

Schede di calcolo

□ 9.1. Calcolo e dimensionamento dell'impianto di messa a terra

L'impianto di messa a terra è, come si è detto, uno dei principali sistemi di protezione, pertanto è necessario che esso soddisfi tutte le prescrizioni di sicurezza ad esso associate.

I requisiti essenziali sono (vedi figura XIII):

- l'impianto dovrà avere una resistenza di terra che sia in accordo alle esigenze di protezione;
- il funzionamento dovrà essere efficiente nel tempo;
- i componenti dell'impianto di terra dovranno essere in grado di sopportare le correnti di guasto senza danno;
- i materiali che costituiscono l'impianto devono essere meccanicamente idonei o protetti da qualsiasi influenza esterna che ne possa alterare le caratteristiche di funzionalità o efficienza;
- i materiali e le relative dimensioni devono essere tali che effetti elettrolitici causati dal terreno non alterino o modifichino le caratteristiche meccaniche dei componenti di dispersione e che l'impianto non causi danni ad altre parti metalliche realizzate in prossimità.

L'impianto di messa a terra dovrà essere unico per tutto l'edificio o impianto, e ad esso saranno connesse tutte le masse, masse estranee, limitatori di sovratensione, impianto contro le scariche atmosferiche e quanto altro ne faccia parte in relazione alla complessità dell'impianto.

Dispensori

I dispersori potranno essere costituiti da diversi elementi metallici, principalmente in rame o acciaio zincato a caldo. Le tipologie principali, considerate dalla norma, sono:

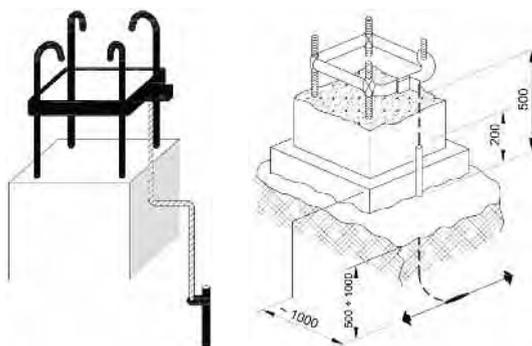
Tab. XV. Elementi dispersori

	Elettrodo	Dimensioni	Acciaio zincato	Rame
Per posa nel terreno	Piastre	Spessore (mm)	3	3
	Nastro	Spessore (mm)	3	3
		Sezione (mm ²)	100	50
	Tondino o conduttore massiccio	Sezione (mm ²)	50	35
	Conduttore cordato	Ø filo unitario	1.8	1.8
		Sezione corda (mm ²)	50	35
<i>(segue)</i>				

	Elettrodo	Dimensioni	Acciaio zincato	Rame
Per infissione nel terreno	Picchetto a tubo	Ø esterno	40	30
		Spessore (mm)	2	3
	Picchetto massiccio	Ø (mm)	20	15
		Spessore (mm)	5	5
	Picchetto in profilato	Dim. trasversale (mm)	50	50

Inoltre sono fortemente consigliati i ferri dell'armatura dei cementi armati incorporati nel terreno.

Tab. XVI. Strutture utilizzate come dispersori naturali



Le raccomandazioni in merito ai dispersori sono principalmente riferite alla quota di interramento al fine di evitare che i fenomeni di essiccamento o congelamento del terreno, possano aumentare il valore di resistenza di terra. In genere un valore minimo di 0.5 metri è un valore accettabile.

I materiali dovranno essere in grado di sopportare eventuali danni dovuti alla corrosione e in fase di dimensionamento sarà necessario considerare un possibile aumento della resistenza di terra per i motivi già menzionati.

I tubi metallici dell'acquedotto potrebbero essere utilizzati come dispersore solo previo accordo con l' esercente dell'Azienda erogatrice, che dovrà anche fornire informazioni su eventuali modifiche alla rete idrica, pertanto in genere è sconsigliato. È invece proibito utilizzare come dispersori le tubazioni che trasportano liquidi o gas infiammabili. Queste tubazioni dovranno invece essere collegate all'impianto di terra, essendo masse estranee.

Calcolo della resistenza di terra in funzione dell'impianto di dispersione

Per un corretto dimensionamento dell'impianto di messa terra si dovrà innanzitutto calcolare il valore della resistenza di terra. In questo calcolo entrano in gioco tre elementi fondamentali.

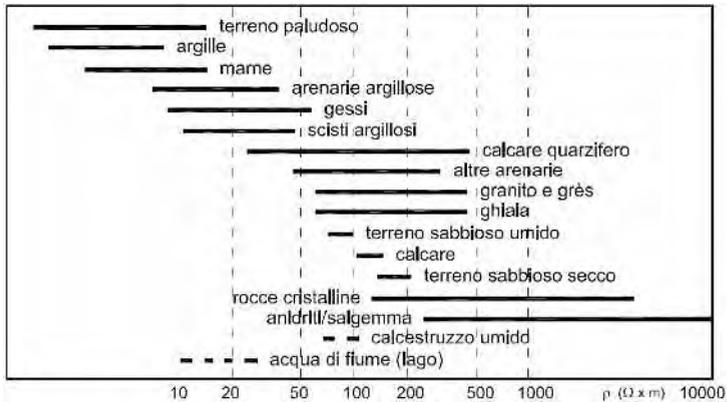
Il primo è la resistività media del terreno. Questa dipende dalle proprietà fisiche del terreno stesso. La seguente tabella XVII, indica i valori di riferimento per i vari terreni in relazione alla composizione fisica. Per ogni tipologia di terreno si assumerà, per il calcolo, il va-

lore maggiore. In caso di incertezza sulla tipologia di terreno si consiglia di riferirsi al valore di 500 ohm x metro.

Il secondo elemento è dato dal tipo di dispersore utilizzato e dalle sue dimensioni.

Il terzo dipende dalla conformazione fisica del sistema disperdente.

Tab. XVII. Tabella di resistività del terreno



Tab. XVIII. Formule di calcolo della resistenza di terra

Dispersore a picchetto	Formula
	$R_t = \frac{\rho}{L}$
Conduttore orizzontale	Formula
	$R_t = 2 \frac{\rho}{L}$
Anello	Formula
	$R_t = 1,5 \frac{\rho}{(a + b)}$
Maglia	Formula
	$R_t = \frac{\rho}{(a + b)}$
Lunghezze espresse in metri - ρ = resistività del terreno.	

Tab. XIX. Conduttori di terra

Dimensioni dei conduttori di terra		
	<i>Protetti meccanicamente</i>	<i>Non protetti meccanicamente</i>
Protetti contro la corrosione	Calcolati o da tabella ¹	Rame 16 mm ² Ferro zincato 16 mm ²
Non protetti contro la corrosione	Rame 25 mm ² Ferro zincato 50 mm ²	
¹ Sono utilizzati gli stessi calcoli e le stesse tabelle per il calcolo dei conduttori di protezione.		

La norma raccomanda di effettuare giunzioni accurate ed elettricamente soddisfacenti, senza arrecare danneggiamento ai dispersori. In genere queste giunzioni sono effettuate a mezzo di appositi raccordi bullonati.

Il conduttore di terra collega il sistema dei dispersori al nodo di terra. In questo tratto, in posizione accessibile, dovrà essere inserito un dispositivo di apertura (sezionatore di terra), generalmente costituito da una barra imbullonata alle due estremità, che sia apribile con attrezzo. Questo permetterà di disconnettere l'impianto dalla rete disperdente per effettuare la misurazione reale della resistenza di terra.

Collettore (o nodo) principale di terra

Il collettore di terra è costituito da una barra metallica, in genere di rame, al quale sono collegati:

- i conduttori di terra;
- i conduttori di protezione;
- i conduttori equipotenziali principali;
- i conduttori di terra funzionale (quando richiesto).

Nell'impianto possono essere realizzati più nodi di terra.

Il collettore può anche essere realizzato all'interno dei quadri elettrici.

Conduttori di protezione

Il conduttore di protezione (come per il conduttore di terra) potrà essere calcolato con la seguente formula:

$$S_p = \frac{\sqrt{(I^2 t)}}{K}$$

dove:

S_p sezione del conduttore di protezione in mm²;

I valore della corrente di guasto che percorre il conduttore di protezione per guasto di impedenza trascurabile;

t tempo di intervento del dispositivo di interruzione automatica dell'alimentazione;

K fattore che dipende dal tipo di conduttore:

- cavo in PVC unipolare in rame $K = 143$;
- cavo nudo in rame $K = 159$ (per ambienti ordinari);
- cavo nudo in rame $K = 138$ (per ambienti con pericolo di incendio).

I conduttori così calcolati dovranno essere unificati alla sezione immediatamente maggiore.

Il dimensionamento, sia per i conduttori di terra che per i conduttori di protezione, possono anche essere determinati secondo la seguente tabella. In tal caso non è richiesta l'esecuzione di ulteriori calcoli. La tabella è valida solo se i materiali che costituiscono i conduttori sono di materiale uguale a quelli utilizzati per i conduttori di fase.

Tab. XX. Rapporto sezione conduttore di terra/conduttore di fase

Sezione dei conduttori di fase dell'impianto S in mm^2	Sezione minima del corrispondente conduttore di protezione S_p in mm^2
$S \leq 16$	$S_p = 16$
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S_p = S/2$

In ogni caso valgono anche le seguenti prescrizioni:

- il conduttore di protezione non dovrà comunque essere inferiore a:
 - 2,5 mm^2 se è prevista una protezione meccanica;
 - 4 mm^2 se non è prevista nessuna protezione meccanica.

È ammesso che il conduttore di protezione sia unico per più circuiti, però in tal caso deve essere dimensionato in funzione del conduttore di fase con sezione maggiore.

I cavi di protezione possono essere generalmente costituiti da:

- conduttori unipolari nudi o da un'anima unipolare (con o senza guaina), posati nella stessa conduttura contenente i conduttori di fase.
- conduttori unipolari nudi o da un'anima unipolare (con o senza guaina), non facenti parte della stessa conduttura contenente i conduttori di fase.
- anime di cavi multipolari;
- involucri metallici, come le tubazioni e i canali che costituiscono le condutture.

È raccomandato che per i sistemi di protezione coordinate con i dispositivi contro le correnti di cortocircuito, come negli impianti TN, i conduttori di fase ed i relativi conduttori di terra facciano parte della stessa conduttura, o comunque posati nelle immediate vicinanze.

È essenziale, per garantire la corretta protezione dell'impianto di terra, che i conduttori di protezioni siano protetti meccanicamente contro la corrosione ed il danneggiamento e le giunzioni dovranno essere accessibili per manutenzione e misura.

Conduttori equipotenziali principali

I conduttori equipotenziali vengono dimensionati in relazione al conduttore di protezione con la seguente relazione:

$$EQP = S/2$$

EQP sezione del conduttore equipotenziale principale;

S sezione del conduttore di fase.

In ogni caso non dovrà essere di sezione inferiore a 6 mm^2 .

Inoltre non è richiesto che la sezione sia maggiore di 25 mm^2 (per conduttori di rame).

Conduttori equipotenziali supplementari

Dove richiesto i conduttori equipotenziali dovranno essere dimensionati secondo i seguenti criteri:

- il conduttore che collega due masse deve essere di sezione non inferiore al conduttore di sezione minore che collega una delle masse;
- se in conduttore collega una massa ed una massa estranea non dovrà essere di sezione inferiore alla metà del relativo conduttore di protezione che collega la massa.

Anche in questo caso devono essere rispettate le seguenti prescrizioni:

- il conduttore EQS non dovrà comunque essere inferiore a:
 - 2,5 mm² se è prevista una protezione meccanica;
 - 4 mm² se non è prevista nessuna protezione meccanica.

□ **9.2. Dimensionamento e selettività degli interruttori differenziali**

In un impianto elettrico possiamo avere più livelli di protezione realizzati con interruttori differenziali, installati ognuno nei vari quadri, a partire dal quadro posto a valle del contatore di fornitura dell'energia elettrica, un secondo posto entro il quadro generale, ed altri in quadri di zona. In questo modo possiamo utilizzare diversi dispositivi che garantiscono la protezione ai contatti indiretti.

In questo caso è però importante fare in modo che i vari dispositivi siano fra loro coordinati, in modo che, all'occorrenza, l'intervento di apertura per la protezione del guasto avvenga nell'interruttore più a valle, appena prima del punto in cui il guasto è avvenuto. In questo modo permettiamo al resto dell'impianto di funzionare correttamente escludendo il solo circuito guasto. Se così non fosse, tutto l'impianto sarebbe messo fuori servizio per un qualsiasi guasto in un qualsiasi punto dell'impianto. Per ottenere questo obiettivo dobbiamo utilizzare i dispositivi corretti. Questi andranno scelti secondo i seguenti parametri.

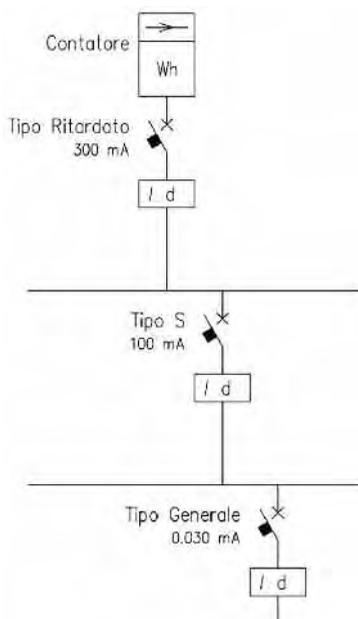


Fig. XXII. Selettività interruttori differenziali

Per assicurare la selettività, il differenziale a monte dovrà avere una corrente di intervento almeno tre volte superiore rispetto a quello a valle, come nell'esempio in figura XXII. L'ultimo della catena dovrà essere di tipo generale, quello a monte dovrà essere di tipo S (selettivo) e se è richiesto una protezione ancora a monte, dovrà essere di tipo ritardato. Ricordiamo che i dispositivi differenziali operano con diverse forme d'onda, quindi la scelta dovrà tenerne conto.

Tab. XXI. Scelta dell'interruttore differenziale in relazione alla forma d'onda del circuito

Tipo AC	Interviene solamente per correnti di guasto sinusoidali;
Tipo A	Interviene anche per correnti di guasto di tipo pulsante;
Tipo B	Interviene anche per correnti di guasto unidirezionali (componenti in corrente continua).

Tab. XXII. Taglie principali degli interruttori differenziali

Valori nominali di corrente differenziale in Ampere I_{dn}						
0,010	0,030	0,05	0,100	0,300	0,500	1

I dispositivi possono avere il valore della corrente di intervento fissa o regolabile. In genere quelli regolabili permettono anche l'impostazione del tempo di intervento al fine di creare la selettività verticale.

Tab. XXIII. Tabella tempi di intervento per interruttori differenziali di tipo generale

Tipo generale	I_{dn} in Ampere	Tempi massimi di intervento in secondi per i valori di I_{dn} pari a:		
		I_{dn}	$2 I_{dn}$	$5 I_{dn}$
AC	qualsiasi	I_{dn}	$2 I_{dn}$	$5 I_{dn}$
		0.3	0.15	0.04
A	≤ 0.010	$2 I_{dn}$	$4 I_{dn}$	$10 I_{dn}$
		0.3	0.15	0.04
	≥ 0.030	$1.4 I_{dn}$	$2.8 I_{dn}$	$7 I_{dn}$
		0.3	0.15	0.04
B	qualsiasi	$2 I_{dn}$	$4 I_{dn}$	$10 I_{dn}$
		0.3	0.15	0.04

Tab. XXIV. Tabella tempi di intervento per interruttori differenziali di tipo selettivo

Tipo Selettivo	Tempo in secondi	Tempi massimi di intervento in secondi per i valori di I_{dn} pari a:		
		I_{dn}	$2 I_{dn}$	$5 I_{dn}$
AC	Valori di I_{dn}	I_{dn}	$2 I_{dn}$	$5 I_{dn}$
	Tempo massimo di intervento	0.5	0.20	0.15
	Tempo minimo di non intervento	0.13	0.06	0.05
A	Valori di I_{dn}	$1.4 I_{dn}$	$2.8 I_{dn}$	$7 I_{dn}$
	Tempo massimo di intervento	0.5	0.20	0.15
	Tempo minimo di non intervento	0.13	0.06	0.05

□ 9.3. Calcolo caduta di tensione

Quando una conduttura è attraversata da un flusso di corrente, l'impedenza del cavo comporta una caduta di tensione. Negli impianti elettrici il valore di caduta di tensione deve essere contenuta. I motivi sono fondamentalmente due.

Il primo è la perdita di energia elettrica che viene dispersa nel conduttore attraverso energia termica. Questa energia, anche se persa, è comunque conteggiata dal misuratore dell'Azienda Erogatrice.

Il secondo riguarda un aspetto funzionale. Gli utilizzatori sono realizzati per funzionare correttamente entro un campo specifico di valori di tensione.

Nel calcolo delle condutture quindi dovremo considerare anche questo aspetto, tenendo conto che:

- la massima caduta di tensione ammessa deve essere contenuta entro il 4% della tensione nominale, con l'eccezione per i circuiti di illuminazione, la cui caduta di tensione dovrà essere contenuta entro i 3% della tensione nominale. Questo principalmente perché il rendimento delle lampade non è direttamente proporzionale alla tensione applicata ai suoi capi, ma un piccolo abbassamento di tensione rispetto al valore nominale per cui la lampada è costruita comporta una riduzione del rendimento piuttosto significativa;
- nei motori la corrente di avviamento (corrente di spunto) è piuttosto elevata. Questa varia in relazione al tipo di motore, con punte che possono superare di otto volte la corrente nominale. La caduta di tensione è proporzionale all'intensità di corrente che percorre la conduttura, quindi, al momento dello spunto, la caduta di tensione sarà molto più elevata della caduta di tensione a regime. In questo caso la norma ammette che all'avviamento dei motori la caduta di tensione possa essere del 10% rispetto alla tensione nominale. Il tempo dello spunto è limitato a pochi secondi.

Il calcolo della caduta di tensione (in Volt), con una formula semplificata, si ottiene per la corrente I_b (in ampere) di funzionamento del circuito:

- per circuiti trifase

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_b \cdot L \cdot (R_{cavo} \cdot \cos \varphi + X_{cavo} \cdot \sin \varphi)$$

- per i circuiti monofase

$$\Delta U = 2 \cdot I_b \cdot L \cdot (R_{cavo} \cdot \cos \varphi + X_{cavo} \cdot \sin \varphi)$$

Per il calcolo della percentuale si avrà

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U \cdot 100}{U}$$

U sarà:

- la tensione concatenata per i sistemi trifase (400 V);
- la tensione di fase per i circuiti monofase (230 V);

L lunghezza della conduttura in metri;

R la resistenza del circuito;

X la reattanza del circuito.

I valori possono essere calcolati o recepiti attraverso la documentazione del fornitore dei cavi.

Nei sistemi monofase la caduta di tensione è calcolata fra il conduttore di fase ed il neutro, mentre nei sistemi trifase la caduta di tensione è calcolata fra i conduttori di fase.

Tab. XXV. Valori di resistenza e di reattanza dei cavi

Sezione cavo	Resistenza R mΩ m		Reattanza X mΩ m	
	Cavi in PVC		Cavi	
	α 70°C	α 90°C	unipolari	multipolari
1	23.8	26.3	0.176	0.125
1.5	15.9	17.5	0.168	0.118
2.5	9.55	10.5	0.155	0.109
4	5.92	6.49	0.143	0.101
6	3.95	4.32	0.135	0.095
10	2.29	2.49	0.119	0.86
16	1.45	1.58	0.112	0.082
25	0.93	1.01	0.106	0.081
35	0.66	0.72	0.101	0.078
50	0.46	0.50	0.098	0.078
70	0.36	0.35	0.96	0.075
95	0.25	0.27	0.095	0.073
120	0.194	0.21	0.094	0.073
150	0.156	0.17	0.093	0.072
185	0.129	0.14	0.091	0.072
240	0.099	0.10	0.090	0.072

Posa dei cavi considerata, è a trifoglio.

Tab. XXVI. Tabelle caduta di tensione unitaria "u" a cosφ 0.9

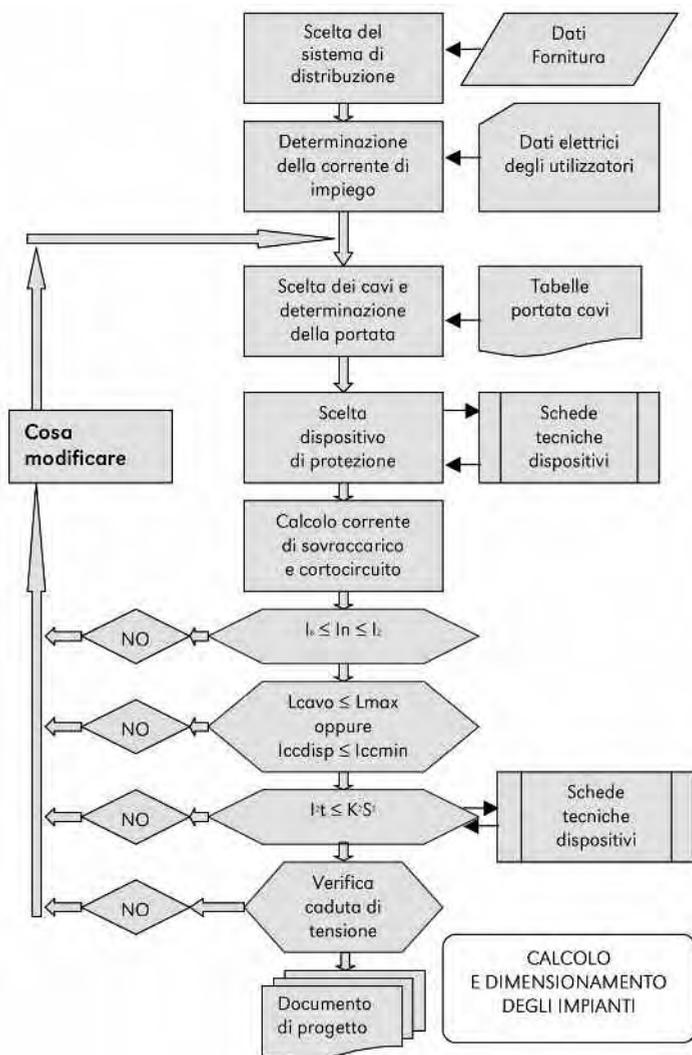
Sezione cavo	Unipolari		Multipolari	
	monofase	trifase	monofase	trifase
1.5	28.77	24.88	28.71	24.84
2.5	17.32	14.98	17.28	14.95
4	10.78	9.32	10.74	9.29
6	7.23	6.25	7.19	6.22
10	4.23	3.66	4.20	3.63
16	2.71	2.34	2.68	2.32
25	1.73	1.53	1.74	1.51
35	1.27	1.10	1.26	1.09
50	0.91	0.97	0.90	0.78
70	0.73	0.63		
95	0.53	0.46		
120	0.42	0.37		
150	0.35	0.31		
185	0.30	0.26		
240	0.25	0.22		

$$\Delta U = \frac{u \cdot I \cdot L}{1000}$$

$$\Delta U\% = \frac{u \cdot I \cdot L}{U \cdot 10} \quad (1)$$

⁽¹⁾
U trifase 400 V
U monofase 230 V

□ 9.4 Calcolo della rete elettrica



La sequenza indicata nello schema di flusso indica le operazioni, le scelte ed i calcoli che permettono di dimensionare un circuito elettrico. Approfondiamo ogni punto indicato, facendo anche un esempio di calcolo.

9.4.1. Scelta del sistema di distribuzione

La scelta del sistema di distribuzione comporta in parte una opzione del progettista, ed in parte una determinazione dell'effettivo uso dell'impianto o del sistema di fornitura dell'energia elettrica, infatti, nel caso in cui la fornitura avvenga a mezzo di cabina di trasformazione da media tensione, la scelta sarà per un impianto TN, se invece l'alimentazione sarà

fornita in bassa tensione, attraverso il distributore, l'impianto sarà realizzato come TT. In entrambi i casi, se necessario, il progettista potrà optare per il sistema IT che, come detto, conferisce all'impianto una continuità di servizio anche in occasione del primo guasto a terra. Una ulteriore valutazione del sistema di fornitura ci permetterà di determinare il valore della corrente di cortocircuito (cc) nel punto di consegna. Tale corrente dipenderà dalla potenza del trasformatore da MT a BT se l'impianto dispone di cabina propria di trasformazione, oppure dipenderà dalla potenza erogata se la fornitura sarà in BT.

Come si è già detto si può ipotizzare che il valore della corrente di cc sia, per utenze trifasi fino a 30 kW di 6 kA, oltre i 30 kW sia di 15 kA, mentre nelle forniture monofasi, generalmente non superiori a 10 kW, la corrente di cc è contenuta entro i 4,5 kA.

9.4.2. Determinazione della corrente di impiego

La corrente di impiego è data dall'utilizzatore elettrico collegato all'impianto. Per la determinazione di questa sarà necessario analizzare i dati del componente stesso.

Ovviamente un impianto è generalmente composto da più utilizzatori, quindi il valore della corrente al punto di consegna dell'energia elettrica sarà la sommatoria delle correnti di tutti i componenti.

Tenendo conto che non sempre tutti gli utilizzatori saranno contemporaneamente utilizzati, oppure non è prevista l'utilizzazione a pieno carico, specialmente sulle linee di alimentazione delle prese elettriche, si dovrà introdurre un coefficiente di riduzione per il quale la somma reale della corrente di utilizzazione massima di tutti i componenti dovrà essere moltiplicata per ottenere il carico effettivo al punto di fornitura, o nei punti in cui i dispositivi alimentano più circuiti.

9.4.3. Scelta dei cavi e determinazione della portata

Una volta determinata la corrente di utilizzazione negli specifici circuiti sottoposti a dimensionamento, si potrà stabilire il tipo di conduttura da utilizzare. Le tipologie di posa ammesse per i condotti portacavo e i cavi stessi sono indicati nelle tabelle in appendice. La norma ammette una vasta quantità di tipologie di posa, pertanto sarà una scelta del progettista, in accordo con la committenza ed in base al tipo di luogo, effettuare la scelta ritenuta più adatta.

In base alla tipologia di posa scelta, si dovrà determinare il valore della corrente massima I_z che il cavo potrà portare permanentemente in quella specifica condizione.

I principali parametri che influenzano la portata I_z sono:

- tipo di posa (incassata, interrata, a vista, ecc.);
- tipo di cavo (multipolare o unipolare);
- isolante e guaina (PVC, EPR, ecc.);
- tipologia del canale o supporto portatavi (tubazione, canale, passerella, ecc.);
- numero di cavi contenuti entro lo stesso canale o tubazione.

Il mutuo riscaldamento dei cavi determina un innalzamento generale della temperatura dei conduttori. Questo determina che la corrente ammissibile nei cavi sia minore rispetto a quella del medesimo conduttore posato singolarmente. Il numero di cavi viene determinato sommando i circuiti contenuti nella stessa conduttura che abbiano la corrente I_B pari ad almeno al 30% della corrente I_z del conduttore stesso.

Un ulteriore fattore da considerare per la determinazione della portata dei cavi è la temperatura ambiente. La portata I_z è indicata dalle norme a 30°C, (20°C per cavi interrati), pertanto si dovranno utilizzare gli opportuni coefficienti di correzione, se ne ricorre il caso.

Nelle seguenti tabelle sono riportati i coefficienti di variazione della portata in relazione alla temperatura ambiente.

Tab. XXVII. *Fattori di correzione portata cavi in aria*

Cavi posati in aria <i>Fattori di correzione delle portate dei cavi per i diversi valori della temperatura ambiente</i>		
<i>Temperatura ambiente</i>	<i>Isolamento PVC</i>	<i>Isolamento XPLE o EPR</i>
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1	1
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,82
50	0,71	0,87
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65		0,65
70		0,58
75		0,50
80		0,41

Tab. XXVIII. *Fattori di correzione portata cavi interrati*

Per cavi interrati <i>Fattori di correzione delle portate dei cavi per i diversi valori della temperatura ambiente</i>		
<i>Temperatura ambiente</i>	<i>Isolamento PVC</i>	<i>Isolamento XPLE o EPR</i>
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
20	1	1
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,63	0,80
<i>(segue)</i>		

Per cavi interrati <i>Fattori di correzione delle portate dei cavi per i diversi valori della temperatura ambiente</i>		
<i>Temperatura ambiente</i>	<i>Isolamento PVC</i>	<i>Isolamento XPPE o EPR</i>
55	0,45	0,71
60		0,65
65		0,60
70		0,53
75		0,46
80		0,38

9.4.4. Calcolo della corrente di sovraccarico e cortocircuito

Vediamo come procedere con i calcoli dei componenti facendo riferimento allo schema seguente (figura XXIII) composto da un quadro che contiene al suo interno tre interruttori automatici magnetotermici (prescindiamo dalla protezione differenziale per la quale si utilizzano le soluzioni illustrate nel capitolo “Dimensionamento e selettività degli interruttori differenziali”). Ipotezziamo di voler alimentare due circuiti elettrici che alimentano delle prese elettriche.

Dati generali e del sistema di alimentazione:

- sistema di distribuzione TT;
- tensione 230 / 400 V;
- potenza elettrica disponibile 20 kW;
- corrente di cortocircuito all'origine 6 kA;
- temperatura ambiente 30°C.

Utilizzatori:

- circuito per prese a spina da 16 A trifase più neutro;
- circuito per prese a spina da 32 A trifase più neutro;
- $\cos\phi$ 0.9.

Sistema di distribuzione:

- passerella metallica perforata;
- cavi utilizzati FG7OR.

Protezioni:

- interruttori magnetotermici in curva C (intervento magnetico pari a $5 \div 10$ volte la corrente nominale).

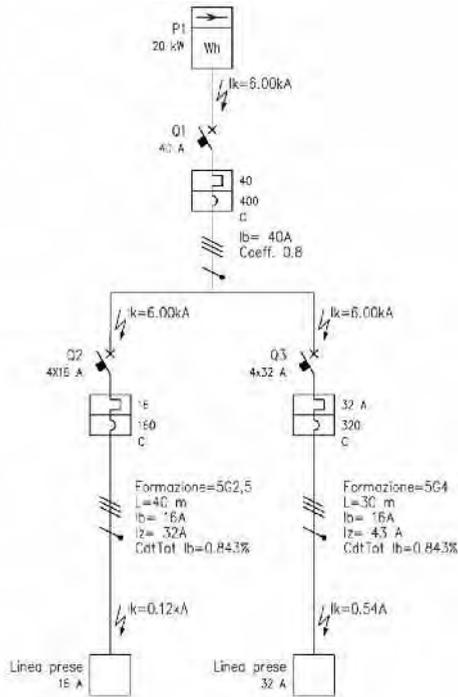


Fig. XXIII. Schema di distribuzione

Conosciamo la portata nominale I_n delle prese elettriche che possiamo assumere anche come valore per la I_b , del circuito. Dalla tabella seguente possiamo individuare la corrente I_z dei cavi FG7OR in EPR posati in passerella metallica perforata, contenente due circuiti affiancati con tre conduttori carichi per ogni circuito. (In appendice sono riportate le tabelle per altri tipi di posa).

Tab. XXIX. Cavi multipolari in EPR posati in strato, su passerelle perforate

Sezione [mm ²]	Numero cond. caricati	PORTATA (A)								
		Numero di cavi multipolari								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,5	2	26	23	21	20	19,5	19	19	18,5	18,5
	3	23	20	19	17,5	17,5	17	17	16,5	16,5
2,5	2	36	32	30	28	27	26	26	26	26
	3	32	28	26	25	24	23	23	23	23
4	2	49	43	40	38	37	36	36	35	35
	3	42	37	34	32	32	31	31	30	30
6	2	63	55	52	49	47	46	46	45	45
	3	54	48	44	42	41	39	39	39	39

(segue)

Sezione [mm ²]	Numero cond. caricati	PORTATA (A)								
		Numero di cavi multipolari								
10	2	86	76	71	66	65	63	63	62	62
	3	75	66	62	58	56	55	55	54	54
16	2	115	101	94	89	86	84	84	83	83
	3	100	88	82	77	75	73	73	72	72
25	2	149	131	122	115	112	109	109	107	107
	3	127	112	104	98	95	93	93	91	91
35	2	185	163	152	142	139	135	135	133	133
	3	158	139	130	122	119	115	115	114	114
50	2	225	198	185	173	169	164	164	162	162
	3	192	169	157	148	144	140	140	138	138
70	2	289	254	237	223	217	211	211	208	208
	3	246	216	202	189	185	180	180	177	177
95	2	352	310	289	271	264	257	257	253	253
	3	298	262	244	229	224	218	218	215	215
120	2	410	361	336	316	308	299	299	295	295
	3	346	304	284	266	260	253	253	249	249
150	2	473	416	388	364	355	345	345	341	341
	3	399	351	327	307	299	291	291	287	287
185	2	542	477	444	417	407	396	396	390	390
	3	456	401	374	351	342	333	333	328	328
240	2	641	564	526	494	481	468	468	462	462
	3	538	473	441	414	404	393	393	387	387
300	2	741	652	608	571	556	541	541	534	534
	3	621	546	509	478	466	453	453	447	447

La seguente figura indica le relazioni fra le correnti, a cui dovremo fare riferimento per il calcolo, e le caratteristiche dell'interruttore.

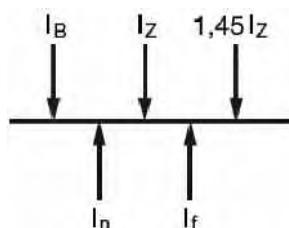


Fig. XXIV. Relazione fra le correnti

I_B è la corrente del circuito;

I_n è la corrente nominale del dispositivo di protezione;

I_Z è la portata del cavo nelle condizioni di posa;

I_f è il valore della corrente che determina l'inizio di sensibilità a cui il dispositivo inizia la sua funzione di protezione termica (entro un tempo prestabilito);

$1,45 \times I_Z$ è il valore di corrente convenzionale di intervento del dispositivo magnetotermico.

Il valore massimo di I_B potrà essere al massimo il valore I_n .

Assumiamo quindi il valore di I_B pari alla massima corrente nominale di funzionamento delle prese, pari rispettivamente a 16 e 32 ampere.

Tali correnti saranno quindi scelte anche come taglia nominale degli interruttori automatici. Pertanto decidiamo di installare:

- un interruttore automatico da 4 x 16 A in curva C;
- un interruttore automatico da 4 x 32 A in curva C.

In relazione alla tabella precedente troviamo che il valore di I_Z superiore a I_n è garantito nelle condizioni di posa imposte con:

- cavo FG7OR 4 x 1,5 per il circuiti da 16 A;
- cavo FG7OR 4 x 4 per il circuiti da 32 A.

In questo modo abbiamo garantito la protezione al sovraccarico.

La corrente di cortocircuito ad inizio linea avrà un valore prossimo alla corrente di cortocircuito al contatore, pertanto ai fini della sicurezza assumeremo tale valore come potere di protezione I_{cn} del dispositivo magnetotermico.

Verifichiamo ora la protezione al cortocircuito. Vista la scelta del dispositivo in curva C, sappiamo che il dispositivo assicura l'intervento magnetico ad un valore di corrente compreso fra 5 e 10 volte la corrente nominale. Ponendoci nella condizione più sfavorevole, l'intervento è assicurato per:

$$I_{cc} \geq 10 \times I_n$$

Pari nel nostro caso a:

- $16 \times 10 = 160$ A, per il circuito da 16 A;
- $32 \times 10 = 320$ A, per il circuito da 32 A.

Verifichiamo ora che la corrente di cortocircuito a fondo linea sia riconosciuta come cortocircuito, quindi di valore superiore alla corrente di intervento magnetica. Diversamente se fosse di valore inferiore interverrebbe la protezione termica, con tempi decisamente più lunghi, con il rischio di compromettere le caratteristiche di isolamento dei cavi, e le successive possibili conseguenze.

In relazione alla posizione delle apparecchiature, sappiamo che le lunghezze dei circuiti sono rispettivamente:

- 40 metri per il circuito prese da 16 A;
- 30 metri per il circuito prese da 32 A.

Possiamo calcolare il valore di cortocircuito o la massima lunghezza protetta. Trattandosi di circuiti terminali, in entrambi i casi avremo ottenuto il riferimento necessario per i nostri fini.

Se dovessimo invece alimentare, anziché un circuito terminale, un quadro elettrico o altra apparecchiatura, potrebbe essere necessario conoscere l'effettivo valore della corrente di cc, così da dimensionare i componenti del secondo quadro, quindi il valore della massima lunghezza protetta non ci sarebbe di aiuto.

Proviamo a calcolare il valore della corrente di cortocircuito a fine linea con la seguente formula.

Circuito da 16 A:

$$I_{cc} = \frac{0,8 \cdot U}{1,5p \frac{2L}{S}} I_{cc} = \frac{0,8 \cdot 230}{1,5 \cdot 0,018 \frac{2 \cdot 40}{1,5}} \cong 127A$$

Il valore ottenuto non soddisfa la protezione al cc essendo I_{cc} inferiore alla corrente di intervento del dispositivo, pari a 160 A.

L'unico elemento che può essere variato è la sezione del cavo. Ricalcoliamo utilizzando un cavo di sezione pari a 2,5 mm²:

$$I_{cc} = \frac{0,8 \cdot U}{1,5p \frac{2L}{S}} I_{cc} = \frac{0,8 \cdot 230}{1,5 \cdot 0,018 \frac{2 \cdot 40}{2,5}} \cong 212A$$

Ora abbiamo ottenuto una corrente di cc a fondo linea superiore a quella di intervento istantaneo dell'interruttore di protezione. In questo modo la protezione è assicurata. In caso di guasto l'interruttore apre il circuito.

Per dimostrazione, vediamo il valore della massima lunghezza protetta:

$$L = \frac{0,8 \cdot U}{1,5p \frac{2I_{cc}}{S}} = \frac{0,8 \cdot 230}{1,5 \cdot 0,018 \frac{2 \cdot 160}{2,5}} \cong 53m$$

Dove I_{cc} è la corrente di intervento del dispositivo magnetotermico.

Il calcolo ci indica che la linea di alimentazione sarebbe protetta fino ad una lunghezza pari a 53 metri, ben superiore alla reale lunghezza.

Ora calcoliamo il valore di cc a fondo linea del secondo circuito.

$$I_{cc} = \frac{0,8 \cdot U}{1,5p \frac{2L}{S}} I_{cc} = \frac{0,8 \cdot 230}{1,5 \cdot 0,018 \frac{2 \cdot 30}{4}} \cong 454A$$

Il calcolo è soddisfacente. Calcoliamo anche in questo caso il valore della massima distanza protetta solo per fini di verifica.

$$L = \frac{0,8 \cdot U}{1,5p \frac{2I_{cc}}{S}} = \frac{0,8 \cdot 230}{1,5 \cdot 0,018 \frac{2 \cdot 230}{4}} \cong 42,60m$$

Si riconferma che la lunghezza massima protetta è maggiore della lunghezza effettiva della nostra linea.

Conduttore di neutro

Quando la distribuzione è di tipo monofase, la corrente che attraversa il conduttore di neutro sarà uguale alla corrente che attraversa il conduttore di fase.

Un sistema a tre fasi può o meno essere dotato di neutro. Ad esempio un macchinario con un motore trifase richiede esclusivamente le tre fasi. In questo caso la tensione fra fase e fase è di 400 V e la somma vettoriale delle correnti darà un valore pressoché nullo (in un sistema ideale sarà pari a zero).

Spesso, però, viene distribuito anche il conduttore di neutro, questo perché generalmente il funzionamento di controlli come, azionamenti, spie di segnalazione o altro, funzionano come sistema monofase.

Viene quindi prelevata energia a tensione di 230 V fra una delle tre fasi ed il neutro. In questo caso la somma vettoriale delle correnti non sarà nulla, visto che una fase avrà un carico di piccola potenza per il funzionamento dei circuiti monofase.

Il valore della sommatoria delle correnti sarà quella che percorrerà il conduttore di neutro, equivalente all'assorbimento dei circuiti ausiliari.

In genere, quindi, la corrente che percorre il conduttore di neutro, avrà un'intensità minore rispetto ai conduttori di fase.

Quindi, se il sistema risulta piuttosto equilibrato (le correnti di fase sono simili ed il conduttore di neutro porta una corrente contenuta entro il 10% della corrente di fase), il conduttore di neutro potrà avere una sezione pari alla metà del conduttore di fase.

Questa applicazione è ammessa quando i conduttori di fase hanno una sezione maggiore di 16 mm². La sezione minima del conduttore di neutro dovrà essere comunque 16 mm². Quindi:

Tab. XXX. Dimensionamento conduttore di neutro

Conduttore di fase "F"	Conduttore di neutro "N"
F < 16 mm ²	N = F
F = 16 mm ²	N = 16 mm ²
F > 16 mm ²	N = F/2 (minimo 16 mm ²)

In altre applicazioni, come ad esempio l'alimentazione di più utilizzatori su di un unico circuito, in parte trifase ed in parte monofase, la corrente di neutro potrebbe avere valori importanti, pertanto il dimensionamento ridotto non può essere applicato.

9.4.5. Verifica energia specifica passante

Al capitolo "sovraccarico" abbiamo visto i valori dei coefficienti K, sappiamo quindi che per il cavo utilizzato vale:

$$\text{rame isolato in gomma G5-G7 } K = 143$$

pertanto per il cavo da 4 mm², relativo al circuito da 32 A, l'energia specifica passante ammessa è pari a:

$$K^2 S^2 = 143^2 \times 4^2 = 327.184$$

Tale valore deve essere confrontato con le caratteristiche di I^2t dell'interruttore scelto, che nel presente esempio sarà espressa con il seguente grafico, dove, la curva in basso individua l'intervento dell'interruttore, e le curve caratteristiche dei cavi individuano l'energia sopportabile dai cavi stessi. Il corretto dimensionamento si evidenzierà quando la curva di protezione del dispositivo e la curva identificativa del cavo non si intersecheranno in alcun punto.

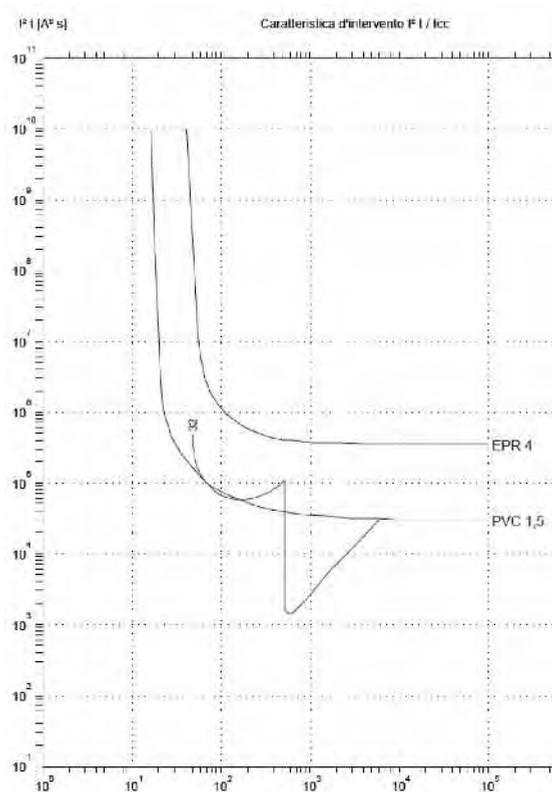


Fig. XXV. Caratteristica energia specifica passante dispositivo/cavo

I valori dell'energia specifica lasciata passare dall'interruttore è sempre fornita dal costruttore dell'apparecchio stesso, pertanto dovranno esserne valutati i valori in relazione al dispositivo da installare nell'impianto.

Per avere una indicazione approssimativa dei valori di energia specifica passante degli interruttori, a confronto dell'energia sopportabile dal cavo, si può fare riferimento alla seguente figura, considerando che l'energia sopportata dal cavo sarà superiore a quella dell'interruttore se, il percorso della curva, non intercederà quella caratteristica di I^2t dell'interruttore:

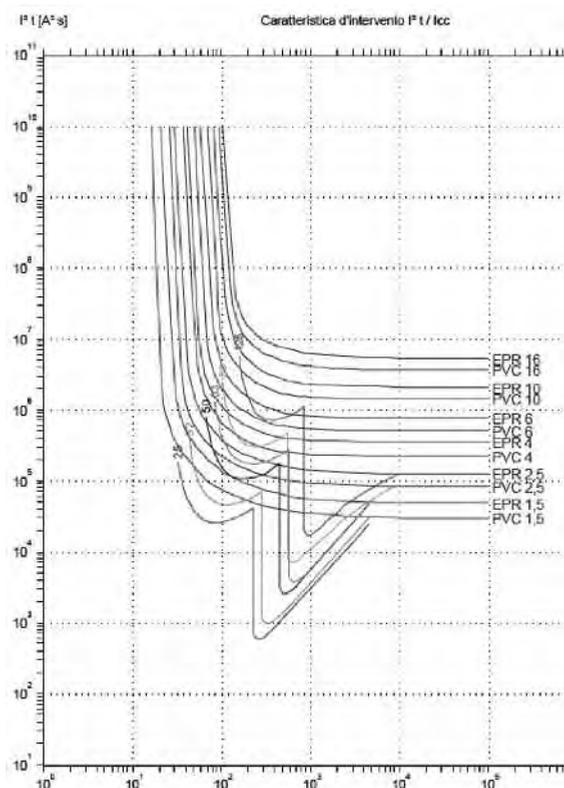


Fig. XXVI. Energia specifica passante cavi

9.4.6. Verifica della caduta di tensione

Se tutte le precedenti verifiche sono soddisfacenti, si procederà alla verifica della caduta di tensione che, se contenuta entro i valori prefissati sarà ritenuta corretta. Il calcolo sarà eseguito come indicato nel capitolo "calcolo caduta di tensione". Va tenuto conto che la percentuale di caduta di tensione dovrà essere calcolata dal punto di consegna all'utilizzatore, pertanto nel caso vi siano più tratti di linee elettriche, ad esempio dal quadro principale, al quadro generale e ancora al quadro di zona, e da esso all'utilizzatore, dovranno essere sommate tutte le cadute di tensione ottenute su ogni tratto di conduttura.

9.4.7. Dimensionamento dei canali portacavo

Per determinare le dimensioni delle tubazioni contenenti i cavi che costituiscono una conduttura potrà essere utilizzata la seguente tabella.

Individuati nella colonna N il numero di conduttori che dovranno essere inseriti nella tubazione, e nella riga la sezione dei conduttori stessi, si potranno determinare le dimensioni del tubo che permetteranno il corretto stipamento dei conduttori, consentendone il rispetto delle norme e la sfilabilità (i cavi devono poter essere sfilati dalla tubazione, ad esempio per permetterne la sostituzione).

Esempio:

- numero di cavi unipolari: 6;
- sezione dei conduttori: 10 mm².

Intersecando i dati otteniamo una tubazione da 32 mm di diametro.

Tab. XXXI. Dimensione della tubazione contenente i cavi in millimetri

Conduttori	Sezione del conduttore [mm ²]																
	Typo	N.	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
Cavo unipolare senza guaina	1	16	16	16	16	16	16	16	20	20	25	25	32	32	40	40	50
	2	16	16	16	20	25	25	32	40	40	50	50	63	63	80	80	80
	3	16	16	16	25	25	32	32	40	50	50	63	63	80	80	80	100
	4	16	16	20	25	32	32	40	50	50	63	63	80	80	100	100	120
	5	16	20	20	25	32	40	40	50	63	-	-	-	-	-	-	-
	6	20	20	25	25	32	40	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	20	20	25	32	40	40	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	25	25	25	32	40	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9	25	25	25	32	40	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cavo multipolare o unipolare con guaina	1	16	16	16	20	20	20	25	25	32	32	40	40	50	50	63	63
	2	16	16	20	25	25	32	40	40	50	50	63	63	80	80	100	100
	3	16	20	20	25	25	32	40	40	50	50	63	63	80	80	100	100
	4	20	20	20	25	32	40	50	50	63	63	80	80	100	100	120	120
	5	20	20	25	25	32	40	50	50	63	80	-	-	-	-	-	-
	6	25	25	25	32	40	40	63	63	80	-	-	-	-	-	-	-
	7	25	25	32	32	40	50	63	80	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	32	32	32	40	40	50	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9	32	32	40	40	50	63	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Per il dimensionamento dei canali è invece possibile utilizzare la tabella seguente.

Il calcolo per dimensionare il canale richiede la somma dei coefficienti "a" dei singoli conduttori. Tale somma dovrà essere pari alla sezione del canale stesso.

Ad esempio, 8 cavi tripolari di sezione 35 mm² con coefficiente "a" pari a 18, necessitano un canale di sezione pari a:

$$a \times 8 = 18 \times 8 = 144 \text{ mm}^2$$

Il canale dovrà essere almeno di dimensioni pari a:

$$100 \times 50 = 150 \text{ mm}^2$$

Tab. XXXI. Coefficienti di ingombro "a" per il dimensionamento dei canali

Sezione [mm ²]	CAVI MULTIPOLARI TIPO FG7OR 0,6/1		
	<i>Cavi unipolari senza guaina</i>	<i>Cavi unipolari con guaina</i>	<i>Cavi tripolari o tetrapolari</i>
1	0,2	-	-
1,5	0,3	1,2	3,5
2,5	0,4	1,4	4,0
4	0,5	1,6	4,8
6	0,8	1,8	5,8
10	1,2	2,1	7,4
16	1,6	2,8	10,9
25	2,4	3,7	15,1
35	3,2	4,4	18,0
50	4,2	5,9	23,2
70	5,8	7,5	29,2
95	7,2	10,0	38,3
120	8,8	10,4	41,2
150	11,1	12,3	51,5
185	13,5	14,6	62,1
240	17,4	18,6	81,8

□ 9.5. Calcolo illuminazione artificiale

Negli ambienti ad uso residenziale ed in piccoli locali, l'illuminazione generalmente è ottenuta con apparecchi scelti ed installati a cura del committente senza procedere ad alcun dimensionamento.

Di solito per queste applicazioni le dimensioni sono tali da non richiedere effettivamente alcun calcolo o verifica. Altra cosa sono gli ambienti con dimensioni significative o utilizzati da personale subordinato, in cui il calcolo illuminotecnico diventa essenziale.

Il calcolo, in tal caso, oltre a valutare il numero degli apparecchi luminosi, dovrà portare anche alla scelta di altri parametri fondamentali che influiscono sulla percezione visiva. Infatti le sorgenti luminose, e gli apparecchi che le contengono, hanno delle caratteristiche particolari molto diverse tra loro, quindi il calcolo di dimensionamento ne deve tenere conto.

Elementi essenziali di illuminotecnica

Le definizioni essenziali nel campo dell'illuminotecnica sono:

- **il flusso luminoso Φ** : è la quantità di luce emessa da una sorgente luminosa nell'unità di tempo. È definito lumen (lm);
- **illuminamento E**: quantità di flusso luminoso che investe perpendicolarmente una superficie S:

$$E = \Phi / S = \text{lux (lx)}$$

- **intensità luminosa I**: quantità di flusso luminoso emesso da una sorgente in una determinata direzione e nell'unità di angolo solido ω :

$$I = \Phi / \omega = \text{candela (cd)}$$

- **efficienza luminosa lm/w**: flusso emesso da una sorgente luminosa per ogni watt di assorbimento elettrico;
- **luminanza L**: è il valore dell'energia luminosa emessa da un punto sorgente o da una luce riflessa ed è il rapporto tra l'intensità luminosa nella direzione dell'osservatore e la superficie emittente, così come vista dall'osservatore stesso, che potrebbe essere la superficie totale oppure la superficie che appare, nel caso in cui questa non fosse perpendicolare al punto di osservazione.
- **indice di resa cromatica Ra**: è il valore numerico da 1 a 100 che indica la restituzione fedele dei colori. Il valore 100 indica il valore di resa cromatica ottenuto dalla luce solare, cioè la più fedele.

È considerato:

- di ottima resa cromatica un valore compreso tra 85 e 100;
- di buona resa cromatica un valore compreso tra 70 e 85;
- modesto al di sotto di 70.
- **temperatura di colore**: esprime la temperatura in gradi Kelvin (K) che un corpo solido dovrebbe avere per emettere una luce dello stesso colore di quella emessa dalla sorgente luminosa. È un elemento qualitativo della luce.

Una luce che emette un colore equivalente ad un valore di temperatura è definita:

- calda: 3000 K
- bianca: 4000 K
- bianchissima: 4500 K
- diurna: 6500 K

Lampade

Le lampade possono riassumersi nei tipi:

- a radiazione (queste sono principalmente le lampade ad incandescenza);
- a scarica nei gas (negli altri casi).

Le caratteristiche essenziali delle lampade sono:

- la potenza elettrica assorbita;
- il flusso luminoso emesso;
- la resa cromatica;
- la temperatura di colore.

Le lampade principalmente utilizzate negli impianti sono:

- **lampade ad incandescenza**:
campo di impiego: illuminazione generale di interni con altezza massima consigliata di installazione pari a 4 metri;
- **lampade ad incandescenza ad alogeni**:
capo di impiego: illuminazione interna e localizzata, per posa singola, su binari elettrificati, o per possibili effetti speciali. Illuminazione per ambienti di ripresa cinematografici e fotografici, illuminazione da esterno per strutture sportive o monumenti;

- *lampade fluorescenti*:
campo di impiego: illuminazione generale di interni con altezza massima consigliata di 6/8 metri. Per installazioni esterne sono preferibili quelle meno sensibili alle basse temperature (es. amalgama di litio);
- *lampade a vapori di mercurio ad alta pressione*:
campo di impiego: illuminazione esterna per strutture sportive, piazze, giardini ecc., altezza massima consigliata maggiore di 5 metri;
- *lampada a vapori di sodio a bassa pressione*:
campo di impiego: illuminazione stradale, adatte anche a segnalazione di zone pericolose anche in caso di nebbia. Altezza di installazione consigliata maggiore di 8 metri;
- *lampada a vapori di sodio ad alta pressione*:
campo di impiego: illuminazione esterna stradale, grandi piazze, aeroporti, monumenti ecc. Per interno è idonea all'illuminazione di aree industriali come magazzini, depositi e capannoni in genere;
- *lampade alogene dicroiche*:
campo di impiego: piccole aree interne e luci localizzate;
- *lampade fluorescenti compatte*:
campo di impiego: per piccoli apparecchi di illuminazione, sia interni che esterni, di potenza fino a 75 W.

Oltre alla scelta della lampada, gli apparecchi di illuminazione devono essere valutati in relazione ad altri aspetti, fra cui il tipo di ottica di cui è corredato.

Il tipo di ottica modifica il flusso luminoso emesso dalla lampada e ne altera la direzione. In relazione a come il flusso luminoso viene modificato dalla lampada abbiamo:

- il diffusore, che diffonde il flusso in una direzione piuttosto ampia;
- il riflettore, che riflette il flusso su apposite superfici interne alla lampada, per indirizzarlo attraverso un'ottica, in direzioni volute, creando un fascio di luce ridotto o ampio in base alla tipologia costruttiva.

Questi sistemi di ottiche fanno sì che ogni apparecchio abbia una sua specifica capacità di diffondere la luce, e questa funzione è evidenziata dalla curva fotometrica dell'apparecchio.

I produttori degli apparecchi forniscono per ogni prodotto la curva caratteristica, così che possa essere utilizzata nei calcoli illuminotecnici. La specifica curva che contraddistingue gli apparecchi, in relazione alla distribuzione del flusso luminoso, può essere classificata in alcune categorie. Le principali sono:

- *diffusione diretta*: oltre l'ottanta per cento del flusso luminoso è indirizzato verso il basso;
- *diffusione semidiretta*: oltre il 60 per cento del flusso luminoso è diretto verso l'alto, il restante verso il basso;
- *diffusione mista*: il flusso luminoso è distribuito sia verso il basso che verso l'alto. La frazione verso il basso è limitata ad un valore massimo del 50 ÷ 60%;
- *diffusione indiretta*: il flusso luminoso per oltre l'ottanta per cento è indirizzato verso l'alto.

Un altro aspetto tecnico delle lampade è il grado di protezione meccanica IP, che assume gli stessi significati utilizzati per gli altri componenti elettrici.

Tutti i componenti dovranno essere collegati a terra, salvo quelli a doppio isolamento, certificati in tal senso dal produttore, o quelli a bassissima tensione di sicurezza che risultano quindi isolati da terra.

9.5.1. Calcolo per illuminazione di interni

Uno dei metodi di calcolo dell'illuminazione di interni è quello del flusso totale. Per illuminare un ambiente, dobbiamo innanzitutto determinare il valore di illuminamento idoneo per lo specifico ambiente o attività.

L'**illuminamento** è la quantità di luce per unità di superficie (metro quadro).

Un secondo elemento essenziale è l'indice di resa cromatica. Per alcuni ambienti questo secondo valore potrebbe non avere particolare rilevanza, mentre per altri, in cui la percezione visiva dei colori è essenziale, assume un'importanza fondamentale.

Questi valori sono indicati per le varie tipologie di ambienti e lavorazioni nella norma UNI 12464. Si riportano nelle tabelle seguenti alcuni estratti.

Tab. XXXIII. Caratteristiche illuminotecniche degli ambienti

Tipologia dell'ambiente o dell'attività	Em (lux)	Ra
Corridoi	100	40
Scale ed ascensori	150	40
Mense	200	80
Locali di riposo	100	80
Locali per esercizi fisici	300	80
Guardaroba, bagni e toilette	200	80
Locali medici ed infermerie	500	90
Magazzini e zone di stoccaggio merci	100	60
Zone di imballaggio e movimentazioni	300	60
Panifici per preparazione e cottura	300	80
Ambienti di lavoro generici	300	80
Ambienti di lavoro per attività di precisione	500	80
Ambienti di lavoro di precisione	750	90
Macellazione e lavorazione casearia	500	80
Fabbricazione e lavorazione gioielli	1000	90
Lavanderie industriali	300	80
Lavori generali d'ufficio	300	80
Lavori d'ufficio di scrittura o lavoro CAD	500	80
Cucina per ristorante	500	80
Sale ristorante	250	80
Zona per scaffali librerie	200	80
Aree di lettura libreria e biblioteche	500	80
Aree di parcheggio interne	75	20
Rampe coperte di accesso parcheggi (giorno)	300	20
Rampe coperte di accesso parcheggi (notte)	75	20
Scuole ed aule scolastiche materne	300	80
Scuole ed aule scolastiche culturali	500	80
Sale pre-operatorie e studi dentistici	500	90
Sale operatorie (illuminazione generale)	1000	90
Sale di aspetto generali	200	80

Gli altri fattori essenziali per il calcolo del numero delle lampade e la loro disposizione dipendono dalla conformazione e caratteristiche del locale da illuminare.

In particolare dobbiamo determinare il coefficiente del locale (k) che dipende dalle seguenti caratteristiche geometriche:

- l'altezza del locale (H) in metri;
- l'altezza del piano di lavoro (h_p) generalmente compreso tra 0.8 e 1 metro, su cui verrà calcolato il valore di illuminamento;
- l'altezza di posa delle lampade rispetto al piano di lavoro (h_u) in metri;
- la larghezza del locale (a) in metri;
- la lunghezza del locale (b) in metri;
- la superficie complessiva del locale in metri quadrati.

Il coefficiente k per illuminazione diretta, semidiretta e mista, vale:

$$k = \frac{a \cdot b}{h_u \cdot (a + b)}$$

Il flusso che raggiunge il piano di lavoro dipenderà, oltre che dal tipo di apparecchio, dai fattori di riflessione delle pareti e del soffitto del locale.

I fattori di riflessione sono indicati nella seguente tabella:

Tab. XXXIV. Riflessioni delle strutture

Gruppo di colore	Colori d'esempio delle superfici	Fattore percentuali di riflessione della luce
Gruppi molto chiari	Ad esempio il bianco, l'avorio il grigio chiaro e simili	70%
Gruppi chiari	Ad esempio verde chiaro, giallo paglierino, azzurro chiaro e simili	50%
Gruppi scuri	Ad esempio colori carichi: verde, rosa e azzurro, arancio e simili	30%
Gruppi molto scuri	Ad esempio marrone, grigio scuro, ecc.	10%

Ottenuto il coefficiente k , e scelto il tipo di apparecchio, così da rilevarne i parametri forniti dal costruttore, sia per quanto riguarda la tipologia di diffusione della luce, sia per quanto riguarda la potenza luminosa fornita dall'apparecchio, possiamo determinare, con l'aiuto della seguente tabella, il fattore di utilizzazione u .

Questo fattore dipende dall'indice del locale, e dal tipo di riflessione delle pareti e del soffitto.

Il fattore u è determinabile dalla seguente tabella:

Tab. XXXV. Coefficiente u

Tipo di diffusione	Indice locale k	Indice riflless.	Soffitto							
			70%			50%			30%	
			Pareti							
			50%	30%	10%	50%	30%	10%	30%	10%
Mista	0.50 ÷ 0.70	0,28	0,22	0,18	0,26	0,21	0,18	0,20	0,17	
	0.70 ÷ 0.90	0,35	0,29	0,25	0,33	0,27	0,24	0,26	0,24	
	0.90 ÷ 1.10	0,39	0,33	0,30	0,37	0,32	0,28	0,30	0,27	
	1.10 ÷ 1.40	0,45	0,38	0,33	0,40	0,36	0,32	0,33	0,30	
	1.40 ÷ 1.75	0,49	0,42	0,37	0,43	0,39	0,34	0,37	0,33	
	1.75 ÷ 2.25	0,56	0,50	0,44	0,49	0,44	0,40	0,42	0,38	
	2.25 ÷ 2.75	0,60	0,55	0,50	0,53	0,48	0,44	0,47	0,44	
	2.75 ÷ 3.50	0,64	0,59	0,54	0,56	0,51	0,47	0,50	0,47	
	3.50 ÷ 4.50	0,68	0,62	0,59	0,61	0,56	0,53	0,54	0,52	
	4.50 ÷ 6.50	0,70	0,65	0,62	0,65	0,62	0,60	0,58	0,57	
Semi diretta	0.50 ÷ 0.70	0,38	0,32	0,28	0,37	0,32	0,28	0,31	0,27	
	0.70 ÷ 0.90	0,46	0,42	0,38	0,46	0,41	0,38	0,41	0,38	
	0.90 ÷ 1.10	0,50	0,46	0,43	0,50	0,46	0,43	0,46	0,43	
	1.10 ÷ 1.40	0,54	0,50	0,48	0,53	0,50	0,47	0,49	0,47	
	1.40 ÷ 1.75	0,58	0,54	0,51	0,56	0,53	0,50	0,52	0,50	
	1.75 ÷ 2.25	0,62	0,59	0,56	0,60	0,58	0,56	0,58	0,56	
	2.25 ÷ 2.75	0,67	0,64	0,61	0,65	0,63	0,61	0,62	0,61	
	2.75 ÷ 3.50	0,69	0,66	0,63	0,67	0,65	0,63	0,64	0,62	
	3.50 ÷ 4.50	0,72	0,70	0,67	0,70	0,68	0,66	0,67	0,66	
	4.50 ÷ 6.50	0,74	0,71	0,69	0,72	0,70	0,68	0,69	0,67	
Diretta	0.50 ÷ 0.70	0,26	0,23	0,21	0,23	0,21	0,19	0,19	0,17	
	0.70 ÷ 0.90	0,32	0,29	0,27	0,28	0,26	0,24	0,23	0,21	
	0.90 ÷ 1.10	0,37	0,33	0,31	0,31	0,29	0,27	0,26	0,24	
	1.10 ÷ 1.40	0,40	0,36	0,34	0,34	0,31	0,30	0,28	0,24	
	1.40 ÷ 1.75	0,42	0,39	0,36	0,36	0,33	0,32	0,30	0,28	
	1.75 ÷ 2.25	0,46	0,43	0,40	0,41	0,38	0,35	0,32	0,30	
	2.25 ÷ 2.75	0,50	0,46	0,43	0,44	0,40	0,39	0,34	0,33	
	2.75 ÷ 3.50	0,52	0,48	0,45	0,46	0,44	0,41	0,37	0,36	
	3.50 ÷ 4.50	0,55	0,52	0,49	0,48	0,46	0,45	0,39	0,38	
	4.50 ÷ 6.50	0,57	0,54	0,51	0,49	0,47	0,46	0,42	0,41	

A questo punto calcoliamo la distanza D fra gli apparecchi luminosi. Questo valore è generalmente fornito dal costruttore, in mancanza può essere approssimato a 1,5 volte la distanza fra la lampada e il piano di lavoro:

$$D = 1,5 \times h_u$$

La distanza delle lampade dalle pareti d sarà:

$$d = D/2$$

Ogni lampada quindi agisce su di una superficie di S_L pari a:

$$S_L = D^2$$

Si calcola quindi il flusso Φ che ogni lampada dovrà emettere per illuminare la superficie di competenza:

$$\Phi = E_m \times S_L / (u \times m)$$

Dove m è il coefficiente di manutenzione che tiene conto della diminuzione di efficienza della lampada dovuta alla polvere e alla sporcizia che si accumulano nel tempo. In genere si applica il coefficiente di 0,8, che potrà diminuire in caso di ambienti particolarmente polverosi.

Mantenendo la distanza fra le lampade come visto sopra, potremo anche approssimarci all'uniformità media di illuminamento sul piano di lavoro come indicato nella seguente relazione che dovrebbe in ogni caso essere verificata.

$$E_{\min} / E_{\max} \geq 0,7$$

dove:

E_{\max} è il massimo valore di illuminamento, ottenuto sulla perpendicolare della lampada;

E_{\min} è il valore di illuminamento minimo ottenuto nelle zone meno illuminate, come ad esempio in prossimità del perimetro del locale, o sulla perpendicolare al piano di lavoro nel punto mediano di distanza fra un apparecchio e l'altro.

Il flusso della lampada dovrà essere almeno uguale a quello calcolato.

Il numero delle lampade sarà determinato dal rapporto fra la superficie totale del locale è l'area illuminata della lampada.

$$n_L = S / S_L$$

Oppure:

$$n_L = \frac{E_m \cdot S}{u \cdot m \cdot \Phi_L}$$

Dove Φ_L è il flusso della singola lampada.

Le caratteristiche delle lampade vengono indicate dal costruttore; per un semplice riferimento possiamo basarci sulla seguente tabella:

Tab. XXXVI. Caratteristiche delle lampade

Lampada	Potenza elettrica W	Flusso luminoso emesso in lumen
Fluorescente FL	18	1350
Fluorescente FL	36	3350
Fluorescente FL	58	5200
Fluorescente compatta FLS C	9	600
Fluorescente compatta FLS C	11	900
<i>(segue)</i>		

Lampada	Potenza elettrica W	Flusso luminoso emesso in lumen
Alogena lineare	60	840
Alogena lineare	100	1600
Alogena lineare	150	2500
Alogena lineare	200	3500
Alogena lineare	300	5300
Incandescenza INC	60	710
Incandescenza INC	100	1340
Sodio bassa pressione SBP	35	4800
Sodio bassa pressione SBP	90	14000
Sodio bassa pressione SBP	180	32000
Sodio alta pressione SAP	50	3500
Sodio alta pressione SAP	150	14500
Sodio alta pressione SAP	250	27000
Sodio alta pressione SAP	400	48000
Alogena metallica JM	100	8300
Alogena metallica JM	150	12500
Alogena metallica JM	250	25000

Esempio di calcolo

Ipotizziamo un locale di dimensioni:

$$A = 10 \text{ m}$$

$$B = 20 \text{ m}$$

$$E_m = 300 \text{ lx}$$

$$h_u = 3 \text{ m}$$

$$m = 0.8$$

$$Ra = 80$$

Utilizziamo una lampada con due tubi fluorescenti da 36 W

Coefficiente k :

$$k = \frac{a \cdot b}{h_u \cdot (a + b)} = \frac{10 \cdot 20}{3 \cdot (10 + 20)} = 2,22$$

Parametri di riflessione:

Pareti e soffitto hanno un fattore di riflessione pari al 50%.

Coefficiente u :

Sciegliendo una lampada a flusso diretto, otteniamo dalla tabella: $u = 0.41$

Numero degli apparecchi:

$$n_L = \frac{E_m \cdot S}{u \cdot m \cdot \phi_L} = \frac{300 \cdot (10 \cdot 20)}{0.41 \cdot 0,8 \cdot (2 \cdot 3350)} \cong 28$$

Pertanto si installeranno 28 lampade a due tubi da 36 W.