPENSORE (L o T)	DISPENSORE A CROCE
- acciaio zincato S = 2 mm Ø = 40 mm	- acciaio zincato Ø = 20 mm	- acciaio zincato L = 50 mm S = 5 mm	- acciaio zincato L = 50 mm S = 5 mm
- rame S = 3 mm Ø = 30 mm	- acciaio ramato Ø = 15 mm	- rame L = 50 mm S = 5 mm	- rame L = 50 mm S = 5 mm
	- rame Ø = 15 mm		

Figura 5.8. Dimensioni minime del dispersore di terra

Per limitare ulteriormente gli effetti della corrosione occorre evitare, quando possibile, l'unione di metalli molto distanti nella scala dei potenziali elettrochimici.

È del tutto evidente che questi argomenti mal si sposano con le conoscenze di un elettrotecnico, per cui nel seguito vengono riassunte le principali regole da seguire:

- 1) Per collegare rame e ferro, devono essere impiegati morsetti dichiarati adatti dal costruttore. In ambienti molto aggressivi, si consiglia inoltre di rendere la giunzione impermeabile ad aria ed acqua mediante nastrature con materiali autovulcanizzanti, vernici, resine o catrame.

Come si può capire dalla figura 5.9, quando si giuntano una corda di rame e un ferro d'armatura, il morsetto deve essere realizzato con una lega anti-corrosione in ottone o bronzo.

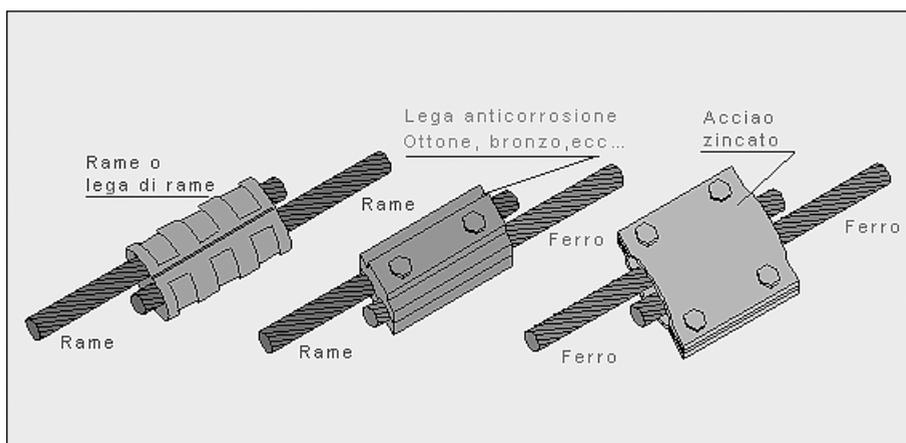


Figura 5.9. Morsetti anti-corrosione

- 2) Quando si esegue una giunzione fra acciaio zincato e rame (prassi comune negli impianti di terra), per evitare la corrosione fra zinco e rame, si deve utilizzare per la giunzione un metallo con potenziale elettrochimico intermedio come il bronzo o l'ottone, oppure utilizzare capocorda stagnati o cadmiati.

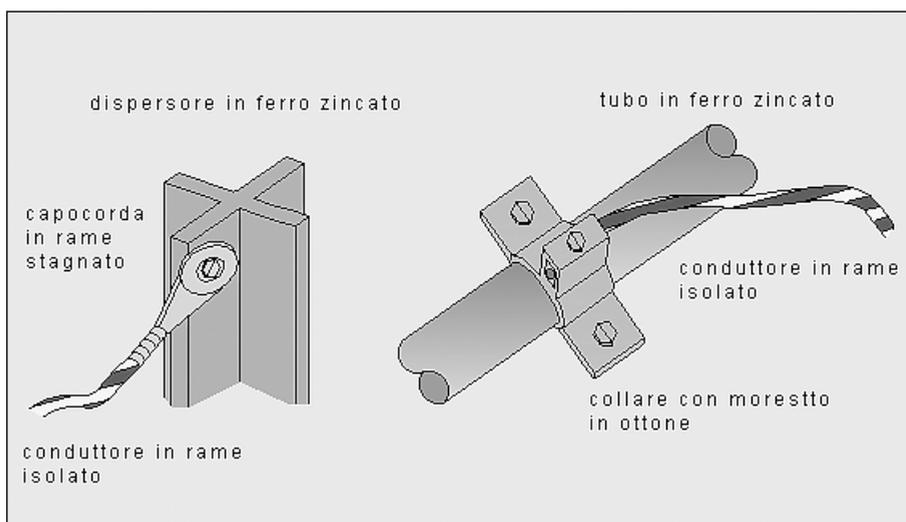


Figura 5.10. Giunzioni anti-corrosione

- 3) Se nel collegamento dei ferri d'armatura si utilizzano corde di ferro zincato anziché in rame, si può evitare la corrosione della corda zincata proteggendo la superficie della giunzione con catrame o resine e nastrandolo con cura la corda fino al collegamento col dispersore.

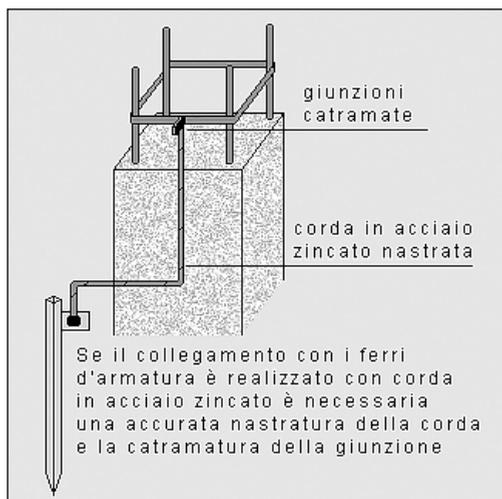


Figura 5.11. Collegamenti anti-corrosione dei ferri di armatura

5.3. Conduttore di terra

Come già indicato, il conduttore che collega i dispersori fra loro e/o al collettore di terra si chiama conduttore di terra. Se questo conduttore è nudo e posato a contatto col terreno, svolge anche la funzione di dispersore. Questa distinzione è importante dal punto di vista operativo perché se un conduttore di terra è anche dispersore, deve presentare le dimensioni minime già considerate al punto precedente relativamente ai dispersori (25 mm² con filo elementare 1,8 mm se corda in rame).

Se invece il conduttore di terra è isolato oppure installato a vista, non svolge più la funzione di dispersore e le dimensioni possono essere quelle riportate nella tabella 5.1.

Tabella 5.1. Sezioni minime del conduttore di terra

	Protetti meccanicamente		Non protetti meccanicamente
Protetto contro la corrosione	se $S \leq 16$ se $16 < S \leq 35$ se $S > 35$	$S_t = S$ $S_t = 16$ $S_t = S/2$	16 mm ² se in rame 16 mm ² se in ferro zincato
Non protetto	25 mm ² se in rame 50 mm ² se in ferro zincato		
S = sezione del conduttore di fase S_t = sezione del conduttore di terra			

È bene evidenziare che se un conduttore di terra nudo è installato interrato, ma dentro un tubo, è protetto meccanicamente ma non contro la corrosione in quanto l'acqua può entrare nel tubo. È dunque sempre consigliabile proteggere mediante tubi, solitamente in PVC, la parte interrata ed emergente dal terreno per migliorare le difese contro la corrosione e gli urti.

Al fine di semplificare le cose e considerata la differenza di costo non significativa, personalmente sono propenso ad usare come conduttore di terra sempre indistintamente una

corda nuda da 35 mm² (anche perché migliora sicuramente il valore di resistenza di terra dell'impianto in quanto svolge anche la funzione di dispersore). Si tratta comunque solo di un'opinione personale; se si ritiene di adottare una soluzione non standardizzata, in figura 5.12 sono riassunte le minime sezioni normative richieste per il conduttore di terra.

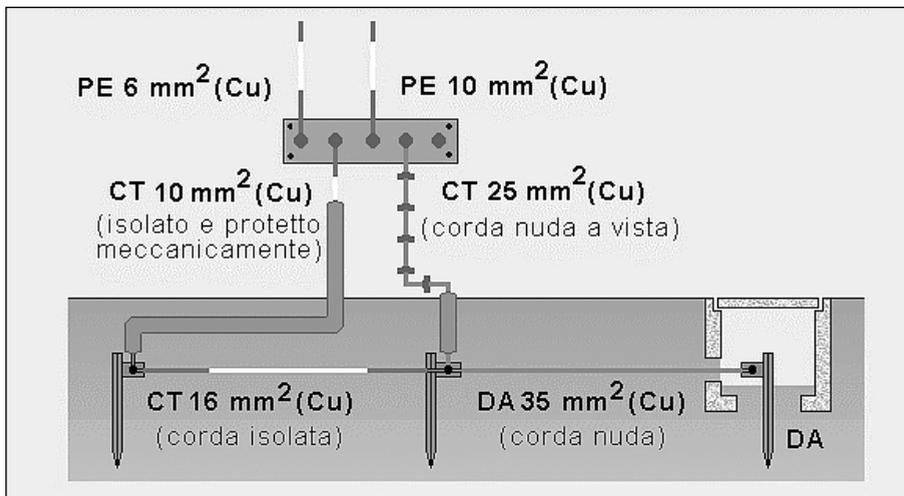


Figura 5.12. Sezioni minime conduttore di terra

5.4. Collettore di terra

Ogni impianto di terra deve disporre di un collettore principale di terra che può essere una piastra metallica in acciaio zincato o in rame stagnato o cadmiato o un'apposita morsettieria.



Figura 5.13. Collettore di terra

5.5. Conduttore di protezione

Il conduttore che collega le masse all'impianto di terra (solitamente attestandosi sul collettore) viene chiamato conduttore di protezione. In pratica è quello che viene comunemente denominato "cavo di terra" o più semplicemente "la terra". Questo conduttore viene identificato dal colore giallo/verde e viene siglato sugli schemi elettrici col termine PE.

Durante il funzionamento ordinario questo conduttore non è percorso da corrente, ma lo diventa quando si verifica un guasto a terra.

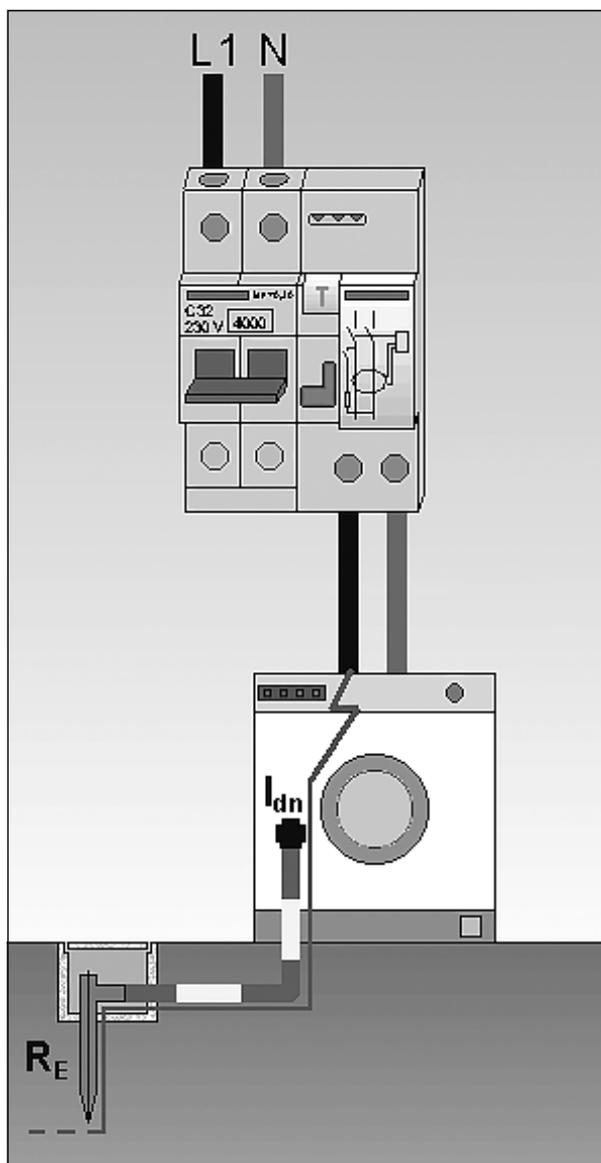


Figura 5.14. Il conduttore di protezione è percorso da corrente solo a seguito di un guasto verso terra

Pertanto questo conduttore deve essere dimensionato per sopportare le sollecitazioni termiche dovute alla corrente verso terra che si presenta in caso di guasto. Per il dimensionamento termico si può fare ricorso a calcoli oppure, più semplicemente, alle indicazioni normative che legano la sezione del conduttore di protezione alla sezione del conduttore di fase dello stesso circuito.

Tabella 5.2. Sezione del conduttore di protezione

Sezione S_F conduttore di fase (mm^2)	Sezione S_P del corrispondente conduttore di protezione (mm^2)
≤ 16	$S_F = S_P$
$16 < S_F \leq 35$	16
$S_F > 35$	$S_P = S_F / 2$

Se la sezione che si ricava dalla relazione $S_F/2$ non è compresa fra le sezioni unificate è ammesso adottare quella che più si avvicina a quella calcolata. Tale procedimento è valido solo se il conduttore di protezione è costituito dallo stesso materiale del conduttore di fase.

Quando il conduttore di protezione non fa parte della conduttura di alimentazione non deve, in ogni caso, essere inferiore a $2,5 \text{ mm}^2$ se è prevista una protezione meccanica del conduttore stesso (tubo di protezione) e a 4 mm^2 se non è prevista una protezione meccanica. In figura 5.15 è possibile ritrovare alcuni esempi di dimensionamento del conduttore di protezione.

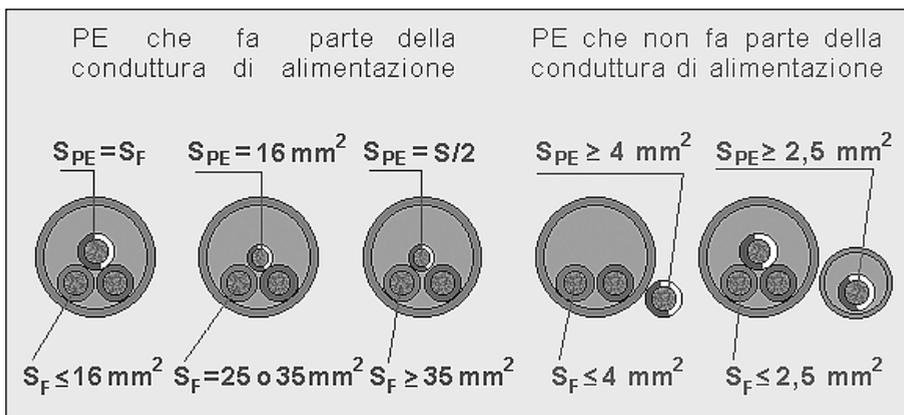


Figura 5.15. Scelta della sezione del conduttore di protezione

5.6. Collegamenti equipotenziali

5.6.1. Perché si realizzano i collegamenti equipotenziali

Per capire il motivo per cui si realizzano i collegamenti equipotenziali è sufficiente sapere che il corpo umano subisce danni quando è attraversato da corrente elettrica ed avere qualche

semplice nozione di elettrotecnica. Ovviamente tanto maggiore sarà in ampiezza e durata nel tempo la corrente che attraversa il corpo umano e tanto maggiori saranno i danni che riesce a fare. È intuitivo dedurre che, se si riesce a limitare la corrente che fluisce, si limitano anche i danni che questa provoca. Ma quando si ha una circolazione di corrente? Come abbiamo già visto al capitolo 1, per far fluire corrente elettrica fra due punti, occorre che fra questi due punti sia presente una differenza di potenziale (conosciuta anche come tensione).

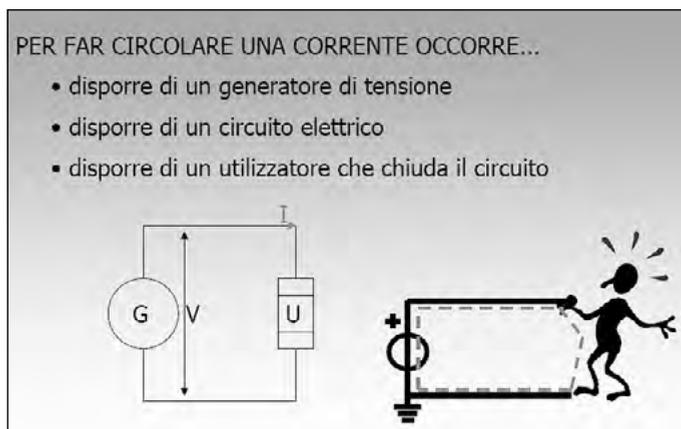


Figura 5.16. *Circuito elettrico tipico*

In base a quanto detto finora, minore è la differenza di potenziale a cui una persona può essere sottoposta, minore è il rischio elettrico che corre questa persona. Per assurdo, se fosse possibile creare solo superfici equipotenziali, il rischio elettrico si annullerebbe. Questo perché per il corpo umano non è tanto pericoloso il potenziale a cui si trova, ma la differenza di potenziale a cui è sottoposto (è il principio dell'uccellino sul cavo dell'alta tensione che si trova sì a potenziale elevatissimo rispetto a terra, ma tocca sempre e solo quel potenziale).

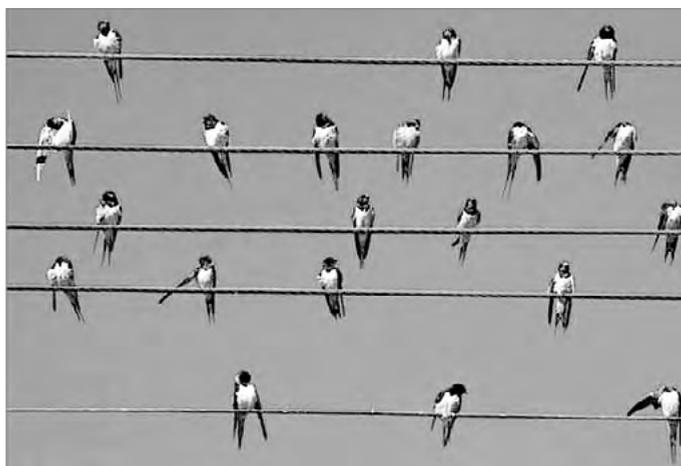


Figura 5.17. *Uccelli su singolo cavo in tensione non sottoposti a differenza di potenziale*



Figura 5.18. *Uccello sfortunato che è stato sottoposto a differenza di potenziale (terra – cavo in tensione)*

Come dice il nome stesso, i collegamenti equipotenziali servono a rendere il più basso possibile eventuali differenze di potenziale fra due parti conduttrici contemporaneamente accessibili a una persona. I collegamenti equipotenziali si realizzano fra impianto di terra (a cui sono collegate le masse) e masse estranee. Quelli realizzati all'ingresso nell'edificio, vengono denominati collegamenti equipotenziali principali; quelli realizzati per aumentare la sicurezza in ambienti a maggior rischio elettrico (ad esempio locali contenenti vasche da bagno o docce) vengono chiamati collegamenti equipotenziali supplementari.

5.6.2. Collegamenti equipotenziali principali

Come già descritto in precedenza, sono definiti “principali” i collegamenti equipotenziali fra le masse estranee entranti alla base dell'edificio (come ad esempio tubazioni metalliche di acqua e gas, ecc.) al nodo principale di terra. Non essendo conduttori attivi e non dovendo sopportare gravose correnti di guasto, il loro dimensionamento non segue regole legate alla portata, ma alla resistenza meccanica del collegamento.

La norma afferma che i conduttori equipotenziali principali in rame devono presentare una sezione pari alla metà del conduttore di protezione di sezione maggiore, con un minimo di 6 mm² ed un massimo di 25 mm².

Tabella 5.3. *Sezione del conduttore equipotenziale*

Conduttori equipotenziali	Sezione del conduttore di protezione principale PE [mm ²]	Sezione del conduttore equipotenziale [mm ²]
Principale EQP	≤ 10	6
	16	10
	25	16
	> 35	25

I collegamenti equipotenziali delle tubazioni idriche devono essere effettuati utilizzando appositi morsetti a collare di materiale adatto ad evitare il formarsi di coppie galvaniche che potrebbero favorire la corrosione. Vedasi in tal proposito le indicazioni riportate al punto 5.2 (dispersore).



Figura 5.19. Morsetti a collare per collegamenti equipotenziali

Merita a questo punto una nota l'annosa diatriba fra elettricisti e società di gestione della distribuzione del gas che, a volte, si oppongono alla realizzazione del collegamento equipotenziale principale sulle loro tubazioni. Se un addetto di queste società si spingesse addirittura a rimuovere questo collegamento, è opportuno ricordargli che sta commettendo un reato ai sensi dell'articolo 437 del codice penale (Rimozione od omissione dolosa di cautele contro infortuni sul lavoro) in quanto ha rimosso un collegamento necessario ad evitare infortuni.

5.6.3. Collegamenti equipotenziali supplementari

I collegamenti equipotenziali supplementari sono obbligatori solo in particolari situazioni ambientali (chiamate anche “luoghi a maggior rischio elettrico”) come ad esempio nei bagni, nelle piscine, nei cantieri edili, ecc.. Sono obbligatori anche nei locali medici di gruppo 1 e 2 (a tal proposito ricordiamo che uno studio dentistico o una cabina di dermocosmesi sono classificabili come locali medici di gruppo 1). Inoltre forse non tutti sanno che sono necessari anche all'interno degli ambienti ove sia previsto il ricovero di animali (ambienti zootecnici). Come già detto, i collegamenti equipotenziali supplementari hanno lo scopo di collegare le masse estranee locali (ad esempio tubazioni metalliche dell'acqua e del riscaldamento) fra loro e con l'impianto di terra.

Ad onor del vero, risulta evidente che, stante l'attuale tecnologia del settore idraulico che prevede, in ambito civile, l'utilizzo di tubazioni completamente in materiale isolante, i collegamenti equipotenziali supplementari di un ambiente residenziale si riducono notevolmente rispetto al passato. La stessa cosa non si può dire nell'ambito zootecnico dove l'utilizzo di tubazioni metalliche per evitare che gli animali le danneggino o l'elevata presenza di greppie e mangiatoie in ferro, rendono i collegamenti equipotenziali supplementari un argomento assolutamente attuale e, purtroppo, molte volte disatteso. Inoltre, nelle stalle di nuova costruzione, risulta assolutamente fondamentale collegare all'impianto di terra anche la rete elettrosaldata annegata nel pavimento proprio per poter creare un'ampia superficie il più possibile equipotenziale.

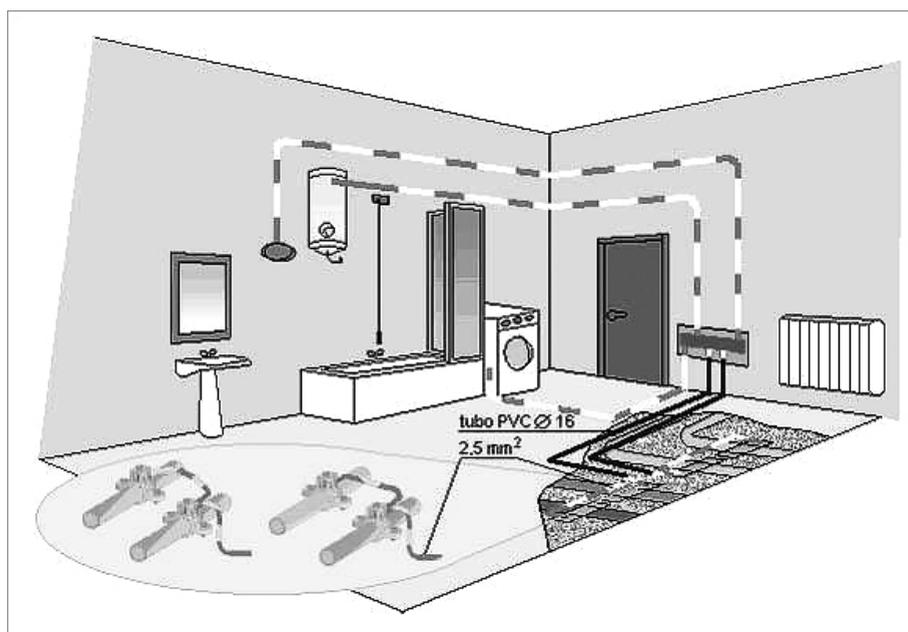


Figura 5.20. Collegamento equipotenziale supplementare in un bagno

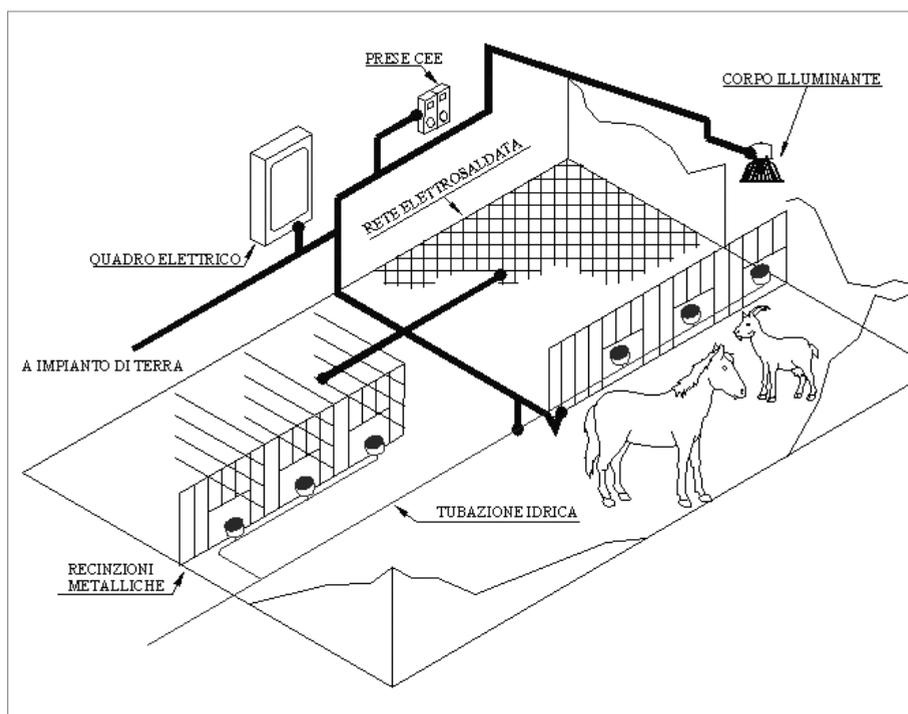


Figura 5.21. Collegamenti equipotenziali in una stalla

Per il dimensionamento dei conduttori equipotenziali supplementari, è richiesto che questi presentino una sezione non inferiore a 2,5 mm² se protetti meccanicamente (posati entro tubazione) oppure 4 mm² se non protetti (posato a vista). Come nei collegamenti equipotenziali principali, è necessario utilizzare appositi morsetti a collare di materiale adatto ad evitare il formarsi di coppie galvaniche che potrebbero favorire la corrosione.

5.7. Coordinamento impianto di terra – protezioni differenziali

Prima di procedere oltre, è importante sfatare un mito che probabilmente molti si portano dietro fin dai tempi della scuola. Questo mito consiste nella convinzione che sia importante avere un impianto di terra con resistenza il più bassa possibile in modo che, in caso di guasto a terra, la corrente elettrica di guasto “preferisca” passare attraverso l’impianto di terra che non attraverso il corpo umano. Spiegare il perché questa affermazione sia sbagliata esula dagli scopi di questo volume e richiederebbe molto tempo. L’aspetto importante da chiarire è che in passato si cercava di ottenere resistenze di terra molto basse perché queste determinavano elevate correnti di guasto a terra ed elevate correnti di guasto a terra determinavano a loro volta un rapido intervento delle protezioni. Per cui lo scopo di avere basse resistenze di terra era quello di interrompere molto rapidamente l’alimentazione del circuito affetto da guasto.

Nel seguito ci si concentrerà sugli aspetti legati agli impianti con fornitura in bassa tensione (sistema TT) tralasciando quelli con fornitura in media o alta tensione perché poco significativi per gli scopi di un volume dedicato al “dimensionamento rapido”.

5.7.1. Pericoli per la persona in seguito ad un guasto a terra

Se una persona sta toccando la carcassa nel momento del guasto, nel peggiore dei casi (se cioè i collegamenti equipotenziali sono totalmente inefficaci e la persona è in contatto, oltre che con la massa in tensione, anche con una superficie conduttrice che si trova a potenziale 0) sarà sottoposta a una differenza di potenziale pari al valore della corrente di guasto moltiplicato per il valore di resistenza di terra dell’impianto disperdente (legge di ohm $V = R * I$).

Per fare in modo che questa differenza di potenziale a cui è sottoposta la persona sia eliminata in tempi sufficientemente rapidi in modo da non diventare pericolosa per la persona stessa, è necessario sia soddisfatta la seguente condizione:

$$R_a * I_a < 50 \text{ V}$$

dove:

R_a = misura resistenza di terra impianto disperdente;

I_a = corrente nominale dell’interruttore differenziale (Ampere).

In caso di ambienti a maggior rischio elettrico (locali contenenti bagni o docce, cantieri, locali per ricovero di animali, locali ad uso medico, ecc.) il valore 50 V viene ridotto a 25 V.

Inoltre, nei sistemi TT, è impossibile ottenere la sicurezza delle persone in caso di guasti a terra (contatti indiretti) ricorrendo a semplici interruttori magnetotermici, ma è indispensabile utilizzare dispositivi differenziali.

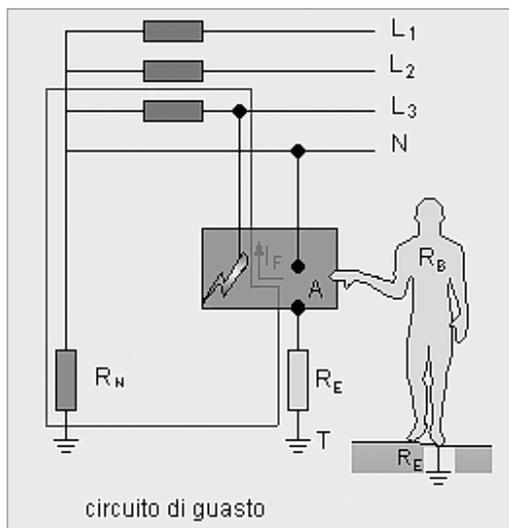


Figura 5.22. Contatto con apparecchio guasto che presenta cedimento di isolamento

5.7.2. Esempi di coordinamento

Le tabelle seguenti forniscono il massimo valore di resistenza di terra che può presentare l'impianto disperdente in base all'interruttore differenziale installato nel caso di ambienti ordinari; per il valore da considerare in caso di ambienti a maggior rischio è sufficiente dimezzare il valore di resistenza di terra indicato in tabella.

Tabella 5.4. Coordinamento protezione differenziale / impianto di terra

I_{dn} (A)	R_e (ohm)
0,01	5000
0,03	1666
0,1	500
0,3	166
0,5	100
1	50

In caso di più interruttori differenziali presenti nell'impianto, il valore di I_{dn} da considerare è quello più elevato. Se ad esempio in un impianto ordinario sono presenti dispositivi differenziali aventi I_{dn} pari a 30 mA e 300 mA, è necessario che la resistenza di terra sia inferiore a 167 ohm ($50/0,3$).

5.7.3. Considerazioni aggiuntive sul valore di resistenza di terra riscontrato

Quanto considerato finora in merito al valore massimo di resistenza di terra rappresenta un riassunto di cosa dice la norma. È tuttavia del tutto evidente che, anche solo per buon

senso, se l'impianto di terra presenta una resistenza di qualche centinaia di ohm è probabile che ci sia qualcosa che non va, ad esempio che un conduttore sia scollegato. Questo perché anche un semplice picchetto di lunghezza 150 cm infisso in terreno vegetale secco (resistività $100 \text{ ohm} \cdot \text{m}$) è in grado di raggiungere da solo un valore di resistenza di terra di circa 60-70 ohm.

Al contrario, se un impianto di terra presenta una resistenza di 40-50 ohm è inutile incaponirsi a voler abbassarne la resistenza andando ad aggiungere un'infinità di picchetti perché comunque, grazie all'utilizzo dei dispositivi differenziali, la condizione che garantisce la protezione contro i contatti indiretti è soddisfatta.

Ultima nota per concludere l'argomento: se qualcuno si troverà ad aver a che fare con impianti alimentati in media tensione, non cerchi di estrapolare per analogia quanto detto in questo volume relativamente al massimo valore di resistenza di terra accettabile, perché in quel caso è necessario attuare anche la protezione contro i contatti indiretti sul lato media tensione e le considerazioni da fare sono totalmente diverse.

5.8. Impianti di terra condominiali – criticità

In un edificio di tipo condominiale gli impianti elettrici dei singoli inquilini e dei servizi comuni sono alimentati direttamente in bassa tensione (sistema TT) e devono essere quindi protetti da interruttori differenziali. Se l'impianto elettrico di un'unità immobiliare facente parte di un condomino è privo di interruttore differenziale, oppure il differenziale non funziona correttamente, in seguito ad un guasto a terra (vedi figura 5.23), l'impianto di terra condominiale assume la tensione totale di terra.

Se un condomino "A" non fosse dotato di protezione differenziale (condizione indispensabile per garantire la sicurezza delle persone in caso di guasto a terra), ma di sola protezione magnetotermica, a seguito di un guasto a terra nell'impianto del condomino A, l'interruttore differenziale che protegge le masse in tensione del condomino B non può intervenire perché non sente alcuno squilibrio di corrente, mentre la protezione magnetotermica del condomino A non riesce a intervenire in tempi idonei in quanto la corrente di guasto a terra è troppo poco elevata per determinarne lo scatto magnetico. Anche quando una persona tocca la massa in tensione, il differenziale non può intervenire, in quanto la corrente attraversa la persona, ma non il differenziale.

In questa situazione critica una persona può morire folgorata. In un complesso condominiale è pertanto essenziale, per garantire la sicurezza contro i rischi elettrici legati ai contatti indiretti, che tutti gli impianti siano dotati di dispositivi differenziali funzionanti. L'amministratore dovrebbe pertanto ricordare a tutti i condomini, tramite circolare o durante le riunioni condominiali, l'obbligo di cui all'art. 6, comma 3 del D.M. n. 37/2008 che impone loro l'installazione e la verifica della funzionalità dei dispositivi differenziali.

NOTA – Gli impianti elettrici nelle unità immobiliari ad uso abitativo realizzati prima del 13 marzo 1990 si considerano adeguati se dotati di sezionamento e protezione contro le sovracorrenti posti all'origine dell'impianto, di protezione contro i contatti diretti, di protezione contro i contatti indiretti o protezione con interruttore differenziale avente corrente differenziale nominale non superiore a 30 mA.

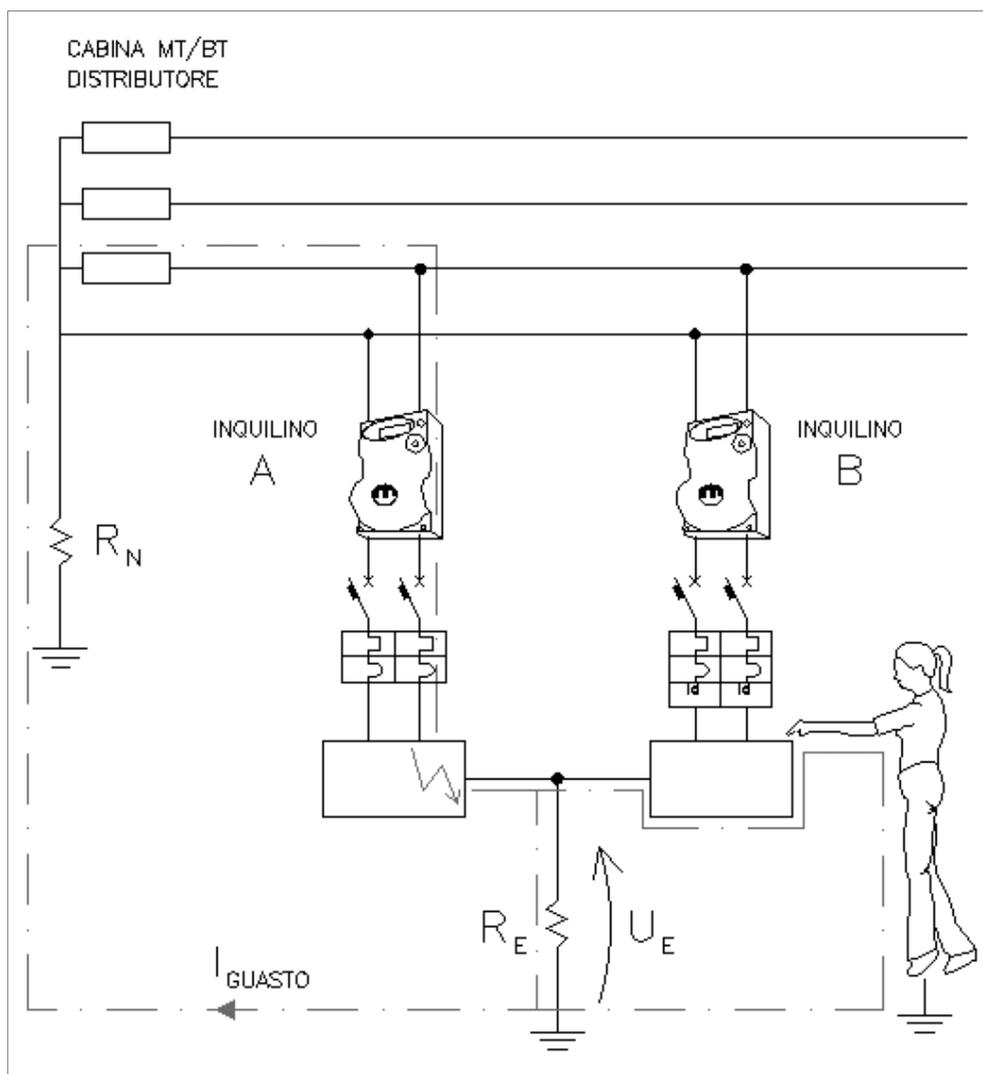


Figura 5.23. Andata in tensione delle masse a causa di guasto a terra su altro impianto

Poiché tuttavia risulta oggettivamente difficile verificare che tutte le unità immobiliari facenti parte del complesso condominiale siano effettivamente dotate di protezioni differenziali idonee e funzionanti, la norma CEI 64-8 cerca di ovviare a questa criticità imponendo di realizzare aree il più possibile equipotenziali in modo da ridurre le differenze di potenziale (tensioni) a cui una persona può essere sottoposta toccando due parti conduttrici contemporaneamente accessibili.

Questa misura di protezione si raggiunge realizzando i collegamenti equipotenziali il cui principio è proprio quello di portare al potenziale più simile possibile tutte le superfici contemporaneamente accessibili ad una persona. I collegamenti equipotenziali sono stati abbon-

dantemente trattati precedentemente; in figura 5.24 è possibile riscontrare che a seguito di un guasto verso terra in un qualunque appartamento del condominio, la persona è parzialmente tutelata dal rischio elettrico mediante il collegamento equipotenziale.

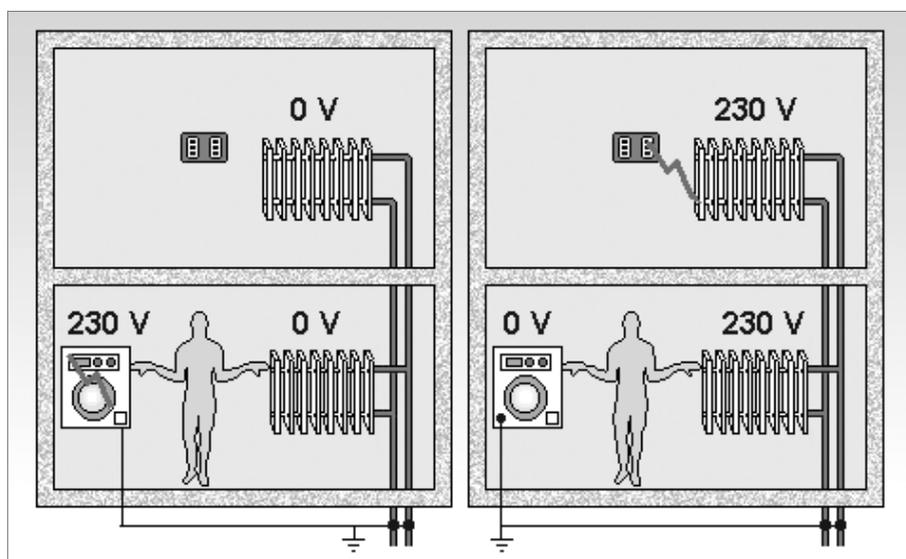


Figura 5.24. Efficacia dei collegamenti equipotenziali